

ВЕСТНИК

САМАРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

№ 1 (9)

2006

ВЕСТНИК
САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

№ 1 (9)

2006

Главный редактор
В. А. Сойфер

Заместители главного редактора
В. Л. Балакин, С. В. Лукачев, Е. В. Шахматов

Ответственный секретарь
А. Г. Прохоров

Редакционная коллегия:
Г. П. Аншаков, Н. Ф. Банникова, В. А. Барвинок, С. К. Бочкарев,
Ф. В. Гречников, А. И. Ермаков, В. Г. Засканов, Н. Л. Казанский,
Л. И. Калакутский, В. Р. Каргин, В. А. Комаров, Н. Е. Конюхов,
А. Н. Коптев, В. С. Кузьмичев, С. А. Прохоров, В. В. Салмин,
Ю. Л. Тарасов, А. Н. Тихонов, Ю. Ф. Широков, И. Л. Шитарев,
В. П. Шорин

Журнал входит в утвержденный ВАК Минобрнауки РФ Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, и включен в общероссийский каталог ОАО "Роспечать".

Подписной индекс 18264

© Самарский государственный аэрокосмический университет
443086 Самара, Московское шоссе, 34
Тел. (846) 267 48 41
Электронная почта: vest@ssau.ru

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКИХ ЦЕНТРИФУГ <i>В. А. Акулов</i>	9
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЫ НА БОРТУ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ <i>Г. П. Аншаков, В. В. Бирюк, В. В. Васильев, В. В. Никонов, В. В. Салмин</i>	15
СОВМЕСТНАЯ РАБОТА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТОПЛИВНОЙ АВТОМАТИКИ НА РЕЖИМАХ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ <i>Д. А. Ахмедзянов, И. А. Кривошеев, Р. А. Сунарчин</i>	24
ПРОБЛЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГРУЗОВ ВЕРТОЛЕТОМ НА ВНЕШНЕЙ ПОДВЕСКЕ <i>И. В. Белоконов, Д. А. Моисейкин, В. А. Попов</i>	34
ОПТИМИЗАЦИЯ ТОНКОСТЕННОЙ КАРКАСИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ <i>А. В. Болдырев, В. А. Комаров</i>	42
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ВЫХОДЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ПОВОРОТОМ ПОТОКА В ГАЗОСБОРНИКЕ <i>Г. П. Гребенюк, С. Ю. Кузнецов, В. Ф. Харитонов</i>	48
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ТЕХНОГЕННОГО ВЕЩЕСТВА С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНЫХ РАЗРУШЕНИЙ ОТСЕКОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ <i>В. Д. Еленев</i>	54
МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ОРБИТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ <i>В. Д. Еленев, А. А. Панков</i>	62
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННО-ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ <i>О. А. Журавлев, С. Ю. Комаров, Ю. Н. Шапошников, Ю. Д. Щеглов, Н. Ю. Устиченко</i>	69
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВЕРТЫВАНИЕМ ОРБИТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ <i>С. А. Ишков, С. А. Наумов</i>	77
ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОПОР СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК <i>В. А. Комаров, С. В. Мрыкин</i>	86
АКУСТИКО-ВИХРЕВОЙ РЕЗОНАНС ШНЕКА АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВНОГО НАСОСА <i>А. Н. Крючков</i>	93
ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДА АЗОТА И ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ <i>Ю. Г. Куценко, С. Ф. Онегин</i>	101
ОРГАНИЗАЦИЯ ПОИСКА И ЭВАКУАЦИИ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ И КАПСУЛ <i>В. А. Попов</i>	113
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА В ФОРСУНОЧНОМ МОДУЛЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ <i>В. В. Третьяков</i>	118

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДОВОДКА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ ГТД <i>А. Ю. Юрина, Д. К. Василюк, В. В. Токарев, Ю. Н. Шмотин</i>	125
--	-----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ГАЗОВОГО БАЛЛОНА КАК НЕКЛАССИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ И ОЦЕНКА ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ <i>Т. В. Ашихмина, А. И. Довгялло</i>	133
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦЕЛЬНОШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО СХЕМЕ ОТБОРТОВКА-ФОРМОВКА <i>Е. Г. Демьяненко, И. П. Попов, А. Г. Шляпугин</i>	138
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ШУМА РУЧНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОИНСТРУМЕНТА <i>А. Н. Крючков</i>	146
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКИ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ С НАКЛОННЫМИ ЩЕЛЯМИ <i>В. П. Лукаш, А. И. Майорова, А. Д. Рекин, А. А. Свириденков, С. А. Стряпунин</i>	154
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЕРФОРАЦИЯ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭЛАСТИЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ <i>В. К. Мусеев</i>	161
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ДОЗВУКОВЫМИ ГАЗОВЫМИ СТРУЯМИ <i>А. А. Овчинников, В. В. Ледяев, М. В. Фетисов, К. Я. Якубовский</i>	167
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АККОМОДАЦИИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>В. П. Пересыткин, А. В. Золотарев, К. В. Пересыткин, Е. А. Иванова</i>	176
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА <i>С. Н. Перов, Ю. В. Скворцов, К. А. Цапурин</i>	187
СМЕЩЕНИЕ СТРУИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА СО СНОСЯЩИМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА <i>Н. М. Рогачев</i>	194
ЗАРЯД МЕНИСКА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ИГОЛЬЧАТОМ ЭЛЕКТРОДЕ <i>С. М. Шепелев, Н. Д. Семкин</i>	200
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ВОЗДУХОМ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ <i>В. П. Шорин, М. А. Гимадиев</i>	207
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ВОЗДУХОМ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ <i>В. П. Шорин, М. А. Гимадиев</i>	214

КИБЕРНЕТИКА И ИНФОРМАТИКА

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВНЕШНЕГО ИНТЕРНЕТ-КАНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА ПОДКЛЮЧЕНИЯ <i>В. Г. Грачев, Е. А. Симановский</i>	219
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И СПЕЦИАЛИСТОВ <i>А. Н. Коптев, Э. И. Сурина</i>	226

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ <i>Т. И. Михеева</i>	237
ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ФАКТОРА МОТИВАЦИИ <i>Е. Н. Рябинова, Б. А. Титов</i>	246
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ <i>А. К. Скуратов</i>	259
ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ	
ЛИНГВОКУЛЬТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТИПОВЫХ ПИСЕМ <i>Н. Ю. Бусоргина</i>	265
КЛАСТЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ И ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНОМ <i>Л. В. Иваненко</i>	271
РЕГИОНАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ И КЛАСТЕРЫ <i>О. А. Кузьмичева, Л. В. Иваненко</i>	275
ПОТЕНЦИАЛ САМОРЕАЛИЗАЦИИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА <i>О. Н. Мартынова</i>	281
ОСЦИЛЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ВОЕННО-УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ВУЗА <i>А. И. Матвеев</i>	291
КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-МОБИЛЬНОГО СПЕЦИАЛИСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ <i>Л. П. Меркулова</i>	294
КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ <i>В. М. Минияров, Е. В. Хитрова</i>	304
МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ГРАЖДАНСКИХ СЛУЖАЩИХ <i>С. А. Петрова</i>	310
УПРАВЛЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ <i>В. М. Рамзаев</i>	316
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ <i>В. М. Рамзаев</i>	325
ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА <i>Т. Н. Соснина</i>	330
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ <i>Е. В. Хитрова</i>	339
ОДАРЕННОСТЬ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ДУХОВНОЙ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА <i>Е. В. Шестун</i>	344
СТРУКТУРА КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССИИ <i>Е. В. Шестун</i>	346

CONTENTS

AVIATION AND ROCKET-SPACE ENGINEERING

PROCEDURE OF EVALUATING THE DYNAMIC COMPONENT OF GRAVITY FORCE FOR AEROSPACE CENTRIFUGES <i>V. A. Akulov</i>	9
SIMULATING THERMAL FIELDS OF COMPLEX CLOSED STRUCTURE ABOARD RESEARCH SPACE LABORATORY <i>G. P. Anshakov, V. V. Biruk, V. V. Vasiliev, V. V. Nikonov, V. V. Salmin</i>	15
JOINT OPERATION OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES AND FUEL AUTOMATED EQUIPMENT IN ACCELERATION AND BRAKING MODES <i>D. A. Akhmedzyanov, I. A. Krivosheyev, R. A. Sunarchin</i>	24
PROBLEMS OF RELATIONAL NAVIGATION IN LOAD TRANSPORTATION ON HELICOPTER EXTERNAL HANGER <i>I. V. Belokonov, D. A. Moiseikin, V. A. Popov</i>	34
OPTIMIZATION OF A THIN-WALLED WIREFRAME STRUCTURE WITH STRENGTH AND STIFFNESS LIMITATIONS <i>A. V. Boldyrev, V. A. Komarov</i>	42
ANALYSIS OF TEMPERATURE FIELD AT THE COMBUSTION CHAMBER OUTLET WITH THE FLOW TURNING IN THE GAS COLLECTOR <i>G. P. Grebenyuk, S. Yu. Kuznetsov, V. F. Kharitonov</i>	48
ESTIMATION OF TECHNOGENETIC SUBSTANCE FLOW DENSITY DISTRIBUTION IN TIME AND SPACE WITH REGARD TO LOCAL BREAKAGES OF SPACE VEHICLE COMPARTMENTS <i>V. D. Yelenev</i>	54
METHOD OF CHOOSING PARAMETERS OF SPACE OBSERVATION SYSTEM ORBITAL STRUCTURE <i>V. D. Yelenev, A. A. Pankov</i>	62
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PULSATION AND VIBRATION PROCESSES IN FLOW – CONSTRUCTION INTERACTION <i>O. A. Zhuravlyov, S. Ju. Komarov, Ju. N. Shaposhnirov, Ju. D. Shelov, N. Ju. Usticchenko</i>	69
CONTROL OVER ORBITAL TETHER SYSTEM UNFOLDING <i>S. A. Ishkov, S. A. Naumov</i>	77
OPTIMAL POSITIONING OF SUPPORTS FOR STATICALLY DEFINABLE BEAMS <i>V. A. Komarov, S. V. Mrykin</i>	86
ACOUSTIC WHIRLING RESONANCE OF AN AIRCRAFT FUEL PUMP SCREW <i>A. N. Krutchkov</i>	93
APPLICATION OF GAS DYNAMICS NUMERICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF NITROGEN OXIDE FORMATION PROCESS AND CHOOSING LOW EMISSION COMBUSTOR DESIGN <i>Yu. G. Kutsenko, S. F. Onegin</i>	101
ORGANIZATION OF SEARCH AND EVACUATION OF REENTRY VEHICLES AND CAPSULES <i>V. A. Popov</i>	113
CALCULATION OF FUEL DISTRIBUTION IN COMBUSTION CHAMBER NOZZLE MODULE <i>V. V. Tretyakov</i>	118

PARAMETRIC CFD DESIGNING OF COMBUSTION CHAMBER ELEMENTS

A. Yu Yurina, D. K. Vasilyuk, V. V. Tokarev, Yu. N. Shmotin

125

TECHNICAL SCIENCES

PECULIARITIES OF SETTING UP A PROBLEM OF CALCULATING PROCESSES FOR A GENERAL-PURPOSE GAS CYLINDER AS A NON-CLASSICAL TWO-PHASE SYSTEM AND ESTIMATION OF ITS TEMPERATURE CONDITION

T. V. Ashikhmina, A. I. Dovgyallo

133

INVESTIGATING THE PROCESS OF SHAPING SOLID MOULDED PARTS ACCORDING TO THE OUTWARD HAPPING-MOULDING PATTERN

Ye. Y. Demyanenko, I. P. Popov, A. G. Shlyapugin

138

MATHEMATICAL MODELLING OF PRESSURE PULSATIONS AND NOISE OF A MANUAL MECHANIZED PNEUMATIC TOOL

A. N. Krutchkov

146

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE THERMAL STATE OF A PERFORATED WALL OF A LINER WITH INCLINED SLOTS

V. P. Lukash, A. I. Mayorova, A. D. Rekin, A. A. Sviridenkov, S. A. Stryapunin

154

EQUENTIAL PERFORATION OF TUBULAR ARTICLES BY ELASTIC TOOLS

V. K. Moiseev

161

PHYSICAL FOUNDATIONS OF GAS DYNAMIC METHOD OF CONTROLLING SUBSONIC GAS FETES

A. A. Ovchinnikov, V. V. Ledyayev, M. V. Fetisov, K. Ya. Yakubovsky

167

INVESTIGATING THE MECHANISM OF HUMAN EYE ACCOMMODATION ON THE BASIS OF FINITE-ELEMENT MODELLING

V. P. Peresyphkin, A. V. Zolotaryov, K. V. Peresyphkin, Ye. A. Ivanova

176

SOLVING THE PROBLEM OF STATISTICAL DYNAMICS FOR THE OIL MAIN

S. N. Perov, Ju. V. Skvortsov, K. A. Tsapurin

187

MIXING A CARBONIE ACID FET WITH AIR FLOW

N. M. Rogatchyov

194

DIELECTRIC LIQUID MENISCUS CHARGE ON A HIGH-VOLTAGE NEEDLE ELECTRODE

N. D. Syomkin, S. M. Shepelev

200

MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN A PIPELINE PARTIALLY FILLED WITH AIR

V. P. Shorin, M. A. Gimadiyev

207

ALGORITHM OF CALCULATING HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF A PIPELINE PARTIALLY FILLED WITH AIR

V. P. Shorin, M. A. Gimadiyev

214

CYBERNETICS AND INFORMATION SCIENCE

ASSESSING THE SPEED OF DATA TRANSMISSION OF A COMPANY'S EXTERNAL INTERNET CHANNEL FOR PROVIDING THE REQUIRED QUALITY OF CONNECTION

V. G. Gratchyov, Ye. A. Simanovsky

219

FORMALIZASHION OF INTERPRETATIONS AND ACTIVITIES OF CREW AND EXPERT

A. N. Koptev, E. I. Surina

226

COMPUTER – AIDED CONTROL OF INSTANT DATE <i>T. I. Mikheeva</i>	237
PHENOMENOLOGICAL MODEL OF MASTERING EDUCATIONAL MATERIAL WITH REGARD TO THE FACTOR OF MOTIVATION <i>E. N. Ryabinova, B. A. Titov</i>	246
STATISTICAL ANALYSIS OF TELECOMMUNICATION SYSTEM ON THE BASIS OF STUDYING INFORMATION FLOWS PRESENTED AS TIME SERIES <i>A.K. Skuratov</i>	259

HUMANITIES

LINGUOCULTURAL PECULIARITIES OF ENGLISH LANGUAGE STANDARD LETTERS <i>N. Yu. Busorgina</i>	265
CLUSTER ORGANIZATION OF ECONOMY AND EFFICIENT REGION MANAGEMENT <i>L. V. Ivanenko</i>	271
REGIONAL STRATEGY AND CLUSTERS <i>O. A. Kuzmitchyove, L. V. Ivanenko</i>	275
POTENTIAL OF FUTURE ENGINEERS' SELF – REALIZATION AS A PEDAGOGICAL PROBLEM <i>O. N. Martynova</i>	281
OSCILLATORY MODEL OF CONTROL OVER MILITARY TRAINING CENTER MATERIAL AND TECHNICAL SUPPLY <i>A. I. Matveev</i>	291
COMPETENCE MODEL OF A PROFESSIONALLY MOBILE SPECIALIST IN THE AREA OF ENGINEERING <i>L. P. Merkulova</i>	294
COMPLEX ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A HIGHER SCHOOL TEACHER'S PEDAGOGICAL ACTIVITY <i>V. M. Miniyarov, Ye. V. Khitrova</i>	304
MODEL OF A SYSTEM OF UPGRADING CIVIL EMPLOYEES' SKILLS <i>S. A. Petrova</i>	310
MANAGING THE COMPETITIVENESS OF NON – COMMERCIAL ORGANIZATIONS IN MODERN ECONOMIC SYSTEM <i>V. M. Ramzaev</i>	316
MANAGING THE DEVELOPMENT OF NON – COMMERCIAL ORGANIZATIONS ON THE BASIS OF BALANCED INTERACTION BETWEEN THE STATE AND THE ENTREPRENEURSHIP IN THE SOCIAL AREA <i>V. M. Ramzaev</i>	325
INNOVATIVE METHODS OF ANALYZING MATERIAL AND INFORMATION FLOWS OF PRODUCTION <i>T. N. Sosnina</i>	330
PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FACTORS AND THE EFFICIENCY OF A HIGHER SCHOOL TEACHER'S PEDAGOGICAL ACTIVITY <i>Ye. V. Khitrova</i>	339
NATURAL LIFTS AS A MANIFESTATION OF AN INDIVIDUAL'S SPIRITUAL LIFE <i>E. V. Shestun</i>	344
THE STRUCTURE OF CULTURAL AND EDUCATIONAL SPACE OF RUSSIA <i>E. V. Shestun</i>	346

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКИХ ЦЕНТРИФУГ

© 2006 В. А. Акулов

Самарский государственный технический университет

Разработана методика оценки адекватности динамического компонента искусственной и естественной силы тяжести (авиакосмические центрифуги и поверхность Земли). Получены распределения амплитудных значений антеградного и ретроградного потоков в артериях по продольной координате и их отклик на внешние возмущения - оргопробы. Сформулированы рекомендации к программам экспериментов на короткорadiusных центрифугах.

Разработка активных методов борьбы с негативными последствиями длительной невесомости относится к числу актуальных проблем пилотируемой космонавтики. Речь идет о создании искусственной силы тяжести (ИСТ) на борту космического аппарата с помощью центрифуг короткого радиуса (ЦКР) [1, 2]. В этом случае человек перемещается из привычной для него вращающейся среды (поверхности Земли) в ее физическую модель - ЦКР. Как оказалось, реализация этой идеи сопряжена с преодолением значительных затруднений, обусловленных различием в структуре земной силы тяжести (ЗСТ) и ИСТ. ЗСТ однородна и характеризуется постоянством перегрузки G в пределах роста человека ($G = 1$). В условиях ЦКР искусственно созданная перегрузка в направлении «голова – ноги» переменна и изменяется по величине от нуля (ось вращения, уровень переносицы) до максимального значения G_{max} (уровень стопы), которое зависит от роста испытуемого и частоты вращения ротора. Поскольку в условиях Земли перепад перегрузки отсутствует, а на ЦКР он значителен (100%), адекватность ИСТ и ЕСТ в терминах «силы тяжести» является условным понятием.

Предлагается качественно иная методология оценки адекватности ЗСТ и ИСТ, основанная на следующем подходе. ИСТ не является самоцелью, поскольку она призвана обеспечить воспроизведение «земных» величин жизненно важных параметров человека. Поэтому наряду с учетом закономерностей (факторов) вращения следует учитывать «человеческий» фактор. В итоге формируют-

ся две эргатические системы, подлежащие анализу: «человек – Земля» и «человек – ЦКР». Кровь, как свидетельствует многолетний опыт космических полетов, является наиболее подвижной тканью организма, чутко реагирующей на вариации силы тяжести [2]. Кроме того, принимаем во внимание то обстоятельство, что негативному воздействию невесомости подвержены, прежде всего, нижние конечности [1, 2]. Поэтому в дальнейшем рассматриваются аспекты, связанные с воспроизведением на ЦКР параметров кровообращения именно в этой области тела.

В целях удобства и наглядности проведем декомпозицию гемодинамики нижних конечностей на две составляющие: «статическую» и «динамическую». Первая из них, обусловленная гидростатическим (Земля) и «инерционным» напором (ЦКР), представлена, например, в работах [5, 6]. Предлагается методика оценки адекватности «динамической» составляющей, которая обусловлена насосной функцией сердца и сосудов. В дальнейшем будем именовать ее «динамической адекватностью» («ДА»). В основу методики положены три принципа. Во-первых, ускорения силы тяжести, традиционно выполнявшие функции выходных параметров, переведены в разряд промежуточных с замещением их на жизненно важные параметры организма человека. Во-вторых, для количественной оценки нестационарной составляющей привлечена линейная скорость кровотока (ЛСК), представляющая собой осредненную по поперечному сечению артерий скорость. ЛСК является понятной медперсоналу физической величиной, обладает значительной

диагностической ценностью, и ее измерение является неинвазивным (бескровность, обусловленная дистанционным проникновением в систему кровообращения с помощью ультразвука). В-третьих, в отличие от традиционно применяемой упрощенной точечной оценки в виде перегрузки G_{max} на уровне стопы [2], учтена распределенность параметров вдоль продольной оси артериальных русел.

На рис. 1 представлена типовая для нижних конечностей схема ЛСК, полученная методами ультразвуковой доплерографии (УЗДГ). Как видно из рисунка, системе кровообращения свойственно существование двух противоположенных потоков. Первый из них, антеградный (основной), направлен от сердца к периферии. Обозначим его амплитудное значение (точка А) через V_{max}^+ , а амплитуду другого, ретроградного потока (точка R) - через V_{max}^- . Известно, что V_{max}^+ и V_{max}^- зависят от ряда факторов, в том числе положения тела человека относительно векторов силы тяжести. В космической медицине обоснованно считается, что объектом имитации (нормой) является вертикальное положение человека (ортостаз). Однако стандартные медицинские методики предусматривают измерение ЛСК в положении «лежа». Поэтому возникает задача по оценке адекватности параметров ЛСК при переходе из положения «лежа» в положение «стоя» (ортостатические пробы) [4]. Предлагается следующий многоступенчатый и многоуровневый алгоритм исследований адекватности нестационарного компонента ИСТ, представленный на рис. 2 в виде графической схемы. Он предусматривает выполнение серии экспери-

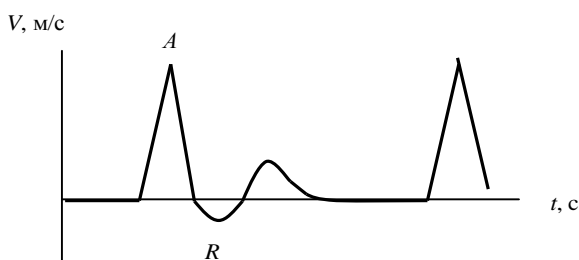


Рис. 1. Типовая зависимость мгновенной скорости кровотока в бедренной артерии по времени в течение сердечного цикла

ментов, обработку данных статистическими методами (одномерный и многомерный анализ), выдачу рекомендаций для принятия решений как в области медицины, так и конструирования перспективных ЦКР. В укрупненном плане алгоритм «ДА» включают в себя выполнение следующих десяти основных процедур.

1. Испытания трех систем с участием человека (1.0): ортостатические пробы (смена положения, 1.1) и вращение на ЦКР с угловыми скоростями ω (1.2). Цель испытаний: получение после обработки эхограмм (2.0) количественных данных о закономерностях распределения нестационарного компонента по длине магистральных сосудов с группировкой испытуемых по признакам «пол» и «возраст» (2.1, 2.2).

2. Статистический анализ значимости отклика на ортопробы с учетом распределенности и группировки данных (3.0).

3. Исследование ЛСК на ЦКР (1.2) с учетом результатов исследований при ортопробах с получением количественных данных о распределении параметров нестационарного компонента в условиях ИСТ (массив SRC1, 2.3).

4. Статистический анализ значимости отличий по схеме «норма – ЦКР» (4.0), где позиция «норма» определяется в результате ортопроб для положения «стоя» (2.2).

5. Формулировка выводов (оценка значимости отличий) по результатам одномерного анализа (3А, 4А) и выдача рекомендаций врачам и разработчикам ЦКР.

6. Выполнение процедур описательной статистики (5.0) с целью обобщенного представления результатов испытаний (1.0 – 2.0) и подготовки данных для многомерного анализа (5.1. – 5.3).

7. Многомерный анализ по схеме «Земля – ЦКР» (дискриминантный и кластерный анализ) (6.0, 7.0).

8. Формулировка выводов по результатам многомерного анализа (7А, 7В). В случае непротиворечивости нулевой гипотезы об отсутствии значимых отличий систем «человек (ортостаз) - Земля» и «человек – ЦКР» выполняются выборочные исследования гемодинамики на предмет допустимости неизбежных отличий (9.0).

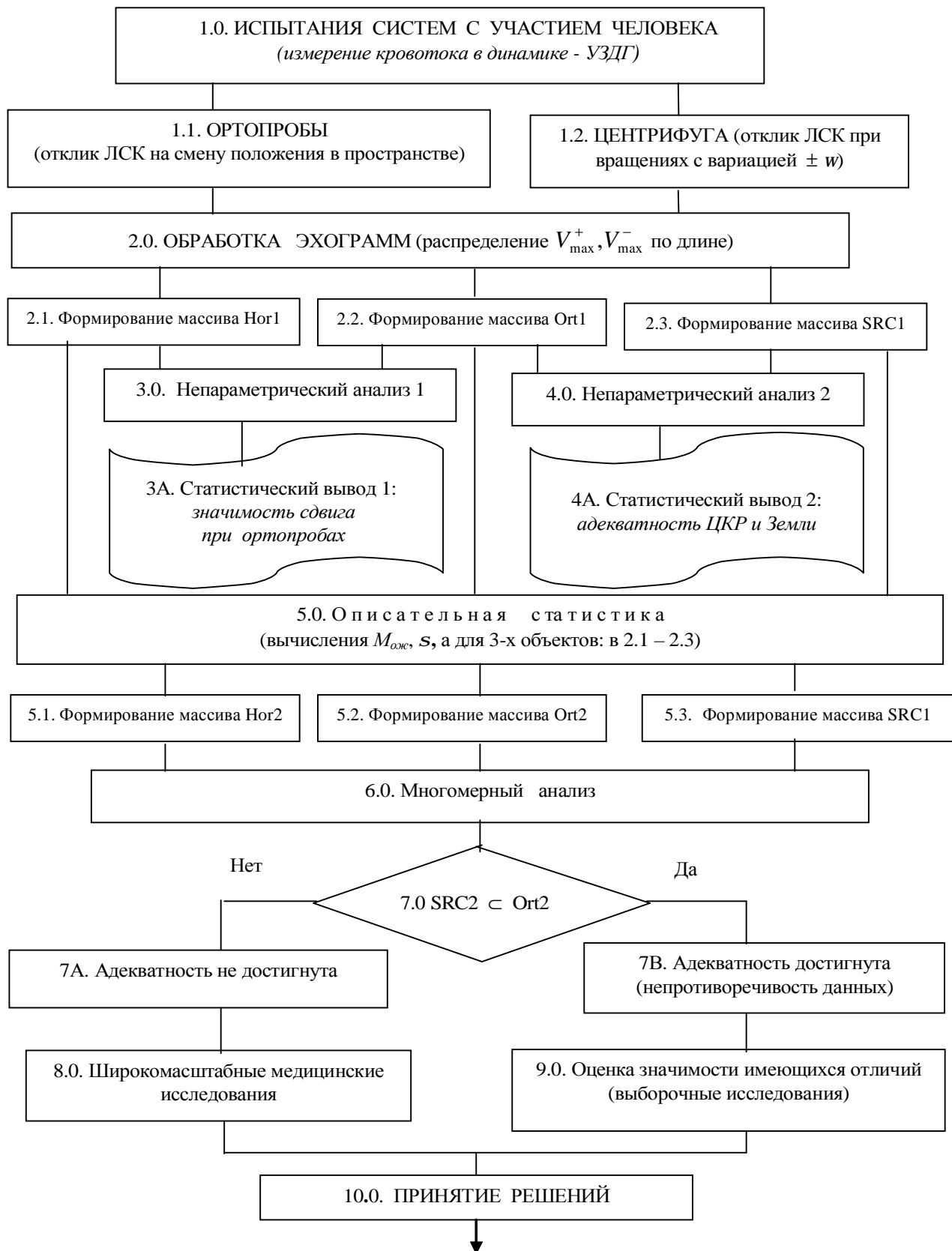


Рис. 2. Схема системного анализа динамического компонента искусственной силы тяжести по методике «ДА»

Условные обозначения массивов (в 2.1 - 2.3; 5.1 - 5.3): Hor – от английского **H**orizont, данные, полученные в горизонтальном положении испытуемого; Ort – от **ORT**о, данные, полученные в вертикальной позе испытуемого; SRC – **S**hort **R**adius **C**entrifuge – аббревиатура англоязычного обозначения ЦКР; номер массива, например, Hor2 означает соответствующий уровень схемы (1.0, 2.0). $M_{ожс}$, S , σ – параметры описательной статистики: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, ошибка среднего (соответственно)

9. В случае значимых отличий (7А) полученная оценка переходит в категорию чисто медицинских задач (8.0).

10. Принятие решений (10.0).

Отметим четыре обстоятельства, присущих предлагаемому алгоритму:

- системный и междисциплинарный подход к решению проблемы «ДА»;
- работоспособность на множестве исходных данных и при различных сочетаниях результатов экспериментов;
- служит ориентиром (навигатором) при составлении программ и технологий медико-технических экспериментов;
- выполняет функции навигатора при разработке конструкций перспективных ЦКР.

В настоящее время начата апробация и внедрение предлагаемой методики. Выполнены исследования, предусмотренные пунктами 1.1 (врачи А. Ю. Модин (Москва), Л. А. Кочергина (Самара): 2.0, 2.1, 2.2, 3, 3А, 5.1, 5.2.). Выполнена обработка эхограмм (пункт 2.0 в части ортопроб) и получены данные, характеризующие распределение ЛСК вдоль продольной оси магистральных сосудов ($\underline{z} = z/h$, где \underline{z} – безразмерная продольная координата, z – продольная координата, отсчитываемая от стандартной точки локализации бедренной артерии, h – длина нижней конечности). Распределения построены для четырех групп испытуемых, отличающихся по признакам «пол» и «возраст», т. е. выполнена более глубокая детализация по сравнению с [4].

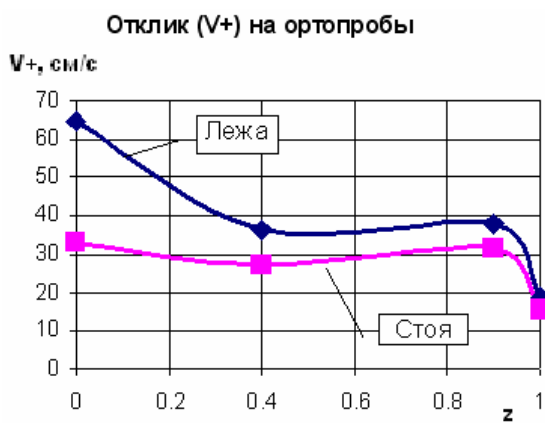


Рис. 3. Пример типового отклика распределений антеградного потока по координате на ортопробы

В качестве иллюстрации на рис. 3 приведены распределения математических ожиданий пиковых значений антеградного потока ($V+$) по координате \underline{z} для группы «женщины старше 40 лет» (12 человек). УЗДГ осуществлялась в четырех стандартных точках: бедренная артерия ($\underline{z} = 0$), подколенная артерия ($\underline{z} = 0,4$), задняя большеберцовая артерия ($\underline{z} = 0,9$) и артерия тыла стопы ($\underline{z} = 1$). Как следует из рисунка 3, отклик на внешнее возмущение (ортостаз) проявляется в виде систематического снижения пиковых значений скорости антеградного потока в первых трех из названных точек. Исключение составляет скорость ($V+$) тыла стопы ($\underline{z} = 1$), которая практически не изменилась.

Как показал непараметрический анализ, выполненный в программной среде STADIA [3], в первых трех точках ($\underline{z} = 0-0,9$) имеет место статистически значимый эффект отклика на ортопробы. Вывод подтверждается критериями знаков и знаково-ранговым критерием Вилкоксона (гипотезы H_1 с вероятностями $p \approx 0,002$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$). Исключение составляет точка 4 (тыл стопы, $\underline{z} = 1$), в которой уверенно зафиксировано незначительное смещение медиан распределений (гипотеза H_0 с вероятностями $p \approx 0,34 - 0,41$). Таким образом, весьма значительная по объему статистика ЛСК, накопленная «земной» медициной в части ан-

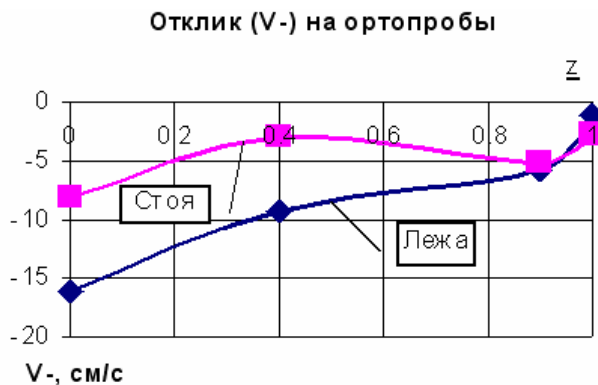


Рис. 4. Пример типового отклика распределений ретроградного потока по координате на ортопробы

теградных кровотоков в сосудах конечностей, оказывается малопригодной для решения задач динамической адекватности. В противоположность этому, в результате ортопроб получены данные, необходимые для оценки динамической адекватности ИСТ и ЗСТ (положение «стоя»).

Как отмечалось ранее, ЛСК характеризуется двумя противоположенными потоками. В связи с этим представляет интерес оценка значимости отклика параметров второго, ретроградного потока (V_{max}^-) на внешнее воздействие. На рис. 4 представлен отклик параметра (V^-) (математические ожидания V_{max}^-) на ортопробы. Как и в случае антеградного потока, наблюдается систематическое снижение пиковых значений ретроградного потока. Причем в сечениях $z = 0$ и $z = 0,4$ (бедренная и подколенная артерии, соответственно) амплитудные значения уменьшаются в два и более раз. Исключения составляют реакции в большеберцовой артерии и артерии тыла стопы. Таким образом, в результате проведенных исследований по предлагаемой методике получены данные, характеризующие динамический компонент ИСТ (антеградный и ретроградный потоки) как объект моделирования на ЦКР, причем с учетом распределенности по z и по четырем группам испытуемых.

В соответствии с процедурой 3.0 следующим этапом методики «ДА» является испытание на ЦКР. Основная трудность заключается в измерении ЛСК с формированием массива SRC1 (2.0, 2.3). Во-первых, в условиях интенсивного вращения приходится отказаться от обычной, хорошо апробированной в медицине схемы «врач – пациент». В качестве выхода из создавшегося затруднения предусмотрено прямое участие врачей-специалистов по УЗДГ - в роли испытателей. В этой связи отметим, что, располагая результатами ортопроб для четырех групп испытуемых (2.2, 3.0, 3А), имеем весьма широкие возможности по организации и проведению исследований на ЦКР и, соответственно, продолжению переходов по алгоритму «ДА».

Опыт, накопленный в ходе реализации предлагаемого алгоритма, позволил сформулировать ряд рекомендаций, которые приняты во внимание при составлении программ экспериментов на ЦКР. Прежде всего, необходимо сформировать однородные группы по признакам «пол» и «возраст». Кроме того, учитывая значимость отклика гемодинамики на ортопробы, следует выполнить УЗДГ контрольной группы непосредственно перед вращениями, причем в вертикальном положении. С целью исключения систематических погрешностей измерений (погрешность метода, фильтрация высокочастотных составляющих сигнала и т. п.) запланировано измерение ЛСК на Земле и ЦКР единым комплектом портативной аппаратуры.

Обсуждая специфику методики «ДА», важно отметить, что она предусматривает различные сценарии из числа возможных. Так, например, если на ЦКР подтвердятся закономерности распределения V_{max}^+ по длине (существенный отклик в сечении $z = 0$; эквивалентность отклика в сечениях $z = 0,4$ и $z = 0,9$; несущественный отклик в сечении $z = 1$), для чего необходимо проведение 5...7 испытаний, то имеется возможность уменьшить объемы исследований и сократить номенклатуру измеряемых параметров вплоть до одного. Этим параметром является ЛСК бедренной артерии, который обладает наиболее выраженным откликом (рис. 3) и удобным доступом для процедур УЗДГ, что немаловажно в условиях вращения.

В противном случае динамическое моделирование переходит в категорию медицинских задач, что потребует выполнения весьма значительного объема медицинских исследований. Однако и в этом случае предлагаемый алгоритм найдет свое применение.

Что касается процедуры принятия решений, то она является стандартной для информационных технологий. В любом случае принятое решение будет базироваться на предлагаемом алгоритме, и при этом в самых сложных ситуациях, а также при исследованиях на бортовых ЦКР будут выполняться его отдельные позиции.

Список литературы

1. О. Г. Газенко, А. И. Григорьев, А. Д. Егоров. // От 108 минут до 438 суток и далее... (к 40-летию полета Ю. А. Гагарина) / Авиакосм. и эколог. мед. - 2001. Т. 35, №2. - С. 10-11.
2. А. Р. Котовская, А. А. Шипов, И. Ф. Виль-Вильямс. Медико-биологические аспекты проблемы создания искусственной силы тяжести. - М: Слово, 1986. - С. 203.
3. А. П. Кулаичев. Методы и средства анализа данных в среде Windows STADIA 6.0. - М: НПО «Информатика и компьютеры», 1996.
4. А. Ю. Модин, В. С. Шашков. Влияние гравитации на линейную скорость кровотока в артериальном русле здорового человека // Авиакосм. и эколог. мед. - 2002. Т. 36, №4. - С. 26-29.
5. В. А. Акулов. Гравитационная терапия: четыре аспекта моделирования гемодинамики конечностей // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. университета. - 2004. №1 (5). - С. 61-67.
6. В. А. Акулов. Биомеханический критерий адекватности модельной и естественной силы тяжести // Авиакосмическая и экологическая медицина. - 2005. №1.

PROCEDURE OF EVALUATING THE DYNAMIC COMPONENT OF GRAVITY FORCE FOR AEROSPACE CENTRIFUGES

© 2006 V. A. Akulov

Samara State Technical University

The procedure of evaluating the adequacy of the dynamic component of artificial and natural force of gravity (aerospace centrifuges and the Earth surface) has been developed. Distributions of amplitude values of ante grade and retrograde flows in arteries along the longitudinal coordinate and their response to external disturbance – tests for 4 groups of people of different sex and age have been obtained. Recommendations for programmers of experiments on short-radius centrifuges have been stated.

УДК 536.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЫ НА БОРТУ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

© 2006 Г. П. Аншаков¹, В. В. Бирюк², В. В. Васильев², В. В. Никонов², В. В. Салмин²¹ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»²Самарский государственный аэрокосмический университет

Проведено моделирование тепловых полей внутри спускаемого аппарата (СА) космической лаборатории (КЛ) «Фотон». Исследуемый объект представляет собой сферу, заполненную воздухом, внутри которой находятся твердые тепловыделяющие тела (научная аппаратура и приборы), система терморегулирования и вентиляторы.

Полученные результаты дают представление о температурных режимах объектов в зависимости от режимов работы системы терморегулирования, позволяют выработать рекомендации по улучшению ее эффективности и провести опережающее численное моделирование тепловых потоков для оптимизации расположения научной аппаратуры внутри СА.

1. Описание задачи

Задача обеспечения заданных температурных режимов экспериментального и технологического оборудования на борту КЛ «Фотон» является актуальной, поскольку одним из основных требований для большинства технологических и биологических экспериментов является однородность теплового поля в области установки оборудования. Для решения этой задачи необходимо иметь подробную информацию о тепломассообмене между объектами оборудования. В расчетной модели учитываются радиационные тепловые потоки от Солнца, Земли и атмосферы. Общий вид КЛ «Фотон» показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид КЛ «Фотон»

Фронтальное сечение спускаемого аппарата КЛ «Фотон» приведено на рис. 2.

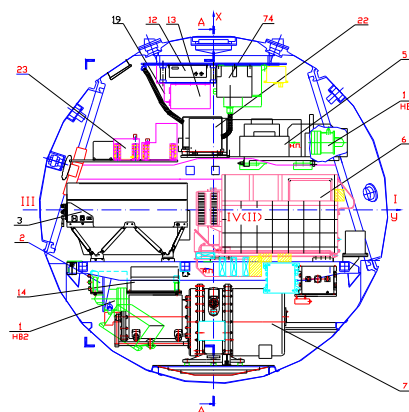


Рис. 2. Фронтальное сечение СА КЛ

Внутри СА расположены следующая аппаратура и приборы: 1 - нагреватель воздуха (2 шт.); 2 - блок электроники Мираж-М; 3 - Favorite; 4 - блок БУ7; 5 - блок электроники ФЛЮИДПАК-2; 6 - экспериментальный блок ФЛЮИДПАК-3; 7 - блок технологический ПОЛИЗОН-М; 8 - Плазмида; 9 - ГЖА газо-жидкостный агрегат СТР; 10 - СИТ-9Л; 11 - блок технологический АГАТ; 12 - RF-Umt; 13 - TCU (ТЕЛЕСАЙЕНС); 14 - блок управления АГАТ; 15 - ТА-602 (2 шт.); 16 - вентилятор (5 шт.); 17 - DHU; 18 - Рецептор; 19 - SCCO C-Vox1; 20 - блок электроника Чистота-М; 21 - TPS-Registrator; 22 - SCCO C-Vox2; 23 - Аквасел; 24 - Биофильтр;

25 - Фото 2; 26 - SSCO E-Vox; 27 - Биоконт-АТ; 28 - Регенерация; 29 - Улитка; 30 - Виброкон.

Математическая модель расчета тепловых полей внутри СА должна учитывать:

- результирующие значения внешних тепловых потоков, воспринимаемых СА, которые определяются набором конструктивных, геометрических и орбитальных параметров КЛ;

- конструкцию, расположение и материал, из которого изготовлен СА;

- работу системы терморегулирования (СТР) и вентиляторов;

- излучение тепла внутренними объектами (аппаратурой и приборами).

В [1, 2] рассмотрена задача определения температурных полей внутри СА с учетом естественной конвекции от гравитационных ускорений, вызванных вращением КЛ в течение орбитального полета. В работе [3] особенное внимание уделено получению тепловых полей с учетом искусственной конвекции, вызванной работающими вентиляторами. Специальное внимание в работах [4, 5] уделено определению температурных полей внутри СА с учетом излучения тепла объектами аппаратуры, вынужденной конвекции от работы вентиляторов, работы СТР, внешних тепловых потоков от Солнца, Земли и атмосферы.

В данной работе математическая модель расчета тепловых полей внутри СА учитывает результирующие значения внешних тепловых потоков, воспринимаемых СА и определяемых совокупностью конструктивных, геометрических и орбитальных параметров КЛ; конструкцию и материалы, из которых изготовлен СА; работу системы терморегулирования и вентиляторов; излучение тепла внутренними объектами (аппаратурой и приборами) на различных режимах работы.

2. Построение трехмерной геометрической модели расположения аппаратуры внутри СА КЛ «Фотон»

Как следует из рис. 2, внутреннее пространство СА представляет собой сферическую область, заполненную бортовой аппаратурой и элементами ее крепления. С одной стороны, реальная форма объектов, располо-

женных внутри СА, довольно сложна для их точного воспроизведения в геометрической модели. С другой стороны, из-за ограничений, накладываемых вычислительными ресурсами на измельчение расчетной сетки, мелкие детали объектов не будут оказывать никакого влияния на производимый расчет. По этим причинам в трехмерной геометрической модели используется упрощенное представление геометрической формы реальных объектов внутри СА. Элементы крепления при построении геометрической модели не учитываются по причине малости их размеров по сравнению с размерами приборов и научной аппаратуры.

Для построения геометрической модели использовался программный пакет SolidWorks [6]. Полученное с его помощью виртуальное представление геометрической компоновки расположения объектов внутри СА представлено на рис. 3.

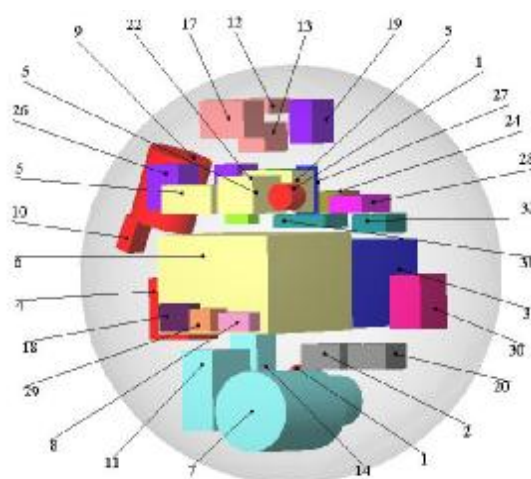


Рис. 3. Пространственный вид геометрической модели компоновки СА

3. Математическая формулировка задачи

Математическая модель включает:

- уравнения Навье-Стокса для вязкого несжимаемого потока

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{g} - \frac{1}{r} \nabla p + n \Delta \vec{V}, \quad (1)$$

где \vec{V} - вектор скорости, \vec{g} - вектор ускорения свободного падения, r - плотность, p - давление, t - время, n - коэффициент кинематической вязкости, ∇ - оператор Гамильтона, Δ - оператор Лапласа;

- уравнение неразрывности

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{V} = 0; \quad (2)$$

- уравнение состояния

$$\frac{p}{r} = \frac{1}{M} RT, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, M – молярная масса воздуха;

- уравнение переноса тепла

$$r\dot{n}_v \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \bar{\nabla})T \right) = I\Delta T + \Phi, \quad (4)$$

где c_v - коэффициент теплоемкости при постоянном объеме, I - коэффициент теплопроводности, Φ - внутренние тепловые источники;

- начальные и граничные условия.

Предполагается, что до момента времени $t = 0$ газ неподвижен и нагрет до температуры $T_0 = 293$ °К. В начальный момент времени орбитального полета $t = 0$ включаются аппаратура, вентиляторы и СТР.

На внутренней поверхности оболочки СА и на поверхности находящихся внутри нее объектов выполняются условия непротекания и прилипания для скорости: $\bar{V} = \bar{0}$.

Граничные условия Неймана для температуры на внутренней поверхности оболочки записываются следующим образом:

$$l \frac{\partial T}{\partial n} = -q_s, \quad (5)$$

где q_s – тепловой поток через оболочку СА, который определяется эмпирически и может зависеть от момента времени, n – направление нормали к поверхности. Через оболочку происходит теплообмен в зависимости от взаимного расположения Солнца, Земли и КЛ.

На объектах научной аппаратуры выставляются аналогичные (5) граничные условия, где вместо q_s указывается q_i – тепловой поток с поверхности i -го рассматриваемого объекта. Характер изменения теплового потока q_i для каждого объекта бортовой аппаратуры обусловлен программой полета.

Граничные условия (ГУ) для вентиляторов выставляются следующим образом:

а) для температуры на стенках вентилятора

$$l \frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad (6)$$

что обозначает присутствие только конвективного теплопереноса;

б) для давления на входе и на выходе вентилятора задается перепад давления, который вынуждает воздух протекать через вентилятор:

$$\Delta p_v = \frac{\partial p}{\partial s} l_v = const, \quad (7)$$

где s – координата в осевом направлении вентилятора, l_v – длина вентилятора.

Данные ГУ позволяют сохранять тепловой баланс при течении воздуха через вентилятор.

ГУ для СТР определяются следующим образом:

$$T = T_{СТР} = const, \quad (8)$$

где $T_{СТР}$ - эмпирически устанавливаемая температура, базирующаяся на эксплуатационных характеристиках теплообменника.

ГУ для температуры на поверхности тепловыделяющих объектов определяется аналогично (8).

4. Применение программного комплекса ANSYS-Flotran к определению температурных полей внутри спускаемого аппарата КЛ “Фотон”

4.1. Особенности решения поставленной задачи

Решение задачи в трехмерной постановке существующими методами не позволяет получить точных результатов из-за плохой сходимости, особенно при сильном “загромождении” внутреннего пространства сферы. Это вызвано значительными градиентами параметров течения вблизи границ или недостаточно развитым течением и, как следствие, нарушением баланса масс.

Для решения поставленной задачи использовалась следующая последовательность действий.

1. Трехмерная задача заменялась решением совокупности двумерных задач, для чего сфера разбивалась на ряд двумерных сечений с определением линии их пересечения. Линии пересечения служат для передачи (обмена) данных между двумерными решениями.

2. В пограничном слое применялся закон пристеночной вязкости, использующий известные соотношения между безразмерным расстоянием от стенки и логарифмом безразмерной скорости вблизи стенки, что позволяет избежать неоправданного измельчения сетки и дает хорошее совпадение с экспериментально определенными профилями скоростей у стенки.

3. Рассматривалась следующая геометрическая модель СА (рис. 4).

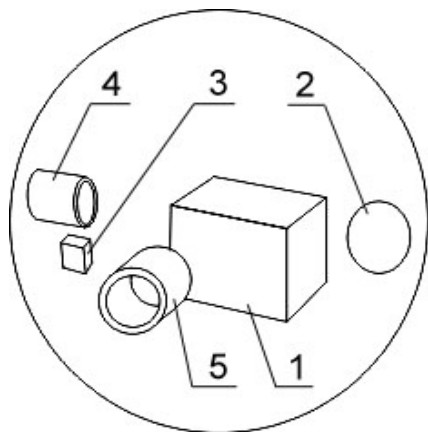


Рис. 4. Компонировка объектов:

1 – тепловыделяющий объект, 2 – СТР,
3 – исследовательский модуль, 4 и 5 – вентиляторы

Для решения данной задачи использовался вычислительный пакет ANSYS с программным модулем Flotran, базирующимся на численном методе конечных элементов [7, 8].

4.2. Анализ полученных результатов

В результате моделирования было получено нестационарное поле температуры, вызванное теплообменом между объектами внутри сферы, теплообменом через оболочку СА, а также вынужденной конвекцией из-за наличия вентиляторов.

Результаты расчета, приведенные на рис. 5-7, получены при следующих данных: $T_{СТР} = 223 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_1 = 333 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_0 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$.

На рис. 5 представлено распределение температуры в плоскости горизонтального диаметрального сечения. Максимальная тем-

пература потока воздуха достигает значения $333 \text{ }^\circ\text{K}$ на поверхности нагревающегося элемента, минимальная температура $223 \text{ }^\circ\text{K}$ достигается на поверхности СТР. Такое распределение температуры позволяет говорить о корректности решения задачи. Около исследовательского модуля значение температуры составляет около $284 \text{ }^\circ\text{K}$.

На рис. 6 показаны области равных значений для абсолютной величины скорости. Максимальное значение скорости составляет $2,835 \text{ м/с}$ в области вентилятора 5. Анализируя поле скорости, можно заметить, что застойные зоны формируются около системы СТР, позади тепловыделяющего объекта 1, а также между исследовательским модулем 3 и стенкой оболочки СА. При таком расположении приборов и аппаратуры вентиляторы производят циркуляцию воздуха в некоторой ограниченной области.

На рис. 7 и 8 приведены области равных значений для поля температуры T и линии тока для поля скорости в профильном сечении. Сравнивая рисунки 6 и 8, можно заметить, что для профильного сечения наблюдается более интенсивное перемешивание газа во внутренней области СА, что можно объяснить меньшей заполненностью профильного сечения объектами. Две устойчивые области циркуляции воздуха наблюдаются около теплоизлучающего объекта с постоянными температурами $273 \text{ }^\circ\text{K}$ и $286 \text{ }^\circ\text{K}$. Градиент поля температуры в профильном сечении модели СА значительно ниже, чем в горизонтальном.

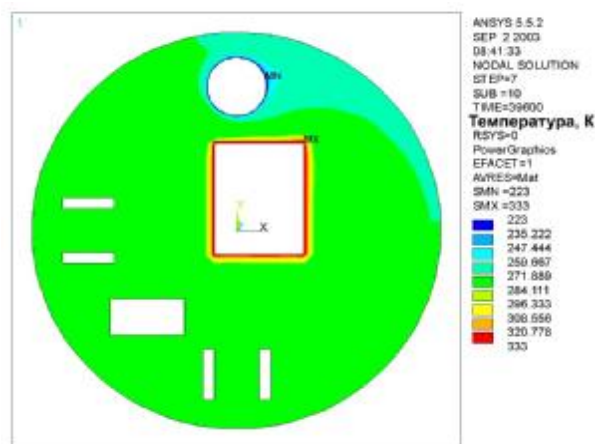


Рис. 5. Распределение температуры в горизонтальном сечении

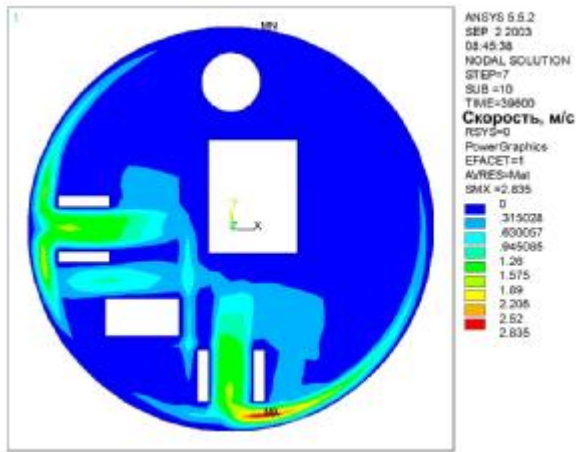


Рис. 6. Области равных значений для абсолютной величины скорости в горизонтальном сечении

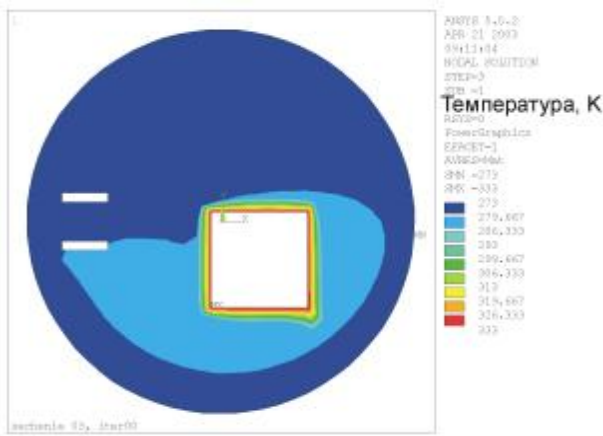


Рис. 7. Распределение температуры в профильном сечении

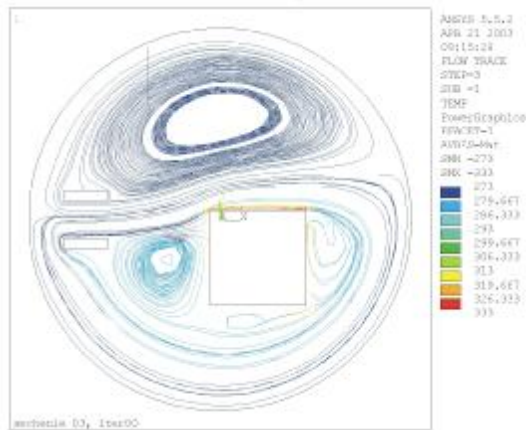


Рис. 8. Линии тока в профильном сечении

5. Определение температурных полей внутри СА методом теплового баланса с учетом внешних тепловых потоков

Базовое расчетное уравнение теплового баланса i -го характерного элемента конструкции СА в исследуемых условиях имеет вид [9]:

$$m c_p \frac{dT_i}{dt} + dx_i S_i T_i^4 = A_i q_c S_{ic} + x_i q_s S_{i\bullet} + \sum Q_{ij}, \quad (9)$$

где m – масса элемента; c_p – теплоемкость при постоянном давлении; A_i, x_i – соответственно термооптические коэффициенты поверхностей для видимой и инфракрасной областей спектра излучения; S_i – площадь собственного излучения i -го элемента; $S_{ic}, S_{i\bullet}$ – соответственно проекции облучаемых поверхностей i -го элемента на плоскости, нормальные к направлениям солнечного и планетного излучений; q_c, q_s – удельные потоки солнечного и планетного теплового излучений; Q_{ij} – тепло, передающееся в единицу времени к i -му элементу от j -го элемента как вследствие теплопроводности (кондуктивности), так и конвекции.

Уравнение (9) применительно к конструкции оболочки отсека переписывается следующим образом:

$$(m \cdot c_p)_i \frac{dT}{dt} = \{A_s \cdot (S + S_{i\odot}) \cdot S_i \cdot h_i\} + (1 - h_i) \cdot Q_{\dot{A}\dot{O}\dot{E}}^{\dot{A}\dot{O}\dot{E}} \cdot S_i + \sum_{j=1, n}^i Q_{ij}, \quad (10)$$

где $(m \cdot c_p)_i$ – приведенная теплоемкость i -го элемента; h_i – степень закрытия экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) i -го элемента; $Q_{\dot{A}\dot{O}\dot{E}}^{\dot{A}\dot{O}\dot{E}}$ – кондуктивный тепловой поток к i -му элементу; $\sum_{j=1, n}^i Q_{ij}$ – суммарный тепловой поток к i -му элементу.

Для токопотребляющих блоков научной и обеспечивающей аппаратуры преобладающим является конвективный и кондуктивный теплообмен рассматриваемого прибора со средой отсека и с контактируемой конструкцией. Поэтому в качестве расчетного уравнения теплового баланса используется уравнение вида

$$(m \cdot c_p) \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1, n}^i K_{ij}^* (T_j - T_i) + Q_i, \quad (11)$$

где Q_i - тепловыделения согласно циклограм-

ме нагрузки i -го элемента; $\sum_{j=1, n}^i K_{ij}^* (T_j - T_i)$ - результирующая величина теплового потока к i -му элементу.

Работа регулирующих органов описывается алгебраическими уравнениями в соответствии с логикой работы средств автоматики.

В соответствии с исходными данными было проведено моделирование температурного режима отсека СА с научной аппаратурой для основных режимов эксплуатации, отличающихся уровнями тепловых нагрузок на конструкцию и аппаратуру для всей продолжительности орбитального полета.

На рисунках 9-12 показаны зависимости температур некоторых блоков научной и бортовой аппаратуры от времени для двух эксплуатационных режимов: 1 – номинального, характеризующегося расчетным уровнем тепловыделения; 2 – экстремального, соответствующего максимальному тепловыделению и неблагоприятному соотношению внешних факторов. Данные, представленные на рисунках, показывают, что экстремальный режим характеризуется более высокой температурой объектов внутри оболочки СА. Профили температуры отличаются максимальными значениями для различных режимов.

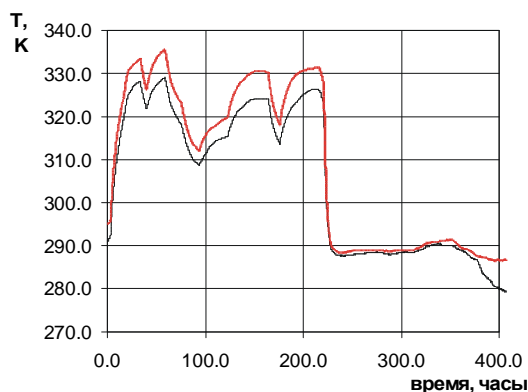


Рис. 9. Зависимость температуры от времени для блока «Полизон-М»
Режимы эксплуатации: — - 1, — - 2

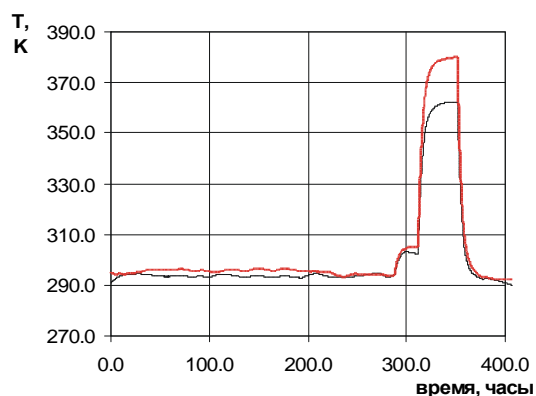


Рис. 10. Зависимость температуры от времени для блока «FAVORITE»
Режимы эксплуатации: — - 1, — - 2

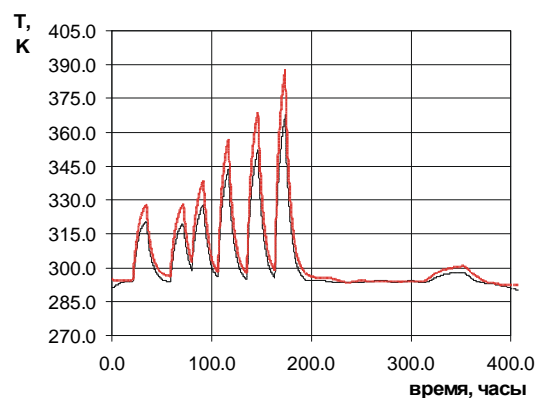


Рис. 11. Зависимость температуры от времени для блока «АГАТ»
Режимы эксплуатации: — - 1, — - 2

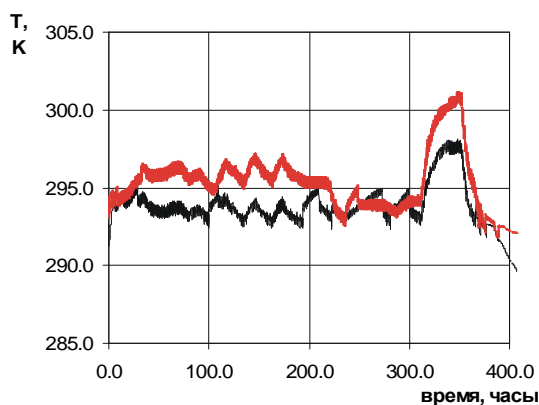


Рис. 12. Зависимость температуры от времени для СТР
Режимы эксплуатации: — - 1, — - 2

6. Построение температурных полей

Выше были получены зависимости температур от времени для объектов аппаратуры СА. Для того, чтобы получить значения распределенного поля температуры между объектами, была разработана программа, распознающая геометрическое изображение сечений компоновки СА, которая построена в

пакете SolidWorks (рис. 3). Полученные с помощью данной программы значения температуры передавались в программу построения температурных полей.

Поля температуры получаются с помощью решения граничной задачи методом особенностей, в качестве которых применялись точечные источники. Температура от каждого источника определяется следующим образом:

$$T_k = \frac{Q_i}{r_{ki}}, \quad (12)$$

где Q_i – интенсивность i -го источника, r_{ki} – расстояние до источника.

После распознавания изображения сечения такие источники располагались на контурах объектов аппаратуры и оболочки СА. Тогда решение уравнения Лапласа для температуры может быть сведено к решению интегрального уравнения Фредгольма 2-го рода [10]. Последнее при использовании особенностей в виде (12) сводится к системе линейных алгебраических уравнений

$$p + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \frac{Q_i}{r_{ji}} = T_j - T_{min}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (13)$$

где T_j – температура в точке \bar{x}_j на поверхности объекта аппаратуры или оболочки СА; T_{min} – минимальное значение температуры, которое выбирается из значений температур оболочки СА и объектов аппаратуры, N – количество источников.

После решения (13) относительно интенсивностей источников Q_i температура в любой внутренней точке \bar{x}_k зоны моделирования температурного поля определяется следующим образом:

$$T_k = T_{min} + \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{r_{ki}}. \quad (14)$$

На рис. 13-14 показано расположение фронтальных (А-А, В-В, С-С) и профильных (D-D, E-E, F-F) сечений, для которых производилось построение полей температуры.

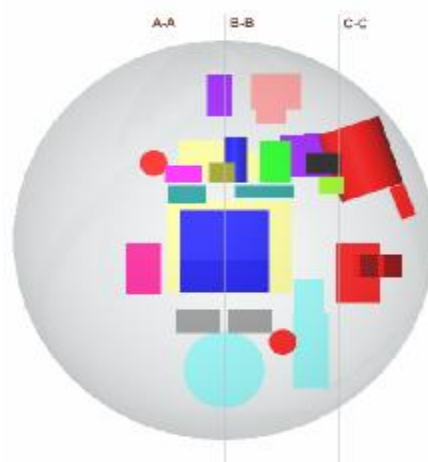


Рис. 13. Расположение параллельных фронтальных сечений

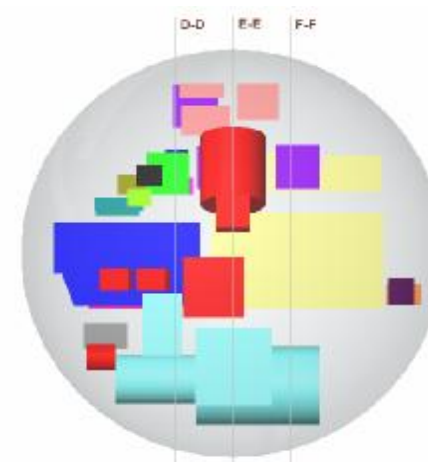


Рис. 14. Расположение параллельных профильных сечений

Построенные поля температуры представлены на рис. 15 – 18 в момент времени $t = 160$ часов. Данные поля соответствуют экстремальному режиму.



Рис. 15. Распределение температуры в сечении А-А в момент времени $t = 160,0$ часов



Рис. 16. Распределение температуры в сечении В-В в момент времени $t = 160,0$ часов



Рис. 17. Распределение температуры в сечении С-С в момент времени $t = 160,0$ часов



Рис. 18. Распределение температуры в сечении Е-Е в момент времени $t = 160,0$ часов

В результате проведенного исследования была решена сложная задача нестационарного теплопереноса внутри спускаемого аппарата космической лаборатории «Фотон».

Таким образом, полученные результаты дают представление о температурных режимах объектов в зависимости от условий полета и режимов работы научной аппаратуры,

позволяют выработать рекомендации по улучшению эффективности системы терморегулирования. Разработанные программные комплексы позволяют провести численное моделирование тепловых потоков на этапе проектирования космических экспериментов для рационального расположения научной аппаратуры внутри СА.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04.01-96512.

Список литературы

1. V. I. Abrashkin, A. E. Kazakova, V. V. Vasiliev, V. A. Romanenko, V. V. Salmin, S. A. Nikitin, V. I. Polezhaev, V. V. Sazonov; Thermal Fields Modelling with Allowance of Microaccelerations at the 'FOTON' Spacecraft. Proceedings 52nd International Astronautical Congress, Oct 2001, Toulouse, France IAF-2001-J.5.07.

2. V. I. Abrashkin, A. E. Kazakova, V. V. Vasiliev, V. V. Salmin, V. A. Romanenko, S. A. Nikitin, V. I. Polezhaev, V. V. Sazonov; Simulation of Heat Fields with Regards to Microaccelerations on the Spacecraft 'FOTON'. Proceeding of the International Conference Scientific and Technological Experiments on Russian Foton/Bion Recoverable Satellites: Results, Problems and Outlooks, Samara, Russian Federations, June 2000, pp. 133-136.

3. V. V. Vasiliev, V. V. Salmin, V. V. Biryuk, V. I. Abrashkin, A. E. Kazakova; Thermal Fields Computer Simulation at the "Foton" Spacecraft. Proceeding 54nd International Astronautical Congress, Sep.-Oct. 2003, Bremen, Germany, IAC-03-J.P.17.

4. V. V. Vasiliev, G. P. Anshakov, A. V. Abrashkin, V. V. Biryuk, A. E. Kazakova, V. V. Salmin; COMPLEX THERMAL FIELDS SIMULATION ON BOARD THE "FOTON" SPACECRAFT, Proceeding 55th International Astronautical Congress, Oct. 4-8, Vancouver, Canada, 2004, IAC-04-J.P.03

5. Аншаков Г. П., Бирюк В. В., Васильев В. В., Салмин В. В. Численное моделирование теплового состояния на космическом аппарате «Фотон» // Сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции «Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей», Октябрь 5-7, СГАУ. - Самара, 2004. - С. 9-16.

6. SolidWorks 2001, User's Manual, 2001.
7. ANSYS Release 8.0, Documentation, 2003.
8. Patankar S.V.; Numerical, Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere, Washington, DC, 1980.
9. Залетаев В. М. и др. Расчет теплообмена космического аппарата. - М.: Машиностроение, 1978.
10. Петровский И. Г. Лекции по теории интегральных уравнений, 3 изд. - М., 1965.

SIMULATING THERMAL FIELDS OF COMPLEX CLOSED STRUCTURE ABOARD RESEARCH SPACE LABORATORY

© 2006 G. P. Anshakov¹, V. V. Biruk², V. V. Vasiliev², V. V. Nikonov², V. V. Salmin

¹«Progress» Design Bureau

²Samara State Aerospace University

Thermal fields are simulated inside the reentry vehicle (RV) of the space lab "Proton". The object under investigation is a sphere filled with air with solid heat – releasing bodies (scientific devices and apparatus), heat regulations system and fans inside it.

The results obtained provide an idea of the objects temperature conditions depending on the operating condition of the heat regulation system. They also make it possible to elaborate recommendation to improve the system's efficiency and to simulate the heat flows in advance numerically for optimal location of scientific apparatus inside the RV.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТОПЛИВНОЙ АВТОМАТИКИ НА РЕЖИМАХ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ

© 2006 Д. А. Ахмедзянов, И. А. Кривошеев, Р. А. Сунарчин

Уфимский государственный авиационный технический университет

Рассмотрены вопросы совместного моделирования авиационных турбореактивных двигателей и топливорегулирующей аппаратуры в переходных процессах (приемистость, сброс, встречная приемистость). Сравняются два подхода – принятый при проектировании систем управления метод структурных схем, передаточных функций, использования преобразований Лапласа и уравнения «свертки» и используемый при проектировании двигателя метод на основе имитационного моделирования. Показана необходимость проведения работ по созданию инструментальных средств для проведения исследований и анализа динамики двигателя совместно с системой автоматического регулирования.

Современный двигатель (газотурбинный (ГТД), комбинированный и т. д.) – это сложная, многомерная динамическая система. Для авиационного ГТД основными особенностями работы являются высокая напряженность рабочего процесса, многорежимность и широкий диапазон изменения параметров внешней среды, управляющих и других воздействий. В соответствии с термодинамической и механической основой рабочих процессов в ГТД при его моделировании основными являются фундаментальные уравнения сохранения массы, движения и энергии. В зависимости от этапа проектирования и доводки их целесообразно использовать в трех-, двух-, одно- и нульмерной постановках [1]. Для моделирования нестационарных процессов в уравнениях должны учитываться процессы накопления (расходования) вещества и энергии (механической, внутренней, производимой газом работы) в элементах двигателя (в проточной части, в роторе и т. д.). При этом часть элементов двигателя, такие, как камера сгорания, лопаточные машины (компрессор и турбина), достаточно трудно описать аналитически, и их модели чаще используют в эмпирической форме в виде так называемых «характеристик», например, в виде графических, табличных или регрессионных зависимостей.

В практике разработки систем автоматического регулирования (САР) и управления (САУ), напротив, наибольшее распространение получили линейные аналитические методы моделирования. Основным и весьма

эффективным методом исследования динамики систем регулирования является частотный метод, основанный на обыкновенной линеаризации нелинейных характеристик с последующими интегральными преобразованиями дифференциальных уравнений [2, 3]. Существует ряд систем компьютерного моделирования (СИАМ, Simulink в составе MatLab), в решателе которых реализован именно такой подход. При проектировании систем регулирования и управления статическими режимами двигателя такое разделение методов моделирования и проектирования систем управления и двигателя вполне оправдано и при малых отклонениях от статических равновесных режимов обеспечивает приемлемое качество результатов разработки САУ, ГТД и силовой установки в целом.

Однако, как все чаще признается в последнее время (например, в практике работы зарубежных фирм, таких, как General Electric, Rolls&Rouse), такое разобщение в разработке двигателя (особенно если речь идет о ГТД IV поколения) и его САУ становится недопустимым. В первую очередь, это относится к рассмотрению переходных процессов разгона (запуск, приемистость) и торможения (сброс, останов) двигателя.

Разгон и торможение двигателя являются существенно нестационарными процессами с достаточно большими сигналами управления, и применение линейных методов здесь приводит к большим погрешностям. В настоящее время для оптимизации управления переходными процессами применяются регуля-

торы с переменной структурой, линеаризация характеристик которых практически невозможна. Особенно показательно все сказанное для рассмотрения случая «встречной приемистости», когда после перевода ручки управления двигателем (РУД) с режима «максимал» или «полный форсаж» на «малый газ», не дожидаясь завершения переходного процесса, пилот дает обратную команду. Такая ситуация не редкость в практике воздушного боя или при нештатной посадке (заход на второй круг).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для совместного моделирования системы управления и двигателя следует регулятор, так же как и двигатель, описывать с помощью фундаментальных уравнений сохранения, представленных в виде нелинейных (при нульмерной постановке - обыкновенных) дифференциальных уравнений. На практике программы подачи топлива на режимах приемистости и сброса могут быть разными в зависимости от конструкции, параметров и способов регулирования. Для минимизации времени приемистости приходится выбирать программу, при которой регулируемые параметры были бы по возможности близки к их предельным значениям, обусловленным существующими в двигателе ограничениями. Для обеспечения разгона (торможения) ротора двигателя необходимо приложить избыточный движущий момент, т. е. обеспечить избыточную подачу топлива. Это осуществляется с помощью специальных регулирующих устройств, устанавливаемых параллельно регуляторам статических режимов.

В принципе, такие избытки топлива можно создать с помощью регулятора статических режимов, например регулятора, работающего по программе $n = const$, путем резкого зажатия пружины центробежного датчика частоты вращения. Но по известным соображениям разгон двигателя, как правило, выполняется отдельным регулятором или же статический регулятор дополняется специальными устройствами, ограничивающими темп нарастания расхода топлива (во избежание возникновения помпажа в компрессоре или богатого срыва горения в камере сгорания).

Сложность разработки таких регуляторов обусловлена тем, что при изменении условий полета летательного аппарата смещается граница помпажа и расслаивается линия разгона. Наиболее неблагоприятными являются полеты с максимальной высотой и минимальным числом Маха, и если регулятор настроен на эти условия, то на малых высотах и больших скоростях время разгона может оказаться недопустимо большим.

Системы регулирования переходных режимов совершенствовались в соответствии с ужесточением требований к качеству переходных процессов в двигателе. На первых этапах ГТД оснащались временными регуляторами, которые в совокупности с двигателем образуют разомкнутую САР.

Типичными представителями временных регуляторов, применяемых в настоящее время, являются гидрозамедлитель (ГЗ) и ограничитель нарастания давления (ОНД). Оба этих элемента по сути ограничивают темп изменения подачи топлива в основную камеру сгорания, но первый устанавливается в механической, а второй в гидравлической (топливной) части системы управления. Гидрозамедлитель устанавливается либо в кинематической цепи настройки статического регулятора, либо в гидравлической системе, управляющей скоростью перемещения дозирующих устройств. В обоих случаях задача заключается в том, чтобы независимо от темпа перемещения РУД обеспечить перемещение дозирующего органа с конечной постоянной скоростью.

Ограничители нарастания давления также ограничивают темп нарастания расхода топлива, но за счет ограничения скорости нарастания давления топлива перед распределительным клапаном и форсунками.

Схемы ГЗ и ОНД отличаются простотой, стабильностью характеристик, легкостью регулировки. Однако им свойственен ряд недостатков, основным из которых является разомкнутый характер регулирования и отсутствие адаптивности - реакции на изменение внешних условий и характеристик двигателя.

По мере расширения диапазона высоты и скорости полета и ужесточения требо-

ваний к показателям качества регулирования стали проявляться недостатки временных регуляторов, что и привело в конечном счете к распространению замкнутых систем управления разгоном авиационного двигателя. В настоящее время автоматы разгона применяются практически повсеместно. Рассмотрим моделирование устройств разгона на примерах гидрозамедлителя и временного автомата разгона.

Гидрозамедлитель является типичным временным регулятором разгона и осуществляет перемещение регулирующего органа с заданным темпом при любом законе задающего воздействия. Гидрозамедлитель, принципиальная схема которого показана на рис. 1, работает следующим образом. На расчетном установившемся режиме работы системы подвижная часть гидрозамедлителя находится в равновесном положении.

Количество топлива, поступающего от клапана постоянного давления через дроссельный пакет наполнения f_1 под поршень 6, равно количеству топлива, идущего на слив через канал в штоке 8, полуприкрытый ползуном 11. Давление топлива под поршнем поддерживается таким, чтобы усилие от давления топлива уравновешивалось усилием пружины 2 справа. При переводе рычага управления в положение более высокого режима (увеличение угла наклона $\alpha_{обв}$) промежуточный рычаг передвигает ползун 11 вправо. Передвигаясь вправо, ползун 11 перекрывает

отверстие в штоке 8 и прекращает (или уменьшает) слив топлива из под поршня.

Давление под поршнем возрастает, и поршень двигается вправо, перетягивая пружину центробежного регулятора или передвигая дозирующий орган. Поршень со штоком будет двигаться вправо до тех пор, пока не откроется отверстие в штоке и вновь не наступит положение равновесия. При переводе рычага управления в сторону уменьшения частоты вращения ползун 11 под действием пружины 9 пойдет влево и откроет отверстие в штоке. Давление под поршнем гидрозамедлителя уменьшается, т. к. количество сливаемого топлива будет больше нагнетаемого, что обеспечивается большей приливкой f_2 по сравнению с пакетом f_1 . Поршень под действием пружины 2 пойдет влево, уменьшая затяжку пружины центробежного регулятора (или проходное сечение дозирующего устройства).

На схеме гидрозамедлитель изображен в исходном (расчетном) состоянии, соответствующем, например, $n = n_0$. Поршень занимает положение $y = y_0$, обусловленное начальным значением ширины щели $x = x_0$ и силой начальной затяжки пружины C_1 (жесткость пружины $C_2 \ll C_1$ и потому в силовом балансе не рассматривается).

Дроссельный пакет f_1 определяет скорость разгона, а пакет f_2 - торможение двигателя. Так как скорость сброса частоты вращения может несколько превышать скорость

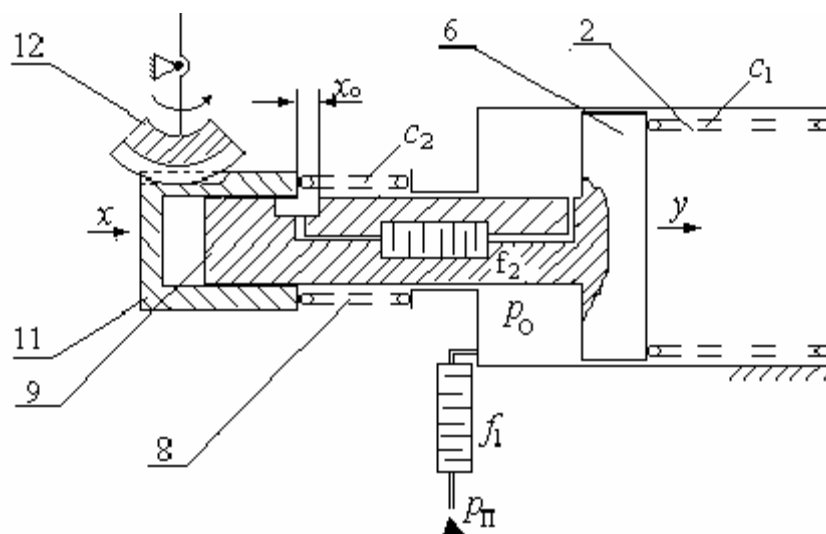


Рис. 1. Принципиальная схема гидрозамедлителя

разгона, то обычно $f_1 < f_2 < b \cdot 2 \cdot x_0$, где b – средняя длина щели.

Баланс сил давления p_0 и пружины C_1 в исходном состоянии обуславливает равновесие.

Процесс гидрозамедлителя для разгона при обычных допущениях можно описать системой уравнений:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = pF - k_v \frac{dy}{dt} - c(y_i + y_0 + y) - F_c \text{Sign}\left(\frac{dy}{dt}\right),$$

$$m f_u \sqrt{\frac{2}{r}(p_i - p)} = m f_u \sqrt{\frac{2}{r} p_2} + \frac{V_0 + F_1 y}{E} \frac{dp}{dt} + F \frac{dy}{dt}, \quad (1)$$

где m , F – соответственно масса и площадь поршня; k_v – коэффициент вязкого трения; c – жесткость пружины; y_n , y_0 – соответственно начальная затяжка и координата исходного положения; f_1 , f_u – соответственно площадь

ди входного дросселя и щели; F_c – сила контактного (сухого) трения; y – координата положения поршня; p – давление в управляемой полости.

Площадь и ширина щели определяется по формулам: $f_u = b X_u$, $X_u = x_0 - \Delta x + \Delta y$.

Однако, если $x_0 - \Delta x + \Delta y < 0$, то ширину щели следует считать равной нулю: $X_u = 0$.

Нетрудно видеть, что в основу гидрозамедлителя положен обычный гидромеханический следящий привод с единичной обратной связью. В случае небольших и медленных перемещений ручки управления ($\Delta x < x_0$) гидрозамедлитель является кинематическим звеном с коэффициентом передачи, равным единице. Линейные характеристики следящего гидропривода хорошо известны. Например, на рис. 2 представлена структурная схема, а на рис. 3 – границы устойчивости ГЗ.

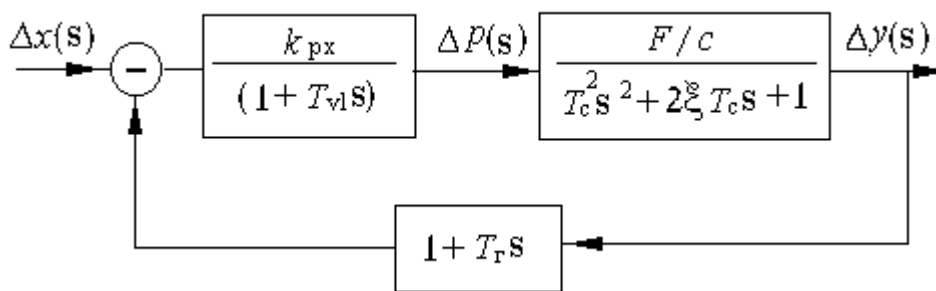


Рис. 2. Структурная схема гидрозамедлителя

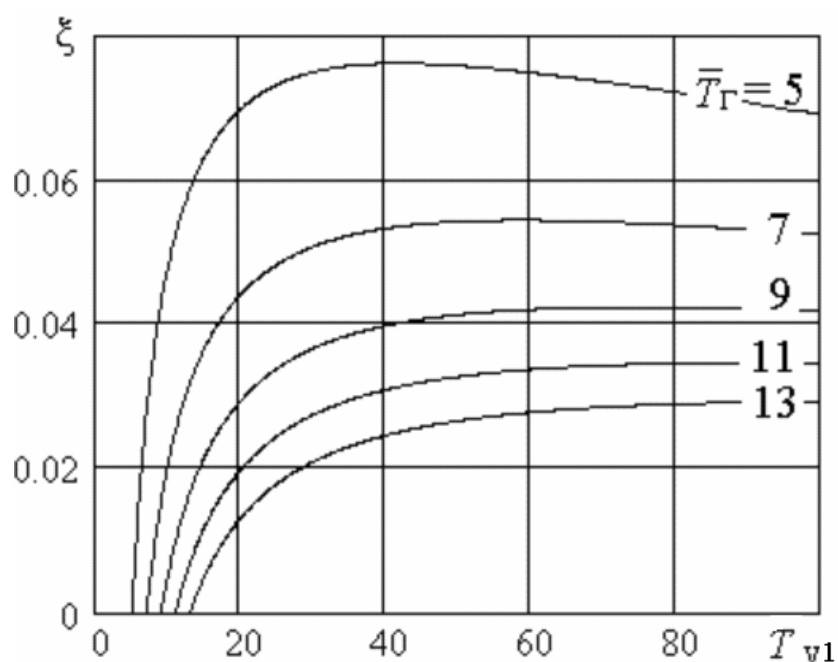


Рис. 3. Границы устойчивости гидрозамедлителя

Однако для гидрозамедлителя работа в качестве следящего привода не является основной функцией. Основная работа гидрозамедлителя начинается в случае больших и быстрых перемещений РУД. Сливная щель при этом полностью перекрывается, причем перекрытие может в несколько раз превышать начальную ширину щели. На рис. 4 показаны переходные процессы в случае больших и малых перемещений РУД. В первом случае (рис. 4, а) вначале, когда $X_{щ} = 0$, поршень движется с практически постоянной скоростью (небольшие отклонения от линейности могут быть за счет пружины c_2 , но она обычно имеет малую жесткость) и только под действием потока жидкости, поступающего через дроссельный пакет f_1 , и только в конце процесса, когда щель открывается, скорость быстро падает до нуля.

Во втором случае (рис. 4, б) имеет место обычный переходный процесс следящего привода. Приведенные графики показывают, почему при разгоне нельзя пользоваться линейной моделью. Важнейшие особенности физического процесса гидрозамедлителя практически теряются при попытке линеаризации его характеристик.

Другой, еще более характерный пример регулятора с перестраиваемой (адаптивной) структурой, показан на рис. 5. В данном случае это всережимный регулятор, обеспечивающий и стабилизацию стационарных режимов, и дозирование топлива на переходных режимах. При небольших возмущениях ($dh < 3\%$) он представляет собой изодромный регулятор частоты вращения, математическую модель которого можно линеаризовать и с успехом использовать для анализа.

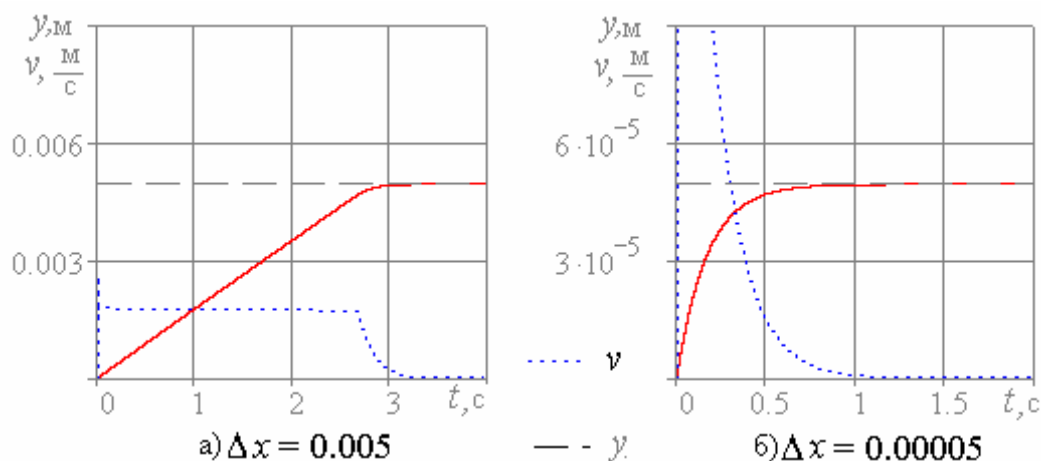


Рис. 4. Сравнение переходных процессов в ГЗ при различной величине ступенчатого перемещения РУД

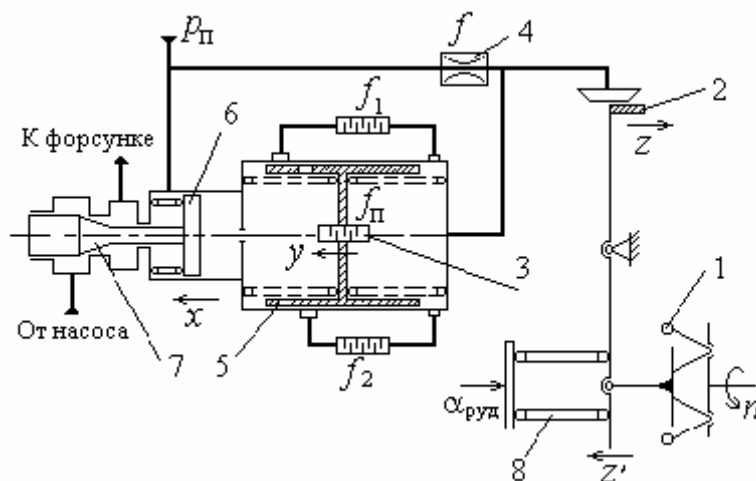


Рис. 5. Схема автомата разгона временного типа

Если управляющие воздействия со стороны РУД будут настолько велики, что поршень 5 дойдет до левого (разгон) или правого (торможение) упоров, то работа устройства и система уравнений существенно изменятся. Перемещение и скорость поршня 5 будут отсутствовать, а в некоторых случаях щель маятникового распределителя 2 будет некоторое время полностью закрыта или открыта. Поэтому функциональная схема системы регулирования разгона (рис. 6) дополнительно включает в себя нелинейное звено типа реле с нечувствительностью и звено сравнения ширины щели.

Величина зоны нечувствительности несколько меньше максимального хода y_m поршня изодрома 5, при достижении которой к основному дроссельному пакету подключаются дополнительные дроссельные пакеты f_1 или f_2 с большой (по сравнению с основным дроссельным пакетом) производительностью Q_1 или Q_2 за счет чего и достигается быстрый разгон или торможение двигателя.

Звено сравнения оценивает ширину щели. Понятно, что физически ширина щели не может быть отрицательной, поэтому в этом случае она принудительно считается равной нулю. Здесь применение линейных методов не имеет шансов на успех.

При составлении модели приняты следующие допущения: коэффициенты расхода дросселей и дросселирующей щели считаются постоянными (квадратичный режим истечения); жидкость невесомая и соблюдается условие неразрывности; масса рычага 2 и присоединенная масса жидкости – малы; гидродинамическая сила на заслонке отсутствует; параметры – сосредоточены; волновые явления отсутствуют.

Для случая разгона математическая модель регулятора в форме Коши и записанная для отклонений имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= \Delta v; \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{m} (F\Delta p - c_{\Sigma} Y 0(y) - k_v Y 1(y) v - F_c); \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{E}{V_{\Sigma} + F_u \Delta y} \left(mf \sqrt{\frac{2}{r} (p_0 f_{01}^2 - \Delta p)} - \right. \\ &\quad \left. - mb Z(z) \sqrt{\frac{2}{r} (p_0 + \Delta p)} - F_u Y 1(y) v - \right. \\ &\quad \left. - mf_1 \sqrt{\frac{2}{r} \Delta p} - m F 1(y) \sqrt{\frac{2}{r} \Delta p} \right); \\ \frac{dx}{dt} &= \frac{1}{F_d} \left(mf_1 \sqrt{\frac{2}{r} \Delta p} + m F 1(y) \sqrt{\frac{2}{r} \Delta p} \right) \end{aligned}$$

где $Y 0(y) = if(y < y_m, y, y_m)$ - функция пользователя, ограничивающая перемещение поршня изодрома;

$Y 1(y) = if(y < y_m, 1, 0)$ - функция пользователя, ограничивающая скорость поршня изодрома;

$Z(z) = if((z_0 - \Delta z_0 + \Delta z) > 0, (z_0 - \Delta z_0 + \Delta z), 0)$ - функция пользователя, не позволяющая ширине щели маятникового распределителя становиться отрицательной;

$F 1(y) = if(y < y_m \cdot N, 0, f_1)$ - функция пользователя, определяющая включение дросселя f_1 . Число N изменяется от нуля до единицы и оценивает положение точки включения дросселя f_1 по отношению к максимальному перемещению поршня.

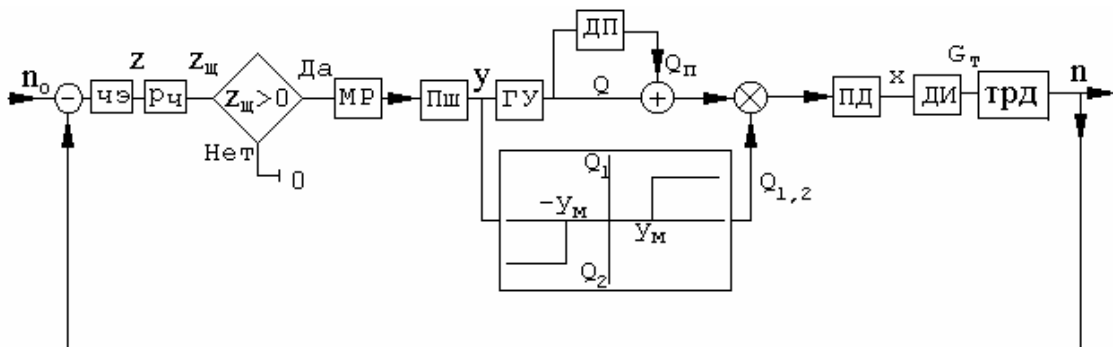


Рис. 6. Функциональная схема временного регулятора разгона

Типовые результаты интегрирования размерной модели при нулевых начальных условиях приведены на рис. 7.

Сравнивая эти графики с переходными процессами обычного изодромного регулятора, видим, какие произошли изменения. На участке *OC* маятниковый распределитель 2 полностью закрыт и поршень 5 движется с максимальной скоростью. Появились характерные точки *C* (посадка поршня на упор) и *D* (сход поршня с упора). На участке *CD* поршень изодрома находится на упоре и поршень дозирующей иглы движется под действием расходов жидкости через дроссели f_{II} и f_I . Начиная с точки *D*, поршень 5 возвращается в исходное положение, а дозирующая игла медленно, но точно добавляет необходимое для отработки заданного управляющего сигнала количество топлива.

Все вышеприведенное относится к принятому в теории автоматического управления методу, основанному на структурных схемах, передаточных функциях, преобразованиях Лапласа, функции свертки. Графики получены с использованием системы моделирования Simulink (в составе Matlab), в решателе которого и реализованы эти методы.

С другой стороны, авторами в работе [4] показана эффективность имитационного моделирования двигателя совместно с элементами системы управления в системе имитационного моделирования DVIGwp [5, 6]. При таком моделировании гораздо меньше условностей – каждый функциональный элемент двигателя или системы управления изображается своей пиктограммой, в его алгоритме явным образом записываются нелинейные дифференциальные уравнения (и другие условия), описывающие его функционирование, связи элементов между собой («потoki») моделируют реальные потоки вещества (газа, жидкости), механической энергии (а также сил, линейных и угловых перемещений и скоростей).

Для примера на рис. 8 показана модель одновального ТРД с элементами автоматики – РУД, ГЗ и регулятором подачи топлива в разработанной системе DVIGwp.

Предусмотрена возможность описывать работу элементов автоматики как в виде характеристик, например, для регулятора подачи топлива - $G_T = f(n, a_{D\dot{\alpha}})$, для гидрозамедлителя - $a_{D\dot{\alpha}} = f(t)$, так и в виде

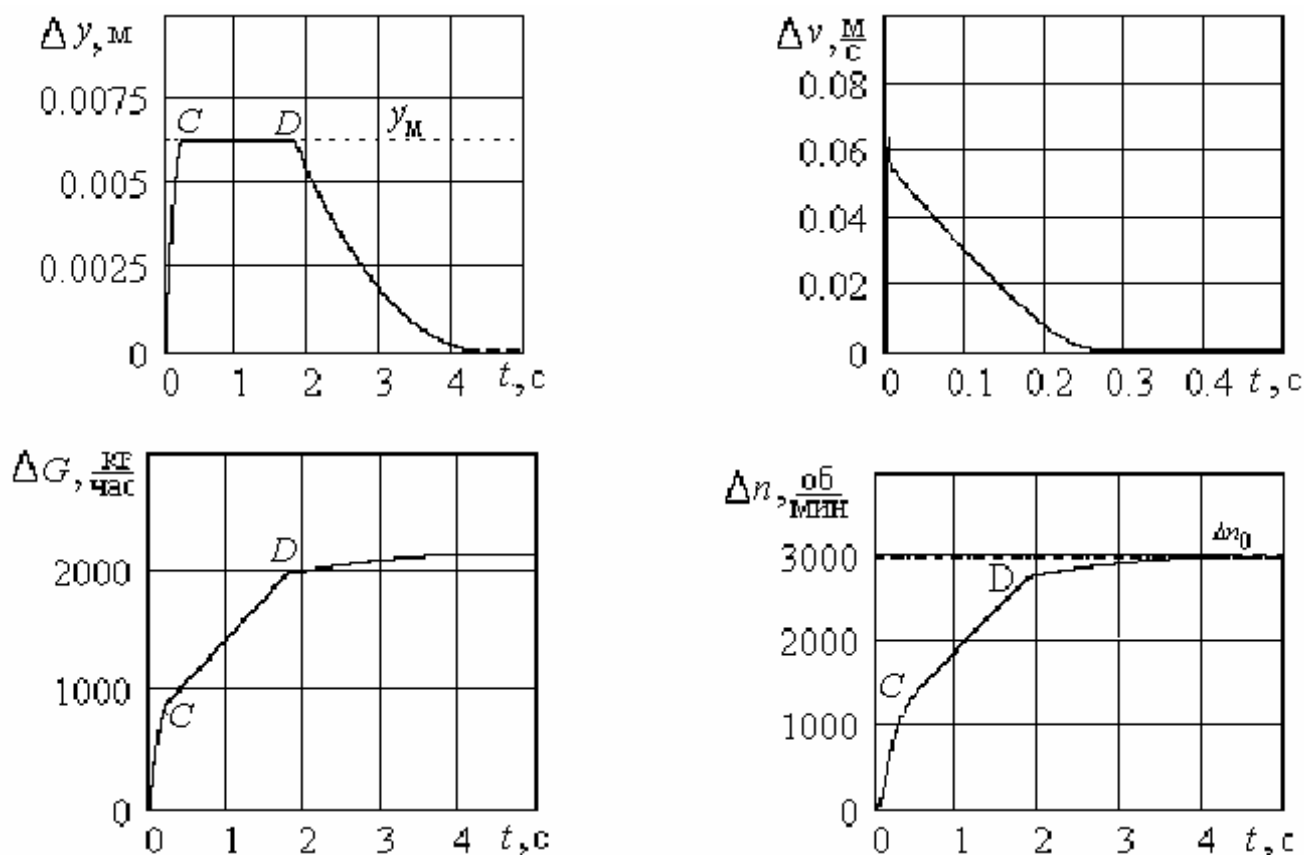


Рис. 7. Типовые переходные процессы временного автомата разгона

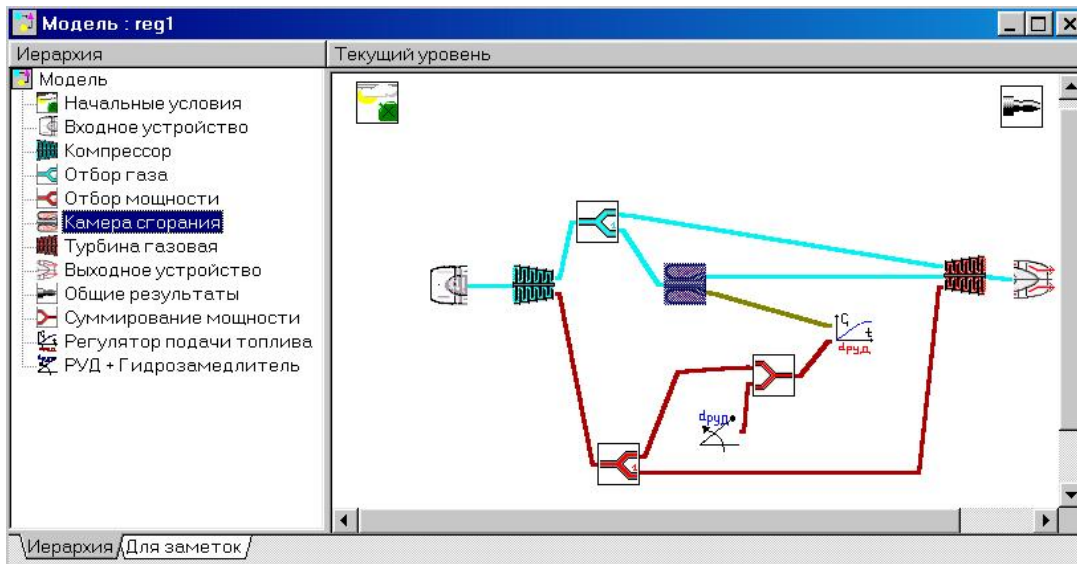


Рис. 8. Структурная схема модели одновального ГТД с элементами автоматики в системе DVIGwp

более детализированных алгоритмов, учитывающих конструкцию элементов, например массу и площадь поршня, жесткость пружины, площади входного дросселя и щели и т. д. Реализация такого подхода в системе имитационного моделирования в дальнейшем даст возможность решать задачи как анализа, так и синтеза. Имитационная модель позволяет решать произвольные проектно-доводочные и возникающие при эксплуатации двигателя задачи. Для примера на рис. 9, 10, 11 приведены результаты моделирования встречной приемистости - изменения пара-

метров - частоты вращения, запаса газодинамической устойчивости K_y и тяги двигателя. При моделировании задавались реальные характеристики узлов двигателя, а параметры гидрозамедлителя подбирались из условия отсутствия помпажа, а также бедного и богатого срыва горения в камере сгорания.

Приведенные результаты показывают, что современные средства имитационного моделирования позволяют повысить качество проектирования и доводки двигателя, его системы управления и силовой установки в целом [7]. При этом традиционные методы

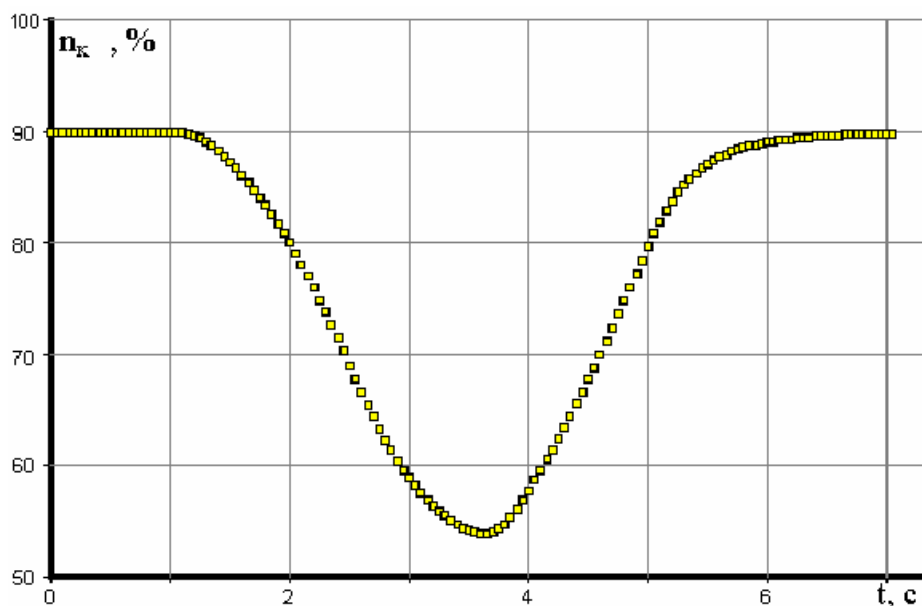


Рис. 9. Циклограмма частоты вращения ротора, полученная при моделировании встречной приемистости

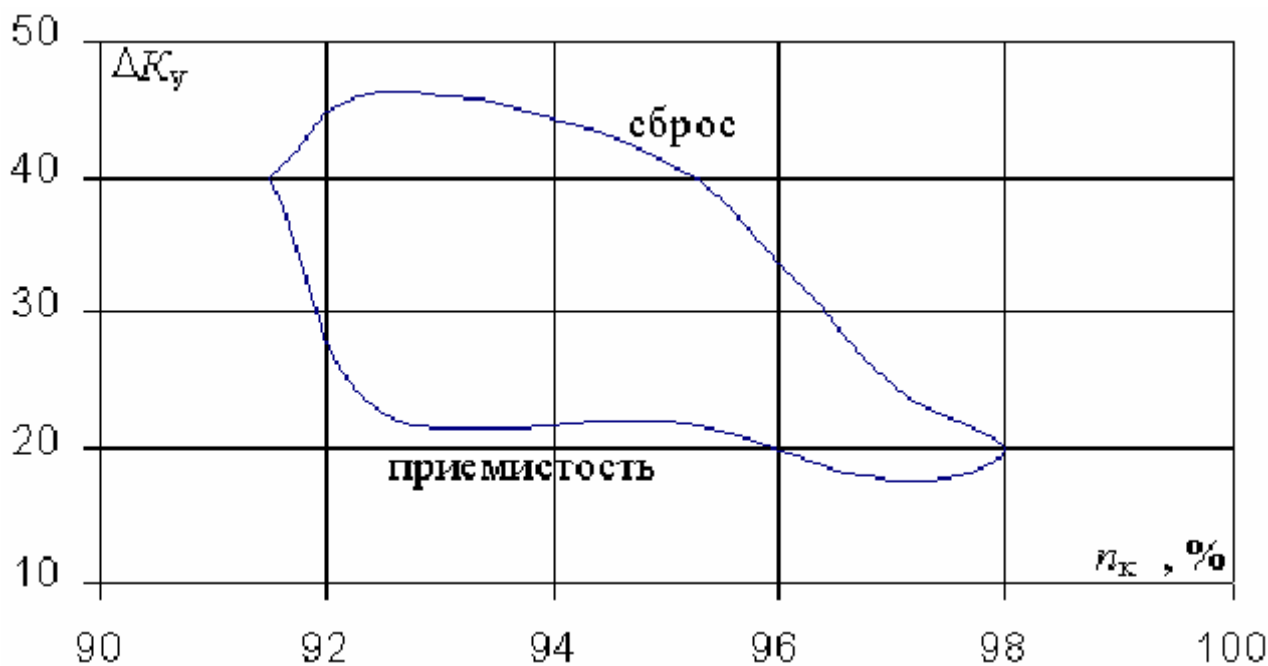


Рис. 10. Изменение запаса устойчивости компрессора при встречной приемистости

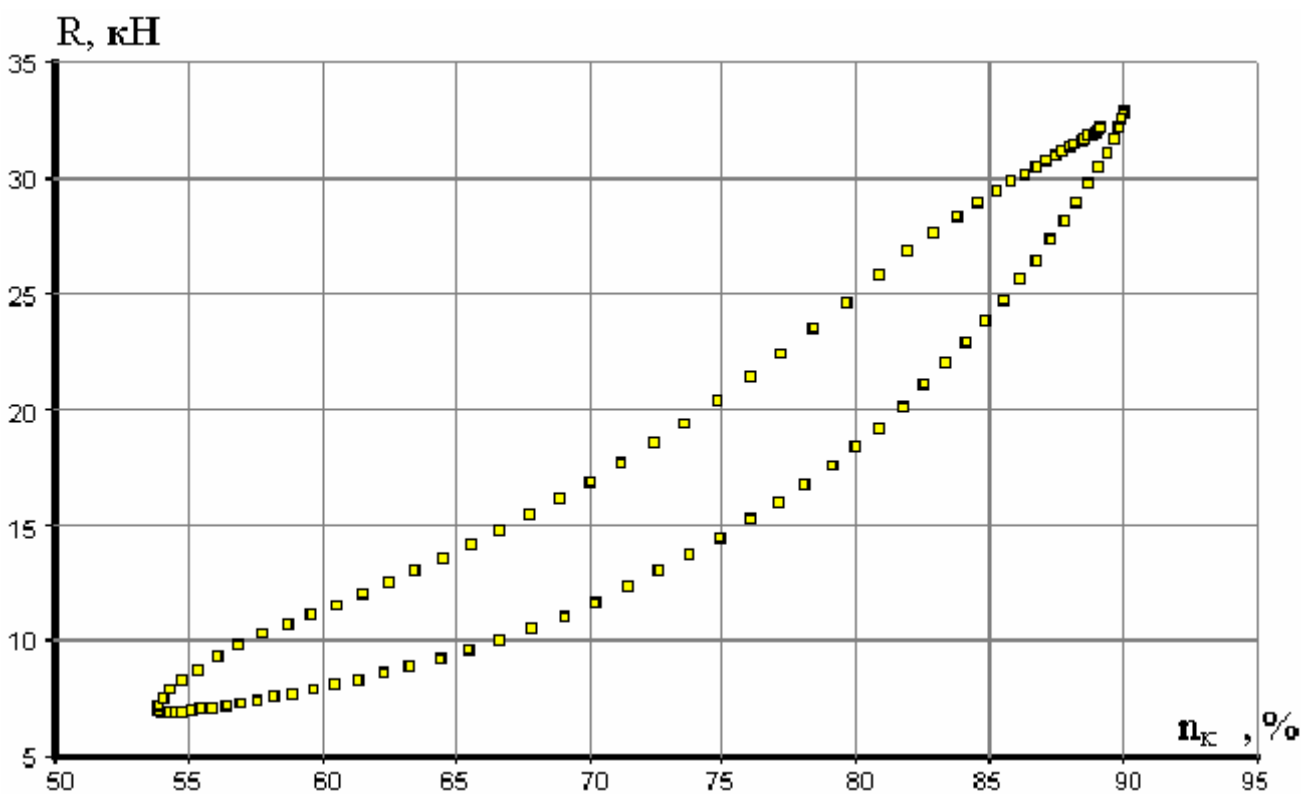


Рис. 11. Зависимость тяги двигателя от частоты вращения ротора

ТАУ не теряют своей актуальности, их целесообразно сочетать с новыми возможностями, предоставляемыми универсальными системами имитационного моделирования работы авиационных ГТД совместно с элементами их систем управления и контроля.

Список литературы

1. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. Учебник для вузов / Под ред. проф. Ахмедзянова А. М. – М.: Машиностроение, 2000.

2. Норенков И. П. Разработка САПР. Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1994.

3. Чуян Р. К. Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие для студентов авиадвигателестроительных специальностей вузов. – М: Машиностроение, 1988.

4. Гумеров Х. С., Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А. Моделирование совместной работы авиационных ГТД и элементов топливной автоматики на переходных режимах в компьютерной среде DVIG. // Известия вузов. Авиационная техника. - Казань, 2002, № 1. - С. 43-46.

5. Математические модели авиационных двигателей произвольных схем (компьютерная среда DVIG). Учебное пособие / Под ред. проф. Ахмедзянова А. М. - Уфа: изд. УГАТУ, 1998.

6. Ахмедзянов Д. А., Кривошеев И. А. Система термогазодинамического моделирования газотурбинных двигателей на переходных режимах работы. Свидетельство об официальной регистрации № 2004610868, Москва, Роспатент, 2004.

7. Тунаков А. П., Кривошеев И.А., Ахмедзянов Д. А. САПР авиационных ГТД. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2005.

JOINT OPERATION OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES AND FUEL AUTOMATED EQUIPMENT IN ACCELERATION AND BRAKING MODES

© 2006 D. A. Akhmedzyanov, I. A. Krivosheyev, R. A. Sunarchin

Ufa State Aviation Technical University

Problems of joint modeling of aircraft turbojet engines and fuel-regulating equipment in transition processes are discussed. Two approaches are compared- the method of structural patters, transfer functions, using Laplace transformations accepted for designing control systems and the method based on imitation modeling which is used when designing an engine. The paper shows the necessity of creating devices to carry out investigations and to analyze the engine dynamic in conjunction with the system of automatic regulation.

ПРОБЛЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГРУЗОВ ВЕРТОЛЕТОМ НА ВНЕШНЕЙ ПОДВЕСКЕ

© 2006 И. В. Белоконов¹, Д. А. Моисейкин², В. А. Попов³

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Сызранское высшее военное авиационное училище летчиков (военный институт)

³Федеральное управление авиационно-космического поиска и спасания

Исследуется возможность использования спутниковой радионавигационной системы для навигационной поддержки выполнения вертолетом задачи транспортировки грузов на внешней подвеске. Приводится функциональная схема решения задачи навигации и алгоритм определения вектора взаимного положения вертолета и груза при комплексировании измерений, поступающих от двух навигационных приемников. Оценка эффективности предложенной схемы осуществляется по численным результатам статистического моделирования рассматриваемых алгоритмов.

Транспортировка грузов на внешней подвеске является одной из основных задач, решаемых на вертолете. Данный вид полетов обладает определенной спецификой, поэтому необходимым условием допуска экипажей к его выполнению является опыт полетов на вертолете с максимальным взлетным весом. Система внешней подвески входит в состав транспортного оборудования вертолета и предназначена для подвески груза под фюзеляжем и его транспортировки, а также для быстрой отцепки груза на месте доставки.

Успешное выполнение полетов с грузами на внешней подвеске в значительной степени зависит от слаженности и четкого взаимодействия летчика и бортового техника. Специфическими особенностями транспортировки грузов на внешней подвеске являются [1–4]:

1. Смещение центра тяжести системы «вертолет-груз» вдоль вертикальной оси вниз и, следовательно, изменение характеристик устойчивости и управляемости.

2. Значительная функциональная загрузка бортового техника в полете.

3. Зависание вертолета при выполнении взлета и посадки производится на высоте, обеспечивающей расстояние от груза до земли не менее 3 метров. Данное требование обуславливается соображениями безопасного выполнения разгона скорости и перемещений на висении. При этом летчику необходимо учитывать геометрические размеры подвески и груза.

4. В полете поведение груза на внешней подвеске в основном определяется его аэродинамической формой. Поэтому во избежание излишних раскачиваний и закруток груза летчику в начале полета, изменяя скорость, необходимо подобрать такой режим, при котором поведение груза будет более спокойным.

5. Предыдущий пункт накладывает значительные ограничения на летные характеристики вертолета: развороты производятся с креном не более 10 градусов, минимальная скорость горизонтального полета – 80 км/ч.

6. Под действием силы лобового сопротивления груз в полете уходит под хвостовую балку. Зачастую эргономические особенности кабины экипажа не позволяют летчику видеть груз. В этом случае он может судить о положении груза только по докладам бортового техника, наблюдающего через блистеры грузовой кабины.

7. На высотах менее 50 метров барометрический высотомер не работает. При наличии крупногабаритного груза на внешней подвеске показания радиовысотомера имеют неустойчивый характер, и пользоваться ими не рекомендуется.

Облегчить выполнение задачи транспортировки груза на внешней подвеске позволит обеспечение летчика в полете дополнительной информацией о взаимном расположении вертолета, груза и земной поверхности. Оборудование, выдающее такую информацию, может быть реализовано на базе

двух приемников системы спутниковой навигации, линии передачи данных и алгоритмов определения взаимного положения. Структурная схема системы представлена на рисунке 1. Один навигационный приемник (НП) располагается непосредственно на грузе, в месте его крепления к подвеске. Второй – приемник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) из состава навигационного комплекса (НК) вертолета. В качестве линии передачи данных (ЛПД) может использоваться кабельная проводка либо радиосвязь УКВ диапазона с автоматическим передатчиком на грузе и приемником на вертолете.

Для рассмотрения работы системы необходимо подробнее остановиться на существующих алгоритмах определения взаимного положения: слабосвязанной и сильносвязанной схеме. Однако перед этим графически сформулируем задачу определения вектора взаимного положения. На рисунке 2 представлена связанная с Землей геоцентрическая система координат $\hat{X}_A \hat{Y}_A \hat{Z}_A$. Положение объекта в ней характеризуется тремя прямоугольными координатами – δ, \acute{o}, z . С помощью радиус-векторов ($r_{i1}, r_{i2}, r_A, r_{\hat{A}}$) показано местоположение навигационных спутников и приемников СРНС на вертолете и грузе относительно центра притяжения. При этом псевдодальность до первого спутника, вычисляемая приемником на вертолете, определяется как разность векторов:

$$\begin{aligned} |\bar{D}_{A1}| &= |\bar{r}_{\hat{A}} - \bar{r}_{i1}| = \sqrt{\Delta\delta_{A1}^2 + \Delta\acute{o}_{A1}^2 + \Delta z_{A1}^2} = \\ &= \sqrt{(\delta_{\hat{A}} - \delta_{i1})^2 + (\acute{o}_{\hat{A}} - \acute{o}_{i1})^2 + (z_{\hat{A}} - z_{i1})^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогично определяются и три другие псевдодальности:

$$|\bar{D}_{A2}| = |\bar{r}_{\hat{A}} - \bar{r}_2| = \sqrt{(\delta_{\hat{A}} - \delta_2)^2 + (\acute{o}_{\hat{A}} - \acute{o}_2)^2 + (z_{\hat{A}} - z_2)^2}$$

- псевдодальность до второго спутника, вычисляемая приемником на вертолете;

$$|\bar{D}_{A1}| = |\bar{r}_{\hat{A}} - \bar{r}_1| = \sqrt{(\delta_{\hat{A}} - \delta_1)^2 + (\acute{o}_{\hat{A}} - \acute{o}_1)^2 + (z_{\hat{A}} - z_1)^2}$$

- псевдодальность до первого спутника, вычисляемая приемником на грузе;

$$|\bar{D}_{A2}| = |\bar{r}_A - \bar{r}_2| = \sqrt{(\delta_A - \delta_2)^2 + (\acute{o}_A - \acute{o}_2)^2 + (z_A - z_2)^2}$$

- псевдодальность до первого спутника, вычисляемая приемником на грузе.

Вектор взаимного положения \vec{a} характеризует местоположение антенны спутникового навигационного приемника на грузе относительно антенны приемника на вертолете:

$$\begin{aligned} |\vec{a}| &= |\bar{r}_{\hat{A}} - \bar{r}_A| = \sqrt{(\delta_{\hat{A}} - \delta_A)^2 + (\acute{o}_{\hat{A}} - \acute{o}_A)^2 + (z_{\hat{A}} - z_A)^2} = \\ &= \sqrt{\hat{a}_\delta^2 + \hat{a}_\acute{o}^2 + \hat{a}_z^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\hat{a}_\delta, \hat{a}_\acute{o}, \hat{a}_z$ - проекции вектора относительного положения на оси геоцентрической системы координат.

Алгоритм слабосвязанной схемы определения взаимного положения предполагает

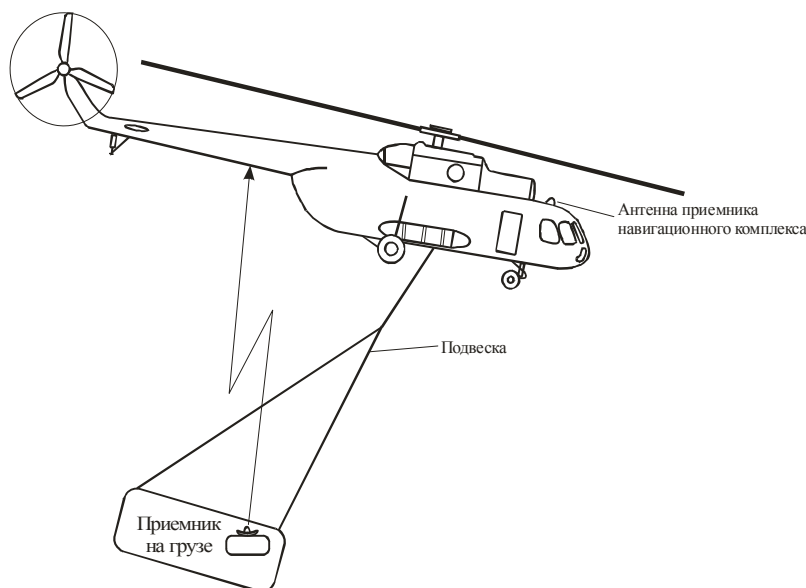


Рис. 1. Система определения взаимного положения вертолета и груза при транспортировке на внешней подвеске

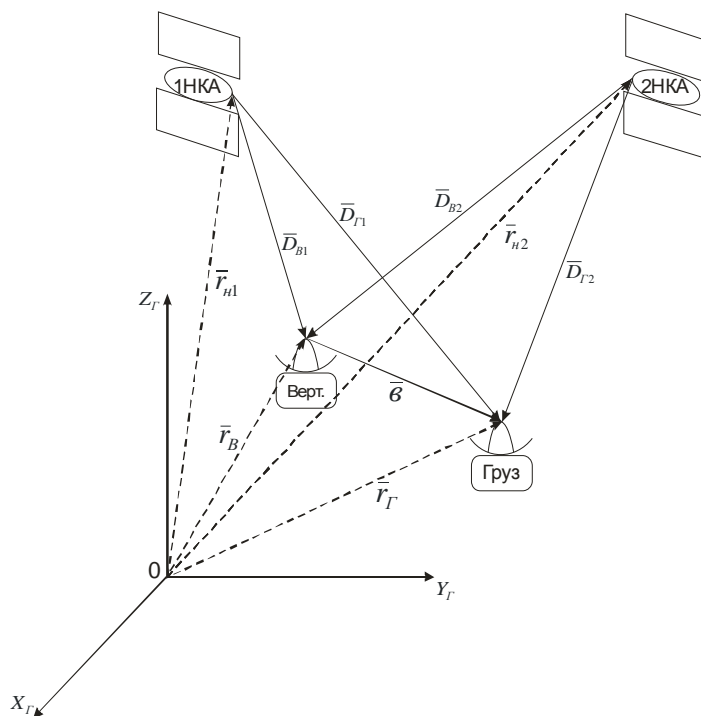


Рис. 2. Схема сильносвязанного алгоритма определения взаимного положения

вычисление всех составляющих векторов навигационных параметров на каждом приемнике. Составляющие вектора взаимного положения рассчитываются как разность соответствующих составляющих данных векторов, т. е. для системы «вертолет – груз»

$$\hat{a}_\delta = \tilde{\delta}_A - \tilde{\delta}_G; \hat{a}_\rho = \hat{\rho}_A - \hat{\rho}_G; \hat{a}_z = z_A - z_G, \quad (3)$$

где $\tilde{\delta}_A, \hat{\rho}_A, z_A$ - координаты вертолета в геоцентрической системе координат, определяемые навигационным комплексом на основе СРНС; $\tilde{\delta}_G, \hat{\rho}_G, z_G$ - координаты груза в геоцентрической системе координат, определяемые установленным на нем навигационным приемником.

Недостаток данной схемы заключается в том, что невозможно учесть знак суммарной погрешности определения навигационных параметров в каждом приемнике. В результате ошибка определения относительных координат и высоты может быть больше, чем аналогичные погрешности вычислений в каждом из приемников.

В алгоритме сильносвязанной схемы при вычислении координат взаимного положения используются результаты первичной обработки информации, то есть от навига-

онных приемников на вертолете и на грузе в бортовой вычислительный комплекс поступают значения псевдодальностей до навигационных спутников [5]:

$$D_i = D_{\text{en}\delta} + dD_{A\hat{Y}\hat{A}} + dD_{\text{ei}\hat{i}} + dD_{\hat{y}\delta} + dD_{\hat{n}\hat{e}}, \quad (4)$$

где D_i - значение псевдодальности до i -го навигационного спутника; $D_{\text{en}\delta}$ - истинное значение псевдодальности; $dD_{A\hat{Y}\hat{A}}$ - погрешность вычисления псевдодальности за счет ухода бортового эталона времени приемника; $dD_{\text{ei}\hat{i}}$ - погрешность вычисления псевдодальности, обусловленная влиянием атмосферы на распространение радиосигнала (задержкой в ионосфере); $dD_{\text{e}\hat{\phi}}$ - погрешность вычисления псевдодальности вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников; $dD_{\hat{n}\hat{e}}$ - погрешность вычисления псевдодальности, обусловленная собственными шумами приемника.

Рассмотрим алгоритм сильносвязанной схемы комплексирования для высокоточного определения относительного положения (рис. 2). При его формировании принимаются следующие допущения:

- на вертолете и на грузе устанавливаются однотипные навигационные приемники;

- оба навигационных приемника работают в одной точке пространства и принимают сигналы от одних и тех же навигационных спутников;

- при расчете псевдодальностей до одного навигационного спутника соответствующие систематические ошибки вычисления в однотипных приемниках равны.

На первом этапе для каждого навигационного приемника рассчитываются разности псевдодальностей до спутников:

$$\Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1} = D_{\hat{A}2} - D_{\hat{A}1}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1} = & \Delta D_{\hat{e}\hat{n}\hat{o} \hat{A}2-\hat{A}1} + (dD_{\hat{A}\hat{Y}\hat{A} \hat{A}2} - dD_{\hat{A}\hat{Y}\hat{A} \hat{A}1}) + \\ & (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) + (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) + \\ & + (dD_{\hat{n}\hat{e} \hat{A}2} - dD_{\hat{n}\hat{e} \hat{A}1}). \end{aligned}$$

Поскольку на вертолете и на грузе используются однотипные навигационные приемники с кварцевым стандартом частоты, а на навигационных спутниках используются цезиевые стандарты частоты, то можно принять, что $dD_{\hat{A}\hat{Y}\hat{A} \hat{A}2} - dD_{\hat{A}\hat{Y}\hat{A} \hat{A}1} = 0$ и выражение (5) для разностного измерения представить в виде

$$\begin{aligned} \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1} = & \Delta D_{\hat{e}\hat{n}\hat{o} \hat{A}2-\hat{A}1} + (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) + \\ & + (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) + \Delta dD_{\hat{n}\hat{e} \hat{A}}. \end{aligned}$$

Аналогично можно записать разностное измерение для навигационного приемника, размещенного на грузе:

$$\begin{aligned} \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1} = & D_{\hat{A}2} - D_{\hat{A}1} = \Delta D_{\hat{e}\hat{n}\hat{o} \hat{A}2-\hat{A}1} + \\ & + (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) + (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) + \Delta dD_{\hat{n}\hat{e} \hat{A}}. \end{aligned}$$

На втором этапе рассчитываются двойные разности псевдодальностей взаимного положения приемников:

$$\Delta \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^{\hat{A}2-\hat{A}1} = \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1} - \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}. \quad (6)$$

С учетом принятых допущений обнуляются соответствующие систематические погрешности:

$$\begin{aligned} (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) - (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) = \\ = (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}2}) + (dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1} - dD_{\hat{e}\hat{i}\hat{i} \hat{A}1}) = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) - (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) = \\ = (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}2}) + (dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1} - dD_{\hat{y}\hat{o} \hat{A}1}) = 0, \end{aligned}$$

и окончательное выражение двойных разностей псевдодальностей принимает вид:

$$\Delta \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^{\hat{A}2-\hat{A}1} = \Delta D_{\hat{e}\hat{n}\hat{o} \hat{A}2-\hat{A}1} - \Delta D_{\hat{e}\hat{n}\hat{o} \hat{A}2-\hat{A}1} + \Delta \Delta dD_{\hat{n}\hat{e}}. \quad (7)$$

Далее измерения, записанные в виде двойных разностей, обрабатываются в бортовом вычислительном комплексе и находятся проекции вектора положения груза относительно вертолета на оси геоцентрической системы координат. Решается система линейных алгебраических уравнений, которая для случая минимально необходимого числа навигационных спутников имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta \Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^2 = \hat{a}_o(\tilde{o}_1 - \tilde{o}_2) + \hat{a}_y(y_1 - y_2) + \hat{a}_z(z_1 - z_2), \\ \Delta \Delta D_{\hat{A}3-\hat{A}1}^2 = \hat{a}_o(\tilde{o}_1 - \tilde{o}_3) + \hat{a}_y(y_1 - y_3) + \hat{a}_z(z_1 - z_3), \\ \Delta \Delta D_{\hat{A}4-\hat{A}1}^2 = \hat{a}_o(\tilde{o}_1 - \tilde{o}_4) + \hat{a}_y(y_1 - y_4) + \hat{a}_z(z_1 - z_4), \end{cases} \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta \Delta D_{\hat{A}i-\hat{A}1}^2 = \frac{(D_{\hat{A}i}^2 - D_{\hat{A}1}^2) - (D_{\hat{A}1}^2 - D_{\hat{A}1}^2)}{2}, \\ i = 2, \dots, 4. \end{aligned} \quad (9)$$

Решение системы (8) отыскивается в виде

$$\hat{a}_x = \frac{\Delta \hat{a}_x}{\Delta}, \hat{a}_y = \frac{\Delta \hat{a}_y}{\Delta}, \hat{a}_z = \frac{\Delta \hat{a}_z}{\Delta}, \quad (10)$$

где

$$\Delta = \begin{pmatrix} (x_1 - x_2) & (y_1 - y_2) & (z_1 - z_2) \\ (x_1 - x_3) & (y_1 - y_3) & (z_1 - z_3) \\ (x_1 - x_4) & (y_1 - y_4) & (z_1 - z_4) \end{pmatrix} - \text{главный}$$

определитель системы (8),

$$\Delta_{\hat{a}_x} = \begin{vmatrix} \Delta\Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^2 & (y_1 - y_2) & (z_1 - z_2) \\ \Delta\Delta D_{\hat{A}3-\hat{A}1}^2 & (y_1 - y_3) & (z_1 - z_3) \\ \Delta\Delta D_{\hat{A}4-\hat{A}1}^2 & (y_1 - y_4) & (z_1 - z_4) \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{\hat{a}_y} = \begin{vmatrix} (x_1 - x_2) & \Delta\Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^2 & (z_1 - z_2) \\ (x_1 - x_3) & \Delta\Delta D_{\hat{A}3-\hat{A}1}^2 & (z_1 - z_3) \\ (x_1 - x_4) & \Delta\Delta D_{\hat{A}4-\hat{A}1}^2 & (z_1 - z_4) \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{\hat{a}_z} = \begin{vmatrix} (x_1 - x_2) & (y_1 - y_2) & \Delta\Delta D_{\hat{A}2-\hat{A}1}^2 \\ (x_1 - x_3) & (y_1 - y_3) & \Delta\Delta D_{\hat{A}3-\hat{A}1}^2 \\ (x_1 - x_4) & (y_1 - y_4) & \Delta\Delta D_{\hat{A}4-\hat{A}1}^2 \end{vmatrix} -$$

вспомогательные определители системы (8).

Далее, зная координаты навигационного приемника на вертолете, воспользовавшись выражениями (3), можно получить координаты антенны спутникового приемника, расположенного на грузе. На практике в бортовом вычислительном комплексе рассчитываются все возможные разности по значениям псевдодальностей до всех работающих спутников из числа видимых, а искомые координаты взаимного положения получаются с использованием итеративного метода взвешенных наименьших квадратов. На конечном этапе расчетов в вычислителе производится перевод вектора взаимного положения из прямоугольной геоцентрической системы координат в одну из выбранных систем координат - географическую, плоскую прямоугольную и др.

Достоинством рассматриваемого алгоритма является высокая точность определения численного значения координат и высоты взаимного положения, так как на первом этапе вычислений устраняется ошибка из-за несинхронности часов спутника и приемодикторов, а на втором – ошибки, возникающие из-за задержки сигналов в ионосфере и вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников. Однако необходимым условием реализации данного алгоритма является наличие достаточно быстродействующего вычислительного устройства.

Для исследования точностных характеристик относительной спутниковой радионавигации использовался метод статистического моделирования. К смоделированным дальностям между навигационными приемниками и навигационными спутниками добавлялись случайные погрешности, распределенные по нормальному закону:

$$\begin{aligned} D_{\hat{A}i} &= D_{\hat{A}i}^{\text{эн}} + dD_{\hat{A}i}, \\ D_{\tilde{A}i} &= D_{\tilde{A}i}^{\text{эн}} + dD_{\tilde{A}i}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $dD_{\hat{A}i}, dD_{\tilde{A}i}, i = 1, \dots, 4$ – случайные погрешности измерений.

При проведении моделирования было принято допущение о размещении перевозимого груза по местной вертикали. Моделирование проводилось при следующем расположении навигационных спутников: первый навигационный спутник находится в зените по отношению к вертолету, а три других навигационных спутника располагаются в одной плоскости с вертолетом, которая перпендикулярна местной вертикали. Данное расположение навигационных спутников является оптимальным для минимизации погрешностей.

Результатом работы программы являлись значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения как модуля вектора взаимного положения $|\vec{a}|$, так и его координат $\hat{a}_\rho, \hat{a}_\phi, \hat{a}_z$. Рассмотрен участок, на котором расстояние от вертолета до груза вдоль местной вертикали увеличивается от 0 до 15 метров с шагом 0,5 метра. Статисти-

ческое моделирование проведено с точностью получения оценки до 5 %. На рис. 3 представлен график среднеквадратичного отклонения (3σ) модуля вектора взаимного положения $|\vec{a}|$.

Полученные значения среднеквадратичного отклонения координат вектора взаимного положения показывают, что во всем диапазоне технических характеристик системы внешней подвески «вертолет – груз» точность определения $|\vec{a}|$ по алгоритмам сильносвязанной схемы находятся в допустимых пределах. Структурная схема работы предложенной системы определения взаимного положения вертолета и груза изображена на рис. 4.

Навигационный приемник на грузе определяет значения псевдодальностей до работающих спутников из числа видимых, и через линию передачи данных они поступают в вычислитель из состава навигационного комплекса вертолета, реализующий навигационный фильтр.

В вычислителе с использованием информации о псевдодальностях, поступающих из приемника СРНС навигационного комплекса, по алгоритмам определения взаимного расположения рассчитывается положение груза относительно спутниковой приемной антенны. При этом с блока загрузки данных вводится поправка, учитывающая геометрические размеры фюзеляжа вертолета и место

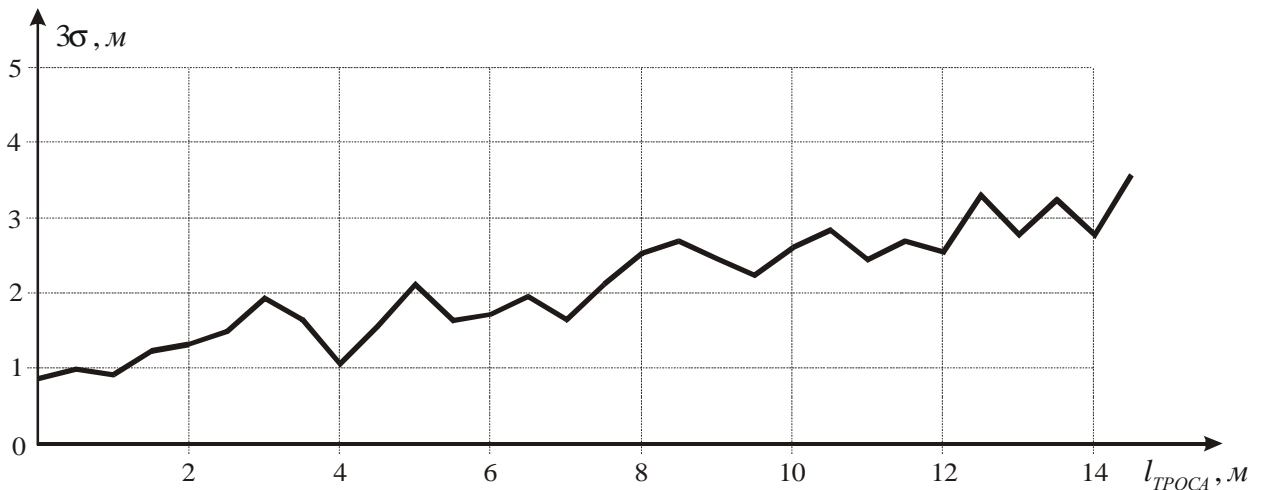


Рис. 3. Изменение среднеквадратичного отклонения модуля вектора взаимного положения вертолета и груза на внешней подвеске

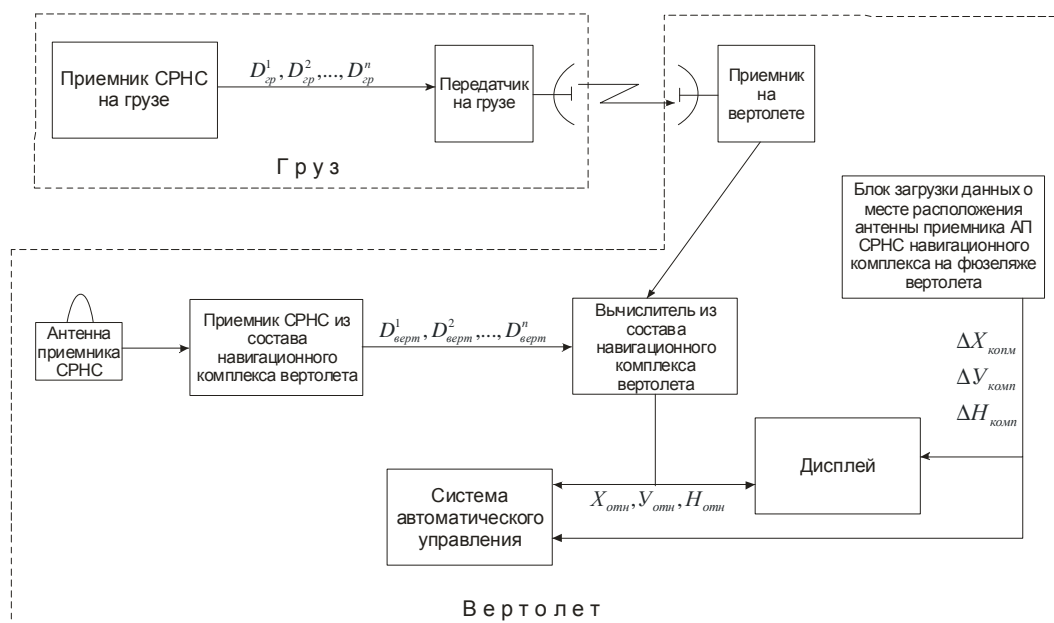


Рис. 4. Структурная схема работы системы определения взаимного положения вертолета и груза при транспортировке на внешней подвеске

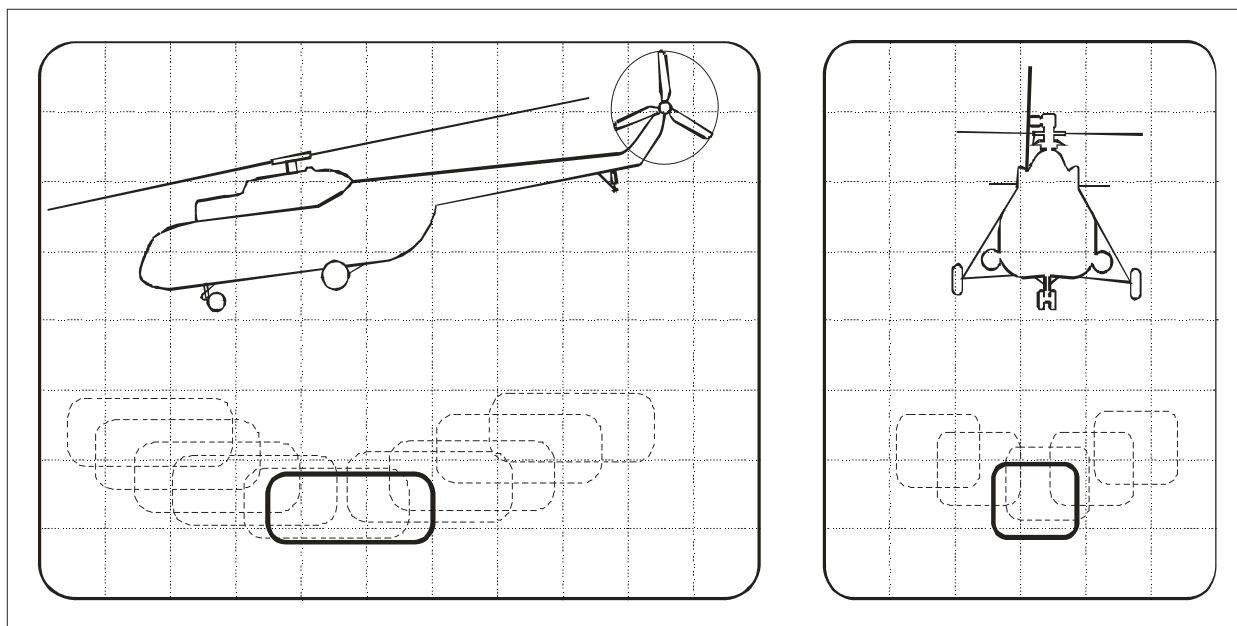


Рис. 5. Внешний вид дисплея, отображающего взаимное положение груза и вертолета

установки антенны относительно точки, выбранной за начало отсчета $\Delta\ddot{O}_{\text{вн}}$, $\Delta\dot{O}_{\text{вн}}$, $\Delta I_{\text{вн}}$.

Летчик воспринимает конечную информацию с электронного дисплея (рис. 5), отображающего систему «вертолет-груз» в продольной и поперечной плоскостях (вид сбоку и вид сзади).

Частота выдачи навигационной информации приемником СРНС вполне достаточна для зрительного отслеживания летчиком динамики перемещения груза относительно вертолета и земной поверхности (при выполнении взлета, посадки и перемещений у земли). Использование радиосвязи в линии передачи данных позволит в аварийной ситуации – вынужденном сбросе груза – иметь дополнительную информацию о месте его падения, что значительно облегчит и ускорит дальнейшие поиски.

Применение систем автоматизации управления на основе предложенной схемы и алгоритма реализует следующие функциональные возможности:

1. Выдачу летчику сигнала о превыше-

нии частоты, амплитуды и скорости перемещения груза относительно вертолета выше максимально допустимых.

2. Автоматический аварийный сброс груза при выходе вышеперечисленных параметров за критические отметки.

3. Сигнализацию о снижении ниже минимально допустимых высот при выполнении взлета, посадки и перемещений на висении.

Список литературы

1. Инструкция экипажу вертолета Ми-8Т. Книга 1. Издание четвертое. – М.: Военное издательство МЛ СССР, 1980.
2. Вертолет Ми-8МТ. Учебное пособие по изучению инструкции экипажу. – Уфа: УВВАУЛ, 1996.
3. Судаков В. Я., Зуевский Е. Н. и др. Конструкция и эксплуатация вертолетов и двигателей: Учебник для ВВАУЛ. – М.: Военное издательство, 1987.
4. Данилов В. А. Вертолет Ми-8. Устройство и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1988.

**PROBLEMS OF RELATIONAL NAVIGATION IN LOAD TRANSPORTATION
ON HELICOPTER EXTERNAL HANGER**

© 2006 I. V. Belokonov¹, D. A. Moiseikin², V. A. Popov³

¹Samara State Aerospace University

²Sizran Higher Military Flyers' School

³Federal Administration of Aircraft – Space Search and Rescue

The authors investigate the possibility of using a satellite radio navigation system for satellite support of load transportation on a helicopter external hanger. A functional scheme of solving the task of navigation and an algorithm of determining the vector of relative position of the helicopter and the load when complexing the measurements coming from two navigation receivers are given. The scheme proposed is assessed by the numerical results of statistic modelling of the algorithms under consideration.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОНКОСТЕННОЙ КАРКАСИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

© 2006 А. В. Болдырев, В. А. Комаров

Самарский государственный аэрокосмический университет

На примере проектирования пилона навески двигателя рассматриваются особенности и алгоритм оптимизации комбинированных конструкций с учетом широкого спектра ограничений.

1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу проектирования пилона навески двигателя к крылу самолета с учетом требований прочности и жесткости в виде ограничений на частоты собственных колебаний. В процессе проектирования пилон необходимо устранить возможность появления резонансов в упругой системе “крыло - двигатель”. Поэтому частоты собственных колебаний системы “пилон - двигатель” должны принадлежать только “разрешенным” диапазонам.

В качестве объекта проектирования рассмотрим пилон самолета ИЛ-86 под модифицированный двигатель. Новый двигатель имеет массу и габаритные размеры, отличные от исходного двигателя. Основные изменения геометрических параметров пилон отражены на рисунке 1. Конструктивно пилон состоит из 14 рам, двух стенок и обшивки (верхней и нижней), подкрепленных стрингера-

ми. В верхней и нижней обшивках имеются технологические отверстия. Узлам крепления пилон к крылу и навески двигателя соответствуют 4 усиленных рамы. Данная тонкостенная каркасированная конструкция является комбинированной упругой системой [1], то есть конструкцией, элементы которой обладают различными свойствами. Так, в напряженно-деформированном состоянии стрингеров преобладает одноосное растяжение или сжатие, а стенки и обшивки испытывают двухосное (мембранное) состояние.

Достаточно адекватно моделировать поведение конструкции при статическом и динамическом нагружении позволяет метод конечных элементов (МКЭ) [2]. Задача параметрической оптимизации тонкостенной каркасированной конструкции может быть сформулирована в терминах нелинейного математического программирования [3]. За проектные переменные для задачи оптимизации

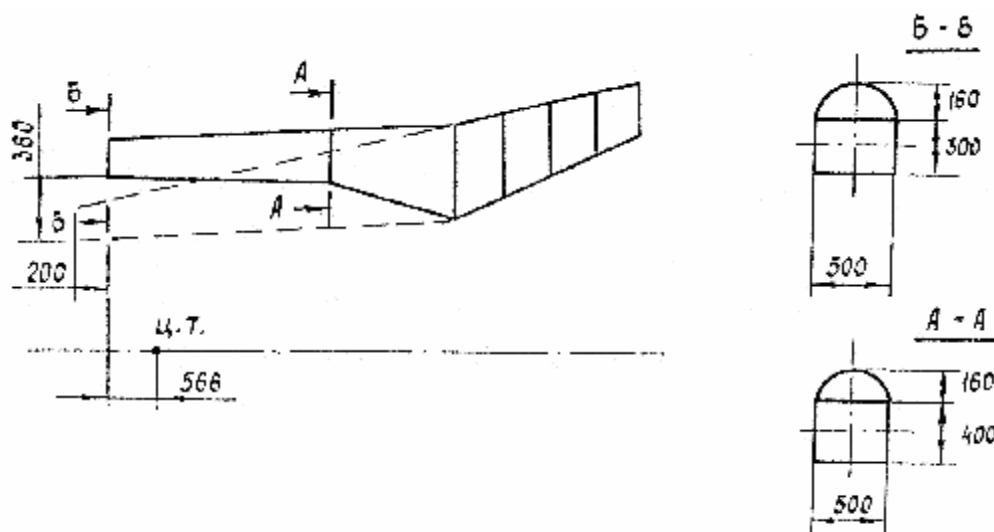


Рис. 1. Схема пилон под модифицированный двигатель (пунктиром показаны контуры исходного пилон)

силовой конструкции обычно принимаются параметры, описывающие размеры сечений конечных элементов (площади поперечных сечений поясов лонжеронов и подкрепляющих стрингеров, толщины обшивок и стенок и т. п.) [3, 4]. Недостатком этого подхода является то, что такие переменные имеют различную физическую размерность. Поэтому уже на этапе постановки задачи полезно отметить, что “традиционные” проектные переменные X_i линейно связаны с массами соответствующих элементов $m_i^{(e)}$:

$$m_i^{(e)} = r_i A_i X_i, \quad (1)$$

где r_i - плотность материала i -го элемента; A_i - постоянная составляющая объема i -го элемента (площадь в плане элемента пластины или длина стержневого); X_i - переменная составляющая объема i -го элемента (толщина элемента пластины или площадь поперечного сечения стержневого).

Еще одна особенность проектирования рассматриваемой конструкции заключается в том, что применение ряда алгоритмов к упругим системам, состоящим из разнородных элементов, зачастую приводит к парадоксальным результатам, связанным с вырождением стержневых элементов и необоснованным увеличением мембранных элементов [5]. Для устранения данного недостатка используем прием представления конструкции в виде совокупности подконструкций [3]. Введем в рассмотрение n -мерный вектор проектных переменных $\{m\} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, который однозначно определяет произвольную точку m в пространстве проектирования. Так как массы имеют одинаковую физическую размерность для любых типов конечных элементов, то объединение в подконструкции можно осуществлять на основе простых линейных связей:

$$\{m\} = [H] \{m^{(e)}\}, \quad n < t, \quad (2)$$

где $[H]$ - булева матрица связи; $\{m^{(e)}\} = \{m_1^{(e)}, m_2^{(e)}, \dots, m_t^{(e)}\}$; t - количество элементов в модели; n - количество подконструкций.

С одной стороны, линейные связи (2) позволяют уменьшить размерность задачи. С

другой стороны, если в одну подконструкцию включить элементы обшивки и подкрепляющие элементы, то заданное соотношение между размерами сечений элементов в процессе оптимизации будет неизменным (следовательно, подкрепляющие элементы не будут вырождаться). Такой прием позволяет проектировать подкрепленные панели с учетом потери устойчивости.

В качестве целевой функции принимаем массу конструкции в следующем виде:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i. \quad (3)$$

Функции физических ограничений представим в виде

$$G_j(m) = C_j(m) - \underline{C}_j, \quad (j=1, 2, \dots, p), \quad (4)$$

где G_j - j -е физическое ограничение; C_j и \underline{C}_j - величина j -ой переменной состояния конструкции и ее допускаемая величина; p - количество физических ограничений. Переменными состояниями конструкции являются напряжения в различных точках конструкции, обобщенные перемещения, частоты собственных колебаний.

Итак, задача оптимизации заключается в определении точки m^* в пространстве проектирования, которой соответствует минимальное значение целевой функции:

$$M(m^*) = \min_D M(m) \quad (5)$$

в области допустимых значений

$$D = \{ m: G_j(m) \leq 0, m \in \Pi, j=1, 2, \dots, p \}, \quad (6)$$

принадлежащей области поиска

$$\Pi = \{ m: m_i^{\min} \leq m_i \leq m_i^{\max}, i=1, 2, \dots, n \}. \quad (7)$$

Здесь m_i^{\min} и m_i^{\max} - границы варьирования i -ой проектной переменной, обусловленные конструктивно-технологическими условиями. Если значение проектной переменной соответствует одной из границ области поиска, то такая переменная называется пассивной. Для активных (свободных) проектных переменных соотношения (7) выполняются в виде строгих неравенств [4].

2. Выбор метода оптимизации

Методы оптимального проектирования конструкций развиваются в двух направлениях [3, 4]. В основе *прямого подхода* (методов математического программирования) лежит идея пошагового улучшения качества проекта на основании локального поведения функций цели и ограничений вблизи текущей точки пространства проектирования. Эти методы, как правило, определяют последовательность поисковых шагов в допустимой области вдоль гиперповерхностей ограничений, при которых значения целевой функции монотонно убывают. Достоинством прямого подхода является устойчивая сходимость алгоритмов, особенно вдали от оптимальной точки, а недостатком - зависимость числа итерационных шагов от размерности задачи и, как следствие, низкая эффективность методов применительно к сложным объектам.

В рамках *непрямого подхода* (методов критериев оптимальности) задача минимизации целевой функции с ограничениями - неравенствами заменяется косвенной. Постулируется критерий, которому должна отвечать рациональная конструкция, и строится итерационная процедура поиска такой конструкции. Критерии оптимальности могут выводиться из математической формулировки задачи или основываться на особенностях поведения, подмеченных для некоторых классов конструкций.

В работах [3, 6] рассматривается *обобщенный критерий оптимальности*, который совпадает с необходимыми условиями Куна-Таккера для оптимизационной задачи (5) - (7). Функция Лагранжа записывается в виде

$$L(m) = M(m) + \sum_{j=1}^p I_j G_j(m), \quad (8)$$

где I_j - множитель Лагранжа для j -го физического ограничения.

Необходимые условия Куна-Таккера формулируются следующим образом:

$$\partial L(m) / \partial m_i = 0, \quad (i=1, 2, \dots, n_1), \quad (9)$$

$$I_j G_j(m) = 0, \quad (j=1, 2, \dots, p), \quad (10)$$

$$I_j \geq 0, \quad (j=1, 2, \dots, p), \quad (11)$$

где n_1 - количество активных проектных переменных; p - количество физических ограничений.

Условия (10) и (11) задают набор активных физических ограничений для точки локального оптимума. Физические ограничения называются активными [3], если соотношения (6) выполняются в форме равенства. Для пассивных ограничений соотношения (6) являются строгими неравенствами и множители Лагранжа равны нулю.

В рамках обобщенного критерия оптимальности ограничения на напряжения можно учесть с помощью концепции *полнонапряженности* [7]. Такая комбинированная стратегия позволяет резко уменьшить количество физических ограничений за счет сведения множества физических ограничений на напряжения к ограничениям снизу на величины проектных переменных (ПП) в следующем виде:

$$m_i^{min} = \max(m_i^L, m_i^F), \quad (12)$$

где m_i^L - ограничения снизу для i -ой проектной переменной, обусловленные конструктивно-технологическими условиями; m_i^F - величина, получаемая из формулы отношения напряжений согласно концепции *полнонапряженности* [7]:

$$m_i^F = m_i \max_j (s_{ij} / \underline{s}_i), \quad (j=1, 2, \dots, s), \quad (13)$$

где s - количество случаев нагружения; s_{ij} - эквивалентные напряжения в i -ой подконструкции при j -м случае нагружения; \underline{s}_i - допускаемые напряжения.

В рассматриваемом подходе ограничения на проектные переменные становятся более жесткими, что обостряет проблему выбора набора активных ПП. При использовании непрямых методов может возникать

осцилляция вычислительного процесса, выражающаяся в периодических скачкообразных изменениях функций цели и ограничений. Чаще всего это связано с “мерцанием” наборов активных ограничений и активных ПП. После стабилизации указанных наборов итерационный процесс быстро сходится [3, 8]. Таким образом, эффективность процедуры определения наборов активных ограничений и ПП может стать основой эффективности алгоритма оптимизации в целом. В работе [9] предложен *алгоритм последовательной линеаризации в методе критериев оптимальности*. Движение в пространстве проектирования к точке, удовлетворяющей критерию оптимальности, осуществляется на основе последовательного чередования “пробных” и “рабочих” шагов. В результате ряда “пробных” шагов определяются наборы активных ограничений и ПП на основе линейных аппроксимаций параметров состояния конструкции. “Рабочий” шаг характерен тем, что для текущей точки пространства проектирования выполняется анализ конструкции в полном объеме. Данный алгоритм прошел тщательное испытание с помощью специально разработанной системы тестов, включающей в себя различные типы конструкций [8, 9].

3. Численные результаты

Конечно-элементная модель пилона (рис. 2) разработана на ММЗ им. С. В. Ильюшина в среде МКЭ-системы РИПАК [10]. Необходимо спроектировать пилон минимальной массы, удовлетворяющий ограничениям по прочности для трех расчетных случаев нагружений, по частотам собственных колебаний и конструктивно-технологическим требованиям. Толщины стенок и обшивок должны лежать в диапазоне от 1,5 мм до 5,0 мм. Площади поперечных сечений стрингеров связаны с толщинами обшивок и стенок линейным соотношением, определенным начальным распределением материала и требованиями устойчивости.

Ограничения на частоты собственных колебаний пилона с двигателем формулируются следующим образом:

- частота колебаний w_1 должна быть не менее 1,83 Гц;
- частота колебаний w_2 должна быть не более 3,07 Гц.

Исходный вариант конструкции (массой $M=325$ кг) имеет следующие собственные частоты: $w_1=2,94$ Гц; $w_2=4,2$ Гц. Нарушено ограничение по второй частоте. Ана-

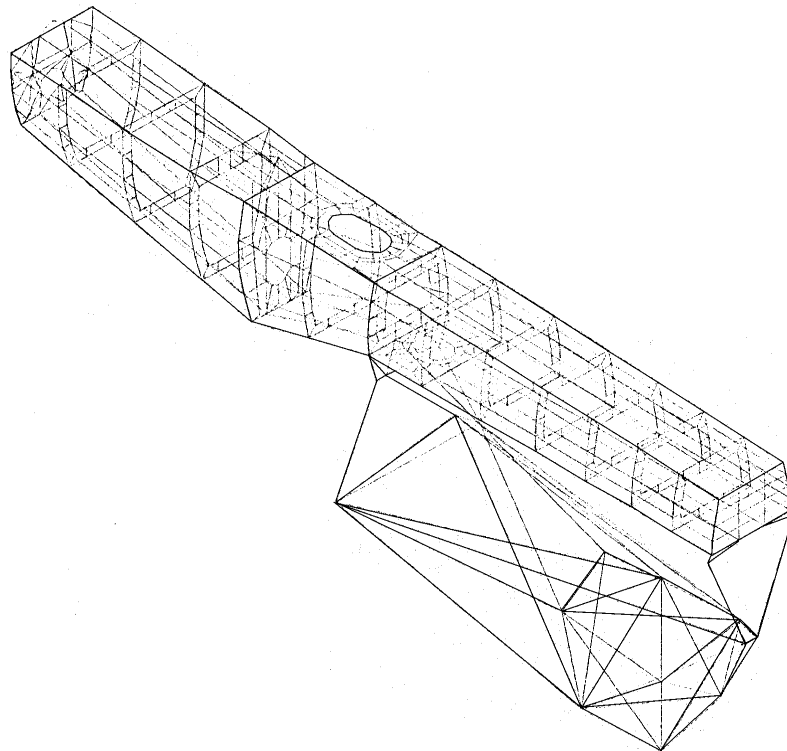


Рис. 2. Конечно-элементная модель пилона

лиз напряженного состояния показал, что имеются зоны с избытком материала по прочности, которые позволят уменьшить жесткость конструкции и тем самым уменьшить вторую частоту.

Для оптимизации распределения материала в конструкции использован алгоритм последовательной линеаризации в методе критериев оптимальности. Ход оптимизационного процесса показан на рисунках 3 и 4. По характеру изменения целевой функции и

активного физического ограничения можно сделать заключение об устойчивой сходимости алгоритма, основанного на концепции полнонапряженности и линейных аппроксимациях функций ограничений частот собственных колебаний. За семь итераций найден допустимый проект с массой $M=210$ кг и собственными частотами $\omega_1=2,22$ Гц, $\omega_2=3,07$ Гц.

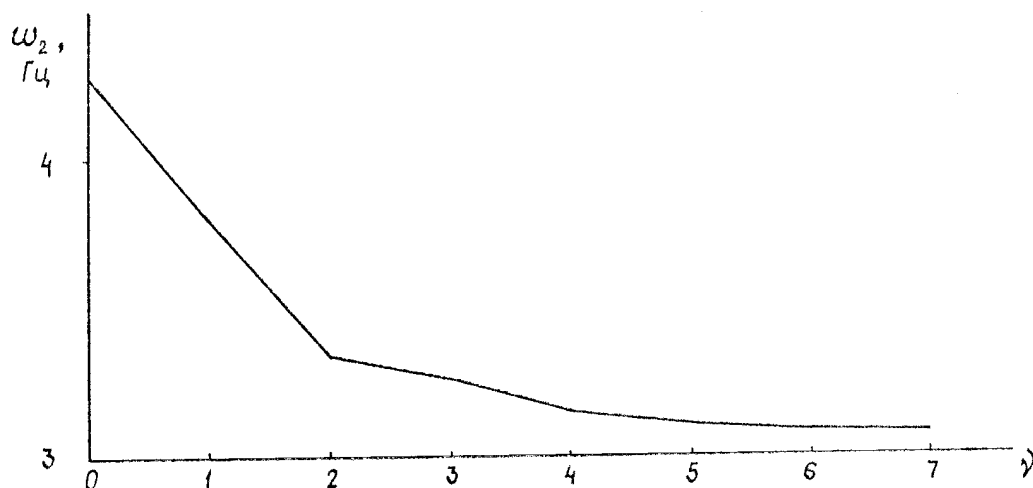


Рис. 3. Изменение частоты колебаний в процессе оптимизации тлона

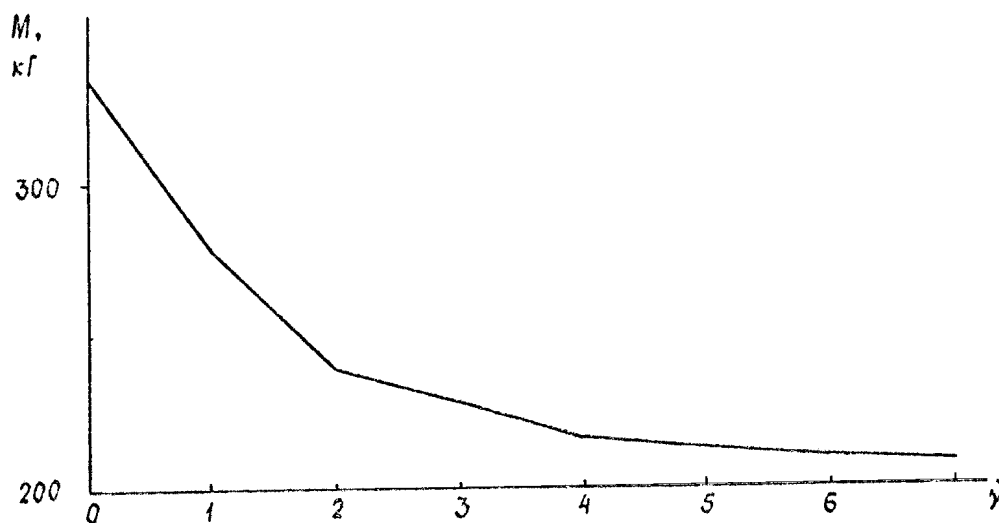


Рис. 4. Изменение массы тлона в процессе оптимизации

4. Заключение

Непрямой подход основывается на знании характерных особенностей проектируемых упругих систем и поэтому позволяет эффективно решать вопросы оптимизации распределения материала в конструкциях. Компромисс между точностью и эффективностью весьма важен в реальном проектировании, так как позволяет получать рациональные варианты конструкций в заданные сроки. Указанный компромисс возможен на основе построения гибридных стратегий, объединяющих различные критерии оптимальности. Полученные результаты демонстрируют эффективность методики проектирования тонкостенной каркасированной конструкции на основе объединения обобщенного критерия оптимальности и концепции полнонапряженности.

Список литературы

1. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений / Под ред. Уманского А. М. - М.: Госстройиздат, 1960.
2. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975.
3. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции. - М.: Мир, 1983.
4. Новые направления оптимизации в строительном проектировании / Андерсон М. С., Арман Ж.-Л., Арора Я. и др. - М.: Стройиздат, 1989.
5. Болдырев А. В. Тестирование алгоритмов оптимизации комбинированных конструкций на примере тонкостенной балки // В сб.: Студенческая наука аэрокосмическому комплексу. - Самара: СГАУ, 2003. Вып. 6. - С. 19-23.
6. Fleury C. A. Unified Approach to Structural Weight Minimization // Comp. methods in applied mechanics and engineering, 1978, № 20. Pp. 17-38.
7. Комаров В. А. О рациональных силовых конструкциях крыльев малого удлинения // Труды КуАИ. - Куйбышев, 1968. Вып. 32. - С. 8-12.
8. Болдырев А. В., Зарубин В. А., Комаров В. А. Тестирование программ оптимизации конструкций. - Самара, 1993. - Деп. в ВИНТИ 13.10.93. № 2570-B93.
9. Зарубин В. А., Болдырев А. В., Колпаков А. Г., Келл Н. А. Оптимизация распределения материала конструкций в САПР РИПАК. Куйбышев, 1989. - Деп. в ЦНТИ ГА 13.01.89. № 738 га.
10. Автоматизация проектирования авиационных конструкций на основе МКЭ. САПР РИПАК / Комаров В. А. и др. - Куйбышев, 1984. - Деп. в ВИНТИ 6.06.84, № 3709-84.

OPTIMIZATION OF A THIN-WALLED WIREFRAME STRUCTURE WITH STRENGTH AND STIFFNESS LIMITATIONS

© 2006 A. V. Boldyrev, V. A. Komarov

Samara State Aerospace University

Peculiarities and algorithm of optimizing combined structures are discussed, engine pylon design taken as an example, with regard to a wide range of restrictions.

УДК 621.452

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ВЫХОДЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ПОВОРОТОМ ПОТОКА В ГАЗОСБОРНИКЕ

© 2006 Г. П. Гребенюк¹, С. Ю. Кузнецов², В. Ф. Харитонов²

¹ФГУП “НПП “Мотор”, г. Уфа

²Уфимский государственный авиационный технический университет

Рассматриваются результаты численного моделирования с помощью программного комплекса ANSYS газодинамических процессов в зоне разбавления и газосборнике камеры сгорания с радиальным расположением жаровых труб. Исследуется влияние геометрических и режимных параметров (диаметра основных отверстий в жаровой трубе, угла вдува струи воздуха, отношения скоростных напоров струи и газа, угла поворота потока, кривизны канала газосборника) на максимальную неравномерность поля температур на выходе из камеры.

Одним из основных требований, предъявляемых к камере сгорания любого газотурбинного двигателя или газотурбинной установки, является обеспечение требуемого уровня неравномерности температурного поля на входе в турбину. Как известно, выходное поле температур количественно характеризуется параметрами максимальной окружной и радиальной неравномерности. Максимальная окружная неравномерность должна быть доведена до уровня, обеспечивающего ресурс сопловых и рабочих лопаток турбины. Радиальная неравномерность формируется исходя из требуемого распределения температуры газа по высоте рабочей лопатки турбины.

Получение приемлемого поля температур на выходе из камеры сгорания является одним из самых трудоемких этапов ее доводки. В связи с этим изучение особенностей формирования выходного температурного поля всегда остается актуальной задачей при разработке камер сгорания. Ее актуальность еще более возрастает применительно к камерам сгорания стационарных ГТУ, ресурсы которых в десятки раз превосходят ресурсы базовых авиационных двигателей.

В данной работе исследовалось влияние процессов, происходящих в зоне разбавления и газосборнике, на температурное поле в выходном сечении камеры сгорания при заданном на входе в зону разбавления распределении температур газа.

Объектом исследования служила камера сгорания модульного типа с радиальным

расположением отдельных модулей и общим газосборником, в котором газовый поток перед входом в турбину разворачивается на 90° [1]. В такой камере выходное поле температур определяется не только геометрией и газодинамическими процессами в зоне разбавления, но и сложным пространственным характером течения в поворотном газосборнике. В качестве инструмента исследования использовался программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS (модуль Flotran).

Для оценки корректности моделирования газодинамических процессов в зоне разбавления на первом этапе решались задачи моделирования распространения одиночной струи в поперечном потоке. Сравнение глубины проникновения струи, полученной при моделировании в ANSYS и при использовании известных моделей В. Я. Безменова, А. Лефевра, показало практическое совпадение результатов с отклонением 5-10 % [2]. Результаты газодинамического анализа течения также сопоставлялись с данными натурального эксперимента, приведенными в работе [3]. Сравнение показывает подобие профилей полного и статического давления в сечениях струи, расположенных по нормали к ее оси (рис. 1).

Анализ форм поперечных сечений струи на различном удалении от начального сечения показал, что под воздействием сходящегося потока происходит деформация поперечного сечения из круглого в подковообразное. При этом формы поперечных сечений

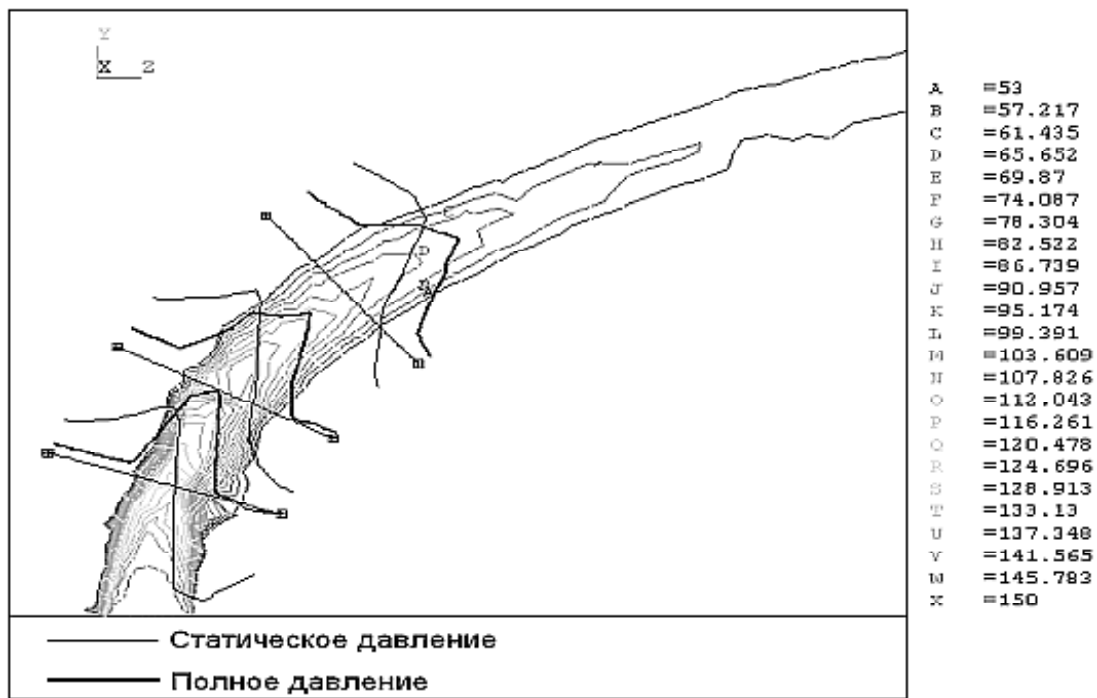


Рис. 1. Распределение абсолютных скоростей (изолинии), профили полного и статического давлений в плоскости симметрии одиночной струи

струи хорошо соотносятся с экспериментальными данными [3]. Положительные результаты численного моделирования в программном комплексе ANSYS картины распространения одиночной струи в поперечном потоке, в существенной степени влияющей на формирование температурного поля, позволили перейти к моделированию газодинамических процессов в элементах камеры сгорания - зоне разбавления и газосборнике.

На втором этапе проводилось параметрическое исследование влияния отдельных геометрических и режимных параметров на величину максимальной неравномерности температурного поля, определяемую как отношение разности максимальной и средне-массовой температур газа на выходе из камеры сгорания (или в рассматриваемом сечении) и разности среднemasовых температур газа на выходе и воздуха на входе.

Рассматривались следующие параметры:

- диаметр отверстий в поясе зоны разбавления,
- угол вдува струй вторичного воздуха,
- гидродинамический параметр q , равный отношению скоростных напоров в выходном сечении струи и в основном потоке,

- угол поворота потока в газосборнике,
- относительный радиус кривизны канала газосборника (отношение радиуса кривизны оси канала к высоте канала на выходе).

Расчетная геометрическая модель (рис. 2) для этого этапа состояла из участка жаровой трубы зоны разбавления, конфузора, цилиндрического участка и сектора кольцевого газосборника с угловым размером 36° .

Влияние диаметра d отверстий зоны разбавления на распределение температуры оценивалось по результатам моделирования для значений $d = 16; 20; 24; 28$ мм. Расход газа на входе в зону разбавления и расход воздуха через пояс отверстий сохранялись постоянными: $G_g = 1,3$ кг/с; $G_b = 0,3G_g$. Температура вторичного воздуха 573 К, максимальная температура газа на входе в зону разбавления 1500 К. В расчетах отслеживалось изменение температуры потока в промежуточном и выходном сечениях, а также определялась величина максимальной неравномерности температурного поля на выходе (рис. 3).

Так как расход воздуха через отверстия остается постоянным, то с увеличением их диаметра начальная скорость струи уменьша-

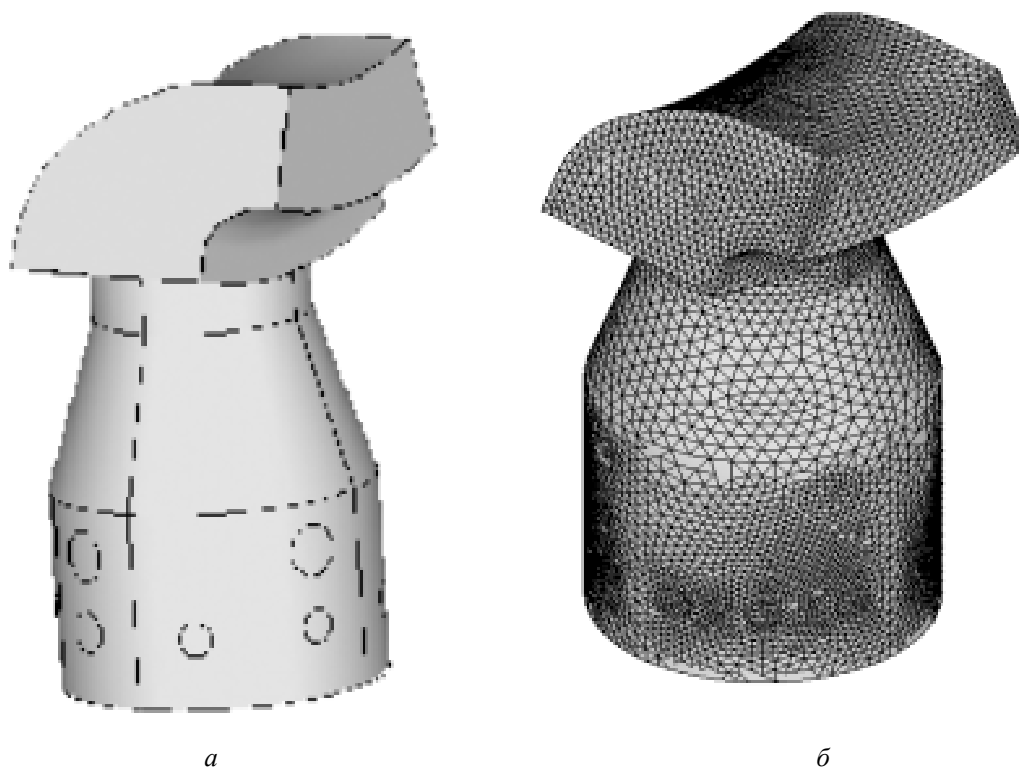


Рис. 2. Модель расчетной области: а – геометрическая, б - конечно-элементная

ется, соответственно уменьшается и глубина проникновения, что снижает интенсивность перемешивания струй с основным потоком и приводит к повышению неравномерности. При дальнейшем увеличении диаметра отверстий скорость в струях снижается настолько, что разбавляющий воздух не проникает в глубь жаровой трубы, а смешивается с пеленой охлаждающего воздуха на периферии. Как следствие, кривая изменения неравномерности становится более пологой (рис. 3).

Влияние угла вдува струй вторичного воздуха определялось при значениях $j = -60^\circ; -30^\circ; 0^\circ; 30^\circ; 60^\circ$. За начало отсчета ($j = 0^\circ$) принято направление вдува струи, нормальное к оси жаровой трубы. Знак «минус» означает, что продольные компоненты скорости в струе и в основном потоке имеют противоположное направление.

Моделирование течения, как и в предыдущем случае, осуществлялось при неизменной геометрии с фиксированным общим рас-

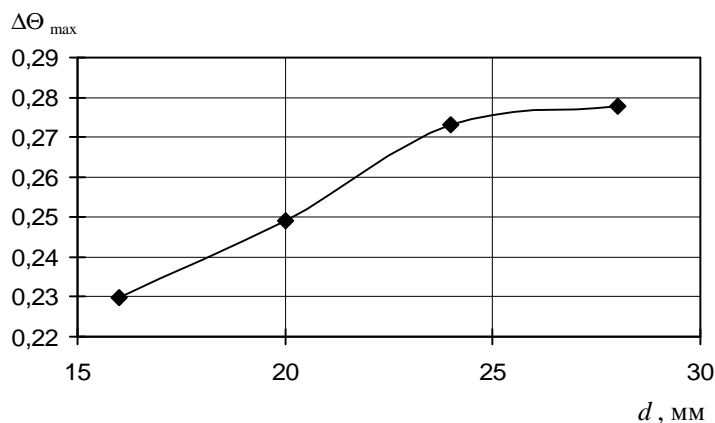


Рис. 3. Максимальная неравномерность DQ_{\max} температурного поля на выходе из камеры сгорания в зависимости от диаметра d отверстий зоны разбавления

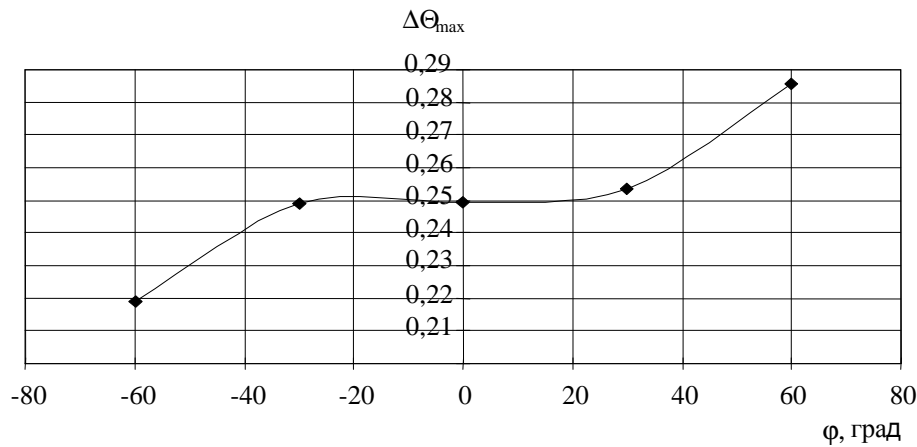


Рис. 4. Максимальная неравномерность DQ_{max} температурного поля на выходе при различных углах j вдува струй

ходом газа и расходом воздуха через пояс отверстий. Анализ распределения температур в поперечном сечении жаровой трубы перед входом в газосборник показал, что при угле -60° струи имеют наибольшую глубину проникновения. Основной поток при этом затрачивает энергию на разворот струй, в результате чего происходит лучшее перемешивание струй с основным потоком. Горячее ядро в этом случае имеет наименьшие размеры.

Наибольший перепад температур в выходном сечении наблюдается при подаче струй воздуха под углом $j = 60^\circ$. В этом случае струи прижимаются основным потоком к стенкам жаровой трубы, и интенсивность их смешения со сносящим потоком снижается. Максимальная неравномерность поля температур на выходе имеет наименьшее зна-

чение при $j = -60^\circ$ (рис. 4). В диапазоне значений угла $j = -30^\circ \dots +30^\circ$ не происходит ее заметного изменения. При дальнейшем увеличении угла максимальная неравномерность температурного поля возрастает.

Как известно, угол вдува струи в жаровую трубу зависит от величины и знака продольной составляющей скорости в отверстии, которая, в свою очередь, определяется скоростью и направлением течения воздуха в кольцевом канале. Результаты моделирования влияния угла вдува позволяют сделать вывод о том, что камеры модульного типа с противоточным течением в кольцевом канале имеют более благоприятные условия для снижения максимальной неравномерности поля температур за счет отрицательного угла вдува струи.

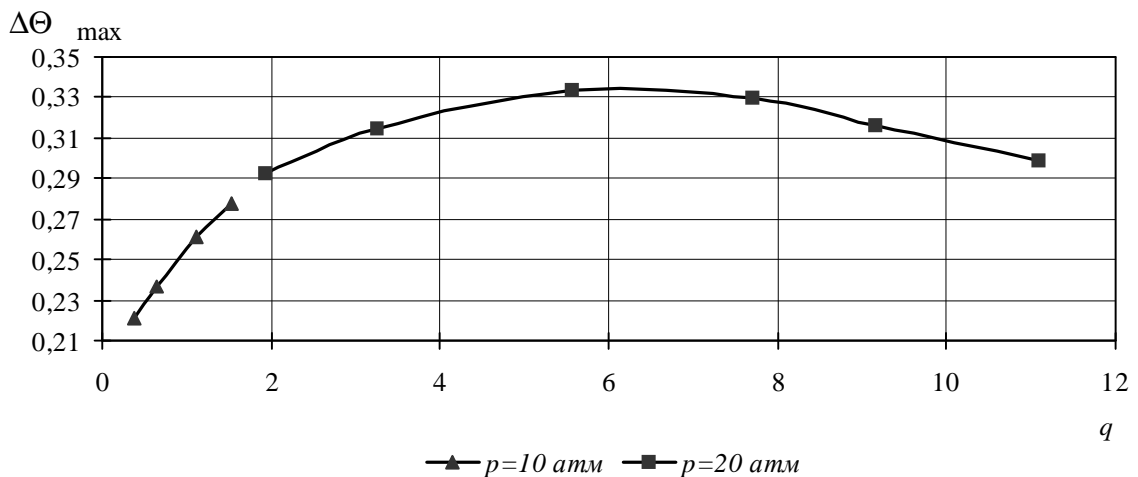


Рис. 5. Зависимость максимальной неравномерности DQ_{max} температурного поля на выходе от гидродинамического параметра q

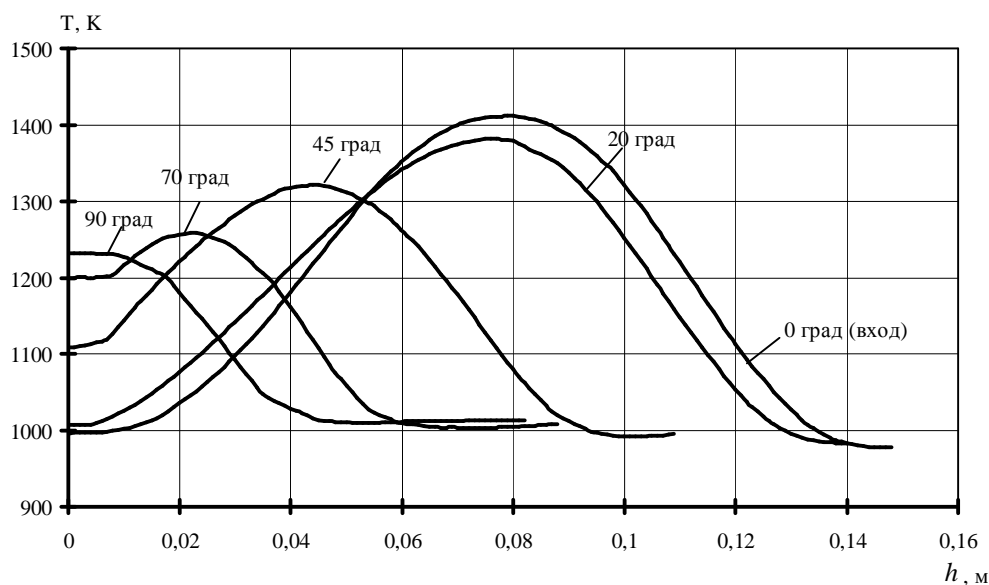


Рис. 6. Распределение температуры T потока по высоте h поперечного сечения проточной части для различных углов поворота потока в газосборнике

Одним из основных параметров, определяющих качество процесса перемешивания в зоне разбавления, является гидродинамический параметр q . Анализ его влияния на максимальную температурную неравномерность показал [4], что она изменяется немонотонно (рис. 5): сначала растет (так как глубина проникновения возрастает незначительно, наблюдается интенсивное смешение лишь у стенок жаровой трубы, ядро основного потока проходит в газосборник практически недеформированным), а затем при росте q выше 5...6 начинает уменьшаться вследствие перемешивания струй с основным потоком на всей глубине их проникновения.

Влияние угла поворота потока в газосборнике на выходное температурное поле отслеживалось по распределению температуры потока на входе в газосборник и после поворота потока на 20° , 45° , 70° и 90° (рис. 6). По мере поворота форма сечения проточной части претерпевает изменение от круга на входе до кольцевого сектора на выходе. Из рисунка видно, что с увеличением угла поворота потока существенно снижается максимальная температура газа (происходит разбавление горячего ядра потока вторичным воздухом) и происходит незначительный подогрев периферийных слоев потока. При этом более горячие слои потока перемещаются к внутренней поверхности.

Моделирование течения для трех значений относительного радиуса кривизны канала газосборника не выявило заметного различия в значениях максимальной неравномерности выходного поля температур (она изменялась от 0,235 до 0,249), что является, по-видимому, следствием узкого диапазона варьирования значений кривизны канала.

Проведенные модельные численные эксперименты позволяют выявить ряд новых закономерностей формирования выходного температурного поля газа и подтвердить ранее полученные данные по их влиянию на максимальную температурную неравномерность для противоточной камеры сгорания модульного типа. Полученные результаты могут использоваться при проектировании и доводке как камер сгорания ГТУ с радиальным или наклонным расположением жаровых труб, так и камер проточной схемы.

Список литературы

1. Кузнецов С. Ю., Харитонов В. Ф. Моделирование течения в жаровой трубе камеры сгорания модульного типа для энергетической ГТУ // Сборник трудов 2-й конференции пользователей CAD-FEM GmbH. – М., 17-18 апреля 2002, С. 65-70.
2. Кузнецов С. Ю., Харитонов В. Ф. Моделирование процессов в зоне разбавления камеры сгорания ГТД // Сборник докла-

дов Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Н. Д. Кузнецова, 21-22 июня 2001 г. – Самара, 2002, ч. 3, С. 98-104.

3. Гиршович Т. А. Турбулентные струи в поперечном потоке. - М.: Машиностроение,

1993.

4. Кузнецов С. Ю., Харитонов В. Ф., Гребенюк Г. П. Моделирование газодинамики процессов смешения в камерах сгорания ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника. - 2003. №2. - С. 39-42.

ANALYSIS OF TEMPERATURE FIELD AT THE COMBUSTION CHAMBER OUTLET WITH THE FLOW TURNING IN THE GAS COLLECTOR

© 2006 G. P. Grebenyuk¹, S. Yu. Kuznetsov², V. F. Kharitonov²

¹Federal State Unitary Enterprise «Motor», Ufa

²Ufa State Aviation Technical University

The paper analyses the results of numerical modelling of gas-dynamic processes in the dilution area and the gas collector in the combustion chamber with radial liners. Modelling is carried out with the help of ANSYS software complex. The impact of geometrical and regime parameters on the maximum nonuniformity of temperature field at the chamber outlet is investigated.

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ТЕХНОГЕННОГО ВЕЩЕСТВА С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНЫХ РАЗРУШЕНИЙ ОТСЕКОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2006 В. Д. Еленев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассмотрен подход, позволяющий оценивать пространственно-временное распределение плотности потоков техногенного вещества, представляющего собой облако фрагментов разрушенных отсеков космического аппарата (КА). Для оценки параметров облака выбраны частные показатели. Решение задачи предусматривает моделирование разрушения отсека КА с заданием количества фрагментов в облаке, выбором их масс, баллистических коэффициентов, скоростей и направлений разлета, расчет орбит образовавшихся фрагментов и их дальнейшей эволюции. Предложено проводить оценки для некоторых заданных значений объемов, вычисляемых относительно базовой траектории разрушенного КА. Приводятся результаты моделирования для выбранного случая разрушения КА.

1. Введение

С ростом мощности ракетно-космических систем, общего количества и размеров выводимых на орбиту объектов возрастает опасность техногенного засорения космического пространства (КП) частицами искусственного происхождения (техногенным веществом).

В настоящее время одним из основных источников образования техногенного вещества является разрушение КА или его отсеков на орбитальном этапе его функционирования, которое может произойти как в результате аварийных ситуаций на борту самого КА, так и в результате взрывного взаимодействия КА с техногенными частицами. Проблема засорения КП техногенным веществом усугубляется тем обстоятельством, что рабочие орбиты большинства КА, особенно функционирующих в составе космических систем, близки по своим параметрам, и поэтому вероятность столкновения какого-либо КА с частицами техногенного вещества увеличивается в случае разрушения другого КА.

Современные средства слежения позволяют регистрировать металлические или металлизированные частицы не менее 1 см в поперечнике. Регистрация неметаллических частиц оптическими средствами возможна только при их значительных размерах (не менее 10 см в поперечнике). Проведенные в США в натуральных условиях испытания показывают, что основная масса образовавшихся

фрагментов не поддается идентификации с помощью наземных средств слежения. Поэтому одним из возможных и наиболее приемлемых способов оценки техногенной опасности является прогнозирование поведения фрагментов КА, возникших в результате его разрушения, с использованием средств математического моделирования.

2. Этапы моделирования задачи

Целью моделирования является определение пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества, образовавшегося при разрушении КА или одного из его отсеков на заданной орбите.

Исходными данными задачи являются орбитальные параметры КА в момент его разрушения (наклонение орбиты i , долгота восходящего узла орбиты W , аргумент перицентра w_p , аргумент широты U , фокальный параметр орбиты p , эксцентриситет орбиты e), а также количество фрагментов n и приращения их скоростей dV в облаке и расчетный момент времени T_{pac} .

Предлагается проводить решение задачи оценки пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в несколько этапов:

- моделирование разрушения КА;
- оценка орбитальных параметров центра масс КА в момент разрушения;
- расчет скоростей и направлений движения обломков относительно мгновенного центра масс КА;

- расчет орбитальных параметров обломков и их дальнейшей эволюции в пространстве;

- расчет пространственно-временного распределения плотности потоков.

Моделирование разрушения КА.

Целью моделирования является расчетная оценка количества, масс и начальных скоростей фрагментов, образовавшихся в результате разрушения.

Поскольку основной интерес представляет расчет эволюции облака фрагментов, то в дальнейшем используется упрощенная модель разрушения КА.

Достаточно реальные оценки могут быть получены в предположении, что все фрагменты исходно обладают примерно одинаковыми энергиями. Это допущение заведомо неверно для очень малых фрагментов взрывного происхождения [1], имеющих размер менее 1 мм, т. к. взрывное давление в этом случае действует на очень малую площадь. С другой стороны, некоторое завышение расчетной скорости фрагмента более приемлемо при оценке угрозы столкновения, нежели ее занижение.

Зададимся количеством образовавшихся фрагментов N и законом распределения масс фрагментов (экспоненциальный, Вейбуля, Пуассона и др.). В результате получим массы образовавшихся фрагментов m_i , $i = 1, \dots, N$. При распределении масс фрагментов должно учитываться ограничение:

$$\sum_{i=1}^N m_i = m_{\dot{E}A}, \tag{1}$$

где m_{KA} – масса разрушившегося КА.

С учетом принятого ранее допущения для двух различных фрагментов справедливо соотношение

$$\frac{1}{2} m_k V_k^2 = \frac{1}{2} m_j V_j^2,$$

$$\frac{V_k}{V_j} = \left(\frac{m_j}{m_k} \right)^{1/2}, \tag{2}$$

где m_k, m_j – массы, а V_k, V_j – скорости, соответственно k и j фрагментов.

Зададимся суммарной кинетической энергией \dot{E}_Σ , пошедшей на придание скоростей фрагментам:

$$K_\Sigma = \frac{1}{2} m_{\dot{E}A} V_{\dot{E}A}^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i V_i^2. \tag{3}$$

В общем случае она будет составлять часть общей энергии E , приводящей к разрушению КА.

Из (3) может быть получена средняя скорость фрагментов

$$V_{cp} = \sqrt{\frac{2K_\Sigma}{m_{\dot{E}A}}}, \tag{4}$$

и тогда в первом приближении скорости фрагментов будут иметь значения:

$$V_i = V_{\dot{E}A} \left(\frac{m_{\dot{E}A}}{m_i} \right)^{1/2}, \quad i = 1, \dots, N. \tag{5}$$

Очевидно, что однозначная зависимость скорости фрагмента от его размера (массы) может быть справедлива лишь в среднем. Поэтому примем полученные значения V_i за начальные и получим их текущие значения с использованием нормального закона распределения, начиная с фрагментов меньшей массы, учитывая условие (3). Для выполнения этого условия при пересчете скоростей используется следующая последовательность шагов.

1. Выбирается первый фрагмент ($i=1$). По формуле (4) определяется средняя скорость фрагментов и начальная скорость первого фрагмента V_i .

2. Определяются суммарные масса

$$m_\Sigma^T = \sum_{k=i}^N m_k \text{ и кинетическая энергия}$$

$$K_\Sigma^T = \frac{1}{2} \sum_{k=i}^N m_k V_k^2 \text{ для фрагментов } i, i+1, \dots, N.$$

(Для $i=1$ это $m_\Sigma^T = m_{KA}$, $K_\Sigma^T = K_\Sigma$).

3. Для текущего i -го фрагмента с использованием нормального закона распределения пересчитывается скорость V_i , в результате чего получается ее новое значение V_i^* .

4. Определяется кинетическая энергия

$$i\text{-го фрагмента: } K_i^* = \frac{1}{2} m_i V_i^*.$$

5. Определяется масса m_s^* и кинетическая энергия K_s^* оставшихся фрагментов:

$$\begin{aligned} m_s^* &= m_s^T - m_i, \\ K_s^* &= K_s^T - K_i^*. \end{aligned} \quad (6)$$

6. Проводится переприсвоение значений $m_s^T = m_s^*$, $K_s^T = K_s^*$, и текущим выбирается следующий $i+1$ элемент.

7. По формуле (4) уточняется средняя скорость фрагментов, для которых не проводился пересчет скоростей.

8. По (5) определяется начальное значение скорости $(i+1)$ -го фрагмента.

Шаги 2-8 повторяются до окончания перебора всех фрагментов. Для последнего фрагмента пересчет скоростей не производится.

Выберем направления разлета фрагментов относительно орбитальной системы координат (ОСК) xyz заданием углов j и u (рис. 1).

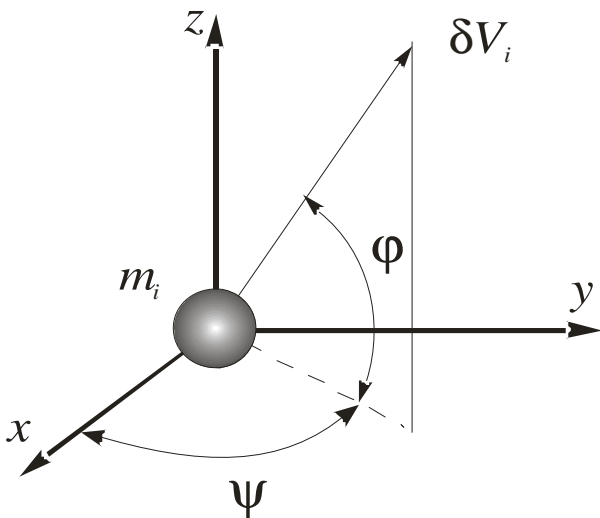


Рис. 1. Задание направлений разлета фрагментов

Поскольку моделируется взрывное разрушение отсека КА, то наиболее оправданным является задание значения углов j и u для каждого фрагмента случайным образом с использованием равномерного закона распределения в интервале от 0 до 2π .

Полученные на этом этапе результаты являются исходными данными для проведения второго этапа моделирования.

Оценка орбитальных параметров центра масс КА в момент разрушения. Параметры движения центра масс КА будем описывать системой уравнений, записанной в оскулирующих элементах (ОЭ) [2]:

$$\begin{aligned} \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{r}{\sqrt{mp}} W \frac{\sin U}{\sin i}, \\ \frac{di}{dt} &= \frac{r}{\sqrt{mp}} W \cos U, \\ \frac{dw_p}{dt} &= \sqrt{\frac{p}{m}} \left[-S \frac{\cos u}{e} + \left(1 + \frac{r}{p}\right) T \sin u - \frac{r}{p} W \cos i \sin U \right], \\ \frac{dp}{dt} &= 2 \sqrt{\frac{p}{m}} r T, \\ \frac{de}{dt} &= \sqrt{\frac{p}{m}} \left[S \sin u + \left(1 + \frac{r}{p}\right) T \cos u + e \frac{r}{p} T \right], \\ \frac{du}{dt} &= \sqrt{\frac{p}{m}} \left[\frac{m}{r^2} + S \frac{\cos u}{e} - \left(1 + \frac{r}{p}\right) \frac{\sin u}{e} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где r - текущий радиус-вектор, $m=398600 \text{ км}^3/\text{с}^2$ - гравитационный параметр Земли, u - угол истинной аномалии, U - угол широты, S , T , W - проекции возмущающей силы, отнесенной к массе КА, на орбитальные оси r , b , n .

Для нахождения плотности атмосферы целесообразно использовать экспоненциальный вид модели, точность которой составляет 1,5...5 % [2]:

$$\ln r = \dot{a}_0 - I \sqrt{h - h_0},$$

где r - плотность атмосферы на высоте h , $a_0 = -17,748$, $h_0 = 125700 \text{ м}$, $I = 0,011449$.

Расчет скоростей и направлений движения обломков относительно мгновенного положения центра масс (ЦМ) КА с целью упрощения алгоритма удобно проводить

в геоцентрической экваториальной системе координат с использованием известных формул пересчета [2].

Образовавшийся фрагмент получает некоторое приращение скорости dV , направление которого задается двумя углами: j - широты и y - долготы, определенными ранее.

Орбитальные параметры фрагмента в ГСК можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} x_0 &= x_{0s}, \\ y_0 &= y_{0s}, \\ z_0 &= z_{0s}, \\ v_{x0} &= v_{x0s} + dvcosj \cos y, \\ v_{y0} &= v_{y0s} + dvcosj \sin y, \\ v_{z0} &= v_{z0s} + dvsinj, \end{aligned} \quad (8)$$

где индекс s соответствует орбитальным параметрам ЦМ КА в момент разрушения.

Для расчетов требуется определение радиус-вектора: $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}$ и абсолютной скорости движения:

$$v_0 = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2 + v_{z0}^2}.$$

При проведении расчетов необходимо проводить проверку на превышение величины v_0 значения второй космической скорости v_{II} , так как при $v_0 \geq v_{II}$ фрагмент выйдет из поля земного тяготения, и поэтому его можно исключить из дальнейшего рассмотрения.

Расчет орбитальных параметров фрагментов и их дальнейшей эволюции в пространстве проводится по схеме, приведенной на рис. 2. В модели для описания движения фрагментов используется система уравнений возмущенного движения твердого тела в ОЭ (7). Для использования уравнений проводится пересчет орбитальных параметров фрагмента из ГСК в ОСК.

Если пренебречь вращением атмосферы вместе с Землей, то под влиянием атмосферы будут меняться только аргумент перигея w_p , фокальный параметр p и эксцент-

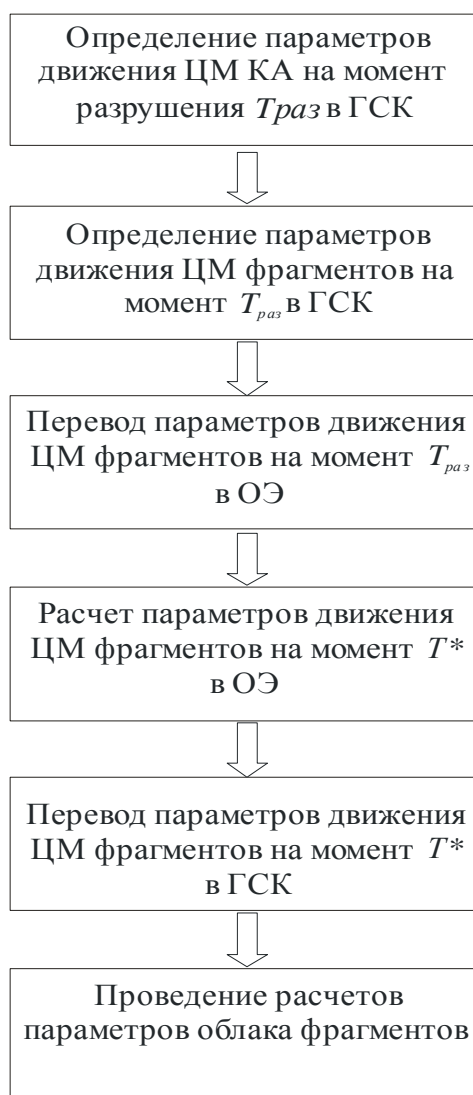


Рис. 2. Схема расчета орбитальных параметров фрагментов

риситет e , а наклонение орбиты i и долгота восходящего узла W остаются неизменными:

$$dw_{pa} \neq 0, dp_a \neq 0, de_a \neq 0, di_a = 0, dW_a = 0.$$

При движении с учетом возмущающего действия атмосферы основной является сила сопротивления $T = -srV^2$, а $S = 0$, $W = 0$.

Подсчет за один виток возмущений орбитальных параметров, вызванных влиянием атмосферы, проводится численным интегрированием, и при этом баллистический коэффициент s каждого фрагмента разыгрывается случайным образом в диапазоне от 0,01 до 1,0. Вычисляются:

- приращение фокального параметра

$$dp = -2 \int_0^{2p} srp^2 \left(\frac{1 + 2e \cos u + e^2}{(1 + e \cos u)^3} \right) du,$$

- приращение эксцентриситета орбиты $i_{pac} = i,$

$$de = -\int_0^{2p} srp(1+2e \cos u + e^2)(\cos u + \frac{e + \cos u}{1 + e \cos u})(\frac{1}{1 + e \cos u}) du, \quad W_{pac} = W + dW,$$

- приращение аргумента перицентра $w_{ppac} = w_p + dw_p,$

$$dw = -\int_0^{2p} srp(1 + \frac{1}{1 + e \cos u})(1 + 2e \cos u + e^2) \frac{\sin u}{(1 + e \cos u)^2 e} du. \quad p_{pac} = p + d_p,$$

$$e_{pac} = e + d_e,$$

Подсчет возмущений, вызванных влиянием несферичности Земли за один виток, производится по следующим зависимостям:

$$r_{\dot{a} \delta \dot{a} \ddot{n}} = \frac{P \delta \dot{a} \ddot{n}}{1 - \dot{a} \delta \dot{a} \ddot{n}},$$

$$di_s = 0, \quad dp_s = 0, \quad de_s = 0, \quad dw_s \neq 0,$$

смещение линии узлов

$$r_{\dot{a} \delta \dot{a} \ddot{n}} = \frac{P \delta \dot{a} \ddot{n}}{1 - \dot{a} \delta \dot{a} \ddot{n}}.$$

$$d\Omega_{\dot{y}} = -\frac{2p}{\delta^2} \frac{e}{m} \cos i,$$

смещение перицентра:

$$dw_{\delta y} = \frac{p}{\delta^2} \frac{e}{m} (5 \cos^2 i - 1),$$

где $e = 2,634 * 10^{10} \text{ км}^5/\text{с}^2.$

Подсчет суммарных возмущений орбиты за расчетный период времени. Суммарные возмущения параметров орбиты за один виток осуществляются путем суммирования величин возмущений, вызванных влиянием атмосферы и несферичностью Земли:

$$di = 0,$$

$$dW = dW_s,$$

$$dw_p = dw_{ps} + dw_{pa},$$

$$dp = dp_a,$$

$$de = de_a.$$

Для подсчета возмущения параметров орбиты за заданный промежуток времени производится суммирование возмущений орбитальных параметров за каждый виток.

При подсчете возмущений проверяется высота орбиты фрагмента. Если ее величина оказывается менее 100 км, то считается, что фрагмент вошел в плотные слои атмосферы и прекратил свое существование.

Орбитальные параметры в расчетный момент времени определяются как

Для дальнейшего использования параметры орбитального движения фрагментов необходимо перевести из ОЭ в ГСК.

Расчет пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества. Выразим значения относительной и массовой плотностей облака фрагментов.

Массовая плотность определится как

$$r_m = \frac{M}{V}, \quad (9)$$

а относительная плотность

$$r_0 = \frac{N}{V}, \quad (10)$$

где V - объем, образованный фрагментами и представляющий собой тороидальную область.

В первом приближении объем облака можно оценить следующим образом:

$$V = \frac{p^2}{4} (R_{amax} + R_{pmin}) (R_{amax} - R_{pmin})^2, \quad (11)$$

где R_{amax} - максимальный радиус апогея фрагментов, R_{pmin} - минимальный радиус перигея фрагментов.

Однако плотность облака фрагментов не является постоянной величиной в пределах рассматриваемого объема. Поэтому ее целесообразно определять для некоторых за-

данных значений объемов, вычисляемых относительно базовой траектории разрушенного КА. Для эллиптической орбиты с использованием второй теоремы Гульдена можно записать выражение для вычисления объема области, полученной от вращения круга радиуса r вдоль кривой, совпадающей с траекторией КА, в следующем виде:

$$V = p^2 r^2 p \left[\frac{3(1 + \sqrt{1 - e^2})}{2(1 - e^2)} - \frac{1}{(1 - e^2)^{3/4}} \right], \quad (12)$$

где p и e – соответственно фокальный параметр и эксцентриситет орбиты КА.

Из (12) для круговой орбиты ($e = 0$) радиусом R может быть получено известное выражение для вычисления объема тора

$$V = 2p^2 Rr^2. \quad (13)$$

Задаваясь различными значениями r , получим ряд значений объемов облака фрагментов, для которых по (9) и (10) можно вычислить искомые плотности на заданные моменты времени.

3. Решение модельной задачи

Рассмотрен случай разрушения отсека КА массой $m_{КА} = 5000$ кг на круговой орбите высотой $H = 350$ км при следующих исходных данных: количество образовавшихся фрагментов $n = 1000$, суммарная кинетическая энергия $E = 7 \cdot 10^7$ Дж, массы фрагментов распределены по экспоненциальному закону.

В соответствии с приведенным выше методом определены массы образовавшихся фрагментов: минимальная и максимальная массы составляют: $m_{min} = 0,001$ кг, $m_{max} = 60$ кг; минимальная и максимальная скорости фрагментов имеют значения: $DV_{min} = 5$ м/с, $DV_{max} = 1234$ м/с.

Проведено моделирование эволюции облака фрагментов для интервалов времени от момента разрушения до 3 часов, 1 суток и 1 месяца (рис. 3-5, размерность по осям - км). При анализе рассматриваются объемы тораидальной области, имеющей радиус окружности $r_{тор} = 10, 50, 100$ км, выбираемой относительно базовой орбиты КА.

Через 3 часа после разрушения (рис. 3) фрагменты начинают распределяться по то-

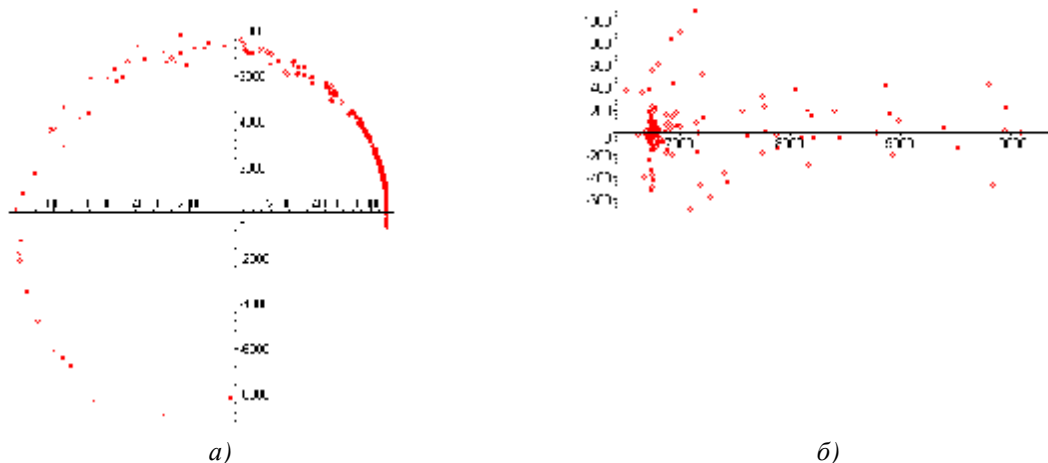


Рис. 3. Облако фрагментов через 3 часа после разрушения КА

Таблица 1

$r_{тор}$, км	$r_o \cdot 10^{-7}$, 1/км ³	$r_m \cdot 10^{-6}$, кг/км ³	Число фрагментов	Масса фрагментов, кг
10	326,7	345,6	434	4589,3
50	19,13	14,95	635	4964,8
100	5,12	3,744	680	4967,4

роидальной области, но ее кромки при этом еще не смыкаются. На рис. 3а приведена проекция облака фрагментов на плоскость орбиты КА, при этом ось абсцисс графика проходит через притягивающий центр и направлена в сторону точки, соответствующей моменту разрушения КА. На рис. 3б приведены совмещенные проекции облака фрагментов на плоскости, перпендикулярные плоскости ор-

биты КА и проходящие через притягивающий центр и соответствующий фрагмент.

Параметры облака приведены в таблице 1.

Через 1 сутки основная масса фрагментов располагается в тороидальной области, включающей траекторию орбиты разрушившегося КА (рис. 4). Соответствующие этому случаю параметры облака приведены в таблице 2.

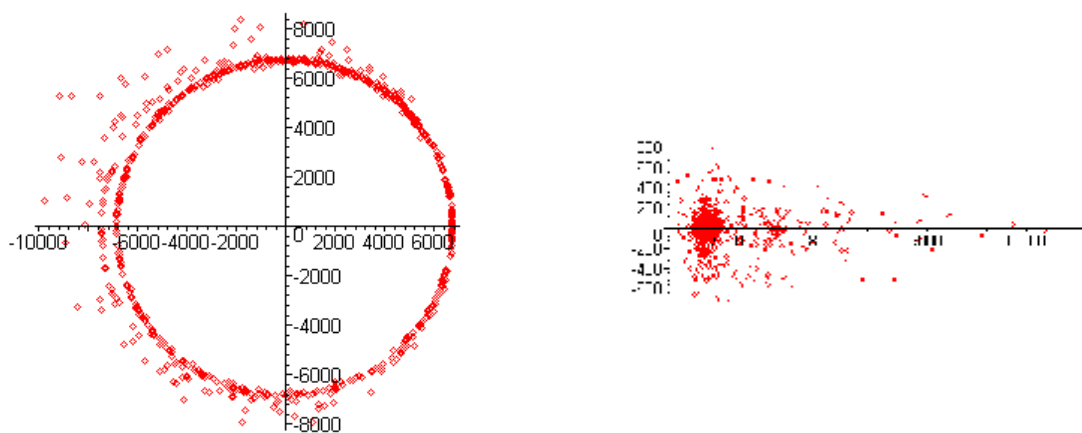


Рис. 4. Облако фрагментов через 1 сутки после разрушения КА

Таблица 2

$r_{тор}$, км	$r_0 * 10^{-7}$, 1/км ³	$r_m * 10^{-6}$, кг/км ³	Число фрагментов	Масса фрагментов, кг
10	338,8	346,37	69	179,09
50	12,34	13,29	433	4414,22
100	4,472	3,7258	602	4948,42

По истечении 1 месяца вид облака и его параметры не претерпевают существенных изменений (рис. 5 и таблица 3).

Отметим, что для рассмотренных пара-

метров орбит фоновое значение концентрации техногенного вещества для фрагментов массой более 1 гр составляет около $2 * 10^{-7}$ 1/км³ по [3].

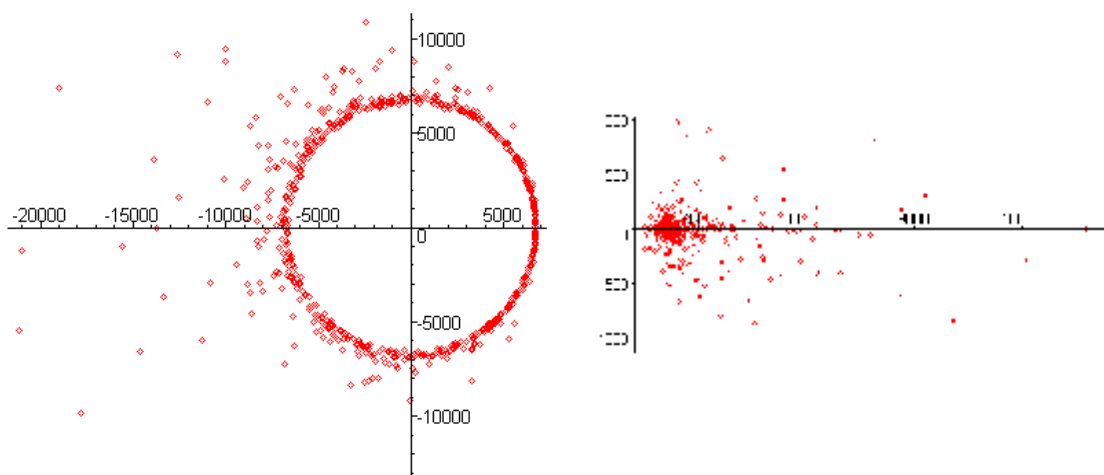


Рис. 5. Облако фрагментов через 1 месяц после разрушения КА

Таблица 3

r_{top} , км	$\Gamma_0 * 10^{-7}$, 1/км ³	$\Gamma_m * 10^{-6}$, кг/км ³	Число фрагментов	Масса фрагментов, кг
10	820,7	860,7	109	143,15
50	14,27	14,23	474	4727,80
100	4,593	3,732	610	4951,08

Таким образом, на орбитах, близких к орбите разрушенного КА, реальная плотность потоков техногенного вещества существенно (от 2 до 40 раз) больше фонового значения. Следовательно, при оценке безопасности полета КА, функционирующих в составе орбитальных космических систем, необходимо учитывать вероятность изменения расчетных условий в случае разрушения на орбите одного из КА.

Список литературы

1. Debris evolution and lifetime following an orbital break up. Chobotov V., Spenser D. "AIAA Pap.", 1989, №0085, 11pp.
2. Основы теории полета космических аппаратов./ Под ред. Г. С. Нариманова и М. К. Тихонравова. – М.: Машиностроение, 1972.
3. ОСТ 134-1022-99. Пространство околоземное космическое. Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества. – М: РКА.

ESTIMATION OF TECHNOGENETIC SUBSTANCE FLOW DENSITY DISTRIBUTION IN TIME AND SPACE WITH REGARD TO LOCAL BREAKAGES OF SPACE VEHICLE COMPARTMENTS

© 2006 V. D. Yelenev

Samara State Aerospace University

The paper considers an approach which makes it possible to estimate Technogenetic substance flow density distribution in time and space. The is a cloud of fragments of the broken space vehicle compartments. Specific indicators are chosen to estimate the cloud parameters. The solution of the problem involves modeling the breakage of a space vehicle compartment with a given number of fragments in the cloud. The fragments masses, ballistic coefficients, velocities and directions of flying are chosen. The orbits of the fragments formed and their further evolution are calculated. The author proposes making estimations for certain given values of volume calculated relative to the basic trajectory of the space vehicle broken. The modeling results for the chosen case of space vehicle breakage are given.

МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ОРБИТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

© 2006 В. Д. Еленев, А. А. Панков

Самарский государственный аэрокосмический университет

Предложен метод решения задачи выбора параметров орбитальной структуры космической системы наблюдения (КСН), состоящей из нескольких космических аппаратов (КА) с использованием показателя минимальной периодичности наблюдений. Этот метод основан на использовании модели гарантированной периодичности наблюдения объектов наблюдения (ОН), в которой используются зоны видимости. Приводятся результаты выбора параметров орбитальной структуры КСН для модельной задачи и сравнение результатов ее решения с традиционным методом построения орбитальной структуры КСН.

Введение

Вопросы оперативности наблюдения во многом зависят от выбранной орбитальной структуры КСН, определяющей минимально возможную периодичность наблюдений. Существующие методы расчета периодичности наблюдений основаны на выделении (построении) полос обзора, представляющих собой участки земной поверхности, которые могут быть потенциально наблюдаемы на выбранном витке полета КА [1-2]. Использование полос обзора имеет определенные недостатки, например, связанные со сложностью определения фактического времени наблюдения заданного объекта земной поверхности на рассматриваемом витке, требуемых углов отклонения оптической оси аппаратуры наблюдения (АН) от надира при последовательной съемке нескольких объектов наблюдения и др.

Предлагается при выборе параметров орбитальной структуры КСН использовать зоны видимости, представляющие собой множество орбитальных участков, с которых обеспечивается обзор выбранного ОН при заданных ограничениях на условия съемки земной поверхности.

Постановка задачи выбора параметров орбитальной структуры КСН

В качестве проектных переменных принимаются параметры орбит заданного числа КА, входящих в состав КСН. Требуется выбрать такие значения проектных переменных, которые обеспечивают минимальную пери-

одичность наблюдения заданных на земной поверхности ОН при наличии ограничений на параметры орбит и детальность наблюдений.

Минимальным периодом наблюдения будем называть период времени, в течение которого будет гарантированно обеспечено повторное прохождение КА в зоне ОН, обеспечивающей его наблюдение. В общем случае, на рассматриваемом интервале времени при заданной орбите может быть несколько повторных выходов КА на ОН. Время между повторными выходами на ОН будем характеризовать величиной

$$Dt_i = (t_i - t_{i-1}), \quad (1)$$

где t_i и t_{i-1} - соответственно время i -го и $i-1$ выхода КА на ОН.

Очевидно, что гарантированной периодичностью выхода КА на ОН будет максимальное из всех значений (1):

$$Dt^{max} = \max(t_i - t_{i-1}), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где n - число выходов КА на ОН.

Так как каждым КА реально наблюдается некоторое множество ОН, то необходимо выбрать показатель, учитывающий периодичность наблюдения всех ОН. В качестве показателей периодичности можно предложить следующие:

- показатель, характеризующий максимальное значение среди гарантированных периодичностей наблюдения всех ОН:

$$P_1 = \max_k \max_i (t_i - t_{i-1})_k, k = 1, \dots, N, i = 2, \dots, n_k, \quad (3)$$

где n_k - число выходов КА на k -й ОН, N - число ОН;

- показатель, характеризующий среднее арифметическое значение от гарантированных периодичностей наблюдения для всех ОН:

$$P_2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \max_i (t_i - t_{i-1})_k, i = 2, \dots, n_k; \quad (4)$$

- показатель, характеризующий среднее значение периодичности наблюдений:

$$P_3 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left[\frac{1}{n_k - 1} \sum_{i=2}^{n_k} (t_i - t_{i-1}) \right]. \quad (5)$$

Задача выбора параметров орбитальной структуры КСН может рассматриваться как оптимизационная задача, в которой проектными переменными являются параметры орбит КА, входящих в КСН, а проектными ограничениями – ограничения на параметры орбит и условия наблюдения. Так, например, ограничениями могут быть максимальная и минимальная высоты орбиты КА, обеспечивающие, соответственно, заданные значения разрешающей способности аппаратуры наблюдения и условия функционирования. В качестве целевой функции могут использоваться выражения, минимизирующие один из показателей (3-5) для всех КА КСН.

Решением задачи будут параметры орбит КА, входящих в КСН на начальный момент времени t_0 .

Параметры орбит КА задаются в оскулирующих элементах: наклонение орбиты i , долгота восходящего узла W , аргумент перигея w , фокальный параметр p , эксцентриситет орбиты e , угол истинной аномалии u .

Оптимизационная задача выбора параметров орбитальной структуры КСН сводится к общей задаче нелинейного программирования, которая формулируется следующим образом: определить оптимальную совокупность проектных параметров $X = \{W_n, i_n, p_n, w_n, e_n, u_n\}, n = 1, \dots, N$, обеспе-

чивающую достижение минимального значения выбранного из набора (3-5) показателя при ограничениях на пространственное разрешение и высоту орбиты:

$$X^* = \arg \min f(X)$$

при ограничениях

$$g_1(X) = R_n - R \geq 0,$$

$$g_2(X) = H_n - H_{min} \geq 0,$$

где $f(X) \in \{P_1, P_2, P_3\}$, N - число КА в КСН.

Для решения оптимизационной задачи необходимо наличие модели, обеспечивающей вычисление гарантированной периодичности наблюдения всех ОН КСН при выбранной орбитальной структуре.

Модель гарантированной периодичности наблюдения

В большинстве случаев задача расчета периодичности для точечного ОН решается из условия, что все КА в системе находятся в одной плоскости орбиты (орбита круговая, солнечносинхронная, изомаршрутная) и равномерно разнесены в плоскости орбиты со сдвигом по аргументу широты [1]. Эти ограничения резко сокращают число потенциальных вариантов построения КСН.

Для устранения этого недостатка рассмотрим модель, обеспечивающую определение гарантированной периодичности наблюдения в случае, когда на орбиты КА не наложены взаимные ограничения. Для повышения универсальности этой модели и возможности использования ее при формировании программы съемки земной поверхности с учетом условий освещенности, наличия облачности, времени нахождения в зоне видимости ОН, времени подхода к следующему ОН и требуемых при этом углов отклонения оптической оси АН от надира, взаимного положения КА и ОН введем в рассмотрение понятие зоны видимости ОН.

Рассмотрим конус видимости, вершина которого располагается в геометрическом центре ОН, ось проходит через центр Земли, а угол полураствора g равен углу обзора АН (рис. 1).

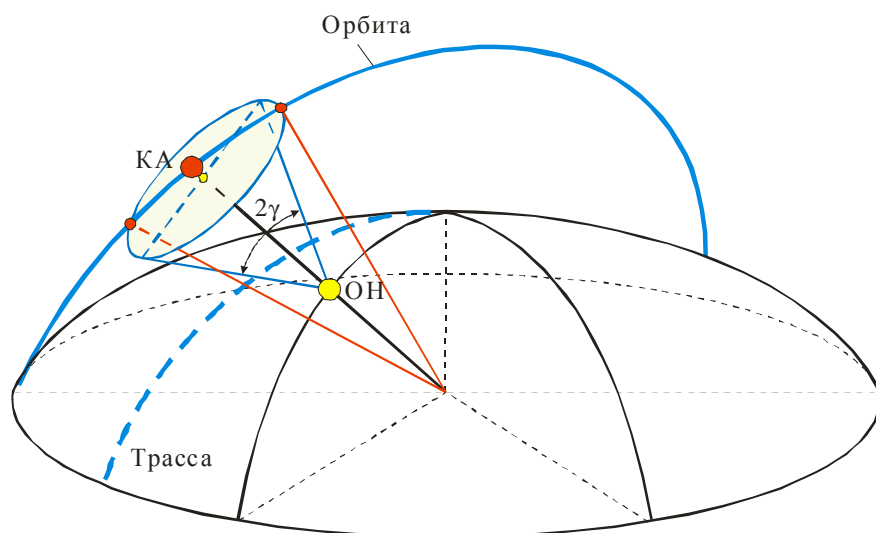


Рис. 1. Зона видимости ОН с КА и пересечение ее орбитой КА

В первом приближении будем считать орбиту КА круговой. В конусе видимости выделим зону видимости, которая характеризуется основанием конуса, расположенным на расстоянии H от вершины, равным высоте орбиты КА. В этом случае зона видимости с учетом максимального угла разворота оптической оси АН в любом направлении от надира представляет собой сферическую поверхность. Радиус зоны видимости в этом случае можно определить из выражения

$$R_z = R \left[p - g - \arcsin \left(\frac{(R + H) \sin g}{R} \right) \right],$$

где R_z - радиус зоны видимости, R - средний радиус Земли, H - высота орбиты КА.

Для нахождения периодичности наблюдений КСН задачу выбора параметров орбитальной структуры будем решать в несколько этапов:

- определение моментов выхода каждого КА КСН на ОН на заданном интервале времени;
- формирование сводной таблицы общих данных;
- обработка результатов.

Определение моментов выхода каждого КА КСН на ОН на заданном интервале времени начнем с фиксации начального момента времени t_0 и задания на этот момент времени параметров орбит всех КА, входящих в состав КСН.

Проход КА через широту ОН может быть как на восходящем, так и на нисходящем витках. Для определения времени выхода КА на широту ОН используются уравнения связи времени движения КА с элементами эллиптической орбиты [3].

Время движения КА от точки, в которой он находился в момент времени t_0 , до перигея орбиты равно

$$t_{\Pi} = T - \frac{a^{3/2}}{\sqrt{m}} [E_{КА} - e \sin E_{КА}], \quad (6)$$

где $E_{КА} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} u_{КА0} \right)$ - эксцентри-

ческая аномалия начального положения КА;

$u_{КА0}$ - истинная аномалия начального положения КА; T - период обращения КА; a - большая полуось орбиты; $m = 398602 \text{ км}^5/\text{с}^2$ - произведение гравитационной постоянной на массу Земли.

Время движения КА от перигея до геодезической широты ОН на восходящем витке орбиты равно (рис. 2)

$$t_{ОН1} = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{m}} [E_{ОН1} - e \sin E_{ОН1}], \quad (7)$$

где $E_{ОН1} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} (u_{ОН1} - w) \right)$, (8)

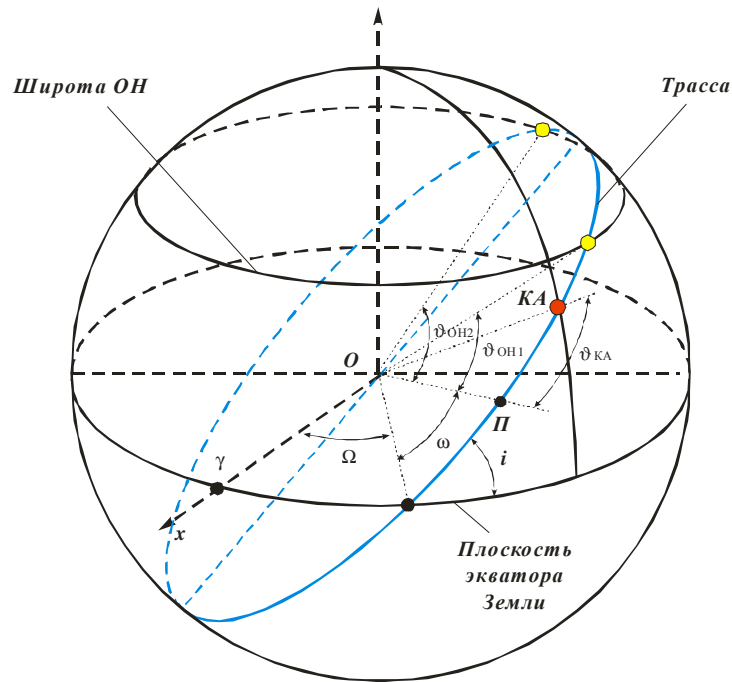


Рис. 2. Определение угла истинной аномалии на восходящем и нисходящем витках

$E_{ОН1}$ - эксцентрисическая аномалия, соответствующая точке пересечения орбиты КА с широтой ОН на восходящем витке орбиты;

$u_{ОН1}$ - аргумент широты (восходящий виток), на которой расположен ОН.

Необходимо учесть, что если условие $u_{ОН1} - w > 0$ не выполняется, то выражение (8) примет вид

$$E_{ОН1} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{ОН1} - w + 2p) \right). \quad (9)$$

Время движения КА от перигея до геодезической широты ОН на нисходящем витке орбиты равно

$$t_{ОН2} = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} [E_{ОН2} - e \sin E_{ОН2}],$$

где $E_{ОН2} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{ОН2} - w) \right), \quad (10)$

$E_{ОН2}$ - эксцентрисическая аномалия, соответствующая точке пересечения орбиты КА с широтой ОН на нисходящем витке орбиты;

$u_{ОН2}$ - аргумент широты (нисходящий виток), на которой расположен ОН.

Если условие $u_{ОН2} - w > 0$ не выполняется, то выражение (10) примет вид

$$E_{ОН2} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{ОН2} - w + 2p) \right).$$

Время движения КА от момента времени t_0 до точки пересечения трассы КА с широтой, на которой расположен ОН, определится по формулам для восходящего и нисходящего витков, соответственно:

$$t_1 = t_{ОН1} + t_{П},$$

$$t_2 = t_{ОН2} + t_{П}.$$

Для рассматриваемого витка определим, проходит ли орбита КА через зону видимости. Для этого необходимо знать координаты ОН, наклонение орбиты и смещение КА по долготе меридиана относительно ОН на широте ОН (рис. 3).

При допущении об относительной малости зоны видимости в первом приближении можно считать, что радиусы орбиты в точке входа в зону на широте ОН и в точке выхода из зоны одинаковы.

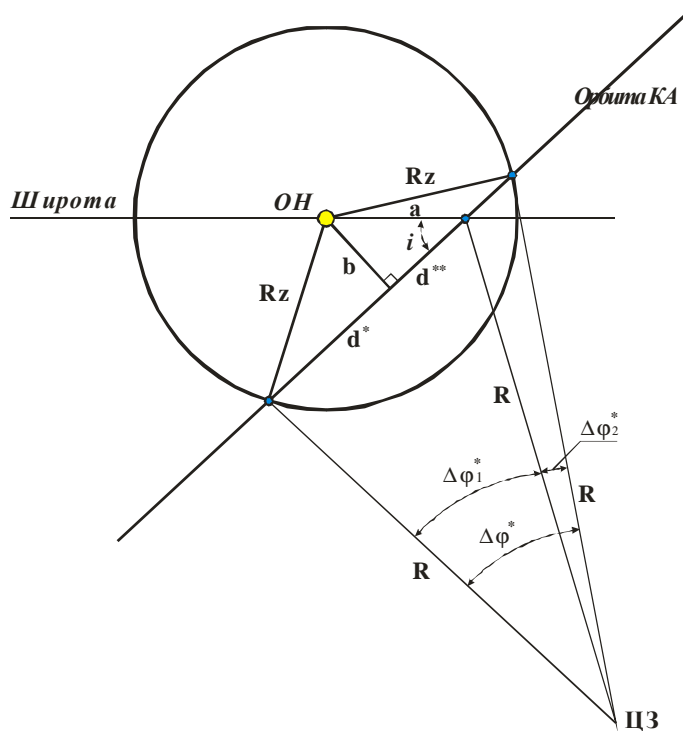


Рис. 3. Определение точек входа и выхода из зоны видимости ОН

Сдвиг по долготе относительно ОН при выходе КА на широту ОН составит

$$a = L_{OH} - L_i, \quad (11)$$

где $L_i = W_0 + \arctg(tg u \cos i) - S + DW \frac{t}{T}$,

L_{OH} - долгота ОН; L_i - текущая долгота КА при выходе на широту ОН, u - аргумент широты, S - звездное время на гринвичском меридиане, W_0 - начальное значение долготы восходящего узла, DW - прецессия узла орбиты за один виток, t - текущее время полета.

Условие пересечения зоны видимости орбитой КА будет выполняться, если

$$a \leq R_z. \quad (12)$$

В случае пересечения орбитой КА зоны видимости определим время входа в зону и время выхода из зоны.

Угловой размер хорды, образованной пересечением линии границы зоны видимости и орбиты, равен (рис. 3)

$$Dj^* = Dj_1^* + Dj_2^*, \quad (13)$$

$$\text{где } Dj_1^* = \arccos\left(\frac{1}{(d^* + d^{**})^2}\right)$$

$$Dj_2^* = \arccos\left(\frac{1}{(d^* - d^{**})^2}\right),$$

$$d^* = \sqrt{R_z^2 - b^2}, \quad d^{**} = a \cos i, \quad b = a \sin i.$$

Для определения времени выхода из зоны видимости используется выражение

$$t_{\text{ВЫХ}} = \frac{A^{3/2}}{\sqrt{m}} [E_{\text{ВЫХ}} - e \sin E_{\text{ВЫХ}}], \quad (14)$$

$$\text{где } E_{\text{ВЫХ}} = 2 \arctg\left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{OH} - w + Dj_2^*)\right) -$$

эксцентрисическая аномалия, соответствующая точке пересечения орбиты КА и границы зоны видимости при его выходе из зоны;

$t_{\text{ВЫХ}}$ - время движения КА от перигея орбиты до точки его выхода из зоны видимости;

A - большая полуось орбиты;

$(u_{OH} - w + Dj_2^*)$ - угловое расстояние от перигея орбиты до точки выхода КА из зоны видимости; u_{OH} - аргумент широты параллели, на которой расположен ОН.

Для определения времени входа в зону видимости используется выражение

$$t_{BX} = \frac{A^{3/2}}{\sqrt{m}} [E_{BX} - e \sin E_{BX}], \quad (15)$$

где $E_{BX} = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} (u_{OH} - w - Dj_1^*) \right) -$

эксцентрическая аномалия, соответствующая точке пересечения орбиты КА и границы зоны видимости при его входе в зону; t_{BX} - время движения КА от перигея орбиты до точки входа его в зону; $(u_{OH} - w - Dj_1^*)$ - угловое расстояние от перигея орбиты до точки входа КА в зону видимости.

Таким образом, время, в течение которого КА находится в зоне видимости ОН, равно

$$t_{OH} = t_{ВЫХ} - t_{BX}. \quad (16)$$

Таблица 1

№п/п	№ ОН	№ КА	Время выхода КА на широту ОН	Время наблюдения
1	1	1	t_1	T_1
2	1	2	t_2	T_2
3	3	1	t_3	T_3
...
n	k	N	t_n	T_n

Решение модельной задачи

С использованием разработанного метода и созданного на его базе программного обеспечения решен ряд задач по выбору параметров орбитальной структуры, в том числе формирование орбитальной структуры для КСН периодического глобального наблюдения за крупнейшими городами мира (208 городов) по показателю (3). Результаты реше-

Формирование сводной таблицы общих данных. Для проверки условия прохождения КА через зону видимости на каждой витке значение текущей долготы меридиана увеличивается на величину межвиткового сдвига, а текущее время - на величину периода обращения. Проверяется условие (12) и, если оно выполняется, проводятся расчеты согласно (13-16).

Для выбранного интервала времени вычисленные значения сводятся в таблицу 1, которая включает в себя информацию по каждому выходу КА на ОН.

Обработка результатов. Проводится сортировка данных полученной таблицы по возрастанию величин номера ОН и времени выхода на ОН - t_i . После этого определяется показатель гарантированной периодичности наблюдений из набора (3-5).

По результатам табл. 1 дополнительно можно определить суммарное время наблюдения на выбранном интервале времени, а также среднее время наблюдения.

ния приведены в табл. 2 и 3.

По сравнению с традиционным подходом к выбору параметров орбитальной структуры, состоящей из двух КА, орбиты которых разнесены по долготе восходящего узла на 90 градусов, получено улучшение значений показателей периодичности: по показателю (3) на 0,64 часа, по показателю (4) на 1,29 часа и по показателю (5) на 1,06 часа.

Таблица 2. Результаты решения задачи выбора параметров орбитальной структуры КСН

№ КА	W , град	i , град	p , км	w , град	e	u , град
1	13,22	107,85	6707,62	-0,01	0,003	0,53
2	91,36	108,24	6701,76	5,65	0,001	182,11

Таблица 3. Значения целевой функции

Показатель	Значение, (час)
(3)	28,01
(4)	24,11
(5)	14,31

Заключение

Рассмотренный метод выбора параметров орбитальной структуры системы космических аппаратов с использованием показателя минимальной периодичности наблюдений позволяет выбрать вариант орбитальной структуры КСН с наилучшей периодичностью. Разработанная модель позволяет использовать ее также при планировании программы съемки земной поверхности, обеспечивая получение всей необходимой информации. Сравнение разработанного метода с традиционным показало улучшение показателя периодичности наблюдений.

Список литературы

1. Лебедев А. А. Введение в анализ и синтез систем: Учебное пособие. – М: Изд-во МАИ, 2001.
2. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление / В. В. Малышев, В. Т. Бобронников, О. П. Нестеренко, А. В. Федоров; под редакцией В. В. Малышева. – М.: Изд-во МАИ, 2000.
3. Основы теории полета космических аппаратов./ Под ред. Г. С. Нариманова и М. К. Тихонравова. - М.: Машиностроение, 1972.

METHOD OF CHOOSING PARAMETERS OF SPACE OBSERVATION SYSTEM ORBITAL STRUCTURE

© 2006 V. D. Yelenev, A. A. Pankov

Samara State Aerospace University

The paper proposes a method for solving the task of choosing parameters of space observation system orbital structure which consists of several space vehicles. An indicator of minimal periodicity of observations is used. The method is based on the model of guaranteed observation periodicity using visibility areas. Results of choosing orbital structure parameters are given and compared with the results obtained by the traditional method of constructing a space observation system orbital structure.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННО-ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ

© 2006 О. А. Журавлев¹, С. Ю. Комаров¹, Ю. Н. Шапошников²,
Ю. Д. Щеглов³, Н. Ю. Устиченко¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Самарский научный инженерный центр АПИДМ

³ОАО «Моторостроитель», г. Самара

Разработан и прошел апробацию автоматизированный диагностический комплекс, созданный на основе совместного применения помехоустойчивого цифрового спекл-интерферометра и шлирен-метода Теплера. Выполнены исследования процессов комбинированного возбуждения мембраны звуковым полем и газовым потоком. Выявлены такие физические явления, как усиление интенсивности акустического возбуждения мембраны в ламинарном газовом потоке и нелинейные изменения конфигурации узловых полос исследуемой формы колебаний в турбулентном потоке. Диагностический комплекс найдет применение для исследования волнового взаимодействия рабочих сред и конструкций во многих отраслях науки и техники.

Одной из актуальных задач является изучение процессов акустического возбуждения резонансных колебаний конструкций при одновременном воздействии потока газа. Такой механизм возбуждения объекта является характерным для целого ряда реальных конструкций, включающих духовые инструменты, форсунки – горелки, лопатки турбины и компрессора, выхлопную трубу и элементы кузова автомобиля и т. д. Трудности экспериментального исследования здесь связаны с тем, что существующие методы регистрации не обеспечивают одновременного изучения вибрационных характеристик конструкций и структурных образований в потоках [1-3]. Для проведения экспериментальных исследований впервые был создан автоматизированный диагностический комплекс на основе помехоустойчивого цифрового спекл-интерферометра (ПЦСИ) и системы визуализации потоков шлирен-методом Теплера [4, 5].

Диагностический комплекс на основе помехоустойчивого цифрового спекл-интерферометра и оптической схемы шлирен-метода Теплера

Оптико-электронная схема созданного диагностического комплекса приведена на рис. 1. Комплекс содержит два измерительных канала, имеющих самостоятельные электронные системы регистрации. По каждому

измерительному каналу зарегистрированные спеклограммы и структуры потоков в реальном масштабе времени вводятся в ПЭВМ и обрабатываются. Первый измерительный канал представляет собой помехоустойчивый ЦСИ. В схеме ПЦСИ (рис. 1) излучение от лазера 1 расширяется микрообъективом 2 и делится полупрозрачным зеркалом 3 на опорный и предметный пучки. Предметный пучок, отразившись от зеркала 7, освещает объект исследования 8 и, отразившись от него, направляется в телекамеру 10. Опорный пучок транспортируется системой зеркал 4, 5 и фокусируется линзой 6 на светочувствительную площадку телекамеры 10. Плоскопараллельная пластина 9 сводит предметный и опорный пучки вместе. Зарегистрированное телекамерой спекл-изображение передается в ПЭВМ 11 и обрабатывается по алгоритму, приведенному в [5].

Второй измерительный канал представляет собой автоматизированную установку на основе оптической схемы шлирен-метода Теплера. Излучение лазера 12 проходит через коллиматор 13 с формированием на выходе светового пучка диаметром примерно 40 мм с плоским фронтом. Зеркало 14 направляет лазерный пучок через область исследования с фазовым объектом на линзу 15. В фокусе линзы 15 устанавливается нож Фуко

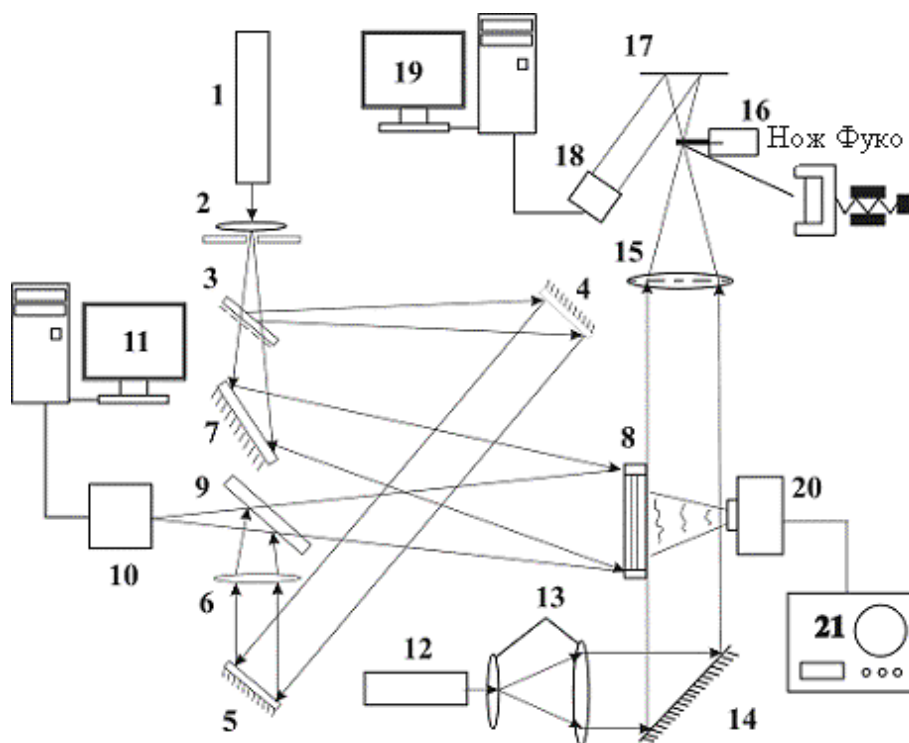


Рис. 1. Оптико-электронная схема диагностического комплекса на основе ЦСИ и шпирен-метода Теллера: 1, 12 - лазер; 2 - микрообъектив; 3 - светоделитель; 4, 5, 7, 14 - поворотные зеркала; 6, 15 - линза; 8 - объект исследования; 9 - плоскопараллельная пластина; 10, 18 - телекамера; 11, 19 - ПЭВМ; 13 - коллиматор; 16 - нож Фуко; 17 - экран; 20 - звуковой динамик; 21 - звуковой генератор

16 в виде тонкой нити, которая находится в державке с микрометрической подвижкой. После дифрагирования на нити 16 лазерное излучение проецируется на экран 17. Получаемая на экране 17 динамическая картина структурных образований регистрируется телевизионной камерой 18 и покадрово передается в ПЭВМ 19 для обработки и сравнительного анализа по разработанному алгоритму.

Объект исследования 8 бесконтактно возбуждался в акустическом поле звукового динамика 20, сигнал на который подавался от звукового генератора (ГЗ-56) 21.

В качестве объекта исследования использовалась фольговая мембрана толщиной 100 мкм и диаметром 75 мм. Мембрана создавалась путем натяжения металлической фольги 1 (рис. 2) в кольцевой оправке 2, 3. Возбуждение мембраны проводилось акусти-



Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 - мембрана; 2 - корпус; 3 - прижимное кольцо; 4 - звуковой динамик; 5 - формирователь потока; 6 - подводная трубка; 7 - редуктор; 8 - баллон; 9 - звуковой генератор

ческим возбудителем, который конструктивно состоял из электромагнитного звукового динамика 4 и формирователя потока 5.

Формирователь потока выполнен так, что имеется возможность подвода в его полость сжатого газа через трубку 6, которая через редуктор 7 подключается либо к баллону 8 с гелием, либо к магистрали сжатого воздуха.

Мембрана 1 с кольцевой оправкой 2, 3 устанавливается в плоскости регистрации помехоустойчивого ЦСИ, а рабочий промежуток шириной $L = 40$ мм между мембраной 1 и торцом формирователя 5 контролируется оптическим каналом шпирен-метода. Звуковой динамик 4 с формирователем потока 5 устанавливался на оси мембраны 1.

Результаты исследования акустического возбуждения мембраны в потоке газа

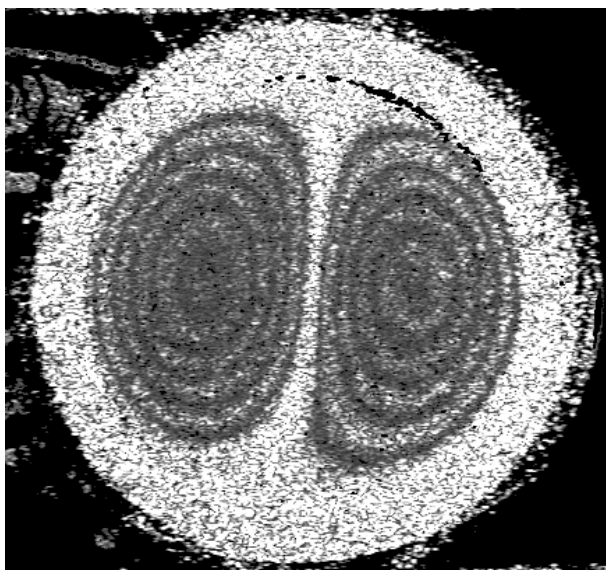
Первоначально регистрировались собственные частоты и формы колебаний мембраны, возбуждаемой звуковым полем без подачи газа в формирователь 5. Были выделены три частоты ($f = 1093$ Гц, 1203 Гц и 1665 Гц) наиболее эффективного возбуждения мембраны (рис. 3).

Затем из пневмомагистрали воздух подавался в формирователь потока 5. При этом уровень возбуждения звукового динамика от генератора 9 оставался неизменным. Расход

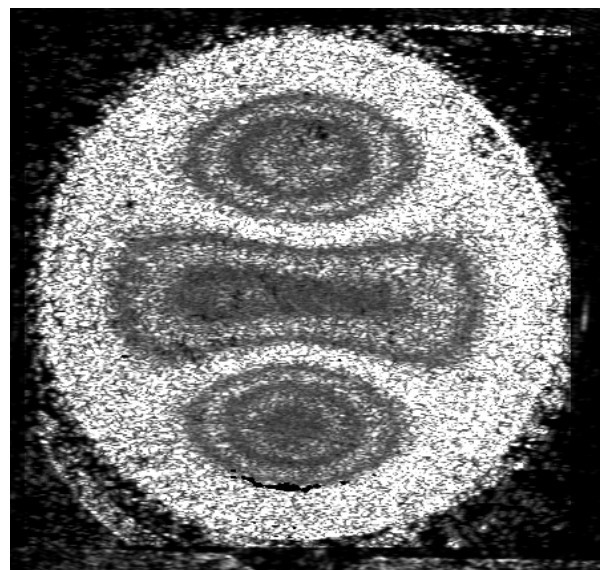
воздуха ступенчато увеличивался. На каждой из ступеней расхода регистрировались спеклограммы собственных колебаний мембраны. На рис. 4 представлены спеклограммы собственных колебаний мембраны на частоте 1203 Гц при взаимодействии с обдувающим ее потоком воздуха.

Стабильность формы колебаний мембраны (рис. 4) прежде всего подтверждает работоспособность созданного программного обеспечения помехоустойчивого ЦСИ, позволяющего производить запись спеклограмм в условиях механической нестабильности оптической схемы, обусловленной как общим снижением виброзащищенности оптического стола, так и наличием пульсационного воздействия потока воздуха на резонансно-колеблющийся объект. Более детальное изучение представленных на рис. 4 спеклограмм позволяет отметить, что воздействие потока при минимальном расходе воздуха приводит к некоторому увеличению амплитуды колебаний мембраны (рис. 3,а и рис. 4,а). В то же время дальнейшее увеличение расхода газа и соответственно дестабилизирующего воздействия сопровождается снижением амплитуды колебаний мембраны и ослаблением видности изолиний спеклограммы с резонансной формой (рис. 4,б).

Для более контрастного выделения отмеченных особенностей видоизменения кар-



а)



б)

Рис. 3. Формы собственных колебаний мембраны в воздушной среде на частотах: а) 1203 Гц; б) 1665 Гц

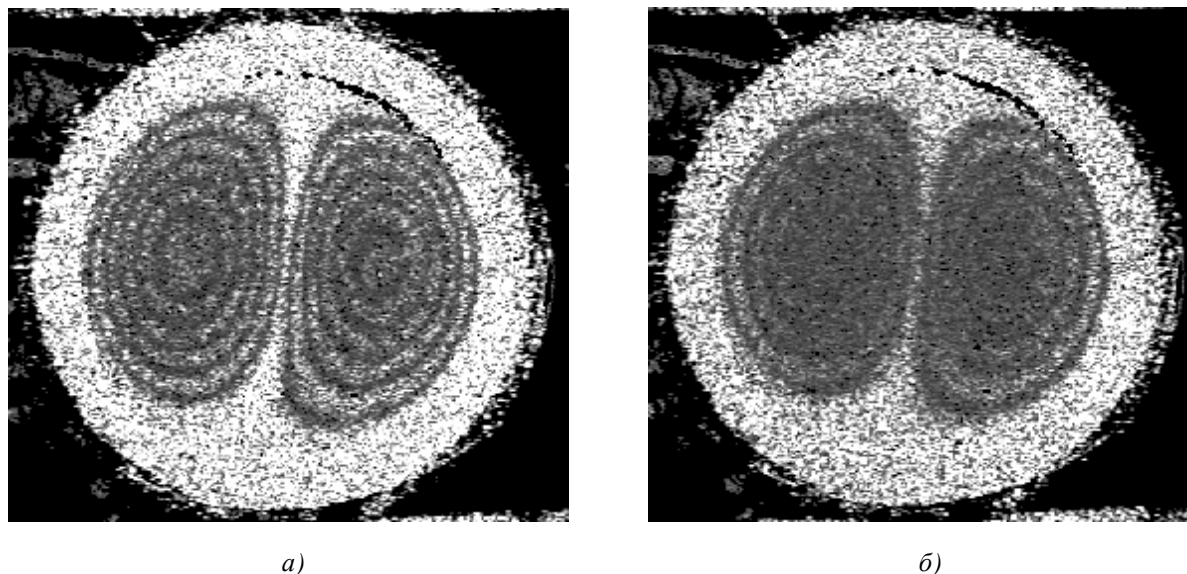


Рис. 4. Видоизменение формы колебаний мембраны на собственной частоте 1203 Гц при увеличении расхода воздуха от а) к б)

тины колебаний мембраны вышеописанный эксперимент был повторен на частоте 1093 Гц при значительно меньшей амплитуде исходного возбуждения мембраны без потока воздуха (рис. 5,а). При этом зафиксированы ярко выраженные эффекты резкого возрастания амплитуды колебания мембраны при малом расходе воздуха (рис. 5,б) и полное размывание изолиний формы колебаний (рис. 5,в) при максимальном уровне пульсационного воздействия потока на мембрану.

Общий недостаток проведенных экспериментов заключается в отсутствии инфор-

мации о структуре потока воздуха, воздействующего на мембрану. Для визуализации потока в шликрен-методе Теплера необходимо применение газа с отличным от окружающей среды коэффициентом преломления. Поэтому на следующем этапе эксперимента в формирователь потока подавался гелий, и на частоте 1665 Гц регистрировались колебания мембраны в звуковом поле, возбуждаемом в гелий-воздушной среде. Расход гелия ступенчато увеличивался, и для каждого из уровней расхода с помощью ПЦСИ проводилась регистрация видоизменений формы ко-

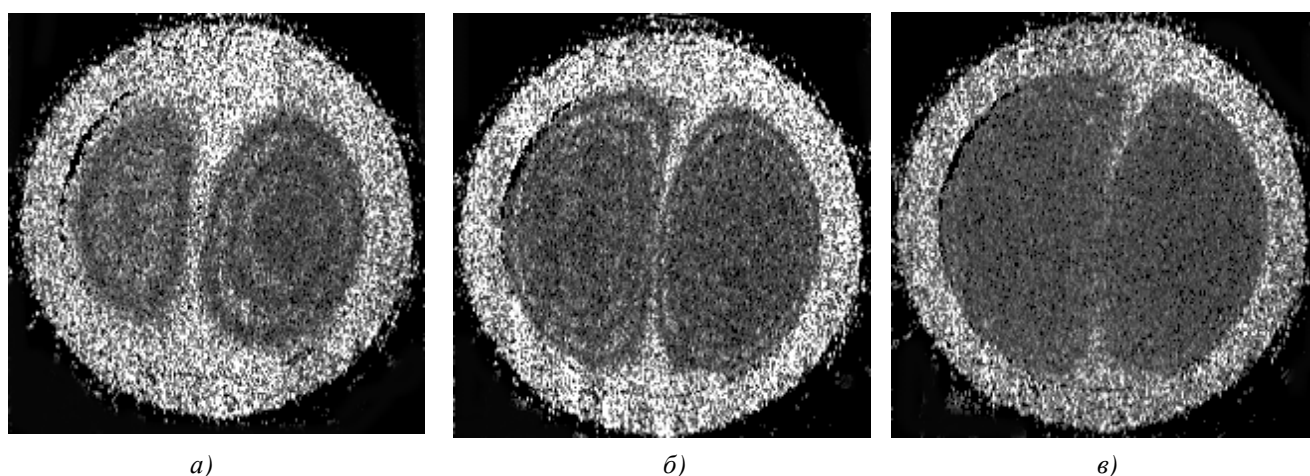
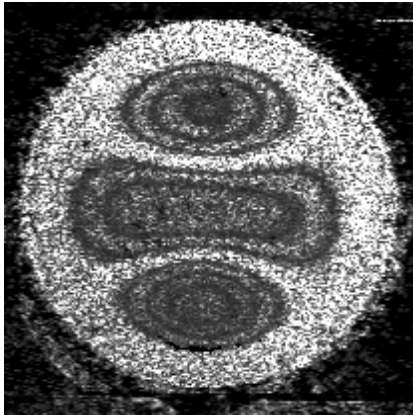


Рис. 5. Видоизменение формы колебаний мембраны на резонансной частоте 1093 Гц при увеличении расхода воздуха: а - без потока воздуха; б - минимальный уровень расхода воздуха; в - максимальный уровень расхода воздуха

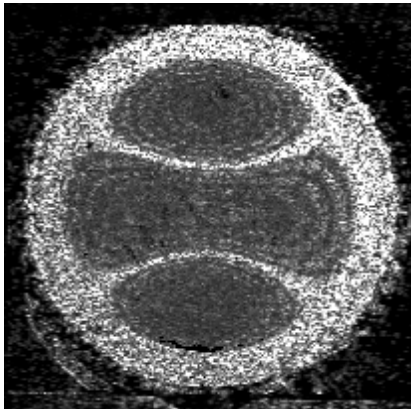
лебаний мембраны. Одновременно с регистрацией колебаний мембраны шпирен-методом визуализировалось истечение гелия из сопла формирователя потока. Характерные формы колебаний мембраны на частоте 1665 Гц и соответствующие им шпиренграммы потока гелия приведены на рис. 6. В процессе проведения эксперимента при подаче гелия в формирователь звукового динамика был отмечен (на слух) эффект резкого уси-

ления интенсивности звука. При незначительном увеличении расхода гелия уровень интенсивности звука не снижался.

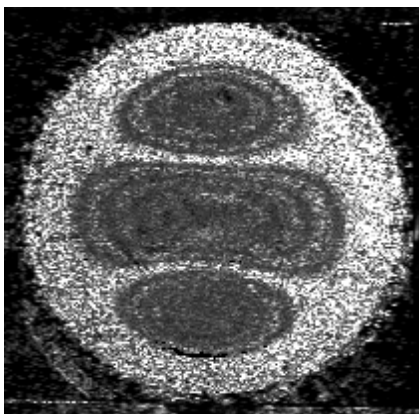
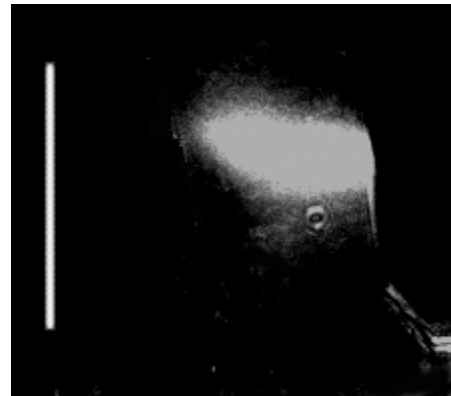
Анализ зарегистрированных спеклограмм и сопоставление их с полученными шпиренграммами (рис. 6,б) показали, что при подаче гелия в формирователь потока с небольшим расходом уровень возбуждения мембраны увеличивается. Из рис. 6,а,б видно, что в гелий-воздушной среде мембрана



а)



б)



в)



Рис. 6. Изменение картины колебаний мембраны на собственной частоте 1665 Гц при увеличении расхода гелия: формы колебаний мембраны, зарегистрированные помехоустойчивым ЦСИ (слева); шпиренграммы расширения потока гелия на выходе из сопла звукового генератора (справа)

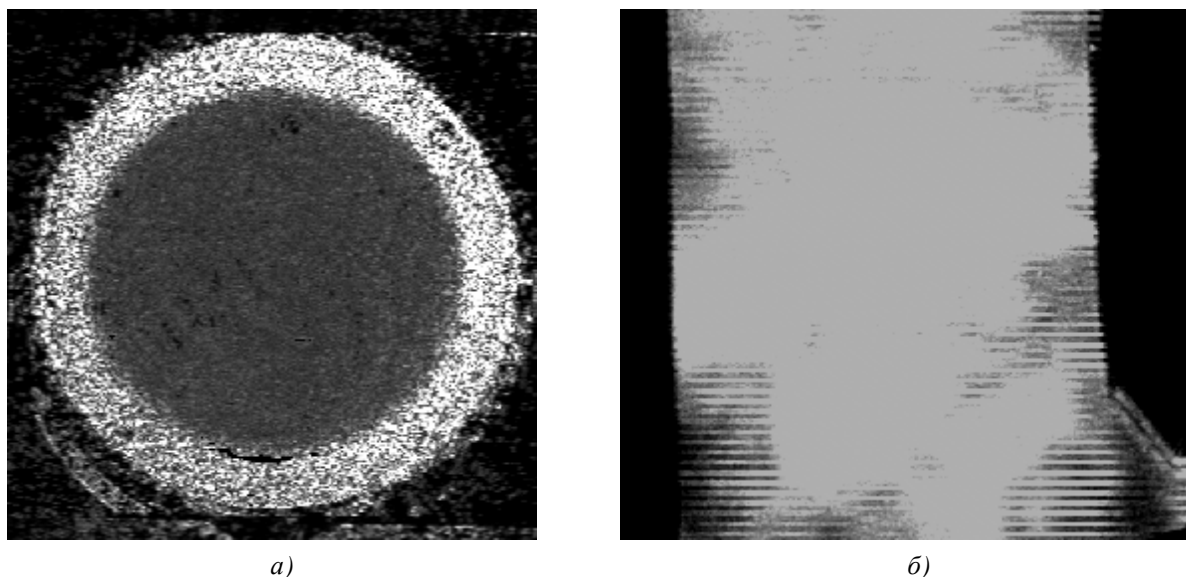


Рис. 7. Эффект полного подавления формы колебаний мембраны на собственной частоте 1665 Гц при максимальном расходе гелия: а - спеклограмма силового кольца мембраны; б - шлиренграмма потока гелия

колеблется с большей амплитудой, чем в воздухе (число полос увеличивается). Шлиренграммы на рис. 6,а,б показывают, что поток гелия на начальном этапе не доходил до плоскости мембраны и не оказывал на нее непосредственного влияния. Поэтому можно сделать вывод о том, что на данном этапе эксперимента преобладала акустическая составляющая возбуждения мембраны.

При увеличении расхода гелия поток распространялся до плоскости мембраны (рис. 6,в) и вступал в непосредственное взаимодействие с ней. При этом на спеклограмме (рис. 6,в) наблюдается сокращение числа интерференционных полос, что свидетель-

ствует о снижении уровня возбуждения мембраны. В этом случае поток оказывал пульсационное газодинамическое воздействие на мембрану, и амплитуда ее собственных колебаний уменьшалась.

При дальнейшем увеличении расхода гелия турбулентный поток расширился на всю площадь мембраны (рис. 7,б) и хаотическое пульсационное воздействие потока возросло настолько, что анализируемая форма собственных колебаний мембраны полностью подавлялась (рис. 7,а).

На рис. 8 показан эффект локальных видоизменений формы колебаний мембраны на частоте 1665 Гц. Поток гелия распростра-

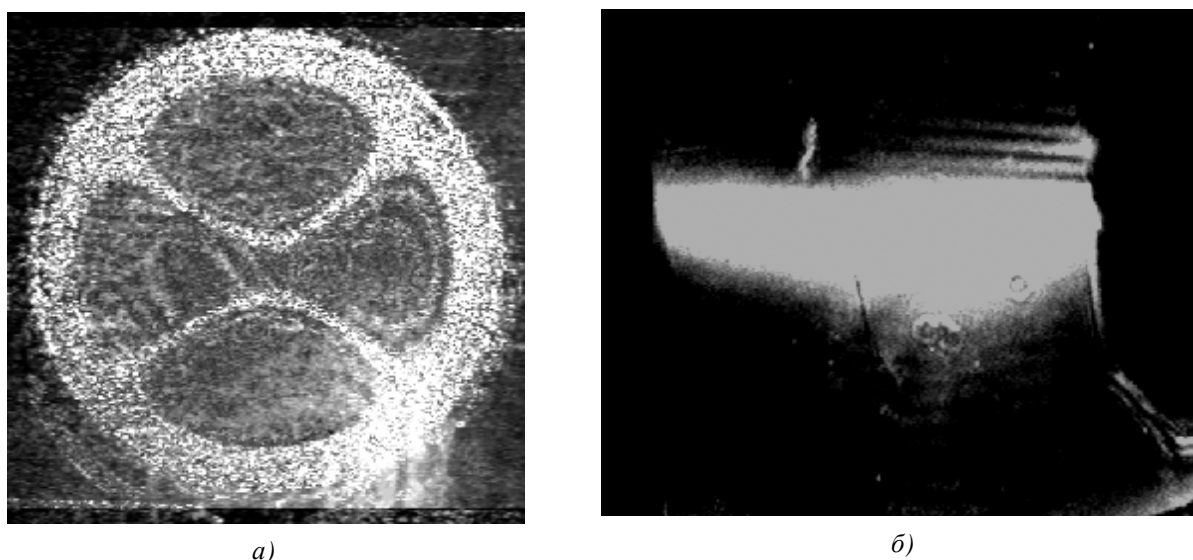


Рис. 8. Локальные видоизменения формы колебаний мембраны на частоте 1665 Гц с узкой струей гелия: а - форма колебаний мембраны; б - шлиренграмма струи гелия

нялся до плоскости мембраны в виде узкой струи. Нелинейные искажения и перестройка формы собственных колебаний мембраны происходит как за счет пульсационного воздействия потока, так и за счет изменения потерь звукового поля в канале струи.

К следующему эффекту акусто-газодинамического возбуждения колебаний мембраны следует отнести зафиксированную картину нелинейных изменений конфигурации узловых полос формы её колебаний на частоте 1665 Гц (рис. 9).

Представленные на рис. 8 и 9 картины нелинейных искажений позволяют утверждать, что меньшей устойчивостью к воздействию потока характеризуются не узловые полосы, а изолинии пучностей. На рис. 8,а, например, выделен момент, когда пульсационное воздействие нарушает упорядоченную структуру изолиний пучностей. При этом конфигурация узловых полос остается неизменной. На рис. 9 выделены моменты времени, когда пульсационное воздействие начинает превалировать над акустическим. Данные картины с нелинейными узловыми полосами являются неустойчивыми. Они предшествуют моменту полного подавления упорядоченной формы колебаний мембраны пульсацией давления газового потока.

Для объяснения другого крайнего случая, а именно эффекта увеличения уровня

возбуждения мембраны при малых расходах гелия (рис. 6,а,б), можно воспользоваться соотношением между коэффициентами поглощения звука a в гелиевой и воздушной средах. Сравнивая эти рисунки, можно показать, что с увеличением протяженности вытекающей из сопла струи гелия интенсивность возбуждения растет. Это подтверждает то, что струя гелия, находящаяся в звуковом поле динамика, позволяет снизить потери звука на рабочем участке.

Проведен оценочный расчет коэффициентов поглощения звука a в воздухе и гелии в соответствии с выражением [6]:

$$a = \frac{w^2}{2rc^3} \left(\frac{4}{3}h + x + c \left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_v} \right) \right), \quad (1)$$

где r - плотность газовой среды; c - скорость звука в газе; κ - коэффициент теплопроводности; h , x - коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости, соответственно; w - круговая частота ($w = 2\pi f$); C_p , C_v - теплоемкости среды при постоянном давлении и объеме.

После подстановки в (1) соответствующих значений параметров газовых сред было получено отношение: $a_{\text{возд}}/a_{\text{гелий}} = 3,2$. С другой стороны, рассчитанное по спеклограммам (рис. 3,б и 6,б) отношение максимальных значений амплитуд колебаний мембра-

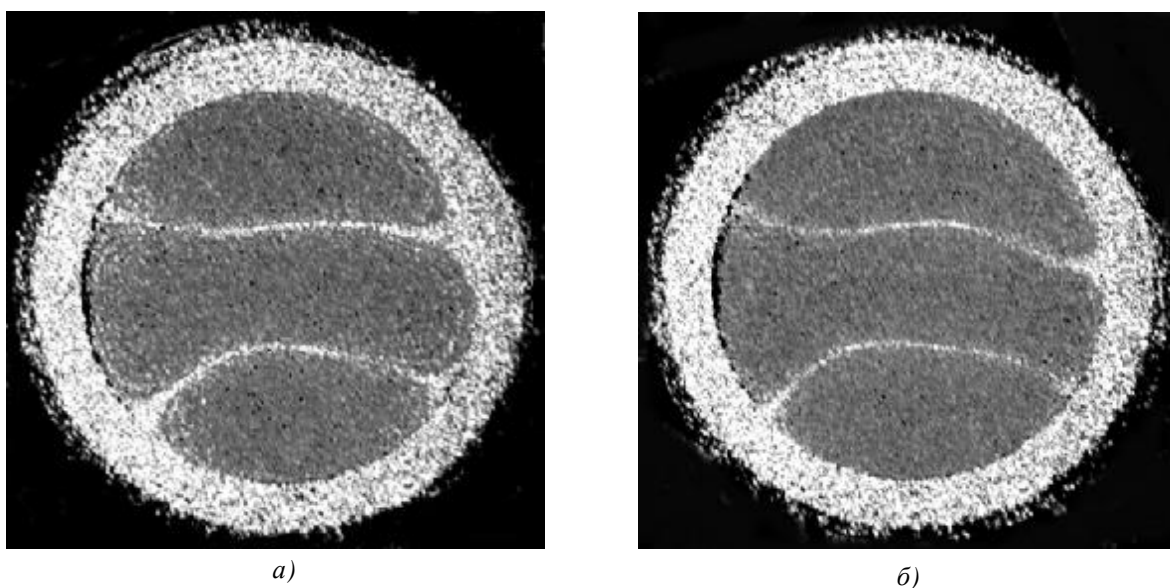


Рис. 9. Характерный вид картины колебаний мембраны на частоте 1665 Гц с нелинейным изменением конфигурации узловых полос при акусто-газодинамическом возбуждении

ны A_{max} для воздуха и гелия дало значение: $A_{max\ гелия} / A_{max\ возд} = 3$.

Хорошая сходимость полученных результатов может служить подтверждением достоверности высказанного предположения о необходимости учета распределения коэффициента α среды в звуковом поле при исследовании пульсационно-вибрационных взаимодействий.

Заключение

1. Разработан и прошел апробацию панорамный диагностический комплекс на основе помехоустойчивого ЦСИ и шлирен-метода Теплера, позволяющий проводить бесконтактное определение резонансных частот и форм колебаний конструкций с одновременной регистрацией структурных образований потоков, взаимодействующих с конструкцией.

2. Выявлены эффекты как резкого возрастания амплитуды колебаний мембраны при возбуждении звукового поля в спутном потоке газа малой интенсивности, так и полного подавления формы колебаний мембраны на резонансной частоте при возрастании скорости потока газа. Выделена промежуточная стадия нелинейных изменений конфигурации узловых полос резонансной формы колебаний мембраны в турбулентном потоке газа.

3. Созданный панорамный диагностический комплекс является новым видом высокоинформативного инструментария для исследования динамических процессов нелинейного волнового взаимодействия рабочих

сред и конструкций во многих отраслях науки и техники.

Список литературы

1. Клочков В. П., Козлов Л. Ф., Потыкевич И. В. и др. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. Справочник. - Киев: Наукова Думка, 1985.

2. Холдер Д., Порт Р. Теневые методы в аэродинамике. - М.: Мир, 1966.

3. Журавлев О. А., Мединская Л. Н., Шорин В. П. Лазерная диагностика двухфазных течений: Уч. пособ. /Куйбыш. авиац. инс-т, Куйбышев, 1989.

4. Диагностический комплекс для исследования пульсационно-вибрационных процессов гидрогазовых систем/ В. П. Шорин, Е. В. Шахматов, О. А. Журавлев, С. Ю. Комаров, Ю. Н. Шапошников, Ю. Д. Щеглов // Тез. докл. международной научно-технич. конференции "Проблемы и перспективы развития двигателестроения", Ч. 1. – Самара: СГАУ, 2003. - С. 147-149.

5. Применение методов голографической и спекл-интерферометрии для исследования вибрации и шума механических конструкций: Уч. пособ./ Д. С. Еленевский, О. А. Журавлев, Ю. Н. Шапошников, Ю. Д. Щеглов, С. Ю. Комаров; Под редакцией В. П. Шорина / Самарск. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 2005.

6. Справочник по технической акустике. Пер. с нем. / Под. ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера. - Л.: Судостроение, 1980.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PULSATION AND VIBRATION PROCESSES IN FLOW – CONSTRUCTION INTERACTION

© 2006 O. A. Zhuravlyov¹, S. Ju. Komarov¹, Ju. N. Shaposhnirov²,
Ju. D. Shelov³, N. Ju. Usticchenko¹

¹Samara State Aerospace University

²Samara Scientific Engineering Centre

³Foint Stock Company «Motorostroitel», Samara

An automatic diagnostic complex has been developed and tested. It was designed on the basis of combined use of an interference – proof digital speckle – interferometer and the schlieren method. Processes of membrane combined excitation in a laminar gas flow and non – linear changes of configuration of the main of the oscillations analyzed in a turbulent flow are revealed. The diagnostic complex will find application in analysing ware interaction of working media and construction in many areas of science and technology.

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВЕРТЫВАНИЕМ ОРБИТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

© 2006 С. А. Ишков, С. А. Наумов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассмотрен процесс развертывания орбитальной тросовой системы. Предложены и проанализированы законы номинального управления развертыванием. Проведено сравнение известных и предложенных законов управления.

Рассматривается задача выбора управления развертыванием тросовой системы для обеспечения спуска на Землю капсулы. Используется следующая схема развертывания связки «базовый космический аппарат (КА) – субспутник (спускаемая капсула)» (рис. 1).

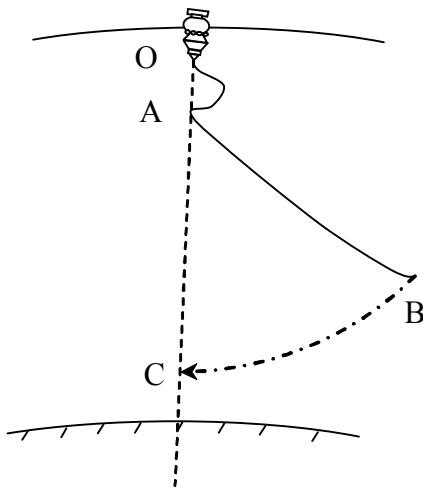


Рис. 1. Траектория движения субспутника в процессе развертывания

1. Отбрасывание субспутника вниз. Движение в окрестности КА. Выход субспутника на направление местной вертикали и его стабилизация (участок $O - A$).

2. Отклонение субспутника на максимальный угол от местной вертикали в направлении орбитального движения системы (участок $A - B$).

3. Пассивное маятниковое движение, отрезание троса при прохождении субспутником линии местной вертикали (участок $B - C$), свободное движение и вход спускаемой капсулы в атмосферу.

1. На первом участке относительное движение тросовой системы рассматривается в сферической орбитальной системе координат (СК), связанной с центром масс системы точкой O (рис. 2). Эта система связана с прямоугольной орбитальной СК OXY , в которой ось OX направлена по геоцентрическому радиусу-вектору точки O , ось OY – по трансверсали в направлении вектора скорости системы. Таким образом, на рис. 2: q – угол отклонения связки от оси OX , r – расстояние между субспутником A и центром масс системы.

динат (СК), связанной с центром масс системы точкой O (рис. 2). Эта система связана с прямоугольной орбитальной СК OXY , в которой ось OX направлена по геоцентрическому радиусу-вектору точки O , ось OY – по трансверсали в направлении вектора скорости системы. Таким образом, на рис. 2: q – угол отклонения связки от оси OX , r – расстояние между субспутником A и центром масс системы.

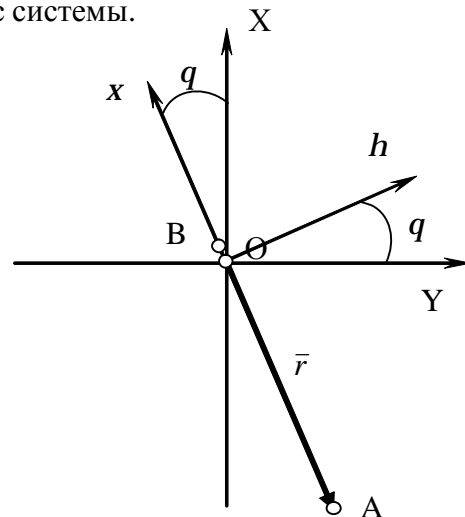


Рис. 2. Ориентация тросовой системы в орбитальной системе координат OXY

Математическая модель динамики развертывания тросовой системы может быть получена на основе уравнений Лагранжа 2-го рода и имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= V_q, \\ \dot{V}_q &= -\frac{2(V_q + w)V_r}{r} - 3w^2 \sin q \cos q, \\ \dot{r} &= V_r, \\ \dot{V}_r &= r[(V_q + w)^2 + w^2(3\cos^2 q - 1)] - \frac{T}{m_A}, \end{aligned} \quad (1)$$

где w - угловая скорость вращения центра масс системы на орбите, m_A - масса субспутника, V_q - угловая скорость отклонения от оси OX , V_r - скорость размотки, T - натяжение троса. В модели приняты следующие допущения: движение рассматривается в плоскости орбиты; орбита центра масс системы круговая и невозмущенная; центр масс тросовой системы совпадает с центром масс КА; трос аппроксимирован прямой, всегда натянутой нитью; масса троса не учитывается.

Рассмотрим первый участок развертывания тросовой системы (участок $O - A$, рис. 1). В [1] качестве номинального рассмотрен закон

$$T = m_A w^2 (6r + 4V_r w^{-1} - 3r_t), \quad (2)$$

где r_t - полная длина троса на первом участке. Данный закон получен из условия наискорейшего гашения колебаний связки около положения местной вертикали. Результаты моделирования развертывания с применением закона (2) представлены на рис. 3, 4. Моделирование проводилось для следующих начальных условий: высота орбиты $H = 268$ км, длина троса $r_0 = 3$ м, скорость $V_{r0} = 3$ м/с, угол $q_0 = 0$, угловая скорость $V_{q0} = 0$, масса КА $M = 7250$ кг, масса субспутника $m_A = 12$ кг.

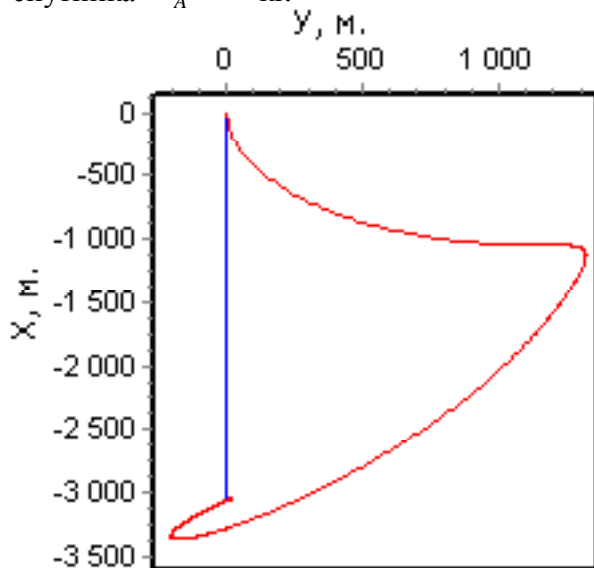


Рис. 3. Траектория движения субспутника при законе развертывания (2)

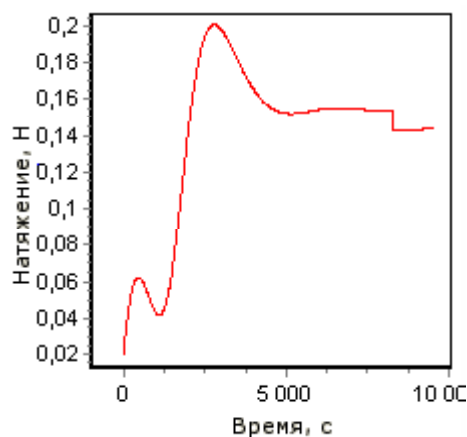


Рис. 4. Зависимость натяжения троса от времени при развертывании по закону (2)

Результаты моделирования показывают, что при управлении натяжением по закону (2) возможно провисание троса в конце развертывания на первом участке. Для исключения провисания и предотвращения снижения уровня натяжения ниже допустимого требуется усложнение механизма размотки троса – установка системы втягивания.

Предлагается рассмотреть закон управления натяжением в параметрическом виде:

$$T = m_A w^2 (a r + b V_r w^{-1} - c r_t), \quad (3)$$

где коэффициенты a, b, c определяются из граничных условий с учетом неотрицательности скорости развертывания на всем протяжении размотки троса. Также, исходя из соображений технической реализуемости, на скорость размотки наложим ограничение:

$$V_r > \frac{w}{b} (c r_t - a r), \text{ которое следует из условия}$$

$T > 0$. Строгое неравенство указывает на то, что натяжение не должно быть нулевым, чтобы избежать провисания троса и его неконтролируемый сход с катушки, на которую он намотан.

При использовании выражения (3) система уравнений движения (1) не зависит от конструктивных параметров связки, а зависит лишь от конечной длины троса. Основное влияние на процесс развертывания оказывает величина начальной скорости оттапливания субспутника от КА. В случае недостаточной начальной скорости, сообщенной субспутнику, может произойти неконтроли-

руемый сход троса с катушки и, как результат, потеря управления процессом разворачивания. Слишком большая величина скорости отбрасывания может привести к нештатной ситуации (например, на начальном этапе размотки в случае заедания/залипания троса на катушке может произойти «отпружинивание» субспутника и его удар о КА).

Закон (3) позволяет сформулировать параметрическую задачу: найти такие значения a, b, c , при которых условие $V_r > 0$ выполняется в течение всего процесса разворачивания, и тем самым исключается провисание троса. Должны выполняться граничные условия: $t = t_K, r = r_K, V_{rK} = 0, q_K = 0, V_{qK} = 0$. При решении краевой задачи использовался модифицированный метод Ньютона. Для указанных начальных условий получены следующие значения коэффициентов:

$$a = 4,6; b = 3,5; c = 1,6. \quad (4)$$

Моделирование показывает, что при существенном увеличении начальной скорости траектория представляет собой петлю и провисание троса неизбежно. Однако почти всегда можно найти такие значения коэффициентов в законе (3), чтобы исключить ослабление троса и образование петель в траектории субспутника. Этот закон позволяет удачно выводить субспутник в окрестность линии местной вертикали при различных условиях полета.

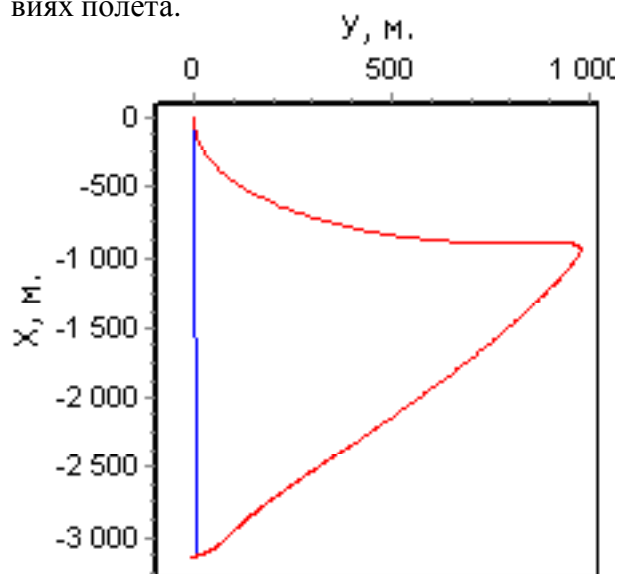


Рис. 5. Траектория разворачивания связки при использовании закона (3) с коэффициентами (4)

На рис. 5 показана траектория движения субспутника. В отличие от движения при законе (2) втягивание троса в процессе разворачивания не требуется. Из рис. 6 видно, что скорость разворачивания связки всегда положительна, т. е. выполнено условие: $V_r > 0$. На рис. 7 показан уровень натяжения в тросе. Сравнение рис. 4 и 7 показывает, что закон (3) более выгоден с точки зрения динамики, поскольку меньшее количество перепадов командного натяжения троса приведет к его плавному разворачиванию и отсутствию рывков, что в свою очередь повысит надежность и безопасность полета в целом.

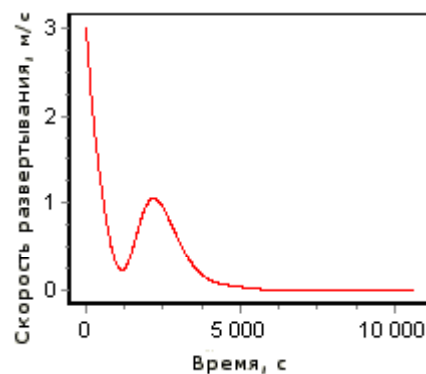


Рис. 6. Зависимость скорости разворачивания от времени

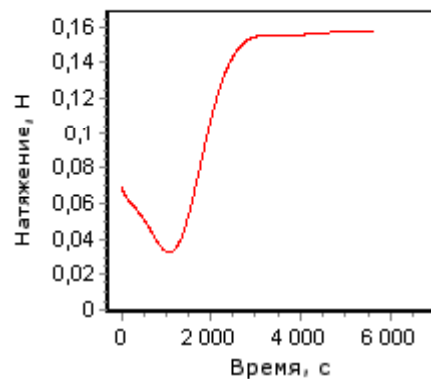


Рис. 7. Зависимость натяжения троса от времени

На рис. 8 показана область параметров тросовой системы (начальной скорости и полной длины троса), в которой обеспечивается условие непровисания и возможен подбор коэффициентов закона (3). Нижняя граница области обусловлена условием $T > 0$, а верхняя получена по результатам моделирования при выполнении условия отсутствия провисания.

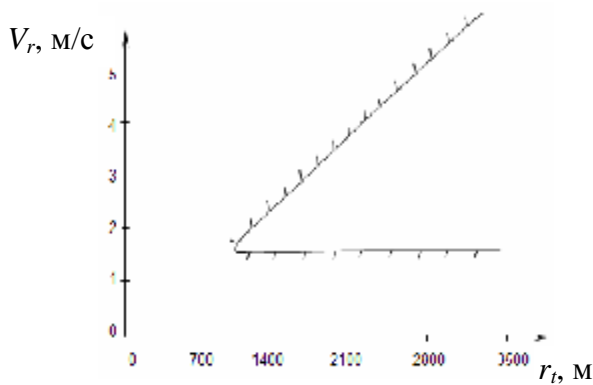


Рис. 8. Область возможных значений начальной скорости и полной длины троса на участке $O - A$

2. Для второго участка задача формулируется следующим образом: необходимо найти такой закон управления натяжением троса, при котором угол отклонения субспутника от местной вертикали будет максимальным (точка B , рис.1). Для решения поставленной задачи воспользуемся принципом максимума Понтрягина. Функционал запишем в виде

$\int_0^{t_k} \mathcal{H} dt \rightarrow \max$. Гамильтониан системы будет выглядеть следующим образом:

$$H = y_{V_q} \dot{V}_q + y_q \dot{q} + y_{V_r} \dot{V}_r + y_r \dot{r}, \quad (5)$$

где $y_{V_q}, y_{V_r}, y_q, y_r$ - сопряженные множители соответствующих координат.

Подставив в H уравнения (1), можно привести гамильтониан к виду: $H = H_0 - Y_{V_r} T m_A^{-1}$. Из условия максимума H получим оптимальное управление T_{opt} в виде релейной функции:

$$T_{opt} = T_{max} \left(\frac{\text{sign}(y_{V_r}) + 1}{2} \right) \quad (6)$$

где T_{max} - наперед заданное значение натяжения.

На основе гамильтониана и уравнений (1) запишем выражения для сопряженных множителей:

$$\begin{aligned} \dot{y}_{V_q} &= 2V_r r^{-1} y_{V_q} - y_q - 2r(V_q + w) y_{V_r}, \\ \dot{y}_q &= 3w^2 \cos 2q y_{V_q} + 6r w^2 \cos q \sin q y_{V_r}, \\ \dot{y}_{V_r} &= 2r^{-1}(V_q + w) y_{V_q} - y_r, \\ \dot{y}_r &= -2(V_q + w) V_r r^{-2} y_{V_q} - \\ &\quad - [(V_q + w)^2 + w^2(3 \cos^2 q - 1)] y_{V_r}. \end{aligned} \quad (7)$$

Данная оптимизационная задача сводится к краевой задаче определения начальных значений сопряженных множителей $y_{q_0}, y_{V_{r_0}}, y_{r_0}, y_{V_{q_0}}$ для следующих заданных начальных условий:

$$t = 0, V_{q_0} = 0, V_{r_0} = 0, q_0 = 0, r_0 \quad (8)$$

и конечных условий:

$$\begin{aligned} t = t_k, y_{q_k} = 0, V_{q_k} = 0, \\ V_{r_k} = 0, r = r_k, \end{aligned} \quad (9)$$

где t - время разворачивания.

Для проведения качественного анализа движения и определения начальных значений сопряженных множителей рассмотрим движение связки тел в цилиндрической орбитальной СК. Будем считать, что КА находится на околокруговой орбите. Уравнения свободного относительного движения двух тел в цилиндрической орбитальной СК имеют вид [5]:

$$\begin{aligned} D \dot{r} &= DV_r, \\ D \dot{L} &= DV_L - I Dr, \\ DV_r \dot{r} &= 2I DV_L - I^2 Dr + R_S, \\ DV_L \dot{L} &= -I DV_r + R_T, \\ D \dot{z} &= DV_z, \\ DV_z \dot{z} &= -I^2 Dz + R_W, \end{aligned} \quad (10)$$

где $Dr, DL, Dz, DV_r, DV_L, DV_z$ - параметры относительного движения (возмущенного движения субспутника A относительно невозмущенного движения КА B) в цилиндрической орбитальной СК (рис. 9); R_S, R_T, R_W - проекции возмущенного ускорения на мест-

ные радиус-вектор, трансверсаль и бинормаль; $I = \sqrt{\frac{m}{R_0^3}}$ - средняя угловая скорость движения по околокруговой орбите; m - гравитационный параметр Земли, R_0 - большая полуось орбиты КА.

Для большей наглядности представления параметров в уравнениях (10) перейдем к новым переменным [3]:

$$\begin{aligned} Dr_{cp} &= 2 \left(Dr + \frac{1}{I} DV_L \right) \\ DL_{cp} &= DL - \frac{2}{I} DV_L, \\ l &= \sqrt{\frac{(DL - DL_{cp})^2}{4} + (Dr - Dr_{cp})^2}, \\ l_z &= \sqrt{Dz^2 + \left(\frac{DV_z}{I}\right)^2}, \\ j &= \frac{DV_r}{I Dr + 2DV_r}, \\ j_z &= \text{arctg} \frac{I Dz}{DV_z}, \end{aligned} \quad (11)$$

где Dr_{cp} и DL_{cp} - среднее (вековое) смещение субспутника вдоль радиуса орбиты и среднее

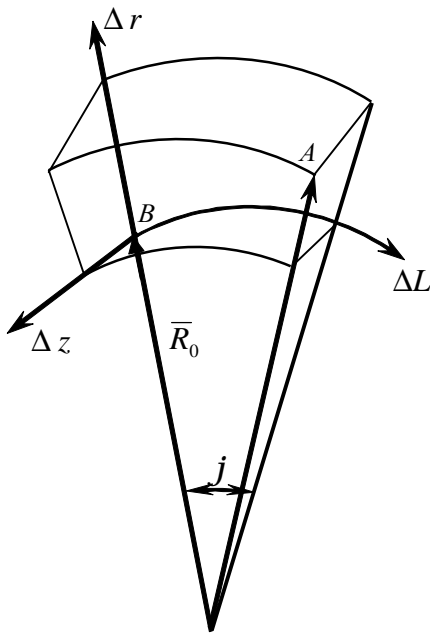


Рис. 9. Цилиндрическая орбитальная система координат

(вековое) смещение субспутника вдоль орбиты соответственно; l - малая полуось эллипса относительного движения; l_z - амплитуда взаимных колебаний КА в бинормальном направлении; j, j_z - углы, характеризующие положение тела на эллипсе относительного движения.

Система (10) для случая свободного пассивного движения допускает решение в квадратурах. С учетом введенных переменных (11) указанное пассивное движение будет описываться соотношениями:

$$\begin{aligned} Dr &= Dr_{cp} - l \cos j, \\ DV_r &= I l \sin j, \\ DV_L &= I \left(\frac{-Dr_{cp}}{2} + l \cos j \right), \\ DL &= 2l \sin j - \frac{3}{2} I r Dr_{cp} + DL_{cp}, \\ DV_z &= I l_z \cos j_z, \\ Dz &= l_z \sin j_z. \end{aligned} \quad (12)$$

Анализ этих соотношений показывает, что траектория свободного относительного движения аппаратов в проекции на плоскость орбиты будет представлять собой эллипс, центр которого движется с постоянной скоростью, определяемой величиной Dr_{cp} , с постоянным соотношением полуосей, равным 2:1. Подставляя соотношения (12) в исходную систему (10), получим уравнения относительного движения в виде:

$$\begin{aligned} D\&_{cp} &= \frac{2}{I} R_r, \\ D\&_{cp} &= -\frac{3}{2} I Dr_{cp} - \frac{2}{I} R_s, \\ \& &= \frac{1}{I} (R_s \sin j + 2R_r \cos j), \\ j\& &= 1 + \frac{1}{I l} (R_s \cos j + 2R_r \sin j), \\ \&_z &= \frac{1}{I} R_w \cos j_z, \\ j\&_z &= 1 - \frac{1}{I l_z} R_w \sin j_z. \end{aligned} \quad (13)$$

Параметры Dr_{cp} , DL_{cp} характеризуют вековое относительное движение, параметры l, l_z, j, j_z - периодическое движение КА и субспутника.

Модель движения в форме (13) позволяет провести приближенный качественный анализ начального этапа разворачивания тросовой системы.

Рассмотрим возможную фазовую траекторию относительного движения, получающуюся при отделении субспутника от КА с некоторой начальной длиной троса. Движение субспутника вниз будет происходить под действием разности гравитационных сил, действующих на КА и субспутник.

С учетом $DV_{r_0} = 0$, $DV_{L_0} = 0$, $Dr_{cp} = \tilde{r}_{cp}$ из анализа первого и второго уравнения системы (13) для параметров относительного движения системы получим $Dr_{cp} = \tilde{r}_{cp}$,

$$DL_{cp} = -\frac{3}{2} l \tilde{r}_{cp} t.$$

Отсюда следует, что вековое движение по Dr_{cp} отсутствует, а смещение по DL_{cp} будет формировать петлеобразную траекторию с постоянным смещением (рис. 10). Из анализа третьего соотношения системы (12) следует, что величина эллипса относительного смещения определится величиной

$$l = l \frac{\tilde{r}_{cp}}{2}.$$

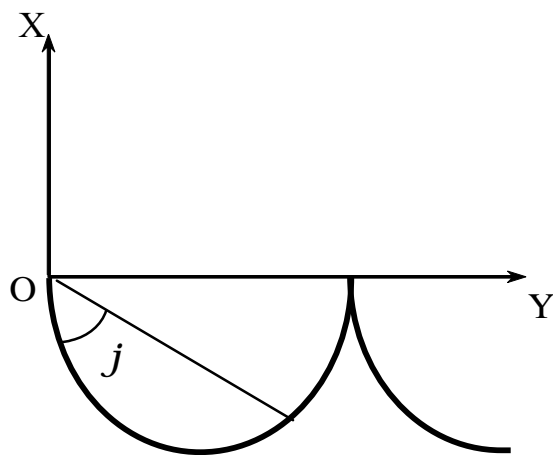


Рис. 10. Траектория относительного движения субспутника при свободном движении с нулевой начальной скоростью

Результаты моделирования показывают, что для различных начальных длин троса можно подобрать такую, при которой в процессе свободного движения субспутник отклонится на максимальный угол ($q \approx 90^\circ$) от вертикали и при этом трос будет полностью размотан. На рис. 11 представлена возможная траектория такого «пассивного» разворачивания. При отсутствии возмущающего воздействия и каких-либо связей и ограничений субспутник достигнет максимального угла отклонения от местной вертикали ровно через виток после отбрасывания от КА. После остановки разворачивания под действием гравитационных сил субспутник начнет колебательное движение в сторону местной вертикали, приобретая приращение вектора скорости $D\bar{V}$, которое позволит осуществить сход с орбиты субспутника и его вход как спускаемой капсулы в верхние слои атмосферы с заданным углом наклона траектории.

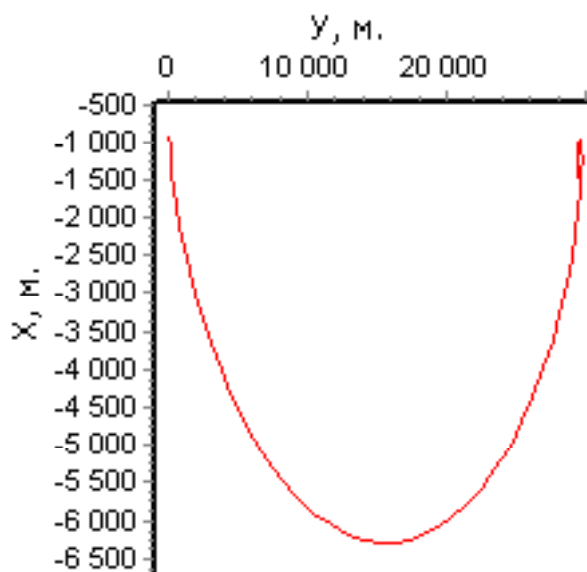


Рис. 11. Возможная траектория движения субспутника при разворачивании без управления

Это обстоятельство можно использовать для вычисления начальных значений сопряженных множителей. Проинтегрировав для случая свободного движения совместно уравнения (1) и (7) от t_K к t_0 с нулевыми конечными значениями сопряженных множителей, получим их начальные значения, которые можно использовать при решении краевой задачи. Затем, изменяя начальные усло-

вия развертывания тросовой системы на некоторую величину, можно каждый раз использовать начальные приближения сопряженных множителей из результатов предыдущего моделирования.

Условия (9) будем использовать для подсчета невязок при решении краевой задачи.

Результаты численных решений задачи представлены на рис. 12. Начало процесса управления показано более плотным расположением точек на графике. При длине троса до 20000 м осуществляется свободное движение без управления, а при длине более 20000 м движение происходит с постоянным уровнем натяжения троса.

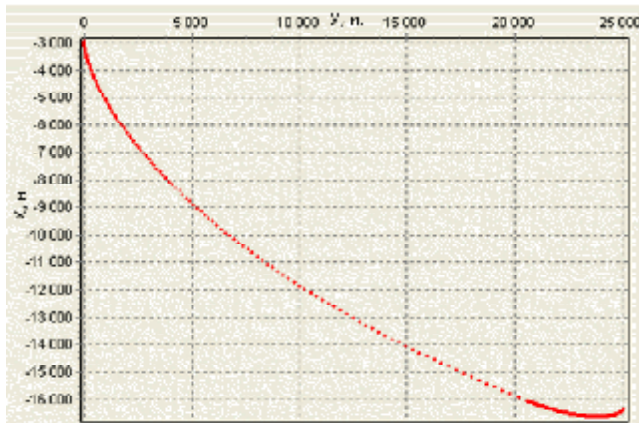


Рис. 12. Траектория движения субспутника

Процесс управления развертыванием является релейным с одним переключением, т. е. начальный отрезок троса отматывается без натяжения, а затем включение постоянного натяжения обеспечивает плавное уменьшение скорости развертывания до нуля.

Полученные решения позволяют сформулировать параметрическую задачу: для различных начальных длин троса подобрать такие значения параметров натяжения T и момента переключения, которые обеспечивали бы выполнение терминальных условий $V_{r_k} = 0, V_{q_k} = 0$, т. е. обеспечивали гашение скорости в конце процесса развертывания. Решение задачи производилось модифицированным методом Ньютона. В качестве начальных значений принимались результаты решения оптимизационной задачи. На рис. 13 по-

казана одна из траекторий, полученных в результате решения параметрической задачи. Моделирование показывает, что маятниковое движение субспутника в направлении местной вертикали происходит с небольшой скоростью, и это обеспечивает благоприятные условия для отрезания троса при прохождении линии местной вертикали, позволяющие провести переход от второй к третьей стадии развертывания с небольшими ошибками.

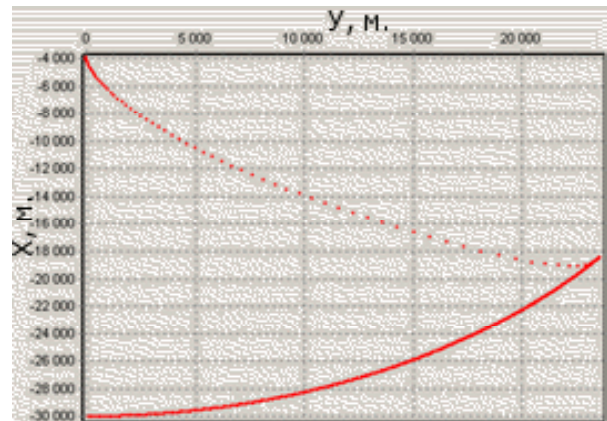


Рис. 13. Траектория движения субспутника до момента отрезания троса

3. На рис. 14 показано направление скорости DV , возникающей за счет маятникового движения на тросе вокруг центра масс системы и обеспечивающей спускаемой капсуле вход в верхние слои атмосферы.

Результирующая скорость движения субспутника после отрезания троса определяется из соотношения [2]:

$$V_1 = \sqrt{V_{op}^2 + DV^2 - 2V_{op}DV \cos(-q_{op})} \quad (\text{рис. 14}).$$

Если принять, что $DV/V_{op} \ll 1$, то $V_1 \approx V_{op} - DV \cos(-q_{op})$, где V_{op} - орбитальная скорость субспутника с учетом связи. Эта величина определяется как $V_{op} = V_{op}^{баз} - V_{op}^{субсп}$.

Здесь $V_{op}^{баз} = \omega r_{op}$ - скорость, которую имел бы субспутник, находясь на высоте КА (ω - угловая скорость обращения центра масс связки по орбите). Скорость, которую имеет субспутник, находясь на более низкой орбите по сравнению с центром масс тросовой системы:

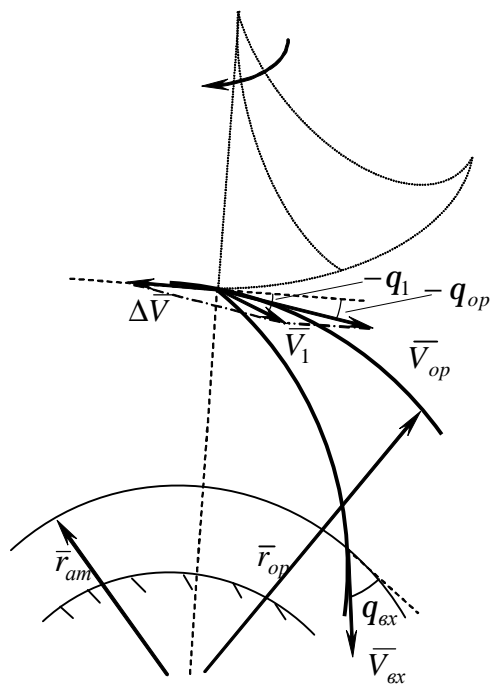


Рис. 14. К определению параметров входа в атмосферу спускаемой капсулы

$$V_{op}^{субсп} = \left(\sqrt{\frac{m}{r_{op}^3}} - \sqrt{\frac{m}{(r_{op} + l_{mp})^3}} \right) r_{op},$$

где l_{mp} - полная длина троса.

Угол наклона траектории q_1 определится как

$$q_1 = q_{op} - \arctg \frac{DV \sin(-q_{op})}{V_{op} - DV \cos(-q_{op})}.$$

Приближенно можно считать:

$$q_1 = q_{op} - \frac{DV}{V_{op}} \sin(-q_{op}).$$

Из интегралов энергии и площадей следует:

$$V^2 - \frac{2m}{R} = V_1^2 - \frac{2m}{r_{op}},$$

$VR \cos q = V_1 r_{op} \cos q$. В итоге можно получить искомые соотношения для расчета скорости и угла наклона траектории при входе в атмосферу:

$$V_{ex} = \sqrt{V_1^2 + 2m \left(\frac{1}{r_{am}} - \frac{1}{r_{op}} \right)},$$

$$q_{ex} = \arccos \frac{V_1 r_{op} \cos q_1}{V_{ex} r_{am}}.$$

Результаты моделирования показывают, что начальная длина троса оказывает существенное влияние на время и максимальную скорость в процессе разворачивания (рис. 15). С точки зрения затрачиваемого времени начинать процесс разворачивания лучше с большей начальной длины троса. Однако высокая скорость размотки троса может при этом выходить за технические ограничения, накладываемые на механизм размотки в целом или его узлы и агрегаты.

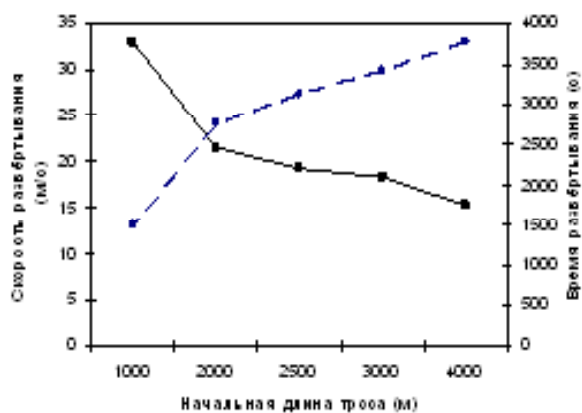


Рис. 15. Зависимость времени и максимальной скорости разворачивания от начальной длины троса

Главным условием вывода спускаемой капсулы в заданную область посадки является обеспечение необходимых условий входа в атмосферу на высоте 120 км. На рис. 16 и 17 приведены значения параметров входа капсулы в атмосферу при разворачивании с различными длинами троса.

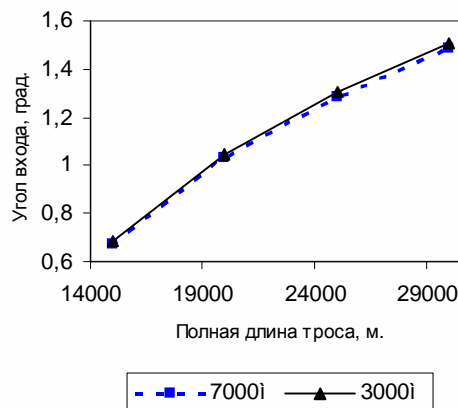


Рис. 16. Зависимость угла входа в атмосферу от длины троса

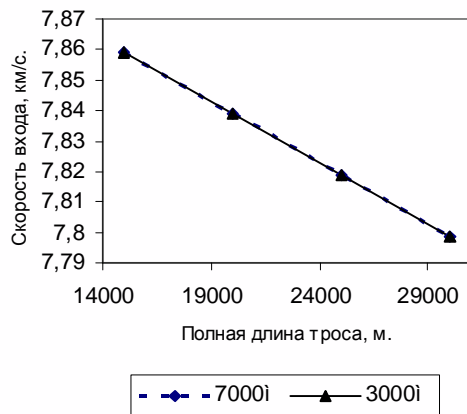


Рис. 17. Зависимость скорости входа в атмосферу от длины троса

Из рисунков следует, что начальная длина троса (и как следствие, максимальный угол отклонения субспутника от местной вертикали) несущественно влияет на параметры входа V_{ex} , q_{ex} . Поэтому, варьируя ее, будет довольно сложно добиться выполнения заданных значений параметров. Гораздо более существенное влияние на параметры входа в атмосферу оказывает полная длина троса, т. е. высота, на которой находится субспутник в момент отрезания троса.

В работе [6] рассмотрен процесс развертывания тросовой системы по аналогичной

схеме. Предложенный закон (6) позволяет использовать для обеспечения указанных в [6] условий входа спускаемой капсулы в атмосферу трос длиной 19,5 км.

Список литературы

1. Белецкий В. В. Левин Е. М. Динамика космических тросовых систем. – М.: Наука, 1990.
2. Сихарулидзе Ю. Г. Баллистика летательных аппаратов. – М.: Наука, 1982.
3. Ишков С. А. Сближение космических аппаратов с малой тягой на околокруговых орбитах. // Космические исследования. Т.30, №2, 1992. - С. 165-179.
4. Rupp C. C. (NASA-TM-X-64963) A tether tension control law for tethered subsatellites deployed along local vertical (NASA), NASA TECHNICAL MEMORANDUM.
5. Эльясберг П. Э. Введение в теорию полета искусственных спутников земли. – М.: Наука, 1965.
6. Zimmermann F., Ulrich M. S., Messerschmid E. Optimization of the tether-assisted return mission of a guided re-entry capsule. Aerospace Science and Technology 9 (2005) 713-721.

CONTROL OVER ORBITAL TETHER SYSTEM UNFOLDING

© 2006 S. A. Ishkov, S. A. Naumov

Samara State Aerospace University

The process of unfolding orbital tether systems is discussed. Laws of nominal control over the unfolding are suggested and analyzed. The existing laws and the proposed ones are compared.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОПОР СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК

© 2006 В. А. Комаров, С. В. Мрыкин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Представлены решения нескольких задач размещения опор статически определимых балок по критерию минимума пика изгибающего момента, которые предназначены для оценки работоспособности и эффективности численных методов оптимизации конструкций.

Введение

Уменьшение массы конструкций на этапе проектирования является актуальной проблемой. Основным результатом исследований по этой проблеме стала разработка математических [1] и инженерных [2] методов оптимизации распределения материала в моделях конструкций при заданных форме, размерах, нагрузках, условиях опирания и ограничениях. Формулировки задач и методы решения, позволяющие варьировать форму, размеры, условия опирания и ограничения встречаются значительно реже [1, 2]. Одна из причин относительной редкости таких формулировок заключается в том, что многие задачи оптимизации конструкций не имеют достаточно надежных по точности расчетных решений [1].

В [3] подробно изложена формулировка задачи минимизации усилий в балке при плоско-поперечном изгибе по критерию минимума пика изгибающего момента за счет размещения опор заданного типа. Для решения задач оптимизации разработана компьютерная программа. На этапе тестирования программы выявилось отсутствие решений, позволяющих оценить точность получаемых результатов численных расчетов.

Данная работа посвящена поиску решений, позволяющих оценить точность результатов компьютерной оптимизации размещения опор балки, загруженной типовыми распределенными нагрузками.

1. Постановка задачи

Пусть дана балка длиной l на двух опорах. Опоры пронумерованы слева направо по возрастанию координаты x . Погонная на-

грузка задана функцией интенсивности $q(x)$. Положительное значение нагрузки соответствует направлению вверх, отрицательное - вниз.

Необходимо найти такое положение опор, при котором пик изгибающего момента имеет минимальную величину.

Формализованная запись задачи оптимизации выглядит следующим образом:

$$F(X) \xrightarrow{\Omega} \inf,$$

где $F(X) = \sup |M(x)|$ - функция цели (пик изгибающего момента); $X = (x_1, x_2)$ - вектор проектных переменных (координаты опор); Ω - допустимая область поиска; $M(x)$ - распределение изгибающего момента по длине балки при текущем положении опор.

Изгибающий момент в любой точке x можно вычислить по формуле

$$M(x) = \int_0^x Q(x)dx + \sum_{x_i \leq x} M_i,$$

где x_i и M_i - координаты точек приложения и величины изгибающих моментов и моментных реакций в заделках (в рассматриваемых задачах $M_i = 0$); $Q(x)$ - распределение перерезывающей силы по длине балки.

Перерезывающая сила в точке x вычисляется по формуле

$$Q(x) = \int_0^x q(x)dx + \sum_{x_i \leq x} F_i,$$

где x_i и F_i - координаты точек приложения и величины сосредоточенных сил и реакций

в опорах (в рассматриваемых задачах $F_i = 0$); $q(x)$ - функция интенсивности распределенной нагрузки.

На рис. 1 показан случай $q(x) = const$.

Эпюра изгибающего момента построена по правилу знаков сопротивления материалов - на сжатых волокнах и имеет три экстремума: два на опорах M_1 и M_2 и в середине пролета M_3 . Пик изгибающего момента для рассматриваемого случая определяется следующим образом:

$$M_{max} = \max(|M_1|, |M_2|, |M_3|).$$

Рассмотрим положение опор, при котором выполняется условие

$$|M_1| = |M_2| = |M_3|. \quad (1)$$

При таком размещении опор пик момента имеет минимальное значение. Действительно, если первую опору сдвинуть несколько влево, то вследствие уменьшения левой консоли $|M_1|$ уменьшится, а $|M_3|$ возрастет. Если ту же опору сдвинуть вправо, то $|M_1|$ возрастет, а $|M_3|$ уменьшится. Аналогичное рассуждение можно провести для второй опоры.

Найдем координаты x_1 и x_2 опор, при которых имеет место равенство (1). Значения

координат будут зависеть от вида функции $q(x)$. Рассмотрим три простейших типовых варианта загрузки: распределенная нагрузка постоянной интенсивности $q(x) = const$, нагрузка, распределенная «по треугольнику» $q(x) = qx/l$ и «по трапеции» $q(x) = q_1(1 - x/l) + q_2x/l$.

2. Распределение нагрузки $q(x) = const$

Исходные данные для этого случая загрузки показаны на рис. 1. Для отыскания числовых значений координат опор запишем:

$$M_1 = \frac{qx_1^2}{2}, \quad M_3 = \frac{ql}{2}x_1 - \frac{ql^2}{8}. \quad (2)$$

Выражение для M_3 получено из условия симметрии $x_2 = l - x_1$. Из (1) с учетом (2) получается уравнение

$$x_1^2 + lx_1 - \frac{l^2}{4} = 0,$$

которое имеет два корня:

$$l \frac{\sqrt{2}-1}{2}, \quad -l \frac{\sqrt{2}+1}{2}.$$

Учитывая физические ограничения координат опор ($x_i > 0$), имеем:

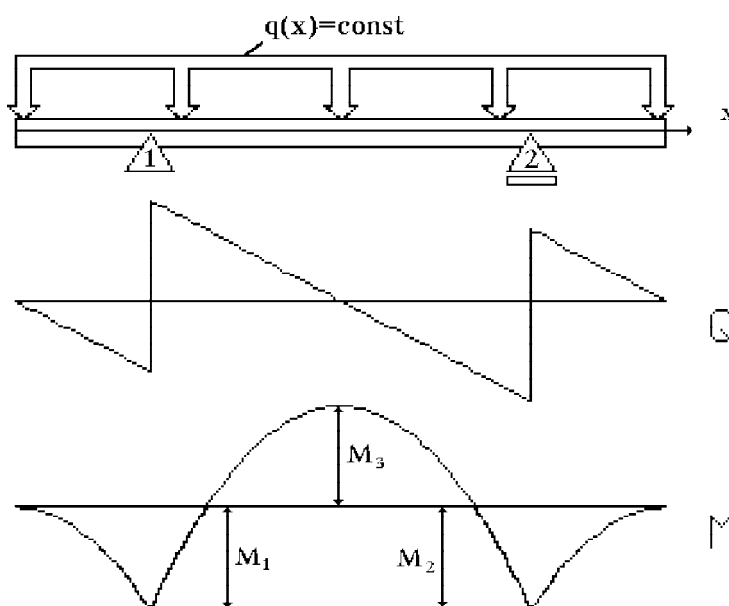


Рис. 1

$$x_1 = l \frac{\sqrt{2}-1}{2} = 0,20711l,$$

$$x_2 = l \frac{3-\sqrt{2}}{2} = 0,79289l.$$

Пик изгибающего момента при таком положении опор имеет величину $0,0215ql^2$, при положении опор по краям балки - $0,125ql^2$. Таким образом, за счет размещения опор можно уменьшить пик почти в шесть раз.

3. Распределение нагрузки $q(x) = qx/l$

Исходные данные для этого случая загрузки показаны на рис. 2.

Эта задача несимметрична, что существенно усложняет решение, и поэтому вначале найдем уравнение связи координат x_1 и x_2 , при котором будет выполняться условие: $M_1 = M_2$. Для этого запишем выражения для значений изгибающего момента на опорах:

$$M_1 = \frac{qx_1^3}{6l}, \quad M_2 = \frac{qx_2^3}{6l} - \frac{qlx_2}{2} + \frac{ql^2}{3}. \quad (3)$$

Из условия равенства моментов на опорах с учетом (3) получим

$$x_1 = \sqrt[3]{(x_2 + 2l)(x_2 - l)^2}. \quad (4)$$

Теперь получим выражение для M_3 , определив координату x положения M_3 в пролете. Координату x найдем из условия

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = \frac{qx^2}{2l} - \frac{ql(3x_2 - 2l)}{6(x_2 - x_1)} = 0,$$

откуда:

$$x = l \sqrt{\frac{3x_2 - 2l}{3(x_2 - x_1)}}. \quad (5)$$

Записав выражение $M(x)$ для $x_1 < x < x_2$ и подставив выражение (5), получим

$$M_3 = \frac{ql(3x_2 - 2l)}{3(x_2 - x_1)} \left[\frac{x_1}{2} - \frac{l}{3} \sqrt{\frac{3x_2 - 2l}{3(x_2 - x_1)}} \right]. \quad (6)$$

Из (1) и рис. 2 с учетом знаков следует:

$$M_1 + M_3 = 0. \quad (7)$$

Заменив в (7) M_1 и M_3 выражениями из (3) и (6) и выполнив алгебраические преобразования, получим

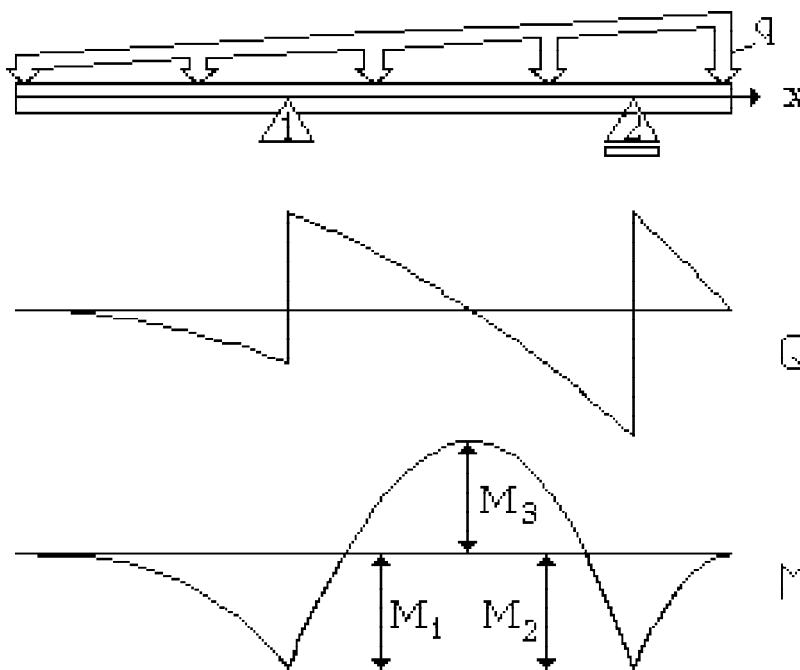


Рис. 2

$$\frac{4}{27} \left[1 + \frac{x_2}{x_1} + \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2 \right]^2 = \left[1 + \frac{x_2}{x_1} + \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2 \right]^2.$$

При выполнении алгебраических преобразований предполагалось:

$$0 < x_1 \neq x_2 < 1, \quad x_2 \neq \frac{2}{3}l. \quad (8)$$

Полагая $y = x_2/x_1$ и $z = 1 + y + y^2$, получим уравнение

$$\frac{4}{27} z^3 - z^2 - 2z - 1 = 0.$$

Анализ коэффициентов полученного кубического уравнения показывает, что оно имеет один вещественный корень и два комплексных сопряженных корня. Решая кубическое уравнение, получим приближенное значение вещественного корня: $z = 8,44354$. Подставив полученное значение в квадратное уравнение $z(y)$ и решив его, получим: $y_1 = -3,27372$ и $y_2 = 2,27372$. Учитывая (8), выбираем положительный корень.

Для отыскания координат опор x_1 и x_2 воспользуемся уравнением связи координат (4)

$$\begin{cases} \frac{x_2}{x_1} = 2,27372, \\ x_1 = \sqrt[3]{(x_2 + 2l)(x_2 - l)^2}, \end{cases} \quad (9)$$

которое сводится к выражению

$$x_1^3 - 0,63425x_1 + 0,18596 = 0,$$

где $x_1 = x_1/l$. Это уравнение имеет три вещественных корня: 0,53601, -0,99514 и 0,37912.

Учитывая (8) для x_i , а также первое уравнение системы (9), окончательно имеем:

$$x_1 = 0,37912l,$$

$$x_2 = 0,86202l.$$

Пик изгибающего момента при таком положении опор имеет величину $0,009ql^2$, а при положении опор по краям балки - $0,064ql^2$. Таким образом, за счет рационального размещения опор можно уменьшить пик более чем в семь раз.

4. Распределение нагрузки

$$q(x) = q_1(1 - x/l) + q_2x/l$$

Исходные данные для этого случая нагружения показаны на рис. 3.

Будем предполагать, что $q_2 > q_1$. В противном случае достаточно изменить направление оси x и переименовать концы распределенной нагрузки.

Из условий равенства моментов на опорах $M_1 = M_2$, равенства моментов на опоре и в пролете (7) и определения координаты положения M_3 в пролете $Q(x) = 0$ получим систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} (1 - \bar{q})(a^3 - 1)x_2^3 + 3\bar{q}(a^2 - 1)x_2^2 + \\ \quad + 3(1 + \bar{q})x_2 - \bar{q} - 2 = 0, \\ \bar{q} \frac{3(x_1^2 + x^2) - x_1^3 - x^3}{6} + \frac{x_1^3 + x^3}{6} - \\ - \bar{q} \frac{(3x_2 - 1)(x - x_1)}{6x_2(1 - a)} - \frac{(3x_2 - 2)(x - x_1)}{6x_2(1 - a)} = 0, \quad (10) \\ \frac{x^2}{2}(1 - \bar{q}) + x\bar{q} - \frac{\bar{q} + 1}{2(1 - a)} + \frac{\bar{q} + 2}{6x_2(1 - a)} = 0. \end{cases}$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\bar{q} = \frac{q_1}{q_2} \text{ - параметр нагрузки;}$$

$$x_i = \frac{x_i}{l} \text{ - относительная координата } i \text{-ой опоры;}$$

$$a = \frac{x_1}{x_2} \text{ - отношение координат опор.}$$

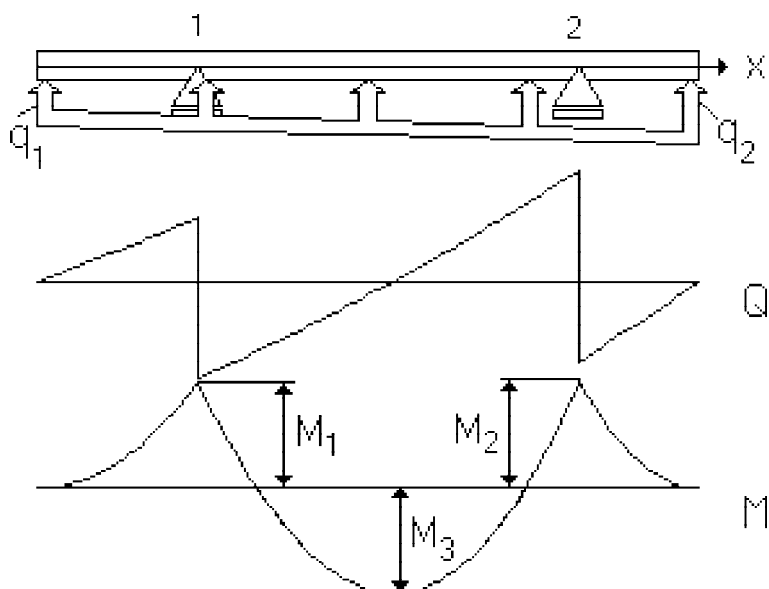


Рис. 3

Полученную систему (10) решать аналитически громоздко, и поэтому была построена вспомогательная функция, равная сумме квадратов частей уравнений, находящихся слева от знаков равенства. Эта функция принимает минимальное значение, равное нулю, только при тех значениях аргументов,

которые удовлетворяют всем уравнениям системы (10). Минимум функции отыскивался методом Монте-Карло.

Результаты численного решения системы (10) при различных значениях \bar{q} показаны на рис. 4 и 5.

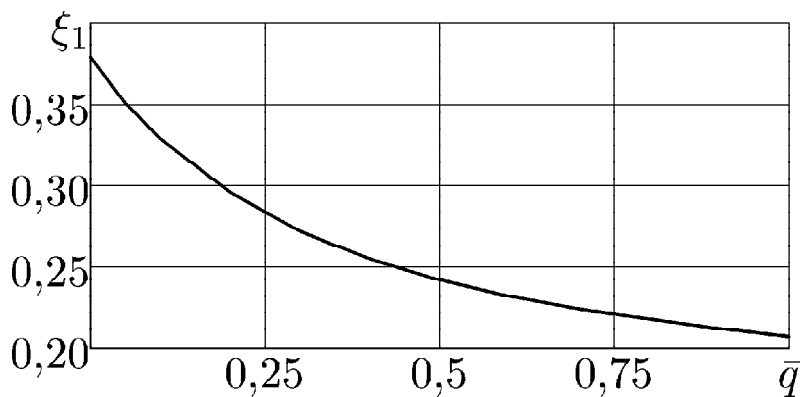


Рис. 4

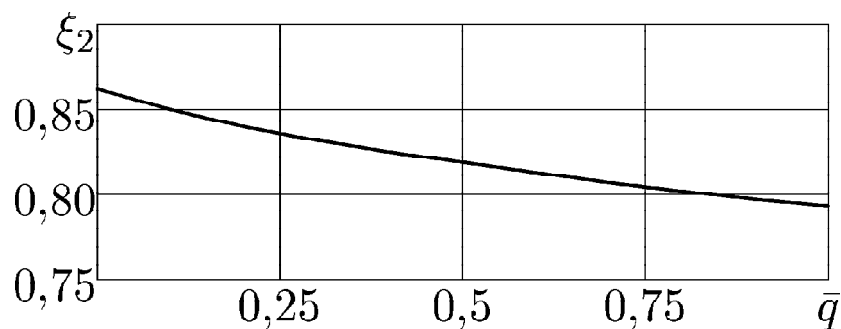


Рис. 5

Приведенные на графиках результаты показали ожидаемое поведение системы (10). При $\bar{q} = 1$ решение соответствует случаю загрузки распределенной нагрузкой постоянной интенсивности, а при $\bar{q} = 0$ - нагрузке, распределенной по «треугольнику». При этом относительные координаты опор x_i меняются согласованно, плавно стыкуясь со значениями, полученными для ранее рассмотренных случаев загрузки.

Заключение

1. В рассмотренных задачах оптимальное размещение опор существенно уменьшает пик изгибающего момента (в 6–7 раз) по сравнению с размещением опор по концам балки.

2. При кажущейся простоте формулировки рассмотренные задачи обладают привлекательными свойствами для оценки работоспособности и эффективности методов оптимизации, это: небольшое число независимых переменных, ясные параметрические ограничения, отсутствие функциональных ограничений, нелинейный характер функции цели. В работе [4] такие задачи считаются идеальными для тестирования и освоения численных методов оптимизации.

На рис. 6 показана геометрическая интерпретация оптимизационной задачи для случая $q(x) = const$ в форме поверхности функции цели.

Поверхность функции цели в трехмерном пространстве (рис. 6) представляет со-

бой две области, симметричные относительно диагонали, соответствующей точкам совмещения опор. На всей этой линии, за исключением одной изолированной точки, значения функции цели не определены, так как балка при таком размещении опор ведет себя как механизм. Изолированная точка представляет собой положение неустойчивого равновесия, когда опоры совмещены, но находятся под равнодействующей внешней нагрузки.

Каждая из областей, расположенных по обе стороны от диагонали, образуется тремя поверхностями. Две из поверхностей представляют собой выпуклые книзу линейчатые поверхности с квадратичными образующими. На линиях равного уровня (рис. 7) эти поверхности показаны в виде прямых, параллельных осям координат. Эти прямые соответствуют таким положениям опор, при которых нагрузка с одной из консолей превышает нагрузку в пролете.

Третья поверхность соответствует таким положениям опор, при которых нагрузка в пролете превышает нагрузку на консолях. Сечение этой поверхности плоскостью, проходящей через точки (0,1) и (1,0), представляет собой прямую линию. Линии пересечения с плоскостями $x_1 = 1$ и $x_2 = 0$ являются параболлами, обращенными выпуклостью вверх. Линии пересечения трех поверхностей образуют «русла оврагов», которые ведут к точке оптимума.

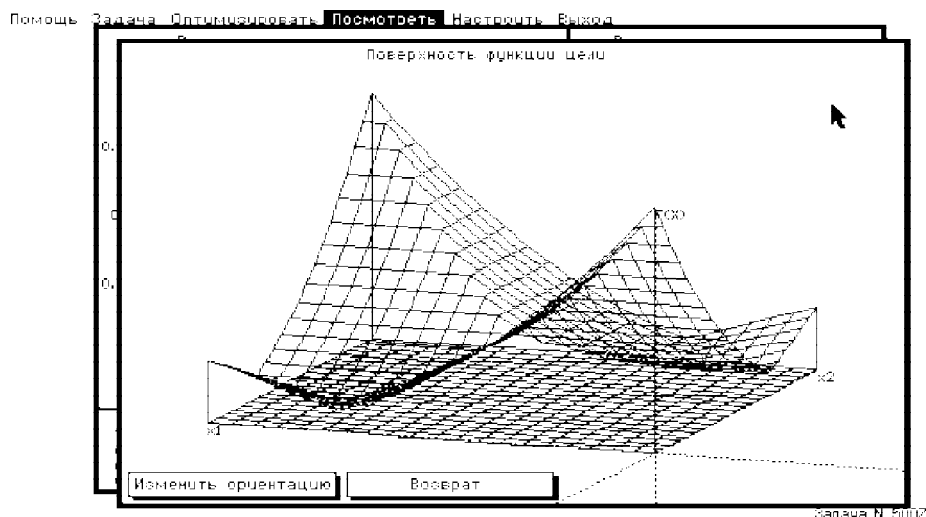


Рис. 6. Поверхность функции цели

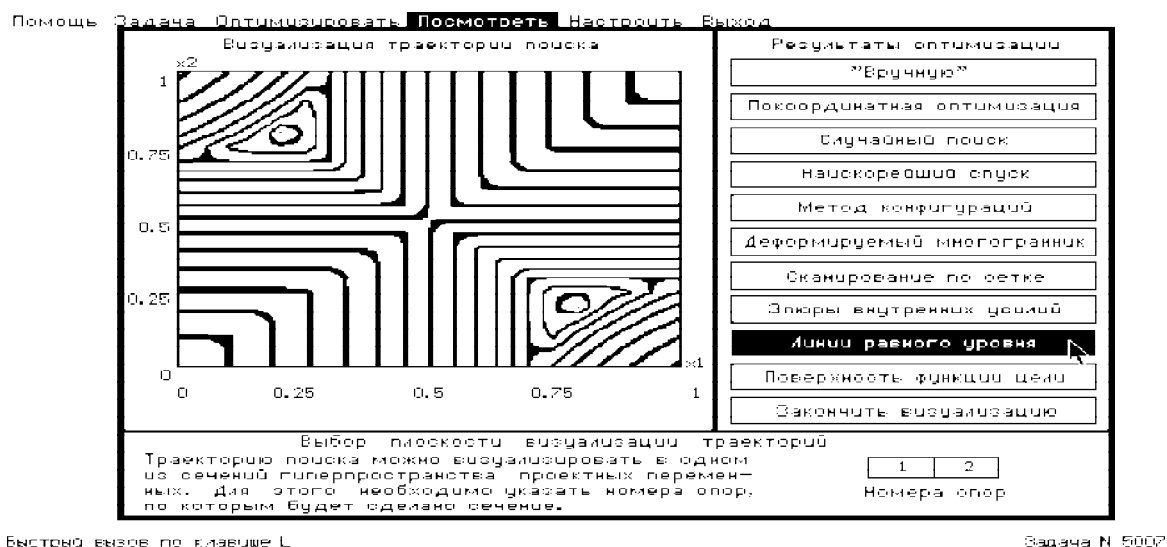


Рис. 7. Изолинии функции цели

Список литературы

1. Методы оптимизации авиационных конструкций/Н. В. Баничук, В. И. Бирюк, А. П. Сейранян и др. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Комаров В. А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций // В кн. Актуальные проблемы авиационной науки и техники. -М.: Машиностроение, 1984. - С. 114–129.
3. Мрыкин С. В. Математическое и программное обеспечение методов геометричес-

- кого моделирования и оптимизации в среде учебно-исследовательской САПР силовых конструкций: Дисс...канд. технич. наук: 05.13.12 / Самара: СГАУ, 1999.
4. Бобков Н. К., Грудачев В. Г., Дворянкин А. М. Некоторые методические рекомендации по постановке оптимизационных задач / Автоматизированное оптимальное проектирование инж. объектов и технологич. процессов. Ч. 1. – Горький: ГГУ. - 1974. - С. 5-14.

OPTIMAL POSITIONING OF SUPPORTS FOR STATICALLY DEFINABLE BEAMS

© 2006 V. A. Komarov, S. V. Mrykin

Samara State Aerospace University

The paper present solution of several problems of positioning the supports of statically definable beams according to the bending moment peak minimum criterion. The solution are intended to estimate the efficiency of numerical methods of construction optimization.

УДК 621.671

АКУСТИКО-ВИХРЕВОЙ РЕЗОНАНС ШНЕКА АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВНОГО НАСОСА

© 2006 А. Н. Крючков

Самарский государственный аэрокосмический университет

В работе рассматривается комбинированный насосный агрегат, содержащий подкачивающую - шнекоцентробежную (ШЦС) и основную - шестеренную (ШС) ступени. Разработана модель взаимодействия вихревых возмущений в шнекоцентробежной ступени с колеблющимися лопастями шнека с учетом влияния гидродинамических процессов в шестеренной ступени. Модель описывает резонансное усиление колебаний лопасти шнека вследствие совпадения частот собственных колебаний шнека, виброакустического воздействия от ШС и срыва концевых вихрей. Проведенные экспериментальные исследования показали адекватность созданной модели реальному процессу.

Особенностью работы насосных агрегатов форсажных двигателей является значительный диапазон изменения требуемого расхода топлива. Причем для нашедших широкое применение комбинированных агрегатов, содержащих подкачивающую – шнекоцентробежную и основную – шестеренную ступени, именно подкачивающая имеет в несколько раз больший вышеуказанный диапазон (рис. 1). Вследствие большого изменения подачи керосина шнекоцентробежной ступенью существенно изменяются условия обтекания лопастей шнека и колеса, что вызывает интенсивное вихреобразование в различных частях проточной части. При работе

шестеренной ступени возбуждаются интенсивные полигармонические пульсации рабочей среды, вибрации элементов насосного агрегата.

Наиболее значимым высокочастотным источником возбуждения для шнекового преднасоса является концевой вихрь, интенсифицируемый острыми кромками [1, 2, 6]. Поток с большой скоростью, текущий в кольцевом зазоре между кромкой лопасти и корпусом, взаимодействует у тыльной поверхности лопасти с основным течением в канале и радиальным течением от втулки к периферии лопасти и сворачивается в вихрь. Радиус и циркуляция этого концевых вихря зависят от

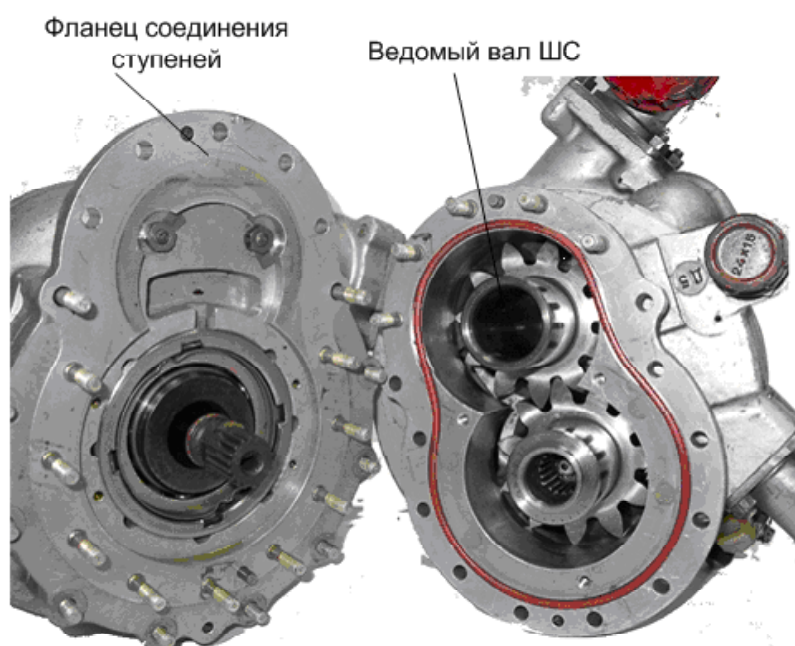


Рис. 1. Шнекоцентробежная ступень (слева) и шестеренная (справа)

величины относительного зазора, теоретического напора, расстояния от входной кромки лопасти. Концевой вихрь перемещается поперек канала от периферии на тыльной стороне лопасти к ее лицевой стороне и к втулке.

Возникающая вследствие щелевого протекания пристенная струя является неустойчивой [6]. Развитие возмущений в струе и последующий ее отрыв от поверхности корпуса является той физической причиной, которая приводит к возникновению на периферийных участках лопастей сложной вихревой системы, основной структурной составляющей которой и является вихревой жгут. Данные возмущения, взаимодействуя с виброакустическими воздействиями от ШС, вызывают колебания лопасти шнека, значительно

увеличивающиеся на собственных резонансах (рис. 2.). А увеличение вибрации лопасти приведет к интенсификации пульсаций давления, вызванных гидродинамическими возмущениями [3, 5].

Данное явление автором описывается впервые, поэтому такое взаимодействие гидродинамических и виброакустических процессов предлагается называть **акустико-вихревым резонансом** шнекового преднасоса.

Схема взаимодействия вихревых возмущений в ШС с колеблющимися лопастями шнека, возбуждаемых виброакустическим воздействием ШС, представлена на рис. 3.

Непосредственное измерение вибраций вращающейся лопасти представляет собой сложную техническую задачу, которая может быть решена методами лазерной вибромет-

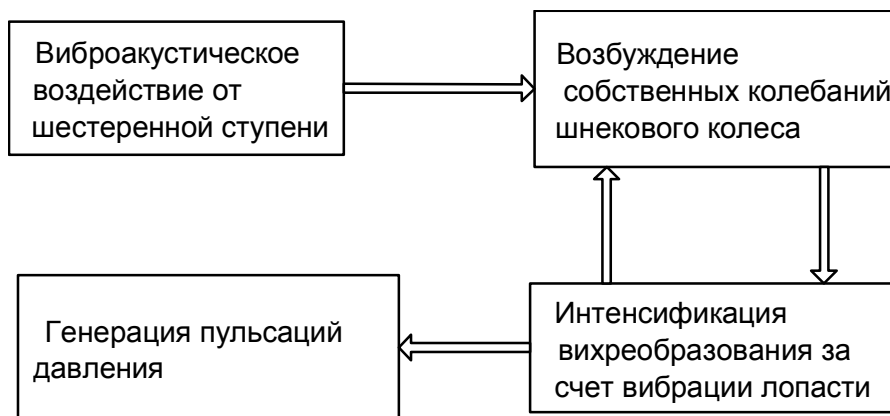


Рис. 2. Схема взаимодействия виброакустических и гидродинамических процессов при акустико-вихревом резонансом возбуждении лопасти шнека



Рис. 3. Колебания лопасти шнека вследствие отрыва концевой вихря и виброакустического воздействия от ШС

рии. Другим важным параметром, достаточно полно характеризующим данный резонанс, являются повышенные высокочастотные пульсации давления на входе в шнек. В настоящей статье представлены методы моделирования пульсаций давления на входе в шнек с учетом вибраций его лопасти и их взаимодействия с щелевым потоком. Из-за сложности процессов не представляется возможным дать их полное аналитическое описание. Поэтому предложена модель в виде совокупности трех моделей: гидродинамической модели ШЦС, твердотельной модели шнека и эмпирической модели ШС (рис. 4).

1. Гидродинамическая модель структуры течения в ШЦС реализована в пакете Star-CD с помощью метода контрольных объемов. Уравнения неразрывности и сохранения импульса, решаемые Star-CD для основных типов несжимаемых и сжимаемых потоков и подвижной системы координат (уравнения Навье-Стокса), в декартовых координатах и тензорной форме имеют вид:

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(ru_j) = s_m; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(ru_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(ru_j u_i - t_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + s_i, \quad (2) \quad f = \frac{v \cdot Sh}{l_k} = \frac{Sh \sqrt{2g \cdot DH}}{l_k}, \quad (3)$$

где t - время; x_i - декартова координата ($i = 1, 2, 3$); u_i - компонент абсолютной скорости потока в направлении x_i ; $p = p_s - r_0 g_m x_m$ - пьезометрическое давление, где p_s - статическое давление, r_0 - опорная плотность, g_m - гравитационная постоянная и x_m - координата точки, где определена r_0 ; r - плотность; t_{ij} - компоненты тензора напряжений; s_m - массовый источник; s_i - компоненты источника импульса.

Построение расчетной сетки шнекоцентричного насоса в стандартных программах вычислительной гидродинамики является довольно сложным из-за минимального инструментария геометрического моделирования. Поэтому предварительно построена трехмерная геометрическая модель ШЦС. Граничными условиями на входе в насос и в сливные патрубки являются скорости потока (рис. 5), ротору ШЦС придано вращение, соответствующее частоте вращения вала. Влияние турбулентности моделируется $k - \epsilon$ моделью для высоких чисел Рейнольдса.

В результате расчета получена структура концевой вихря (рис. 6), по параметрам которого можно определить частоту отрыва

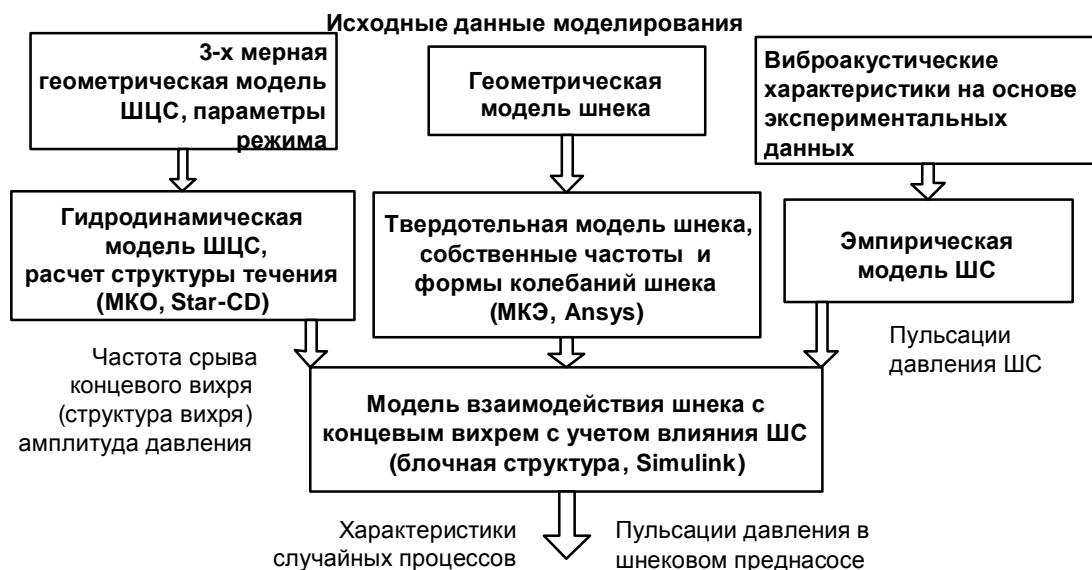


Рис. 4. Структура модели взаимодействия вихревых возмущений в ШЦС с колеблющимися лопастями шнека с учетом влияния ШС

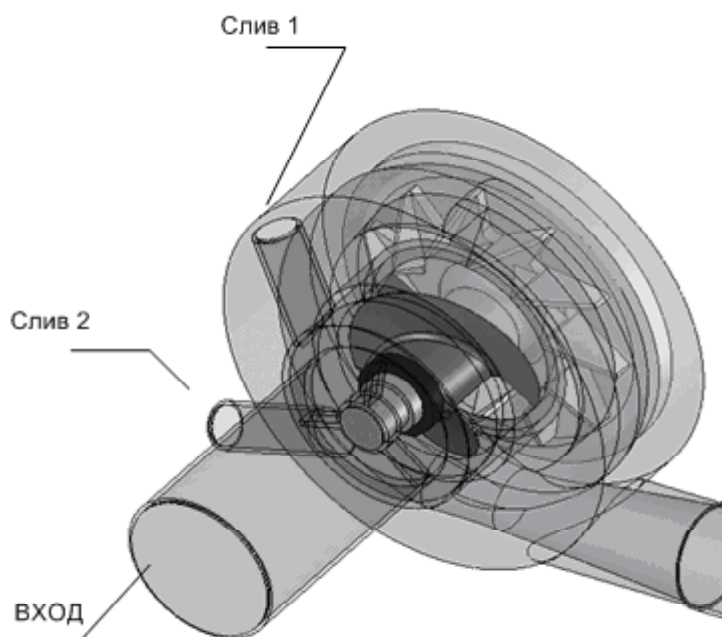


Рис. 5. Геометрическая трехмерная модель ШЦС

где Sh – число Струхалия (0,2 – 0,3), l_k – толщина торца лопасти шнека, DH – перепад давления на периферийном участке лопасти, n – характерная скорость течения.

2. Модальный анализ собственных форм колебаний шнекового колеса проведен с помощью метода конечных элементов в программном комплексе Ansys. Конечно-элементная модель построена на базе элемента SOLID 95, с неупорядоченной сеткой, размер элементов которой 3 мм. В результате проведенного модального анализа с заданным ди-

апазоном частот выявлены 10 форм собственных колебаний в диапазоне от 0 до 10 кГц (рис. 7). Собственные частоты шнека представлены в табл. 1.

Для проверки адекватности собственные частоты были определены экспериментально с помощью метода простукивания. Шнек подвешивался на нить и возбуждался деревянным молотком. Регистрировалось изменение звукового давления с помощью микрофона на расстоянии 30 см. Спектр собственных частот (рис. 8) соответствует рассчитанным значениям в пределах.

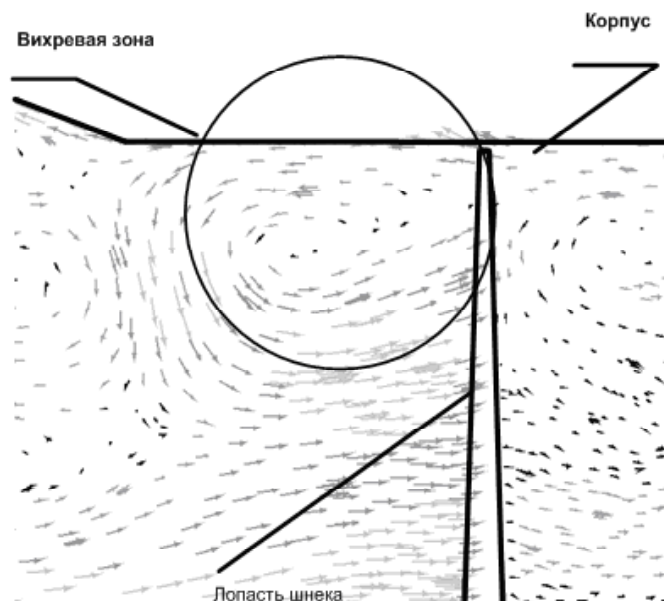


Рис. 6. Концевой вихрь при $n=4800$ об/мин, $Q=1200$ кг/час

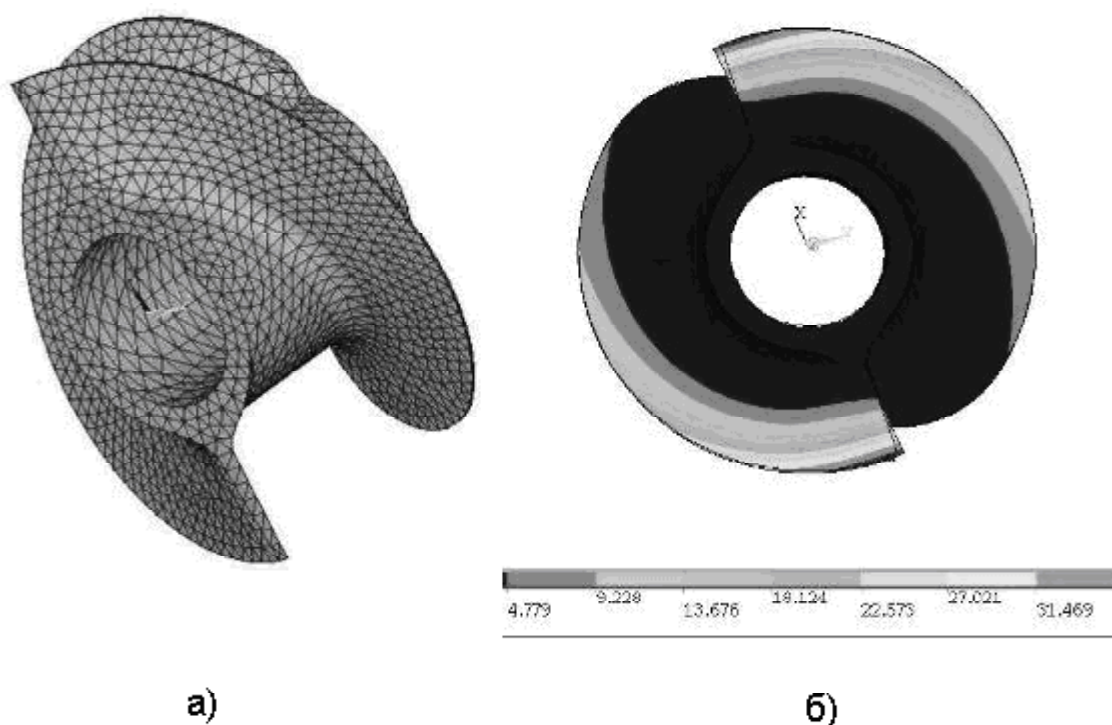


Рис.7. Конечно-элементная сетка (а) и форма собственных колебаний шнека на частоте 3562 Гц (б)

Таблица 1. Собственные частоты шнека

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота, Гц	3562	3963	3967	3971	4456	4457	4925	4928	5436	5438

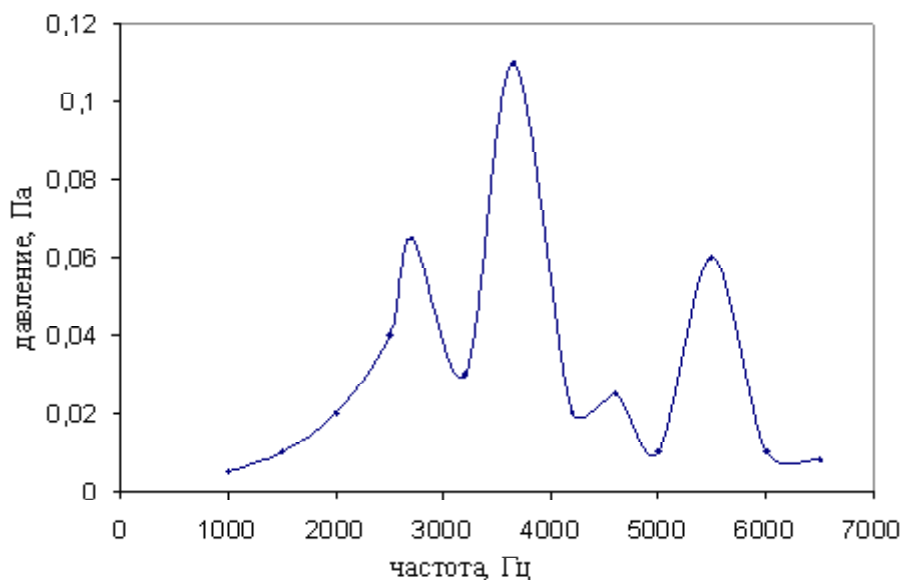


Рис. 8. Спектр собственных частот шнека, полученный экспериментально методом простукивания

3. Эмпирическая модель шестеренной ступени представлена как источник полигармонических колебаний, параметры которого определяются по спектрам пульсаций давления (рис. 9). В результате экспериментальных данных получена зависимость изменения

спектров пульсаций от давления на входе и выходе ступени.

Модель акустико-вихревого резонанса шнека реализована в пакете Simulink (Matlab), имеющем блочную структуру и позволяющем моделировать случайные процес-

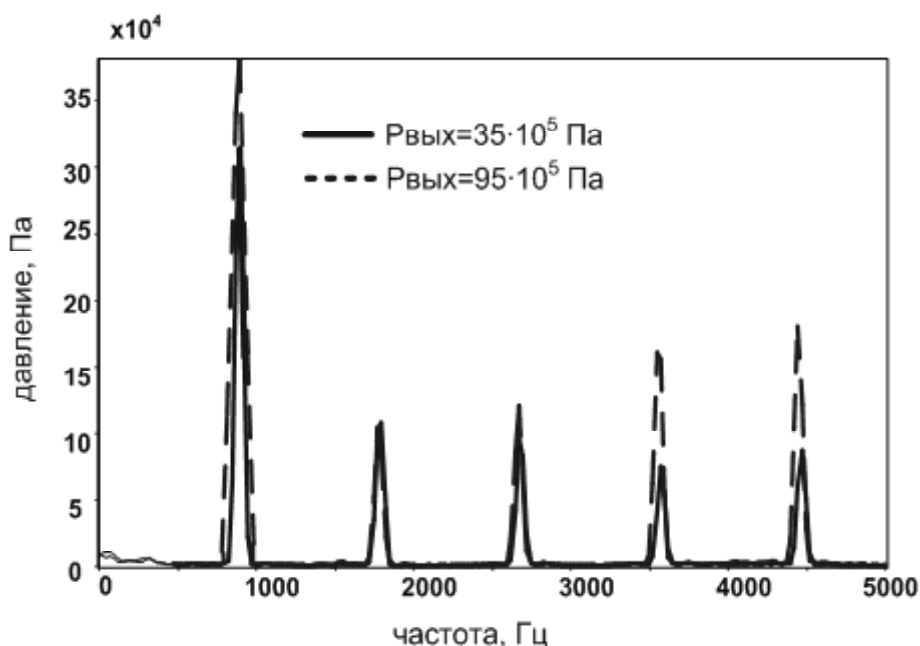


Рис. 9. Амплитудный спектр пульсаций давления на выходе ШС при $n=4800$ об/мин

сы и их характеристики. Граничными условиями на входе в обобщенную модель являются:

1) частота срыва концевых вихря (структура вихря, распределение давления, скорости), амплитуда пульсаций, полученные в результате моделирования структуры течения в ШЦС;

2) собственные частоты шнека, полученные из второй модели;

3) виброакустические характеристики ШС, основанные на экспериментальных данных.

Данные на выходе из обобщенной модели представлены в виде спектральных характеристик гидродинамических и виброакустических сигналов.

Распределение энергии по частотам для случайного процесса описывается спектральной плотностью $S(w)$. Спектральная плотность связана с автокорреляционной функцией соотношением

$$S(w) = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{+\infty} R_{pp}(t) e^{-iwt} dt, \quad (4)$$

где R – автокорреляционная функция процесса; w – круговая частота.

Спектральная плотность и автокорреляционная функция связаны со среднеквадра-

тичным значением пульсаций давления соотношением

$$S_S = \sqrt{\int_0^{\infty} S(w) dw} \text{ или } S_S = \sqrt{R_{pp}(0)}. \quad (5)$$

Пульсации давления вследствие срыва вихрей, воздействующие на поверхность лопастей шнека, моделируются как шумовой процесс. Ограничение по частотному диапазону осуществляется с использованием полосовых фильтров с окном Кайзера (рис. 10):

$$w_{R(n)} = \frac{I_0(b\sqrt{1-[2n/(N-1)]^2})}{I_0(b)}, \quad (6)$$

где b – константа, определяющая компромисс между максимальным уровнем боковых лепестков и шириной главного лепестка (или долей общей энергии в главном лепестке) частотной характеристики окна, а $I_0(x)$ – функция Бесселя нулевого порядка. Окно Кайзера является по существу оптимальным окном в том смысле, что оно представляет последовательность конечной длины, которая имеет минимум энергии спектра за пределами некоторой заданной частоты [4].

Собственные частоты шнека задаются набором узкополосных фильтров в соответствии с полученными расчетными значениями.

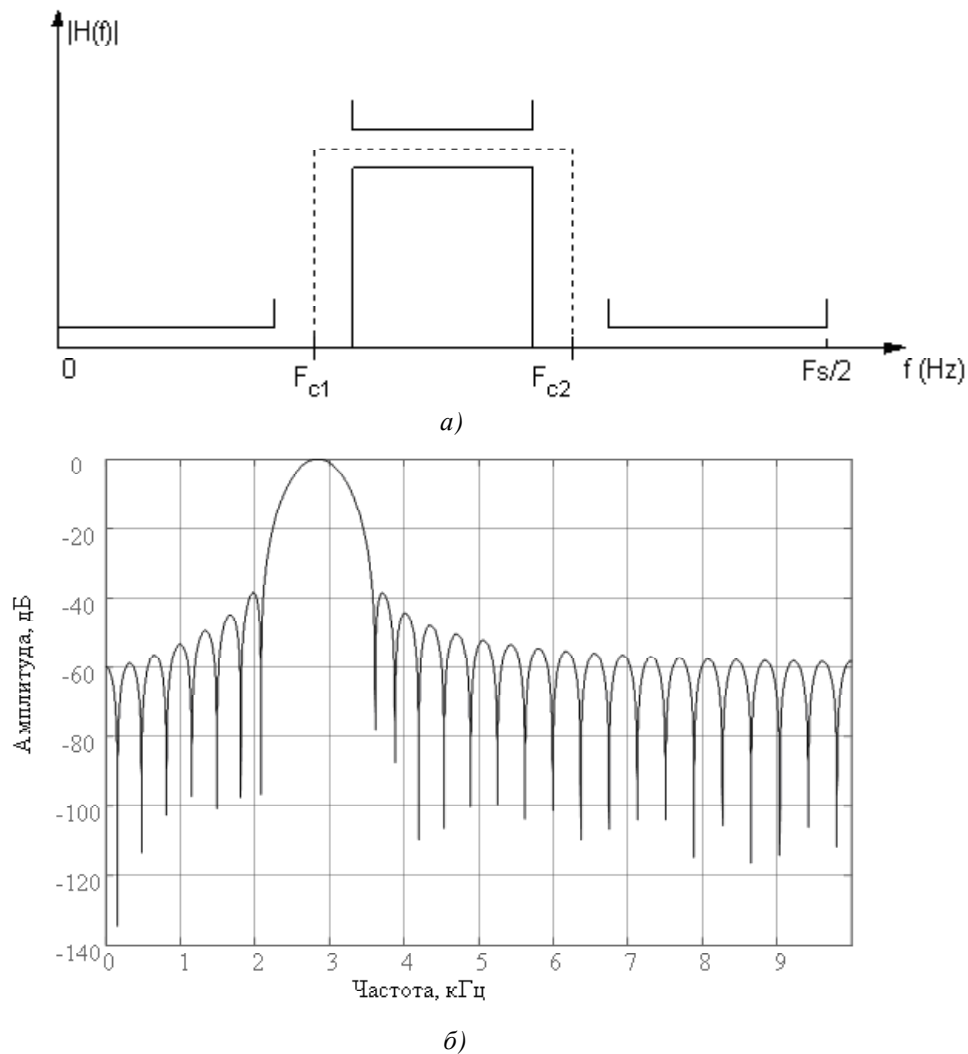


Рис. 10. Структура (а) и амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра с окном Кайзера; полоса пропускания фильтра: $F_{c1}=2800$ Гц, $F_{c2}=2900$ Гц

Адекватность модели взаимодействия вихревых возмущений в ШЦС с колеблющимися лопастями шнека с учетом влияния ШС

подтверждается сравнением спектров пульсаций давления, полученных экспериментально и в результате расчета (рис. 11).

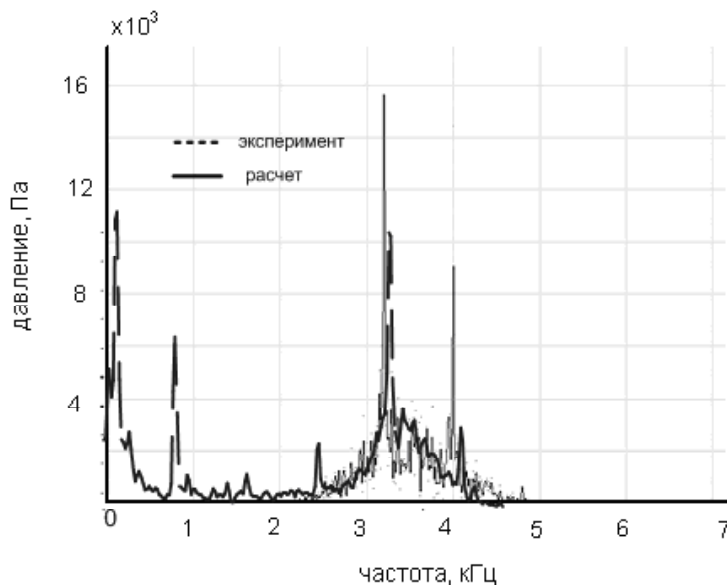


Рис. 11. Экспериментальный и расчетный спектры пульсаций давления на входе ШЦС при $P_{\text{вых.ис}} = 95 \cdot 10^5$ Па, $Q_{\text{ШЦС}} = 6000$ кг/час

Таким образом, обоснован механизм высокочастотного виброн нагружения ротора ШЦС, обусловленный совпадением собственных частот лопастей шнека с частотами колебаний, возбуждаемых шестеренной ступенью и срывом концевых вихрей с лопасти шнека.

Список литературы

1. Карелин В. Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. – М.: Машиностроение, 1975.

2. Кинелев В. Г., Васильев Ю. Н., Курочкин С. Н. Физическая модель кавитирующего шнеко-центробежного насоса, работающего в широком диапазоне режимов по расходу. Кавитационные автоколебания в насос-

ных системах. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 100 - 107.

3. Пульсации давления при струйных и отрывных течениях/ А. Н. Антонов, В. М. Купцов, В. В. Комаров. – М.: Машиностроение, 1990.

4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. Зайцева А. Л., Назаренко Э. Г. – М.: Мир, 1978.

5. Физические основы образования звука в воздуходушных машинах / А. В. Римский-Корсаков, Д. В. Баженов, Л. А. Баженова. – М.: Наука, 1988.

6. Шапиро А. С. Структура реального течения в центробежных и осевых насосах. – М.: МГИУ, 2004.

ACOUSTIC WHIRLING RESONANCE OF AN AIRCRAFT FUEL PUMP SCREW

© 2006 A. N. Krutchkov

Samara State Aerospace University

The paper describes a combined fuel unit consisting of two stages- the screw centrifugal stage and the main pinion stage. A model of whirling disturbances interaction in the screw centrifugal stage with screw blades oscillating has been developed. The model takes into account the impact of hydrodynamic processes in the pinion stage. The model describes resonance increase of the frequencies of the screw own oscillations, vibroacoustic influence of the pinion stage and the stalling of end whirls. The experiments show the adequacy of the model designed to the real process.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДА АЗОТА И ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

© 2006 Ю. Г. Куценко, С. Ф. Онегин

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь

Рассматриваются проблемы математического моделирования физико-химических процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей. Проведены расчеты течения многокомпонентного реагирующего газа в камере сгорания. С использованием результатов проведенной серии параметрических расчетов камеры сгорания выбрана конструкция жаровой трубы, характеризующаяся минимальным уровнем эмиссии оксида азота.

1. Введение

Проектирование и доводка камер сгорания (КС) газотурбинных двигателей (ГТД) – сложный процесс, который включает в себя большой объем конструкторских и экспериментальных работ. Применение методов вычислительной газовой динамики позволяет снизить объем экспериментальных работ по доводке КС и внести изменения в их конструкцию на ранних стадиях проектирования. Несмотря на наличие коммерческих (доступных на рынке) пакетов программ вычислительной газовой динамики, успешное применение их в практике проектирования малоэмиссионных камер требует решения целого ряда проблем, обусловленных существенной нелинейностью и связанностью газодинамических и химических процессов (горения), то есть разработки специальной технологии моделирования. Разработка технологии математического моделирования процессов в КС включает в себя большой объем работ по настройке математических моделей турбулентности, горения, радиационного теплообмена. В данной работе рассматривается практическое применение технологии математического моделирования к расчету уровня эмиссии оксида азота в камере сгорания ГТД.

2. Математические модели

Для проведения расчетов камер сгорания были использованы следующие математические модели.

I. Для моделирования турбулентного течения производилось решение уравнений Навье-Стокса, использовалась *k-ε RNG* мо-

дель турбулентности. Выбранная для решения задачи система уравнений имеет вид:

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{r} \tilde{u}_j) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{r} \tilde{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{r} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\tau}_{ij} - \overline{ru_i''u_j''}); \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{r} \tilde{h}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{r} \tilde{u}_j \tilde{h} + \bar{r} \tilde{u}_j'' \tilde{h}'' - k \frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_j}) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{\tau}_{ij} + \tilde{u}_i'' \bar{\tau}_{ij}); \quad (3)$$

$$p = \sum_{k=1}^K [X_k] RT. \quad (4)$$

Здесь p – давление, r – плотность, T – температура, h – энтальпия, u_i – компоненты скорости, $[X_k]$ – молярная концентрация компонента смеси, R – универсальная газовая постоянная. В моделях, применяемых для расчета турбулентных течений, гипотеза турбулентной вязкости Буссинеска связывает тензор Рейнольдсовых напряжений с градиентами осредненного поля скорости [1]:

$$-\overline{ru_i''u_j''} = \bar{r} m_i \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \bar{r} m_i \nabla \tilde{V} - \frac{2}{3} d_{ij} \bar{r} k. \quad (5)$$

Коэффициент пропорциональности

$$m_t = C_m \frac{k^2}{e} \quad (6)$$

есть турбулентная вязкость.

Уравнения переноса для кинетической энергии турбулентности k и скорости диссипации e записываются в следующем виде:

$$\frac{\partial \bar{r}k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{r}\tilde{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{r} \left(m + \frac{m_t}{s_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - P_k - \bar{r}e, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{r}e}{\partial t} + \frac{\partial \bar{r}\tilde{u}_j e}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{r} \left(m + \frac{m_t}{s_k} \right) \frac{\partial e}{\partial x_j} \right) + \\ + \frac{e}{k} (C_{e1} P - C_{e2} \bar{r}e) + rR, \end{aligned} \quad (8)$$

где источниковый член рассчитывается по формуле

$$P_k = -\overline{r u_i'' u_j''} \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j}, \quad (9)$$

добавочный член для k - e RNG модели турбулентности выражается в виде

$$R = C_m \frac{h^3 \left(1 - \frac{h}{h_0} \right) e^2}{(1 + bh^3) k}. \quad (10)$$

Для моделирования процессов турбулентного смешения и горения использовалась модель тонкого фронта пламени (Flamelet). При расчете КС авиационных ГТД совместно с моделью горения использовалась модель распространения и испарения капель керосина в лагранжевой постановке. Модель горения Flamelet описывает взаимодействие процессов химической кинетики и турбулентного смешения в пределе быстрых реакций – при большом значении числа Дамкёлера (Число Дамкёлера $Da = t_f / t_c$ – отношение временных масштабов течения и химических реакций). Горение происходит в слое, называемом тонким фронтом пламени. Если скорость химических реакций достаточно высо-

ка, чтобы достигнуть завершения (или равновесия) как только реагенты смешаны, то термохимическое состояние полученной смеси может быть определено с использованием консервативной переменной – массовой доли восстановленного топлива.

Уравнения для массовой доли восстановленного топлива \tilde{Z} и ее вариации, применяемые в рамках Flamelet модели горения, имеют вид:

$$\frac{\partial(\bar{r}\tilde{Z})}{\partial t} + \nabla(\bar{r}\tilde{v}\tilde{Z}) - \nabla(\bar{r}D\nabla\tilde{Z}) = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial(\bar{r}\tilde{Z}''^2)}{\partial t} + \nabla(\bar{r}\tilde{v}\tilde{Z}''^2) - \nabla(\bar{r}D\nabla\tilde{Z}''^2) = C_c \frac{m_t}{Sc_t} (\nabla\tilde{Z})^2 - \bar{r}\tilde{c}. \quad (12)$$

Неравновесные эффекты – влияние внешнего поля течения на зону горения – описываются выражением для скорости диссипации массовой доли восстановленного топлива:

$$c = C_c \frac{k}{e} \tilde{Z}''^2. \quad (13)$$

Значениям \tilde{Z} , \tilde{Z}''^2 , c соответствуют определенные значения массовых долей топлива, окислителя и продуктов сгорания, полученные путем генерации Flamelet библиотеки с использованием кинетических механизмов, описывающих процесс горения топлива.

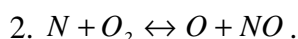
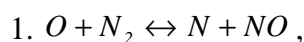
II. Для расчета пространственного распределения концентрации оксида азота в камере сгорания решалось уравнение переноса для массовой доли NO

$$\frac{\partial(\bar{r}\tilde{Y}_{NO})}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{r}\tilde{u}_j \tilde{Y}_{NO})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{m_t}{Sc_t} \frac{\partial \tilde{Y}_{NO}}{\partial x_j} \right) + R_{NO}, \quad (14)$$

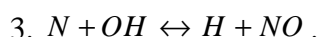
где источниковый член R_{NO} – скорость образования NO .

В камерах сгорания ГТД к образованию NO приводят два различных химических процесса: механизмы «термических» (Зельдовича) и «быстрых» NO . Механизм Зельдовича

– основной источник оксида азота при протекании процесса горения с температурой выше 1800 К. NO формируется вследствие комбинации атомов O и N , которые образуются при высоких температурах. Основные реакции, приводящие к образованию «термических» NO из молекулярного азота, приведены ниже:



При условиях, близких к стехиометрическим и в богатых топливно-воздушных смесях, определенный вклад вносит реакция



Скорости для данных реакций известны из экспериментальных данных и определяются по формулам:

$$k_1 = 1,8 \times 10^8 e^{-38370/T}; \quad (15)$$

$$k_{-1} = 3,8 \times 10^7 e^{-425/T}; \quad (16)$$

$$k_2 = 1,8 \times 10^4 T e^{-4680/T}; \quad (17)$$

$$k_{-2} = 3,8 \times 10^3 T e^{-20820/T}; \quad (18)$$

$$k_3 = 7,1 \times 10^7 e^{-450/T}; \quad (19)$$

$$k_{-3} = 1,7 \times 10^8 e^{-24560/T}. \quad (20)$$

Здесь k_1, k_2, k_3 – константы скоростей прямых реакций и k_{-1}, k_{-2}, k_{-3} соответствующие им скорости обратных реакций. Суммарная скорость образования NO определяется по формуле

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_1[O][N_2] + k_2[N][O_2] + k_3[N][OH] - k_{-1}[NO][N] - k_{-2}[NO][O] - k_{-3}[NO][H]. \quad (21)$$

Расчет уровня эмиссии оксида азота в камерах сгорания ГТД обычно производится с использованием некоторых допущений. Одним из таких допущений является предположение о квазиравновесном состоянии для расчета концентрации N . Скорость реакции образования оксида азота значительна

только на высоких температурах, так как для образования N требуется разрыв сильной тройной связи молекулы N_2 (энергия диссоциации 941 кДж/гмоль). Это физическое явление представлено большой величиной энергии активации реакции 1 (15), которая лимитирует скорость образования NO в рамках механизма Зельдовича. С другой стороны, энергия активации для окисления N в результате реакции 2 невелика (17). Когда имеется достаточно кислорода, например, в бедной смеси, скорость потребления атомов свободного азота становится равной скорости его образования, и, следовательно, имеет место квазиравновесное состояние. Таким образом, выражение для скорости образования NO принимает вид:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1[O][N_2] \frac{\left(1 - \frac{k_{-1}k_{-2}[NO]^2}{k_1[N_2]k_2[O_2]}\right)}{\left(1 + \frac{k_{-1}[NO]}{k_2[O_2]k_3[OH]}\right)}. \quad (22)$$

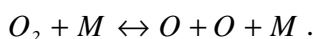
Для расчета концентрации атомарного кислорода O может быть использован один из трех методов.

1. Допущение о равновесности реакции диссоциации-рекомбинации O . Скорость реакции образования NO намного медленнее, чем скорость окисления углеводородных соединений. Как следствие этого, основная масса термических NO образуется после завершения процесса окисления углеводородных соединений. Поэтому процесс образования термических NO может быть отделен от механизма основных реакций процесса горения. Скорость образования NO может быть определена, исходя из предположения о равновесности химических реакций. С использованием данного предположения вычисление скорости образования «термических» NO значительно упрощается. Величина равновесной концентрации атома свободного кислорода может быть получена из выражения [2]:

$$[O] = 3,97 \times 10^5 T^{-1/2} [O_2]^{1/2} e^{-31090/T}. \quad (23)$$

2. Предположение о частичном равновесии реакции диссоциации-рекомбинации

О. Упомянутый выше метод расчета концентрации O может быть усовершенствован путем расчета реакций с участием третьего тела в процессе диссоциации-рекомбинации O_2 :



Уравнение (23) в этом случае заменяется следующим выражением [3]:

$$[O] = 36,64T^{1/2} [O_2]^{1/2} e^{-27123/T} . \quad (24)$$

3. Концентрация атомарного кислорода может быть предсказана с использованием моделей горения, таких как модель тонкого фронта пламени.

Для расчета концентрации радикала OH также могут быть использованы три метода.

1. Пренебрежение концентрацией OH . В рамках этого допущения третья реакция в механизме Зельдовича предполагается мало-значительной при выполнении следующих условий:

$$k_2 [O_2]_{равновесная} \gg k_3 [OH]_{равновесная} . \quad (25)$$

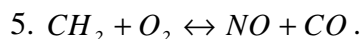
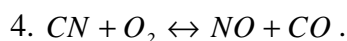
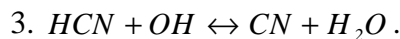
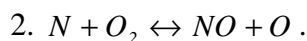
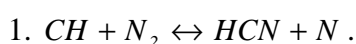
Такое предположение справедливо для бедных смесей и является допустимым для большинства случаев.

2. Допущение о частичном равновесии реакции образования OH . С использованием этого приближения концентрация OH для механизма Зельдовича определяется по формуле

$$[OH] = 2,129 \times 10^2 T^{-0,57} e^{-4595/T} [O]^{1/2} [H_2O]^{1/2} . \quad (26)$$

3. Концентрация OH может быть предсказана с использованием моделей горения, таких как модель тонкого фронта пламени.

Присутствие второго механизма, приводящего к образованию NO , впервые было выявлено Фенимором. Этот механизм был назван «быстрым». «Быстрые» NO формируются в значительном количестве при низких температурах в богатой топливо-воздушной смеси. Процесс образования «быстрых» NO включает в себя множество реакций и промежуточных компонентов:



Предполагается, что основным источником «быстрых» NO в углеводородных пламенах являются компоненты, получившиеся путем распада топлива. Основной вклад вносят реакция 1 с участием CH и реакция 5 с участием CH_2 . Скорость образования «быстрых» NO пропорциональна числу атомов углерода, приходящихся на единицу объема, и не зависит от типа углеводорода и используемого топлива. Количество образующегося HCN возрастает при увеличении концентрации углеводородных радикалов, которая в свою очередь возрастает при уменьшении коэффициента избытка воздуха. Реакция 1 играет определяющую роль в образовании «быстрых» NO . Проведенные исследования [4] показали, что основная часть «быстрых» NO образуется по реакции 1. Предполагая, что реакция 1 является лимитирующей для механизма образования «быстрых» NO , получаем

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_o [CH] [N_2] . \quad (27)$$

Однако имеется неопределенность, связанная с выражением для скорости данной реакции. Ознакомившись с реакциями 1-5 образования «быстрых» NO , можно заключить, что расчет уровня эмиссии «быстрых» NO должен проводиться совместно с механизмом окисления углеводородных соединений. Кинетические механизмы окисления углеводородных топлив включают много шагов и чрезвычайно сложны для проведения расчета совместно с решением газодинамической задачи. Поэтому для определения уровня эмиссии «быстрых» NO обычно используется модель, предложенная Де Соетом [5]. Он показал, что общая скорость образования «быстрых» NO может быть определена из выражения

$$\frac{d[NO]}{dt} = f k'_{pr} [O_2]^a [N_2] [FUEL] e^{-E_a/RT} , \quad (28)$$

где

$$f = 4,75 + 0,0819n - \frac{23,2}{a} + \frac{32}{a^2} - \frac{12,3}{a^3}, \quad (29)$$

n – число атомов углерода в молекуле углеводородного топлива, a – коэффициент избытка топлива. Порядок реакции для кислорода зависит от условий протекания процесса горения и связан с молярной долей кислорода в пламени:

$$a = \begin{cases} 1,0; X_{O_2} < 4,1 \times 10^{-3}, \\ -3,95 - 0,9 \ln X_{O_2}; 4,1 \times 10^{-3} \leq X_{O_2} \leq 1,11 \times 10^{-2}, \\ -0,35 - 0,11 \ln X_{O_2}; 1,11 \times 10^{-2} < X_{O_2} < 0,03, \\ 0; X_{O_2} \geq 0,03. \end{cases} \quad (30)$$

Скорости реакции образования NO сильно зависят от температуры из-за большой величины энергии активации. Следовательно, флуктуации температуры могут сильно увеличить концентрацию оксида азота, образующегося в турбулентных пламенах. Для учета влияния турбулентных пульсаций на процесс образования оксида азота производилось решение уравнения для вариации температуры:

$$\frac{\partial(rT^{n_2})}{\partial t} + \frac{\partial(ru_j T^{n_2})}{\partial x_j} = \frac{\partial(\Gamma_t \nabla T^{n_2})}{\partial x_j} + C_{g1} m_i \left(\frac{dT}{dx} \right)^2 - C_{g2} r \frac{e}{k} T^{n_2} + P_c \quad (31)$$

Для определения осредненной скорости реакции образования NO – R_{NO} использовалась следующая формула:

$$R_{NO} = \frac{1}{T_u - T_l} \int_{T_l}^{T_u} R_k(T) P(T, T^{n_2}) dT, \quad (32)$$

где T_u и T_l – верхний и нижний пределы интегрирования по температуре, P – b -функция плотности распределения вероятности.

3. Анализ результатов расчетов

Для анализа процесса образования NO были проведены газодинамические расчеты с учетом процесса горения камеры сгорания наземной ГТУ, созданной на базе авиационного двигателя ПС-90А. Для проведения расчетов использовалась геометрическая модель, включающая в себя сопло завихрителя, жаровую трубу и газосборник. Размер расчетной сетки составил около 1 млн. узлов. Расчеты проводились с использованием коммерческого газодинамического пакета *CFX-TASCflow* [6]. В качестве граничных условий для проведения расчетов в основных отверстиях, на выходе из завихрителей и в щелях системы охлаждения задавались расходы воздуха, рассчитанные исходя из распределения эффективных площадей. На выходе из газосборника задавалось значение статического давления, рассчитанное исходя из величины потерь полного давления в камере сгорания 5,5 %. Расчеты были проведены для режимов, приведенных в табл. 1.

При анализе результатов расчетов было выявлено, что доля «быстрых» NO , образующихся в КС, незначительна и составляет от 0,1 до 0,2 % от общего выхода NO . Поэтому дальнейший анализ был проведен для результатов, полученных с использованием механизма Зельдовича.

Образование «термических» NO происходит вблизи поверхности стехиометрии – в зоне высоких температур при наличии достаточного количества атомарного кислорода. Вклад реакции 3 механизма Зельдовича – образования оксида азота с участием радикала OH – невелик и составляет 6,56; 2,14; 4,44 % от общего выхода NO для режимов 1, 2, 3, соответственно.

Таблица 1. Граничные условия для проведения расчетов

Режим	P_k , кгс/см ²	T_k , К	a	G , кг/с
1	8,07	553	4,96	1,81
2	14,82	655	3,27	2,91
3	20,07	720	2,51	3,63

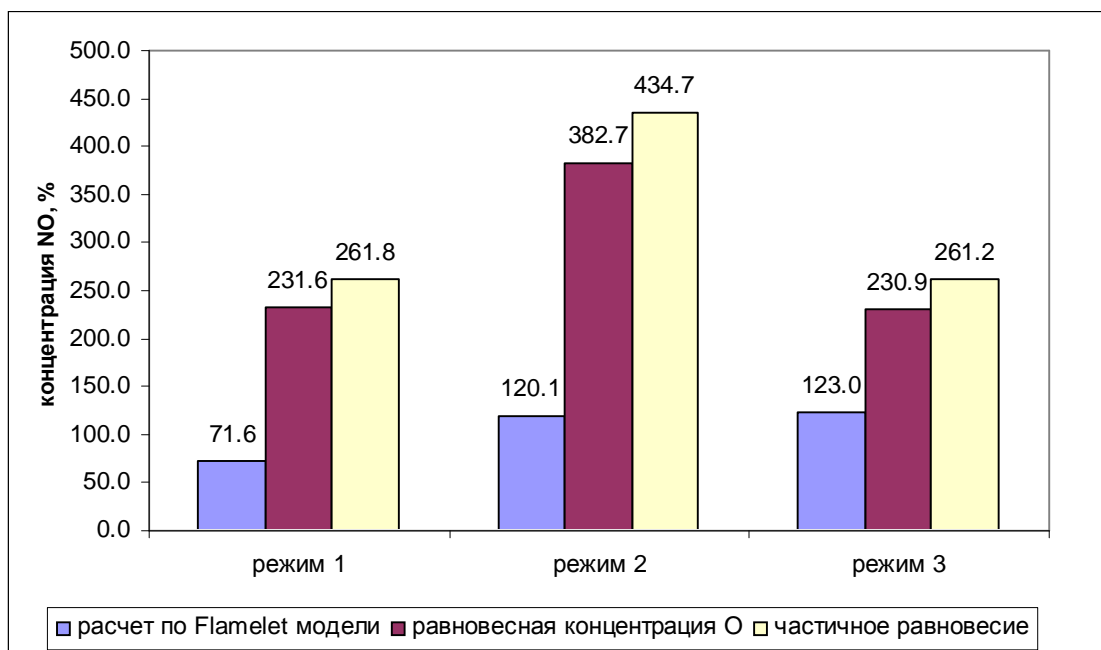


Рис. 1. Уровень эмиссии NO в процентах от экспериментальных данных

Для расчета выхода NO с использованием реакций 1 и 2 механизма Зельдовича важно правильно определить концентрацию атомарного кислорода. На рис. 1 представлены результаты расчетов уровня эмиссии NO при использовании допущений о химическом равновесии атомарного кислорода, частичном равновесии реакции диссоциации-рекомбинации O_2 и с использованием концентрации, рассчитанной с использованием Flamelet модели. Значения уровня эмиссии NO представлены в процентном отношении к экспериментальным замерам концентрации NO (100 %). Наиболее хорошее совпадение с экспериментальными данными наблюдается при использовании для расчета концентрации атомарного кислорода, полученной в рамках Flamelet модели горения, от 71,6 % для режима 1, до 123 % для режима 3. Расчет уровня эмиссии NO с использованием равновесной концентрации O и допущения о частичном равновесии реакции диссоциации-рекомбинации O_2 дает превышение экспериментального уровня в 2-4 раза. Также необходимо отметить важность учета турбулентных пульсаций температуры при расчете скорости реакции образования NO. Расчет без осреднения скорости реакции по температуре с использованием b -функции плотности распределения вероятности приводит к получению почти в 2 раза заниженных концентраций оксида азота на выходе из КС.

4. Выбор конструкции камеры сгорания с наименьшим уровнем эмиссии оксида азота

С использованием методологии проведения параметрических численных исследований были проанализированы варианты конструкций КС, различавшиеся между собой распределением расхода воздуха по жаровой трубе (расположением основных отверстий).

1. Вариант с расположением основных отверстий через секцию (№ 1) – основные отверстия первого ряда расположены в 4, 5 секциях; отверстия второго ряда в 6, 7 секциях жаровой трубы (рис. 2).

2. Вариант с расположением основных отверстий в соседних секциях (№ 2) – отверстия первого ряда сдвинуты к отверстиям второго ряда и расположены в 5, 6 секциях (рис. 3).

3. Вариант с шахматным расположением основных отверстий (№ 3) – отверстия первого ряда сдвинуты относительно оси жаровой трубы на 90° (рис. 3).

4. Вариант с шахматным расположением основных отверстий в соседних секциях (№ 4) – отверстия первого ряда сдвинуты относительно оси жаровой трубы на 90° и расположены в 5 и 6 секциях (рис. 3).

5. Вариант с одним рядом отверстий (№ 5) – 8 отверстий расположены в 6 и 7 секциях жаровой трубы (рис. 3).

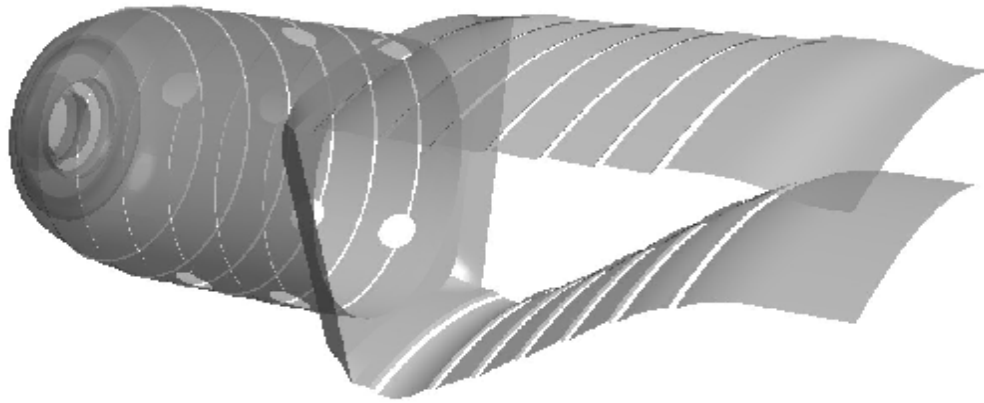


Рис. 2. Модель жаровой трубы и газосборника камеры сгорания в пакете CFX-TASCflow

Для проведения расчетов использовались геометрические модели, включающие в себя сопла радиального и осевого завихрителей, жаровую трубу и газосборник (рис. 2). Размер расчетной сетки составил около 900 тысяч узлов. Расчеты проводились с использованием коммерческого газодинамического пакета CFX-TASCflow.

В качестве граничных условий для проведения расчетов в основных отверстиях, на выходе из завихрителей и в щелях системы

охлаждения задавались расходы воздуха, рассчитанные исходя из распределения эффективных площадей. На выходе из газосборника задавалось значение статического давления, рассчитанное исходя из величины потерь полного давления в камере сгорания 5,5 %. Расчеты были произведены для режима: $P^*_к = 17,95$ кгс/см², $T^*_к = 829$ К, $G_6 = 4,067$ кг/с, $a = 3,05$. В табл. 2 приведены результаты расчетов концентрации NO на выходе из камеры сгорания.

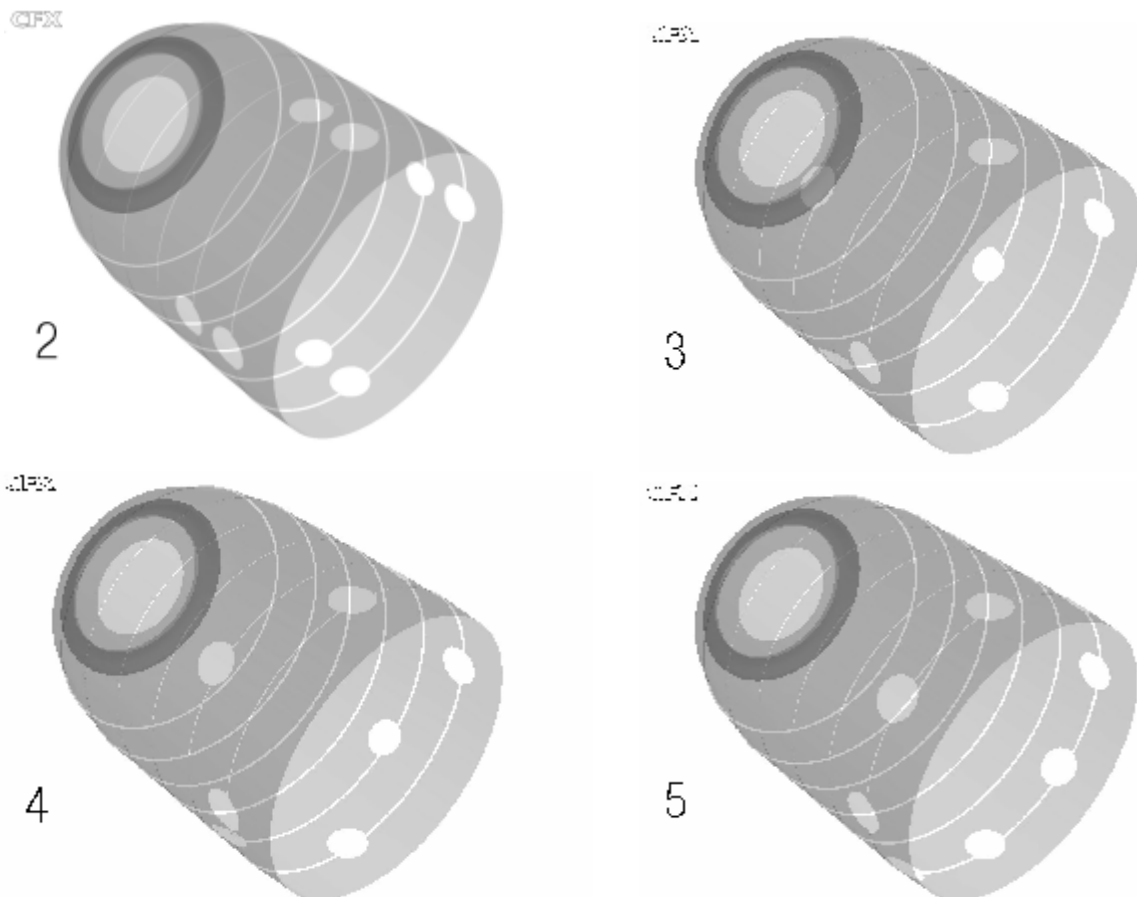


Рис. 3. Модификации жаровой трубы

Таблица 2. Результаты расчетов концентрации NO

№ варианта	Модификация жаровой трубы	Изменение уровня эмиссии NO по отношению к варианту № 1, %
1	Расположение основных отверстий через секцию	–
2	Расположение основных отверстий в соседних секциях	+1,2
3	Шахматное расположение основных отверстий через секцию	+22,3
4	Шахматное расположение основных отверстий в соседних секциях	+29,3
5	Один ряд отверстий	+30,2

На рис. 4 показаны распределения концентрации оксида азота по длине модификаций жаровых труб камеры сгорания и газосборника, приведенные к концентрации NO на выходе из камеры сгорания для варианта № 1. Анализ графиков концентрации оксида азота позволяет подразделить их на группы по уровню эмиссии NO на выходе из камеры сгорания и характеру увеличения концентрации в газосборнике (список № 1):

- варианты с расположением 1 и 2 ряда основных отверстий через секцию (№ 1) и в соседних секциях (№ 2);

- варианты с шахматным расположением основных отверстий через секцию (№ 3) и в соседних секциях (№ 4);

- вариант с расположением отверстий в одном ряду (№ 5).

По характеру увеличения концентрации оксида азота в первичной зоне разделение следующее (список № 2):

- варианты с расположением 1 и 2 ряда основных отверстий через секцию (№ 1) и с шахматным расположением основных отверстий (№ 3);

- варианты с шахматным расположением

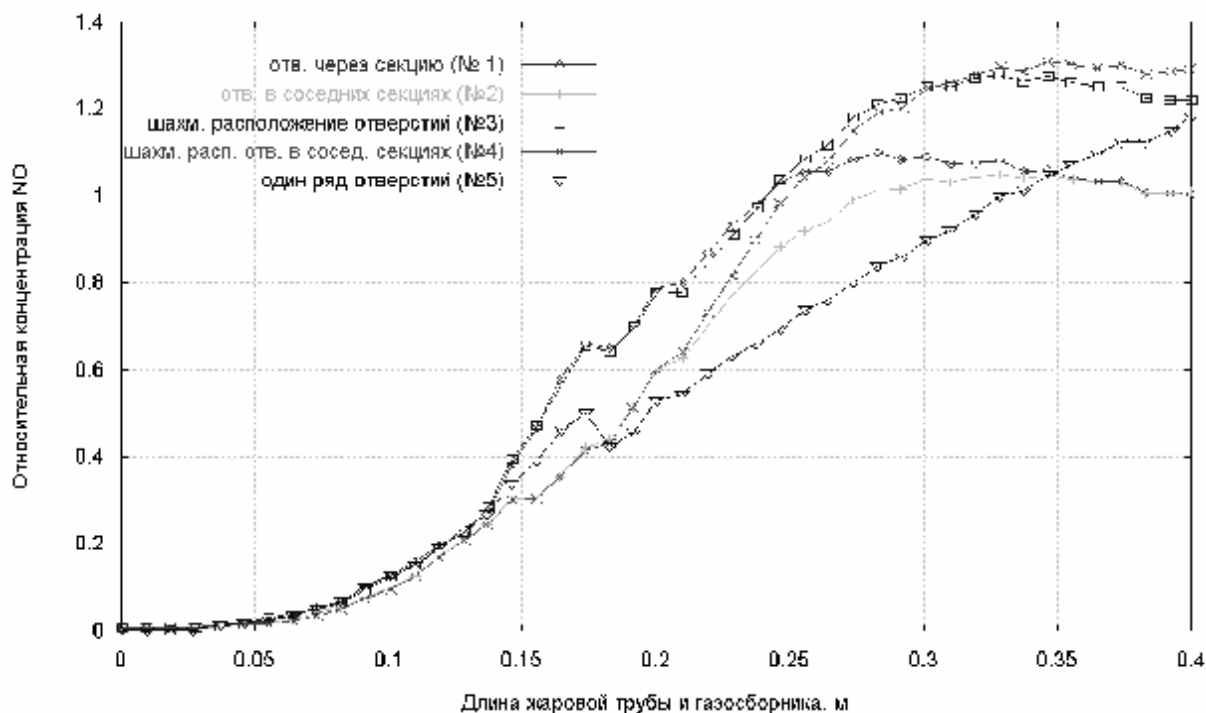


Рис. 4. Влияние расположения основных отверстий на уровень эмиссии NO

ем основных отверстий в соседних секциях (№ 4) и со стандартным расположением 1 и 2 ряда основных отверстий в соседних секциях (№ 2);

- вариант с расположением отверстий в одном ряду (№ 5).

Анализируя полученные данные, необходимо отметить следующее: варианты КС в группах, отмеченных в списке № 2, схожи по организации течения в первичной зоне. Поэтому имеет место совпадение по характеру увеличения концентрации NO . Анализ групп конструкций жаровых труб КС, упомянутых в списке № 1, показывает, что определяющим фактором, влияющим на уровень эмиссии NO , является расположение второго ряда основных отверстий. Так размещение основных отверстий первого и второго ряда в соседних секциях не оказывает значительного влияния на уровень эмиссии оксида азота. Наиболее интенсивно процесс образования NO идет в зоне разбавления и в газосборнике.

Концентрация оксида азота, определяемая с помощью «термического» механизма Зельдовича, зависит от следующих основных факторов: концентрации атомарного кислорода O , образующего в результате распада молекулы O_2 , и температуры.

На рис. 5 приведено распределение массовой доли атомарного кислорода по длине камеры сгорания и газосборника. Из представленных данных видно, что в целом подтверждается зависимость увеличения концентрации NO на выходе из КС от повышенного содержания в продуктах сгорания атомарного кислорода. Исключения составляют конструкции жаровых труб с расположением основных отверстий в соседних секциях (№ 2) и с шахматным расположением основных отверстий через секцию (№ 3). При одинаковом уровне массовой доли O на выходе из камеры сгорания изменение уровня эмиссии оксида азота по отношению к варианту № 1 составляет +1,2 % для варианта № 2 и +22,3 % для варианта № 3. Дело в том, что в варианте № 2 воздух через основные отверстия в соседних секциях более эффективно разбивает высокотемпературную зону, которая занимает меньший объем в газосборнике по сравнению с вариантом № 3. На рис. 6 приведены данные о средней массовой доле O в высокотемпературных зонах. В высокотемпературных зонах варианта № 2 содержится меньшее количество свободного кислорода, чем в варианте № 3. В данном случае объем высокотемпературной зоны в газосбор-

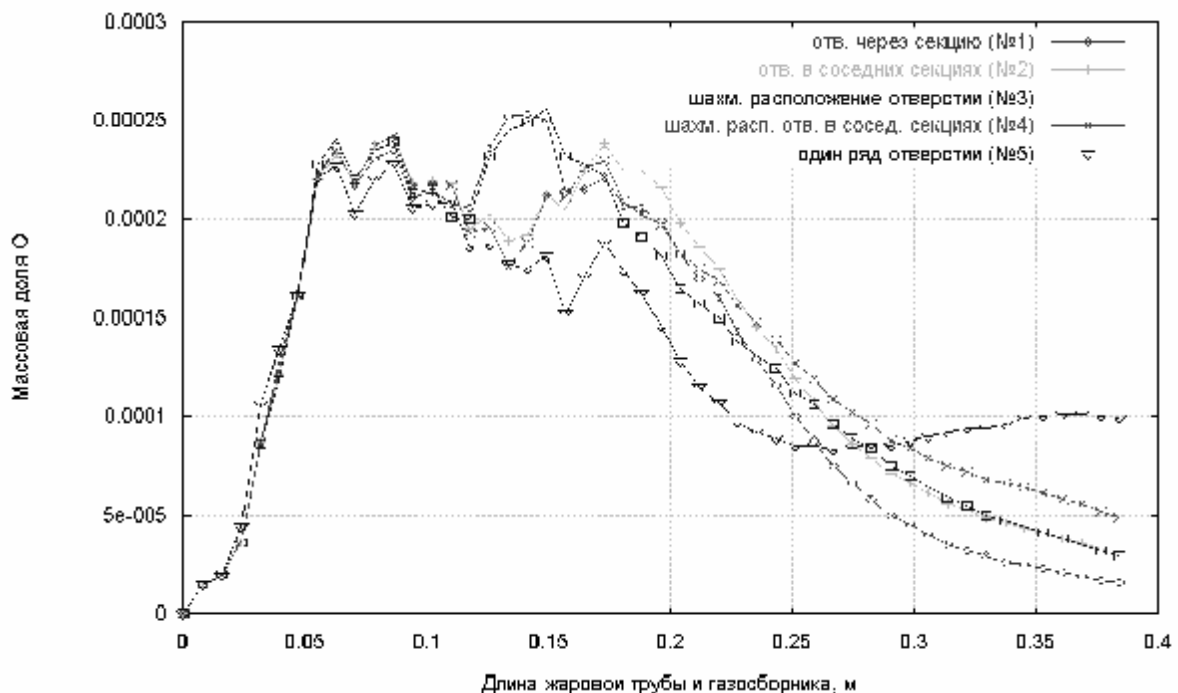


Рис. 5. Влияние расположения основных отверстий на распределение массовой доли O по длине жаровой трубы и газосборника

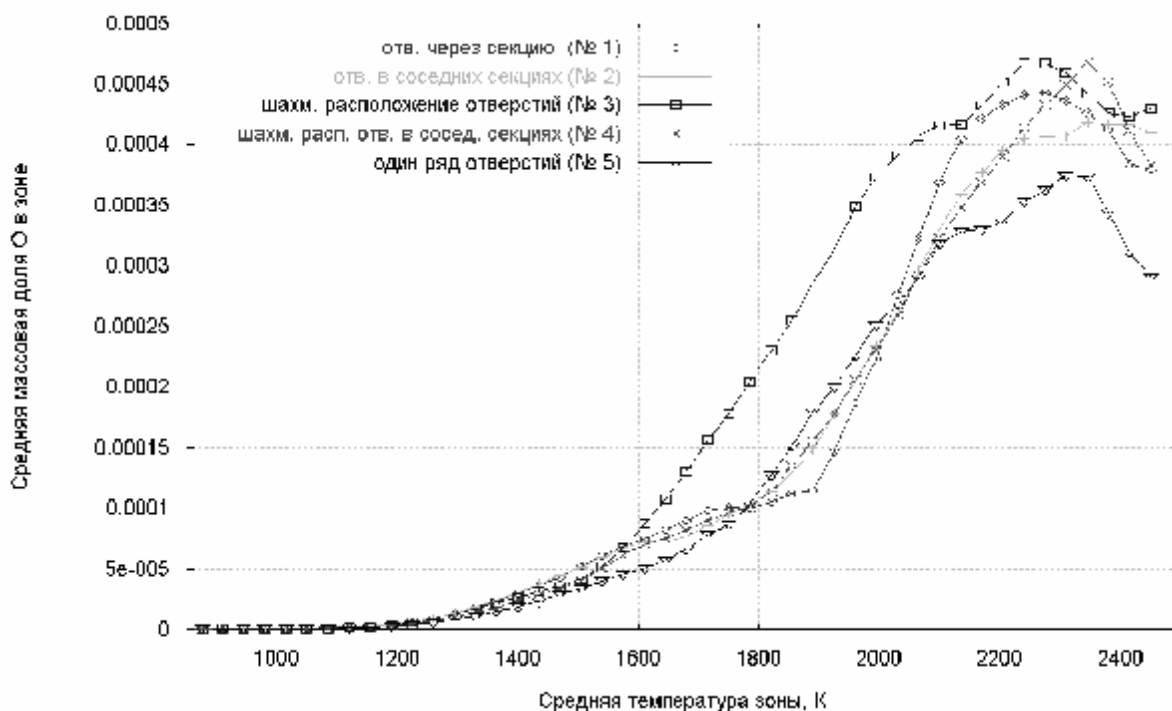


Рис. 6. Средняя массовая доля O в высокотемпературных зонах

нике оказывает определяющее влияние на уровень эмиссии оксида азота.

Информация об относительных объемах ($V_{отн} = \frac{V_{зоны}}{V_{жар.трубы} + V_{газосб}}$), занимаемых высокотемпературными зонами в жаровой трубе КС и в газосборнике, приведена на рис. 7. Вариант № 3 имеет обширные высо-

котемпературные зоны в области температур от 2030 до 2450 К. Наличие данных зон и высокий уровень содержащегося в них свободного кислорода приводит к повышенному уровню эмиссии NO по сравнению с вариантом № 2. Вклад высокотемпературных зон от 2030 до 2450 К варианта № 3 в общий уровень эмиссии NO относительно велик по сравнению с другими вариантами конструкции КС (рис. 8).

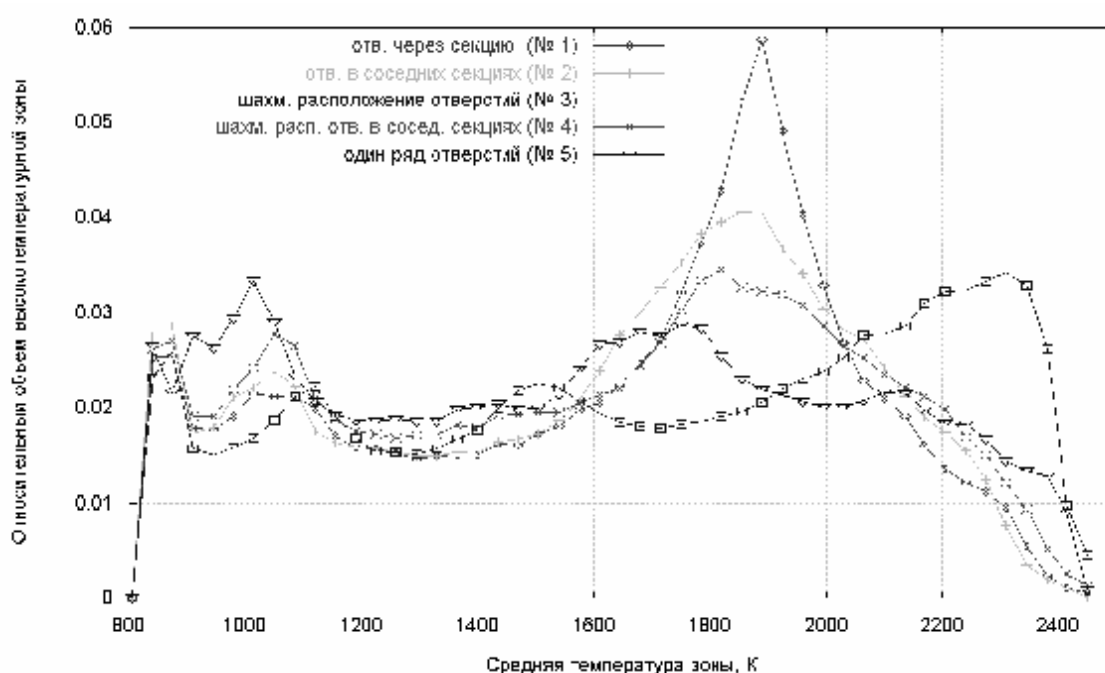


Рис. 7. Относительный объем высокотемпературных зон в жаровой трубе и газосборнике

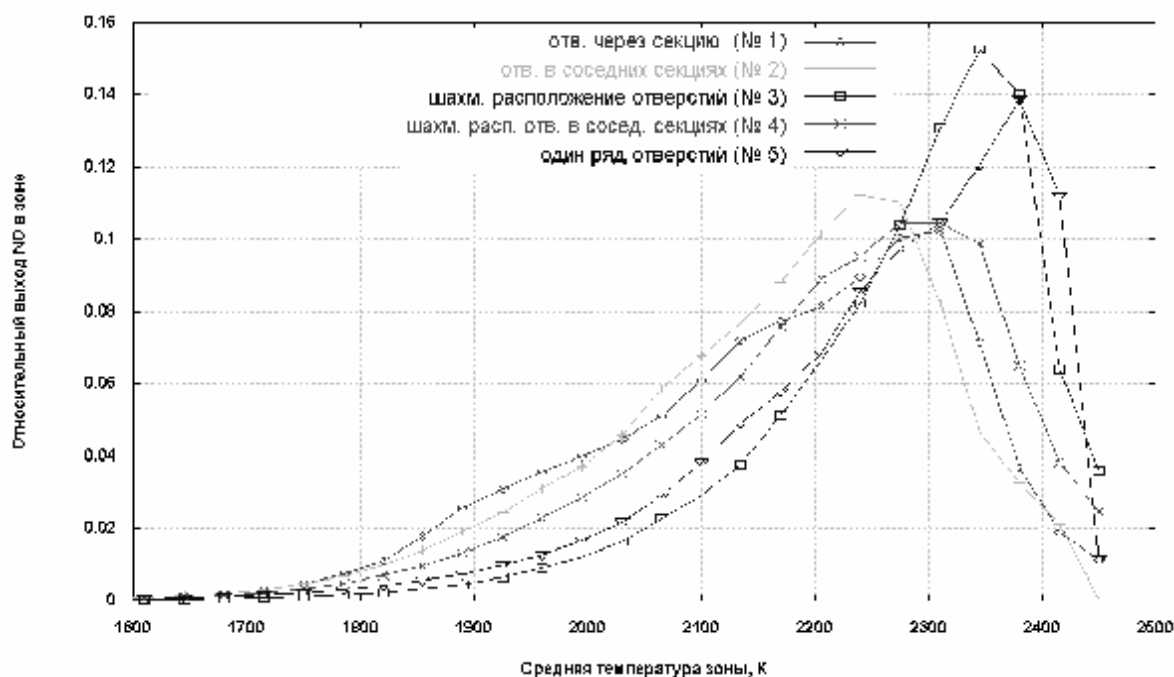


Рис. 8. Относительный выход NO в высокотемпературных зонах жаровой трубы и газосборника

Повышенный уровень эмиссии NO в вариантах № 4 и № 5 вызван увеличением времени пребывания потока, исходящего из завихрителя, в локальной высокотемпературной зоне, находящейся в центральной части газосборника. Струи из отверстий, расположенных в ряд (№ 5) или расположенных в шахматном порядке в соседних рядах (№ 4), не могут разбить ядро первичной зоны вбли-

зи оси жаровой трубы, что приводит к выходу высокотемпературного закрученного потока в газосборник (рис. 9). Следовательно, в качестве критерия, определяющего уровень эмиссии оксида азота для данных КС, можно использовать среднее время пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне. Данные, представленные на рис. 10, подтверждают правильность выбора данного крите-

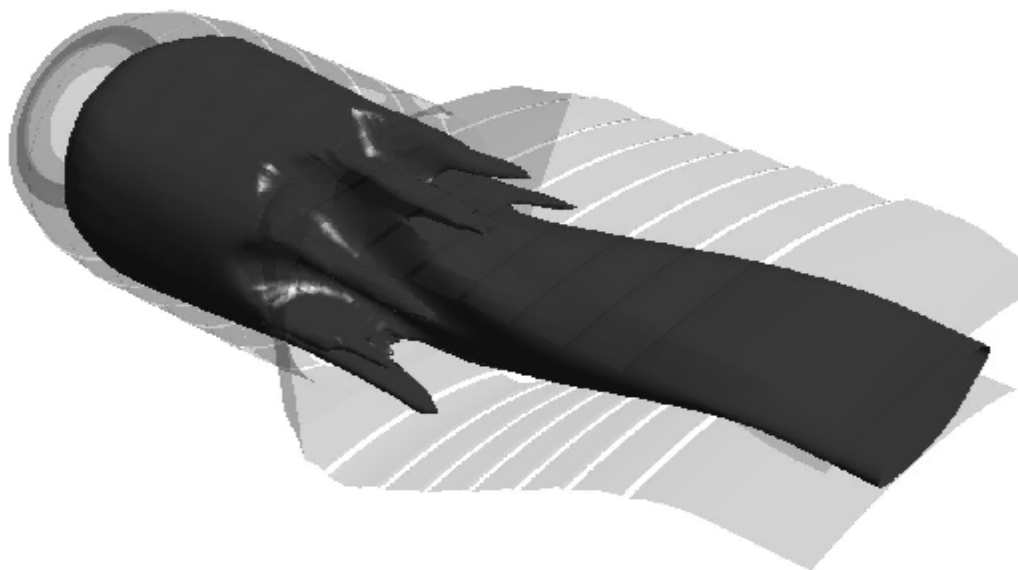


Рис. 9. Изоповерхность температуры 1950 К. Вариант жаровой трубы с одним рядом отверстий (№ 5)

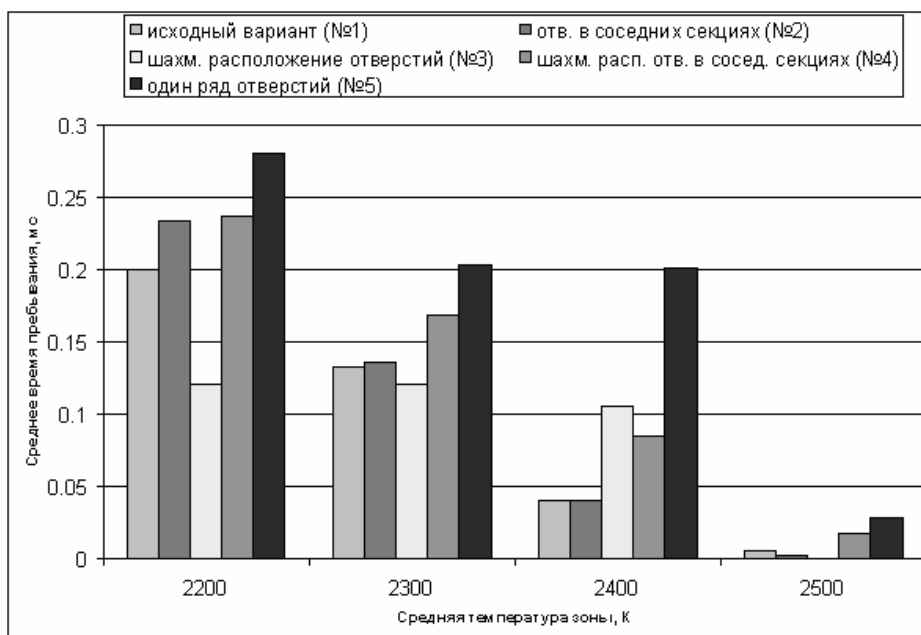


Рис. 10. Среднее время пребывания продуктов сгорания в высокотемпературных зонах

рия. Варианты конструкций КС с шахматным расположением отверстий через секцию (№3), шахматным расположением отверстий в соседних секциях (№4) и одним рядом отверстий (№5) показывают большее время пребывания линий тока в высокотемпературной зоне (при 2400 К) и, соответственно, более высокий уровень эмиссии оксида азота по сравнению с исходным (№1) и вариантом с отверстиями в соседних рядах (№ 2).

Список литературы

1. Турбулентность / Под. ред. П. Брэдшоу. – М.: Машиностроение, 1980.

2. A. A. Westenberg. Comb. Sci. Tech., 4:59, 1971.

3. J. Warnatz. NO_x Formation in High Temperature Processes. University of Stuttgart, Germany.

4. R. W. Schefer, M. Namazian, J Kelly. Combustion Research Facility News, vol. 3, # 4, Sandia, 1991.

5. L. D. Smoot, P. J. Smith. NO_x Pollutant Formation in a Turbulent Coal System. Coal Combustion and Gasification, p. 373, Plenum, NY, 1985.

6. CFX-TASCflow Theory Documentation, AEA Technology, 2002.

APPLICATION OF GAS DYNAMICS NUMERICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF NITROGEN OXIDE FORMATION PROCESS AND CHOOSING LOW EMISSION COMBUSTOR DESIGN

© 2006 Yu. G. Kutsenko, S. F. Onegin

JSC «Aviadvigatel», Perm

The paper deals with the problems of mathematical modeling of physical and chemical processes in gas-turbine engine combustors. Multicomponent reacting gas flow in a combustor is calculated. Using the results of a series of combustor parametrical calculations a liner design is selected with a minimum level of nitrogen oxide emission.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОИСКА И ЭВАКУАЦИИ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ И КАПСУЛ

© 2006 В. А. Попов

Федеральное управление авиационно-космического поиска и спасания

Рассматриваются различные аспекты организации поисково-спасательного обеспечения (ПСО) полетов авиации и эвакуации космических объектов. Приводятся существующие статистические данные по количественному и качественному составу привлекаемых сил и средств, полученные на основании анализа результатов проведенных операций. Обосновываются пути повышения эффективности проведения ПСО.

Поисково-спасательное обеспечение полетов авиации и космических объектов - это многогранный вид деятельности авиационно-космической отрасли экономики современного государства, один из основных видов обеспечения, который организуется по министерствам, ведомствам и видам Вооруженных сил поисково-спасательными и парашютно-десантными службами в соответствии с требованиями основополагающих нормативных документов.

ПСО полетов включает в себя комплекс мероприятий, направленных на подготовку летного состава к действиям в нештатных и аварийных ситуациях, специальное оснащение воздушных судов и наземных команд в поисково-спасательном (аварийно-спасательном) отношении, обеспечение экипажей средствами аварийной связи, спасения и жизнеобеспечения, а также организацию и проведение непосредственно поисково-спасательных работ по оказанию своевременной помощи и сохранению жизни, здоровья пассажирам и экипажам, потерпевшим бедствие. Кроме того, осуществляется прием сигналов бедствия и доведение их до пунктов управления полетами авиации и координационных центров поиска и спасания, организуется дежурство сил и средств в системе авиационного поиска и спасания в государстве. Проведение поисково-эвакуационных мероприятий по пилотируемым и автоматическим космическим объектам дополнительно предусматривает их своевременное обнаружение на этапе снижения и после приземления, техническое обслуживание, эвакуацию и даль-

нейшую транспортировку (доставку информации) по назначению в установленные сроки.

Ответственность за организацию авиационно-космического поиска и спасания в России возложена на специально уполномоченные органы, которые определяются Правительством Российской Федерации (согласно Воздушному кодексу РФ). Общее руководство организацией и контроль состояния ПСО полетов осуществляет специально уполномоченный орган в области обороны. Авиационный поиск и спасание организует Федеральное управление авиационно-космического поиска и спасания по согласованию с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, действующее как государственное учреждение при МО РФ и выполняющее задачи общегосударственного уровня.

Авиационный поиск и спасание в России осуществляется по зонам ответственности, которые совпадают с границами военных округов и максимально приближены к зонам единой системы (ЕС) организации воздушного движения. Порядок организации авиационного поиска и спасания в зоне ответственности определяется Федеральным управлением по согласованию с Федеральными органами исполнительной власти в соответствии с Федеральными авиационными правилами поиска и спасания в государственной авиации (ФАП) и постановлением Правительства РФ.

Для обеспечения своевременного и надежного авиационного поиска и спасания

организуется круглосуточное дежурство поисково-спасательных сил и средств. На командных пунктах и пунктах управления полетами несут круглосуточно дежурство специалисты по авиационному поиску и спасанию. В настоящее время в системе поисково-спасательного обеспечения полетов авиации в России ежесуточно несут дежурство около 130-150 воздушных судов, в том числе около 30 самолетов и 100-120 вертолетов (20-25 % - от ВВС; около 60 % - от гражданской авиации; 15 % - от других ведомств и организаций). Степень участия в проведении поисково-спасательных работ по статистике в процентном отношении представлена на диаграмме (рис. 1).

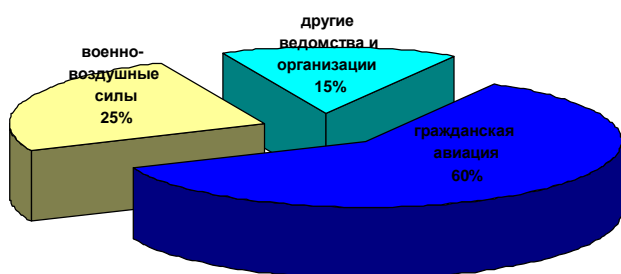


Рис. 1. Степень участия поисковых сил и средств при проведении поисково-спасательных работ

Организация дежурства по авиационному поиску и спасанию и координация их действий при проведении поисково-спасательных работ осуществляется Главным координационным центром, координационными центрами в зонах авиационного поиска, в координационных центрах межрегиональных территориальных управлений гражданской авиации, в аэроузлах, аэропортах и аэродромах (согласно ФАП). Ответственность за организацию авиационного поиска и спасания в зоне возлагается на командующего авиационным объединением, а в районе аэродрома (аэропорта) - на старшего авиационного начальника. Всего в России 6 зон авиационного поиска и спасания и 1 особый район.

На всех аэродромах, включая запасные, дежурные поисково-спасательные силы и средства находятся в готовности (вылет вертолетов и выход наземной поисково-спа-

сательной команды (НПСК)- не позднее 20 мин., а вылет самолетов - не позднее 30 мин. после подачи команды). На бортах дежурных воздушных судов находятся специально подготовленные спасательные парашютно-десантные группы (СПДГ) в составе 2-3 авиационных спасателей, среди которых обязательно есть медработник. Кроме того, к дежурству привлекаются наземные команды НПСК на автомобилях повышенной проходимости в составе 8-10 человек с радистом и медработником.

С осуществлением первых космических стартов возникла необходимость отработать задачи по обеспечению поиска и эвакуации космических объектов (КО). Поисково-эвакуационные мероприятия по обеспечению функционирования космической инфраструктуры стали возрастать. Поэтому это направление деятельности, базируясь на наработанных в авиации поисково-спасательных принципах, стало интенсивно развиваться. Как правило, обеспечение старта, динамических операций на орбите и посадки - это в основном плановая работа, проходящая в определенных территориальных и временных рамках деятельности поисково-спасательного комплекса. Границы основных рабочих полигонов показаны на карте-схеме (рис. 2). При этом для каждого этапа работы предусматривается подготовительный период, связанный с передислокацией сил и средств на соответствующее направление или в зону оперативного назначения. В этом случае силы и средства поисково-спасательного комплекса ориентированы на выполнение конкретных задач в назначенное или резервное время. Однако выполнение длительных пилотируемых космических полетов потребовало в дальнейшем и организацию постоянного дежурства в различных степенях готовности в зависимости от складывающейся обстановки на орбите.

В период с 1960 по настоящее время выполнено 1362 поисково-эвакуационные и спасательные работы по космическим аппаратам (КА), из них: 1265 работ - по автоматическим КА и 97 - по пилотируемым КА. В настоящее время на вооружении Федерального космического агентства находятся не-

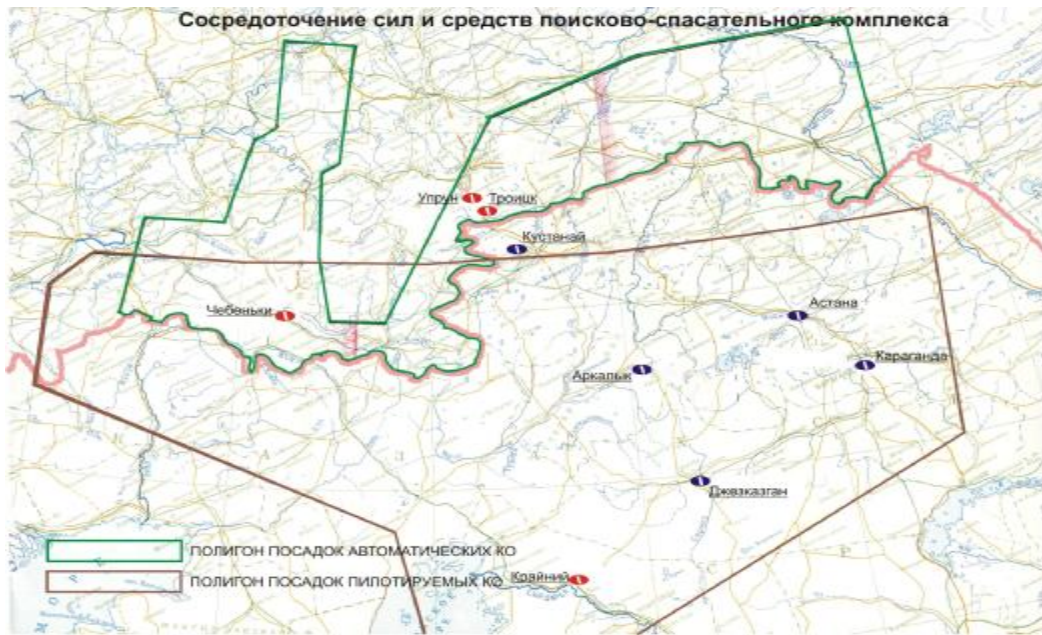


Рис. 2. Границы основных рабочих полигонов

сколько типов КА, имеющих возвращаемые на землю спускаемые аппараты (СА) и спускаемые капсулы (СК). Посадки СА Министерства обороны РФ могут производиться в любые сутки полета КА в районе штатного полигона для автоматических космических аппаратов.

Посадки космонавтов производятся, как правило, после завершения программы полета. Для обеспечения космических полетов

кроме штатных сил и средств поисково-спасательного комплекса привлекаются воздушные суда и военные корабли, особенно для прикрытия основных траекторий вывода на орбиту космических кораблей с целью обеспечения всесторонней безопасности жизнедеятельности КО и экипажей пилотируемых космических кораблей (рис. 3), полета в заданных районах полигона на территории Казахстана, а в случае нештатной ситуации - в

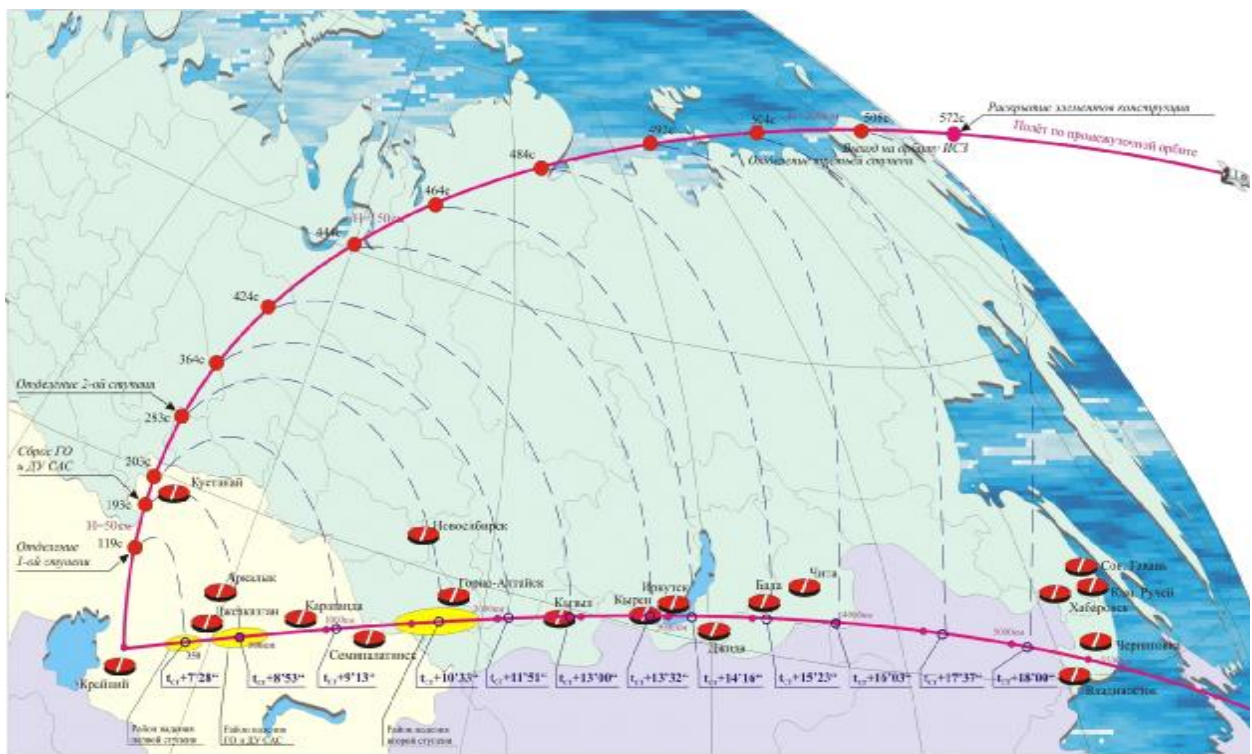


Рис. 3. Схема обеспечения запуска космического корабля

СХЕМА

расстановки поисковых сил и средств для прикрытия посадочного витка на основном полигоне (вариант)

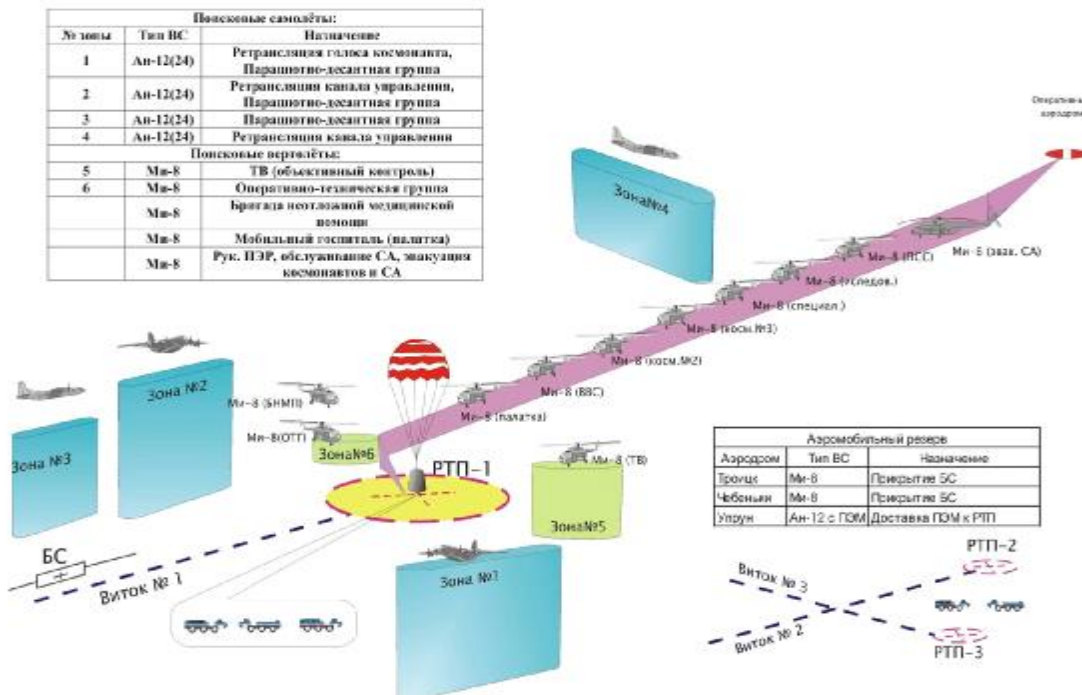


Рис. 4. Схема расстановки сил и средств (вариант)

любой точке земного шара. Для выполнения поисково-спасательных работ (ПСР) по космическим объектам привлекаются части поисково-спасательного комплекса ВВС. Наряд сил и средств, привлекаемый к ПСР в районе посадки, составляет:

- по пилотируемым КА: 3-4 самолета АН-12 (24), 12-15 вертолетов Ми-8, 6-8 поисково-эвакуационных машин (ПЭМ), 3-4 машины обеспечения;

- по автоматическим КА: 2-3 самолета АН-12 (24), 3-5 вертолетов Ми-8, 2-3 ПЭМ, 1-2 машины обеспечения.

При проведении ПСО по пилотируемым КА подготовительная работа начинается с получения исходных данных за 30 суток до проведения непосредственных действий (рис. 4). Оценивается обстановка, принимается решение, проводится подготовка специальной техники и аварийно-спасательных средств и имущества, формируются команды, готовится и инструктируется личный состав. За 4-5 суток наземные службы выдвигаются в пункты предназначения, а воздушные средства поиска перелетают на оперативные аэродромы. Производится уточнение задач, расчетов, планов работы согласно конкретным метеоусловиям и прогнозам. За сутки до назначенной даты посадки наземные команды

выходят в районы прикрываемых зон посадки КА с 1-го, 2-го и 3-го суточных витков полета. За 4 часа до расчетного времени посадки производится замер атмосферного давления, анализ метеоусловий в расчетной точке посадки с докладом на пункты управления. Самолеты и вертолеты поисковой группировки воздушного эшелона взлетают в соответствии с плановой таблицей и занимают заранее оговоренные зоны. За три минуты до раскрытия основной системы парашютирования (ОСП) СА вся группировка поисково-спасательного и эвакуационного обеспечения полета приступает к непосредственной работе.

Ведется радиолокационный, радиотехнический и визуальный поиск, прослушивается радиоэфир. С момента обнаружения СА, начиная с этапа входа в плотные слои атмосферы, информация передается поисковым группам тактического назначения, ведется сопровождение СА, устанавливается двухсторонняя связь с экипажем. После посадки СА производится эвакуация экипажа и возвращаемых материалов, а также его техническое обслуживание. С завершением процедур медицинского обследования на месте посадки космонавты доставляются на оперативный аэродром для дальнейшего перелета в Москву. Поисково-эвакуационные работы заканчи-

ваются после эвакуации и доставки СА к месту назначения согласно техническому заданию.

Технология и организация работ по обеспечению беспилотных и автоматических КА имеет ряд особенностей, связанных с поиском малоразмерных объектов, работой радиотехнических средств, доставкой оперативной информации, обслуживанием аппаратуры или СК, количеством привлекаемых сил и средств, составом объединенной тактической группы, но в основном порядок проведения операции сохраняется.

При осуществлении поисковых операций по космическим объектам, особенно по малоразмерным, существует ряд проблемных вопросов, которые связаны с точностными характеристиками расчетов баллистических траекторий снижения объектов при сходе с орбиты, с их динамикой снижения и торможения при входе в плотные слои атмосферы.

КО могут подвергаться значительным воздействиям случайно возникающих факторов: неравномерных скоростей обтекания за счет отдельных порывов воздушных масс в атмосфере, термодинамических изменений и других возмущений. Во время ввода в работу тормозных устройств и системы парашютирования возникают погрешности в срабатывании механизмов и устройств. Снижение под куполом в значительной степени зависит от атмосферных условий погоды: силы ветра, струйных течений, плотности, влажности и видимости. Особое внимание требуется обращать и на радиотехнические возможности систем обнаружения и обозначения малоразмерных возвращаемых объектов, так как при их отказе визуальное их обнаружение осуществлять крайне затруднительно, а

порой просто невозможно, если поисково-спасательная команда попадает в зону облачности, сильных атмосферных осадков или область дымов, в след пылевых бурь, снежных метелей.

В этом случае вероятность обнаружения КО существенно снижается, и, следовательно, организация поисково-эвакуационных мероприятий может быть связана со значительным числом привлекаемых сил и средств.

Эффективность ПСО можно значительно повысить за счет проведения расчетно-аналитической работы с разработкой плана действий по обеспечению поисково-спасательного обслуживания конкретного объекта с учетом всех его особенностей тактико-технического характера, возможных вариантов действий привлекаемых сил и средств. На карте и плане местности предварительно проигрываются несколько сценарных вариантов, чтобы лучше представлять те проблемы, с которыми придется встретиться в реальной обстановке.

Кроме того, проведение поисково-эвакуационных работ требует большого объема предварительных согласований по вопросам использования воздушного пространства, выделения зон ограничения для полетов воздушных судов на период работы, распределения эшелонов полета поисковых самолетов и вертолетов, обеспечения проводки радиолокационных и радиопеленгационных систем, выделения каналов связи для передачи информации и управления силами и средствами.

Многолетний опыт функционирования российской авиационно-космической поисково-спасательной системы подтверждает вышеизложенные требования.

ORGANIZATION OF SEARCH AND EVACUATION OF REENTRY VEHICLES AND CAPSULES

© 2006 V. A. Popov

Federal administration of aircraft space search and rescue

The paper considers various aspects of organization of search and rescue provision (SRP) for aircraft flights and space object evacuation. Currently available statistical data on quantitative and qualitative composition of forces and means used are given. These are obtained on the basis of the analysis of the results of operations performed. Ways of increasing the efficiency of search and rescue provision are substantiated.

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА В ФОРСУНОЧНОМ МОДУЛЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

© 2006 В. В. Третьяков

Центральный институт авиационного моторостроения, г. Москва

Представлены результаты расчетов течения и концентраций капельно-жидкого топлива в форсуночном модуле камеры сгорания. Использованная численная модель учитывает двухстадийность распыла топлива. Выявлено существенное влияние вторичного распыла на формирование полей концентраций капельно-жидкого топлива. Показано, что разработанная методика может быть использована для анализа влияния конструктивных и режимных параметров смесительных устройств на распределения концентраций топлива в них.

В настоящее время ведутся активные поисковые исследования по созданию малоэмиссионных камер сгорания (КС). Одним из направлений этих исследований являются модули КС, в которых гомогенизация горючей смеси достигается на стадии ее предварительной подготовки. Данная работа посвящена вопросам математического моделирования и расчетам концентраций капельно-жидкого топлива в форсуночном модуле КС. Рассматриваемый модуль представляет собой трехъярусный завихритель. Схема модуля и расчетная область изображены на рис. 1.

Внутренняя часть завихрителя выполнена в виде вихревой камеры смешения, в которой смешиваются воздушные струи, по-

ступающие через систему тангенциальных отверстий 1, расположенных на боковой поверхности ее цилиндрической части. В торце цилиндра на его оси располагается центробежная топливная форсунка 5. Наружная часть центрального завихрителя представляет собой осевой лопаточный завихритель 2. Между этими двумя ярусами центрального завихрителя располагается дефлектор. Снаружи завихритель ограничен стенкой. Наружная стенка центрального завихрителя заканчивается разделяющей обечайкой, отделяющей центральный двухъярусный завихритель от внешнего тангенциального завихрителя 3. Закрутки потоков во всех трех завихрителях одинаковы и по направлению совпадают с

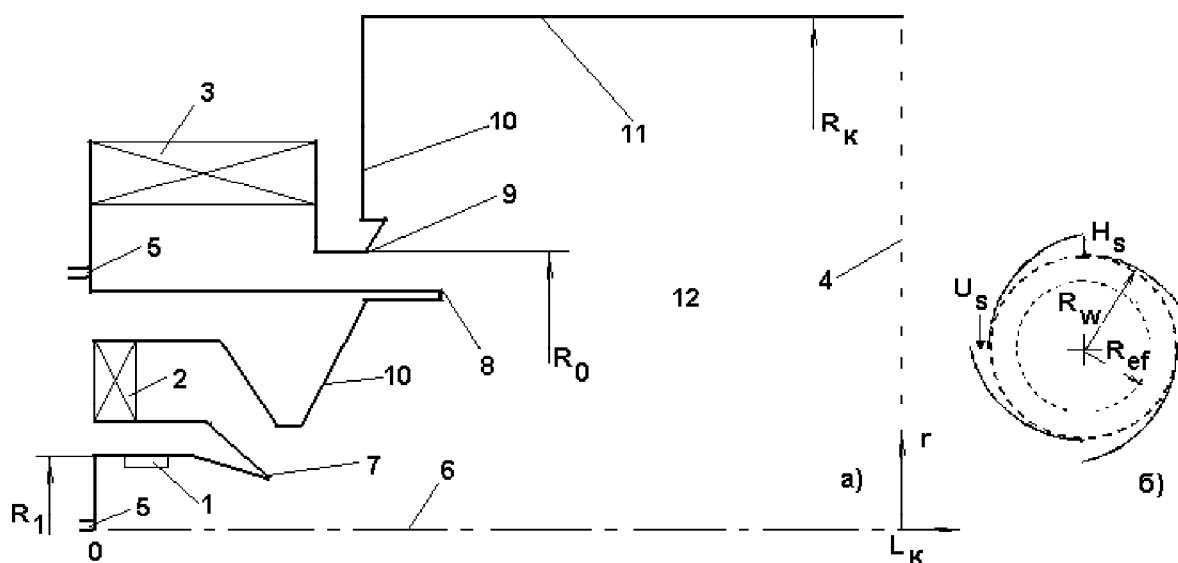


Рис. 1. Схема модуля и расчетная область (а), поперечное сечение камеры смешения (б):
1 - центральный завихритель; 2 - осевой завихритель; 3 - тангенциальный завихритель; 4 - сечение выхода топливоздушной смеси; 5 - места подачи топлива; 6 - ось модуля; 7, 8 и 9 - острые кромки дефлектора, разделяющей обечайки и козырька тангенциального завихрителя; 10 - стенки модуля; 11 - наружная стенка модуля; 12 - камера смешения

направлением закрутки в центробежной форсунке (односторонняя закрутка потоков). На торцевой поверхности внешнего завихрителя равномерно по окружности располагаются струйные форсунки 5. Подача топлива в них осуществляется вдоль оси модуля.

Данная работа является продолжением расчетных исследований течений и распределений топлива в камерах сгорания и ее элементах и объединяет в единой методике модели расчета течения и распределения топлива в камерах сгорания. Расчетное исследование состоит из двух частей: расчета течения газа в области, моделирующей рабочую часть трехъярусного завихрителя, и расчета распределения топлива в этой области. Первая основана на интегрировании полной системы уравнений Рейнольдса, записанных в переменных Эйлера и замыкаемых по двухпараметрической модели турбулентности $k-\epsilon$; вторая - на решении системы уравнений движения, нагрева и испарения отдельных капель, записанных в переменных Лагранжа. При этом уравнения, описывающие стационарное турбулентное движение газовой фазы, записываются в следующей консервативной форме:

$$\operatorname{div}(rU\Phi - \Gamma_{\Phi} \operatorname{grad} \Phi) = S_{\Phi}. \quad (1)$$

Здесь U – вектор осредненной скорости, Φ – зависимая переменная, Γ_{Φ} – коэффициент диффузионного переноса, r – плотность, S_{Φ} – источниковый член.

Система уравнений (1) неразрывности ($\Phi \equiv 1$, $\Gamma_{\Phi} \equiv 0$, $S_{\Phi} \equiv 0$) и движения ($\Phi = U_z$, U_r , U_j ; z, r, j – цилиндрическая система координат) решалась конечно-разностным итерационным методом Гаусса-Зайделя. Для нахождения коэффициентов турбулентной диффузии использовалась гипотеза Буссинеска о линейной зависимости компонент тензора турбулентных напряжений от компонент тензора скоростей деформации среднего движения и два уравнения переноса характеристик турбулентности k и ϵ . Выражения для источниковых членов, а также описание использованной модели турбулентности даны в [1, 2].

Так как система определяющих уравнений является эллиптической, то для ее реше-

ния необходимо задать условия на всех границах расчетной области. На входе (непосредственно за завихрителями) задавались профили скоростей, температуры и характеристик турбулентности. В выходном сечении для всех зависимых переменных ставились условия плоскопараллельного течения, т. е. $\partial \hat{O} / \partial z = 0$. В качестве граничного условия на твердых границах использовался так называемый “закон стенки”, на оси модуля – условия симметрии. Условие для давления состояло в задании его значения в какой-либо произвольной точке расчетной области. Методика расчета характеристик течения изложена в [2]. При моделировании потока в вихревой камере дополнительно предполагается, что воздух поступает из внутреннего центрального завихрителя под некоторым углом к стенкам камеры b_{ef} и движется в слое $R_w - H_s < r < R_w$ (рис. 1б, на котором схематически изображено поперечное сечение вихревой камеры, проходящее через центры отверстий). Здесь R_w – радиус стенки, равный R_j (рис. 1а), H_s – высота канала подачи воздуха. Считалось, что в слое $R_w - H_s < r < R_w$ воздушный поток сохраняет свои “входные” параметры на протяжении одной секции, т. е. на расстоянии, равном шагу между отверстиями, так что соответствующие профили скоростей можно задавать на некоторой “эффективной” поверхности (радиус этой поверхности обозначен как R_{ef}). Кроме того, считалось, что профили тангенциальной составляющей скорости U_j в слое $R_{ef} - d < r < R_{ef}$ являются равномерными по радиусу. Принятие этих условий позволяет свести реальную трехмерную задачу к двумерной. Сравнение результатов тестовых расчетов в камере смешения с экспериментальными данными по профилям осевой и тангенциальной составляющих скорости показало их приемлемое согласование.

При расчетах течений считалось, что входные профили скорости за завихрителями являются равномерными, а параметрами закрутки Sw_1 , Sw_2 и Sw_3 являются соответственно значения тангенсов эффективного угла входа струй в центральный завихритель (Sw_1) и средних углов установки лопаток осевого (Sw_2) и тангенциального (Sw_3) завихри-

телей: $Sw = tga$ ($a_2 = 60^\circ$, $a_3 = 70^\circ$). За характерный размер принят наружный радиус сопла тангенциального завихрителя: $H_0 = 37$ мм. К этой величине отнесены все линейные размеры задачи. Длина камеры принята равной: $L = 6 \cdot H_0$. Характерной скоростью U_0 считалась среднерасходная скорость потока в миделевом сечении сопла тангенциального завихрителя, $U_0 = 20$ м/с.

Расчеты проведены при следующих значениях компонент скорости газа на входе в модуль: $u_{r1}^0 = -0,5$, $u_{j1}^0 = 1,0$; $u_{z2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,5$, $u_{j3}^0 = 1,0$ (вариант 1). Здесь индексы z , r и j относятся соответственно к осевой, радиальной и тангенциальной безразмерным координатам, а индексы 1, 2 и 3 - соответственно к центральному, осевому и тангенциальному завихрителям. Безразмерные значения энергии турбулентности и турбулентной вязкости на входе приняты следующими: $k = 6 \cdot 10^{-2}$, $\nu_T = 5 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 2 представлен результат расчета течения в виде векторного поля скорости в продольном сечении модуля.

Из рисунка видно, что в приосевой области вблизи устья центрального завихрителя профили скорости носят предотрывный характер, а в месте резкого расширения потока в пристенной области имеется развитая зона обратных токов. В центральной области также наблюдается циркуляционное движение. Сложный вид течения имеет место и внутри наружного тангенциального завихрителя. Здесь так же, как в вихревой камере

смещения центрального завихрителя, в области за разделяющей обечайкой и в следе за козырьком находятся слаборазвитые зоны обратных токов.

Методика расчета концентраций топлива аналогична изложенной в [2]. Она основана на расчете движения отдельных капель в заданном газодинамическом поле. Не учитываются процессы нагрева и испарения капель, а также влияние на их движение пульсаций скорости воздушного потока и изменение формы капель во время движения. Капли считаются сферическими частицами. В этом случае движение отдельной капли описывается обыкновенным дифференциальным уравнением вида

$$m \frac{dV_i}{dt} = R_i, \quad (2)$$

где m – масса капли, V_i – i -й компонент ее скорости ($i=1, 2, 3$; $V_1=V_z$, $V_2=V_r$, $V_3=V_j$), R – сила аэродинамического сопротивления: $R_i = 0,5 C_d S_r W W_i$, $C_d = 24 Re^{-1} + 4,4 Re^{-0,5} + 0,32$ – коэффициент сопротивления, S – площадь миделевого сечения капли, $W = V - U$ – скорость капли относительно газа, $Re = rDW/m$ – число Рейнольдса капли, D – диаметр капли, m – динамическая вязкость воздуха.

При расчетах распределения капельно-жидкого топлива в рабочем объеме модуля считалось, что факел распыла имеет полидисперсную структуру: диапазон изменения диаметров капель составляет от 5 до 300 мкм,

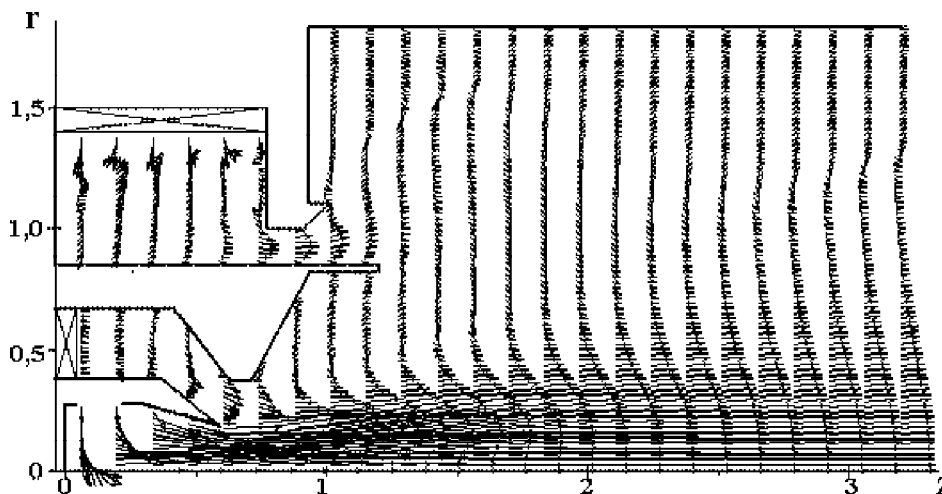


Рис. 2. Поле скорости в продольном сечении модуля.
Вариант 1: $u_{r1}^0 = -0,5$, $u_{j1}^0 = 1,0$; $u_{z2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,5$, $u_{j3}^0 = 1,0$

распределение капель по размерам подчиняется закону Розена-Рамллера с показателем $n = 3$, а угловое распределение капель – нормальному закону:

$$\Omega = 1 - \exp[-(D/D_m)^n],$$

$$dw/dt = K/y_0 \exp[-4,5((y-y_m)/y_0)^2]. \quad (3)$$

Здесь Ω – относительная доля капель, диаметр которых меньше D ; $D_m = 1,2D_{32}$ – среднемедианный и D_{32} – среднезауэтеровский диаметры капель; w – относительная доля капель, вылетающих под углами, меньшими y ; y_0 – угол полураствора факела распыла; y_m – угол впрыска топлива; K – нормировочный коэффициент.

Расчеты проведены для форсунок, разработанных в ЦИАМ, для которых безразмерные скорости вылета капель приблизительно равны $v_{к,л}^0 = 0,135$ из центробежной форсунки и $v_{к,л}^0 = 0,5$ – из струйной. Углы вылета капель из центробежной форсунки по отношению к оси модуля y находились в диапазоне от 10^0 до 50^0 , что соответствовало углу раскрытия факела $\alpha = 100^0$. Для струйных форсунок полагалось, что распыл происходит вдоль оси z внутри угла $j_0 = 20^0$. На основе автономных испытаний форсунок установлено, что среднезауэтеровский диаметр капель в факелах распыла D_{32} равнялся для центробежных форсунок 64 мкм, для струйных – 80 мкм. Расчеты выполнены для керосина ТС-1 [4].

При расчетах распределения топлива в рабочем объеме модуля предполагается, что капли топлива, попавшие на стенки модуля, образуют на них жидкие пленки, которые, перемещаясь под действием воздушных потоков, достигают острых кромок соответственно дефлектора, разделяющей обечайки и козырька, где и происходит вторичное образование капель. Поскольку экспериментальные данные по характеристикам этого распыла отсутствуют, то в расчетах моделировалось распыливание в форсунках [5]. При этом скорости воздушного потока в месте распыла принимались равными соответствующим скоростям в узлах расчетной сетки, ближайших к соответствующей острой кромке со стороны движения топливной пленки.

Расходы распыленной с острых кромок жидкости принимались равными массе жидкости, попадающей на соответствующие стенки модуля в единицу времени. При расчетах вторичного распыливания считалось также, что распределение капель по размерам носит универсальный характер, т. е. подчиняется закону Розена-Рамллера с показателем $n=3$, а направление вылета капель совпадает с направлением касательной к соответствующей поверхности, на которой образуется топливная пленка вблизи места распыла. Распределения капель по углам j и y являются нормальными с параметрами $j_m = 0^0$ и $j_0 = y_0 = 10^0$. Для величины D_{32} принималось значение 85 мкм.

Результаты расчетов показали, что при отсутствии вторичного распыла распределения концентраций капельно-жидкого топлива в поперечных сечениях рабочего объема модуля существенно неравномерные, причем в рассматриваемом случае основная часть топлива концентрируется в центральной области за сечением внезапного расширения. Параметрическими расчетами установлено, что для других режимов течения ситуация аналогична. Таким образом, наблюдаемая в экспериментах относительная равномерность концентраций топлива в выходном сечении модуля связана с процессом его вторичного распыла с острых кромок. В данном случае это кромки дефлектора, разделяющей обечайки и козырька внешнего тангенциального завихрителя.

На рис. 3 и 4 представлены результаты расчетов распределения топлива в виде профилей безразмерных концентраций C_k капельно-жидкого топлива, осредненных по углу j . Рис. 4 соответствует первичному распылу форсунками, рис. 5 – двухстадийному распылу.

Из сравнения графиков видно, что поле концентраций во втором случае является более однородным, т. к. часть топлива, распыленного форсунками и попавшая на стенки модуля, вновь возвращается в его рабочий объем после распыла с острых кромок. При этом в области центрального вихря распределение концентраций в радиальном направлении является практически однородным.

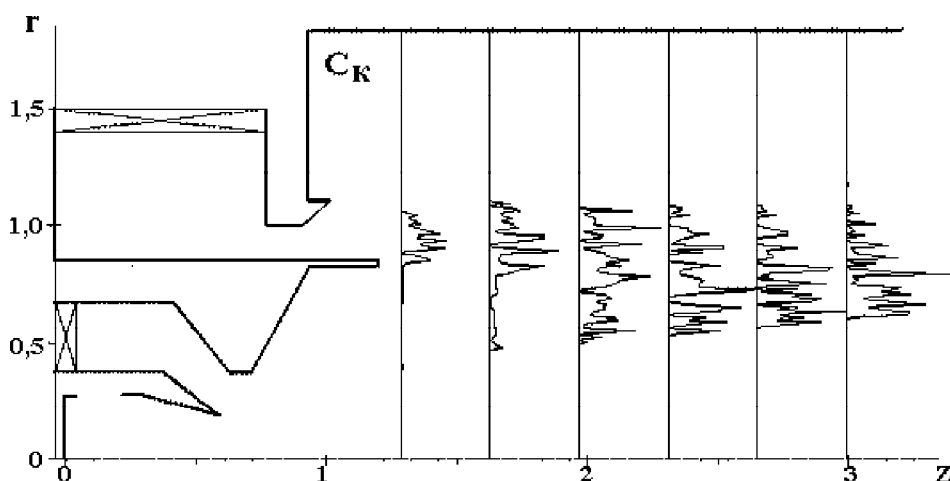


Рис. 3. Профили безразмерных концентраций капель в продольном сечении модуля при распыле топлива форсунками. Вариант 1

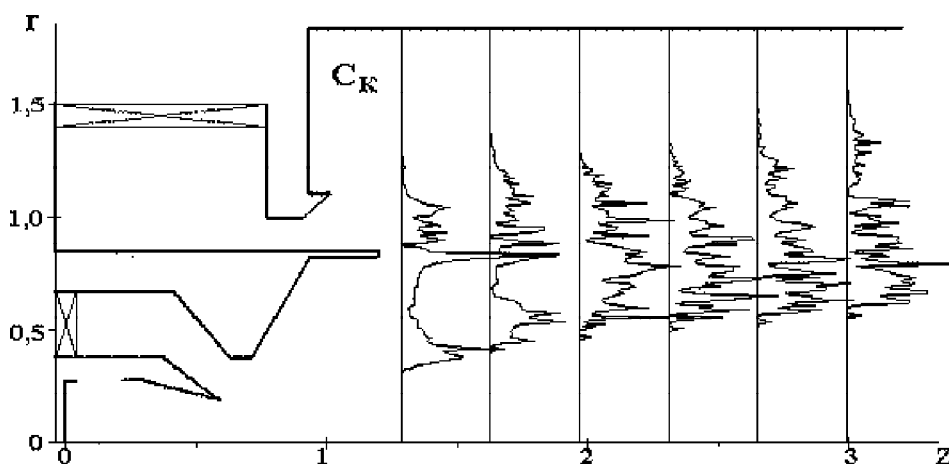


Рис. 4. Профили безразмерных концентраций капель в продольном сечении модуля при двухстадийном распыле топлива. Вариант 1

Кроме того, топливные капли проникают в область над козырьком и под разделяющую обечайку. Для большей наглядности на рис. 5 представлена картина траекторий капель, спроектированных на продольное сечение модуля для случая двухстадийного распыла.

На рисунке видны спиралевидные траектории капель над козырьком, под разделяющей обечайкой и вблизи торцов форсунок центрального и тангенциального завихрителей. В этих областях наблюдается вовлечение мелких капель в возвратно-циркуляционное течение. Рис. 5 позволяет понять двоякую роль разделяющей обечайки в формировании полей концентраций. Во-первых, с острой кромки разделяющей обечайки осуще-

ствляется вторичный распыл топлива, во-вторых, именно капли, образующиеся при этом вторичном распыле, формируют поле концентраций в области под обечайкой, поскольку из основного топливного потока в рециркуляционную зону под обечайкой попадает лишь незначительная часть топлива. Обращает на себя внимание отсутствие топливных капель в приосевой области модуля. Это можно объяснить тем, что на срезе сопла центрального завихрителя в рассмотренных режимах образуются предотрывные течения с положительным направлением радиальной составляющей скорости газового потока, увлекающие капли на периферию. Аналогичное же действие оказывает и закрутка потока, которая является второй причиной сме-

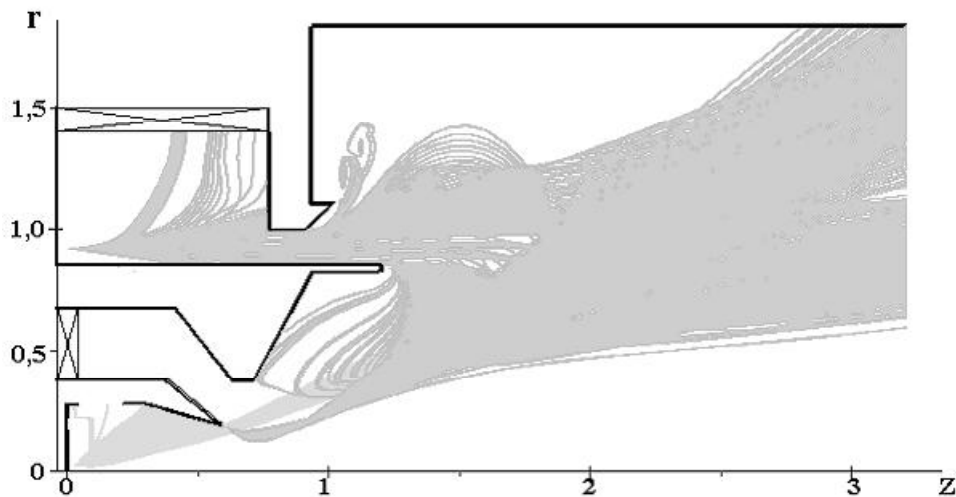


Рис. 5. Картины траекторий капель при двухстадийном распыле топлива.
 Вариант 1: $u_{r1}^0 = -0,5$, $u_{j1}^0 = 1,0$; $u_{r2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,5$, $u_{j3}^0 = 1,0$

щения капель в радиальном направлении. Эта причина представляется в данном случае более значимой.

Разработанная методика расчета позволяет выявить влияние режимных параметров на распределение топлива. Были исследованы режимы течения с уменьшенными расходами воздуха через тангенциальный завихритель, уменьшенным расходом воздуха через центральный канал и увеличенной закруткой потока в центральном завихрителе. Этим режимам соответствуют второй и третий варианты расчетов: $u_{r1}^0 = -0,25$, $u_{j1}^0 = 1,5$; $u_{r2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,2$, $u_{j3}^0 = 0,3$ (вариант 2); $u_{r1}^0 = -0,5$, $u_{j1}^0 = 1,5$; $u_{r2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,2$, $u_{j3}^0 = 0,3$ (вариант 3).

Расчеты показали, что в обоих вариантах поля скоростей весьма близки к приведенным на рис. 2. Однако в соответствующих им полях концентраций имеются существенные различия, что хорошо видно из рис. 6 и 7.

В этих случаях вторичный распыл также приводит к более равномерным распределениям концентраций топлива, однако по сравнению с основным, первым вариантом, топливо по-разному распределяется в поперечных сечениях модуля: в варианте 2 топливо сосредотачивается в следе за разделяющей обечайкой, а в варианте 3 - в пристенной области. Поскольку в последнем случае в рабочий объем модуля поступал более закрученный воздушный поток, то это, есте-

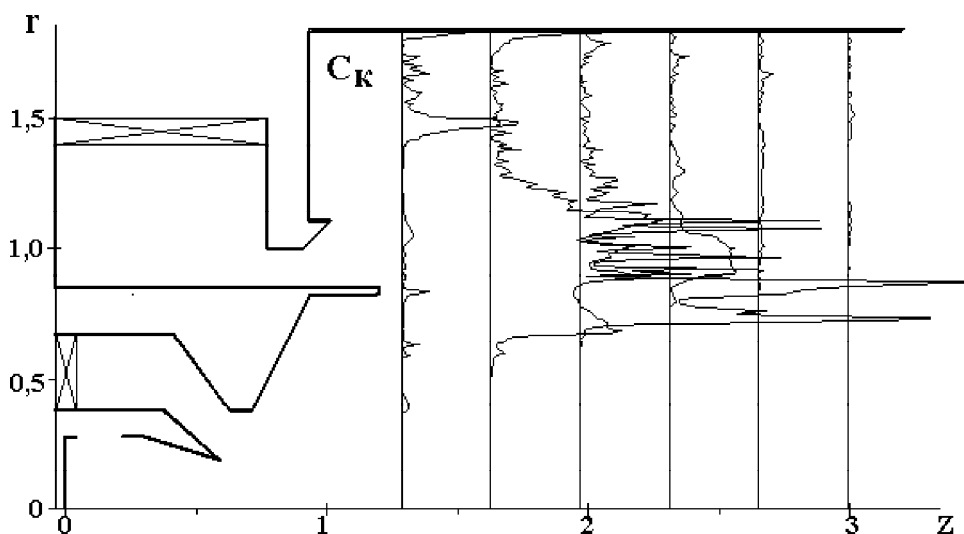


Рис. 6. Профили безразмерных концентраций капель в продольном сечении модуля при двухстадийном распыле топлива. Вариант 2: $u_{r1}^0 = -0,25$, $u_{j1}^0 = 1,5$; $u_{r2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,2$, $u_{j3}^0 = 0,3$

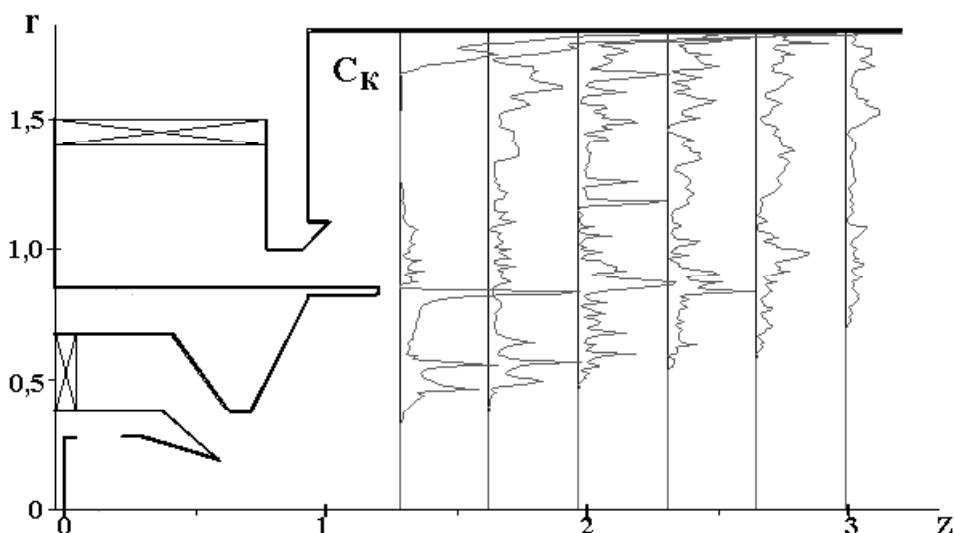


Рис. 7. Профили безразмерных концентраций капель в продольном сечении модуля при двухстадийном распыле топлива. Вариант 3 : $u_{r1}^0 = -0,5$, $u_{j1}^0 = 1,5$; $u_{r2}^0 = 0,35$, $u_{j2}^0 = 0,35$; $u_{r3}^0 = -0,2$, $u_{j3}^0 = 0,3$

ственно, вызвало усиление сепарации капель на внешнюю стенку модуля. С другой стороны, уменьшение потока, текущего через тангенциальный завихритель, приводит к образованию в центральной области более интенсивного, чем в других случаях, циркуляционного движения и более интенсивного захвата им топливных капель, что ведет к увеличению их концентрации в этой области.

Таким образом, представленные расчеты выявили существенное влияние вторичного распыла на формирование полей концентраций. Эти поля более «чувствительны» к изменениям конструктивных и режимных параметров по сравнению с полями скорости течения. Тем самым продемонстрировано, что разработанная методика может быть использована для анализа влияния конструктивных и режимных параметров смесительных

устройств на распределения концентраций топлива в них.

Список литературы

1. Патанкар С. С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Сб. Отрывные течения в камерах сгорания / Под ред. В. И. Ягодкина. - Труды ЦИАМ, № 1203, 1987.
3. Лебедев А. Б., Третьяков В. В. Обзор методов расчета распределения топлива в камерах сгорания. - Труды ЦИАМ, № 355, 1992.
4. Дубовкин И. Ф. и др. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. - Справочник. - М.: Химия, 1985.
5. Дитякин Ю. Ф. и др. Распыливание жидкостей. - М., Машиностроение, 1977.

CALCULATION OF FUEL DISTRIBUTION IN COMBUSTION CHAMBER NOZZLE MODULE

© 2006 V. V. Tretyakov

Central Institute of aircraft engine construction, Moscow

The paper presents the results of calculation of flow and drop liquid fuel concentrations in the combustions chamber nozzle. The numerical model used takes into account two stages of fuel spraying. Significant influence of secondary spraying on the formation of drop liquid fuel concentrations is revealed. It is shown that the methods developed can be used to analyse the influence of constructional and mode parameters of mixing devices on fuel concentration distribution in them.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДОВОДКА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ ГТД

© 2006 А. Ю. Юрина, Д. К. Василюк, В. В. Токарев, Ю. Н. Шмотин

ОАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск

Проведен численно-параметрический анализ элементов жаровой трубы газотурбинного двигателя (ГТД). Рассмотрено влияние расположения и способа закрутки завихрителей во фронтальном устройстве на характеристики перемешивания топливовоздушной смеси в жаровой трубе. Проведено численное исследование температурной неоднородности в ближнем следе за струями вторичного воздуха и качества перемешивания в зоне смешения камеры сгорания.

Введение

Камера сгорания (КС) является сложным и недостаточно изученным элементом газотурбинного двигателя из-за многообразия взаимосвязанных процессов, происходящих в ней. Сегодня к КС предъявляются дополнительные требования, в том числе по эмиссии вредных веществ. В настоящее время пути к улучшению характеристик может дать детальный анализ течения и процессов, происходящих внутри КС и ее элементов, при помощи современных методов математического моделирования.

Фронтальное устройство

Одним из способов организации горения с низким уровнем эмиссии в камере сгорания ГТД является сжигание топливовоздушной смеси, подаваемой в КС через многогорелочное фронтальное устройство. Течение воздуха в первичной зоне подобной КС представляет собой течение большого числа закрученных струй воздуха, содержащих топливо. На рабочий процесс в подобной КС оказывает существенное влияние взаимодействие соседних закрученных струй. При наличии закрутки взаимодействие струй и факелов усиливается [1].

Численное исследование взаимодействия закрученных струй проводилось с помощью программного комплекса CFX-TASCflow [2]. Оценивалось влияние взаимного расположения горелок во фронтальной плите и направления закрутки струй на структуру потока для того, чтобы определить оптимальную схему многогорелочного фронтального устройства с точки зрения достижения

максимального качества перемешивания топливовоздушной смеси на кратчайшем расстоянии от сопла завихрителя. Расчет выполнялся на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS). Для описания поведения турбулентного сжимаемого теплопроводного потока газа был применен метод контрольных объемов, который позволяет получить любой газодинамический параметр в любой точке расчетной области. Для замыкания системы уравнений использовалась SST/к- ϵ модель турбулентности.

С целью подтверждения адекватности описания данным вычислительным комплексом течений с сильной кривизной линий тока и с наличием больших сдвиговых напряжений было проведено сопоставление результатов расчета с экспериментом. Проведен расчет одного горелочного модуля, отличающегося от горелок, исследуемых в данной работе, углом установки лопаток, который равняется 30 градусам. Экспериментальные данные заимствованы из [3].

В работе представлены результаты расчета десяти вариантов горелочного модуля. Варианты конструкции отличались направлением закрутки топливовоздушных струй в соседних горелках, а также расстоянием между геометрическими осями соседних горелок. Каждый горелочный модуль состоял из четырех горелок, которые были помещены в канал прямоугольного сечения, имеющего верхнюю и нижнюю стенки; на боковых поверхностях задавалось граничное условие

типа «периодичность». Внутри каждой горелки располагалась форсунка и осевой лопаточный завихритель. Закрутка струи топлива осуществлялась заданием осевого, окружного и радиального компонентов скорости под углом 45 градусов к оси завихрителя. Направление вращения топлива и воздуха спутное. В качестве топлива применялся метан. Расчет выполнен без горения. Исследование проводилось в следующем диапазоне варьируемых параметров: расположение горелок в расчетном секторе осуществлялось в шахматном порядке и по квадрату; направление закрутки топливоздушных струй: 45 градусов и -45 градусов; относительный шаг между соседними горелками, $t_{\text{отн}} = t/d$, где d – диаметр сопла горелки (рис. 1): 3, 4, 5.

Для оценки качества перемешивания топлива с воздухом определено среднеквадратичное отклонение (S_i) локальной концентрации топлива, осредненное по расходу смеси в 54-х сечениях, расположенных за горелкой; построены графики зависимости $S_i(x)$; полученная зависимость была проинтегрирована вдоль оси x .

Осредненное по расходу квадратичное отклонение местной концентрации метана в топливоздушной смеси от среднемассовой концентрации в i -ом сечении равно

$$S_i = (CH4_{cp,i} - CH4_{ji, cp,i})^2,$$

где $CH4$ – концентрация топлива, в массовых долях; (cp, i) – осреднение по расходу в i -ом сечении сектора, j, i – местное значение. Ин-

тегральная величина квадратичного отклонения

$$\Sigma = \int_0^x S_i dx.$$

График зависимости $S_i(x)$ представлен на рис. 2, а результаты расчета в табл. 1.

Оценивая интегральную величину квадратичного отклонения, можно заключить, что направление крутки струй не сказывается существенно образом на качестве перемешивания топлива с воздухом, а изменение расстояния между струями, напротив, приводит к значительному ухудшению перемешивания, и в итоге получаемая смесь является менее однородной. Структура закрученного потока определяется как параметром закрутки, то есть кинематическими характеристиками, так и конфигурацией области, в которую он истекает. Из результатов расчета следует, что конфузорный насадок в горелке дифрагирует поток. Это приводит к тому, что осевая зона обратных токов (ЗОТ) вытесняется из горелки и формируется уже непосредственно за соплом. Следовательно, на структуру закрученного потока и на условия формирования осевой зоны обратных токов, кроме всего прочего, влияет взаимодействие струй между собой, взаимодействие струй со стенками, а также взаимодействие с прямыми и обратными токами газа, возникающими в камере в данных условиях. В численном эксперименте наблюдалось существен-

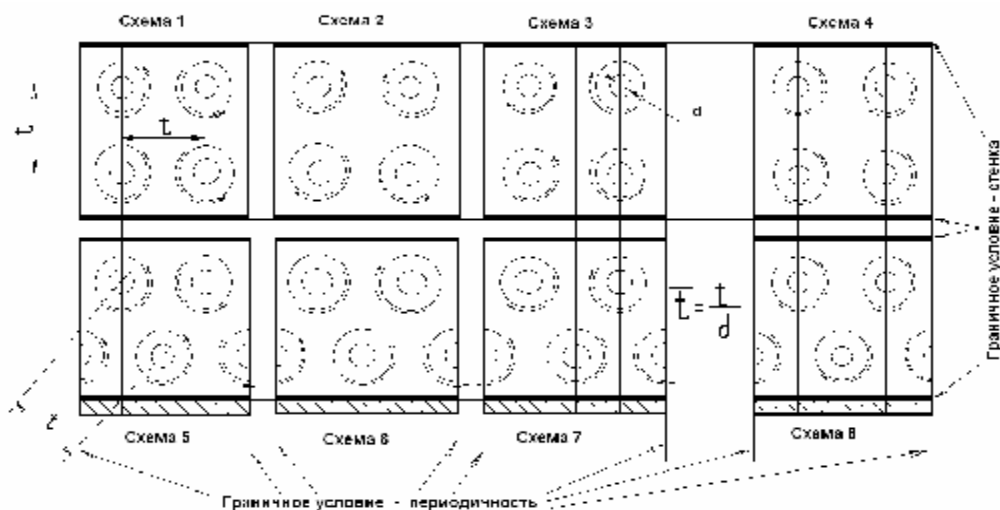


Рис. 1. Схема расположения горелок в расчетной области и направления крутки струй

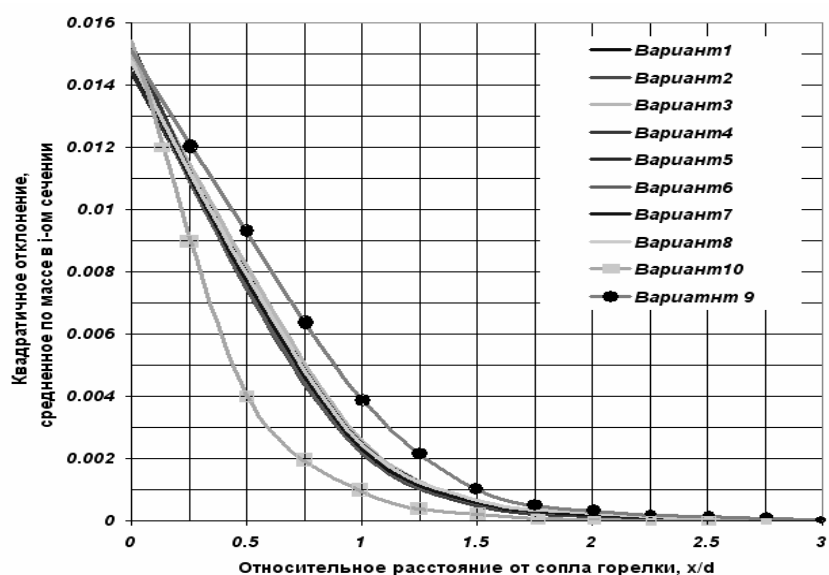


Рис. 2. Распределение квадратичного отклонения вдоль расчетной области

 Таблица 1. Интегральная величина квадратичного отклонения Σ

Вариант	Относительный шаг, $t_{отн}$	Схема расположения и закрутки	$\Sigma \cdot 10^{-3}$
1	4	1	9,3
2	4	2	8,96
3	4	3	9,55
4	4	4	9,13
5	4	5	9,28
6	4	6	8,94
7	4	7	9,15
8	4	8	9,38
9	5	1	11,13
10	3	1	6,47

ное изменение формы осевой зоны обратных токов, восстановленной по осевой скорости, осредненной на временном шаге, равном $1 \cdot 10^{-5}$ секунд, при изменении расстояния между горелками. С увеличением относительного шага зона обратных токов уменьшалась, а поскольку в закрученной струе, выходящей из сопла, неперемешанная часть топлива находится в ядре струи, уменьшение осевой ЗОТ ухудшает перемешивание слоев топлива и воздуха внутри струи. С уменьшением относительного шага ЗОТ становилась более наполненной вблизи сопла горелки, что, очевидно, способствует перемешиванию.

На основании результатов расчета качества перемешивания для вариантов 1, 9, 10 был построен график зависимости интегрального параметра отклонения качества перемешивания Σ от величины отношения площади фронта к суммарной площади выходных сечений горелок:

$$\bar{F} = F_{\text{фронт}} / F_{\text{вых}} .$$

Эта зависимость аппроксимирована выражением $\Sigma = 0,0055 \bar{a}^{0,0211 \bar{F}}$ и представлена на рис. 3.

Сопоставление результатов расчета одиночной горелки с углом установки лопа-



Рис. 3. Зависимость интегрального параметра качества перемешивания от относительной площади фронта

ток 30 градусов и эксперимента представлено на рис. 4. Из него следует, что данные расчета и эксперимента хорошо согласуются между собой.

Зона смешения

Современные авиационные КС можно охарактеризовать как КС с «богатым» горением в первичной зоне. Они сконструированы таким образом, что все топливо подается в первичную зону камеры и смешивается с частью суммарного расхода воздуха для создания стабильной, «богатой» зоны горения. Оставшийся воздух подводится в зону разбавления. Смесь «богатых», обедненных по кислороду продуктов горения первичной зоны быстро реагирует с вторичным возду-

хом, а затем разбавляется до требуемой температуры по направлению к выходу из КС. Если процесс смешения в этой зоне выполнен несовершенно, то структура потока в ней будет существенно неоднородной, что приведет к местному стехиометрическому горению с образованием большого количества NO_x или к появлению высокотемпературных следов в поле температур на выходе из КС.

Проведен поиск оптимального варианта организации разбавления продуктов сгорания, поступающих из богатой первичной зоны, на основании численного эксперимента с применением газодинамического пакета TASCflow. Требуется осуществить максимально быстрое охлаждения продуктов сго-

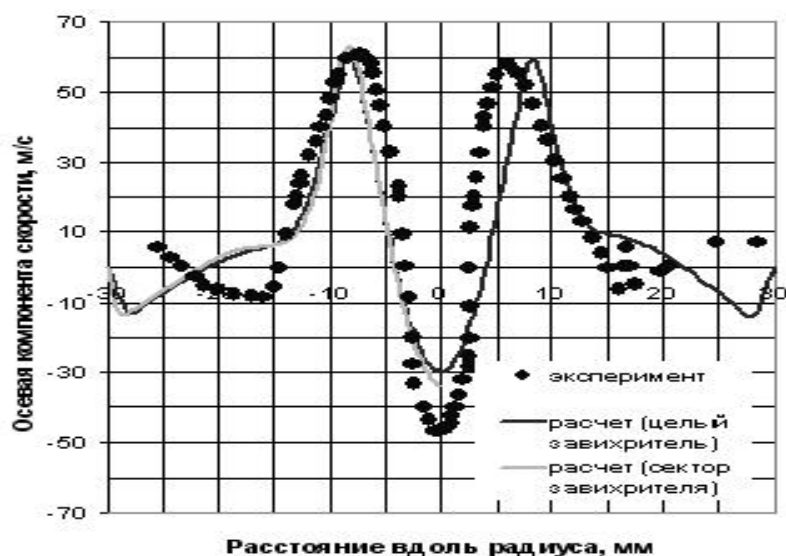


Рис. 4. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными. Распределение осевого компонента скорости вдоль радиуса на расстоянии 15 мм от выходного сопла горелочного модуля

рания и минимальную температурную неравномерность в выходном сечении смесителя и в итоге минимизировать образование «горячих областей» в ближнем следе за отверстиями для подвода вторичного воздуха.

Исследовались 15 вариантов конструкций смесительного модуля (рис. 5), которые отличались формой, размером и количеством отверстий для подвода вторичного воздуха, а также длиной центрального тела. Суммарный расход газа, суммарный расход вторичного воздуха, а также суммарная площадь отверстий оставались неизменными. Для всех вариантов смесительного модуля расчет выполнялся для сектора смесителя размером в $360/n$ градусов, где n – количество отверстий

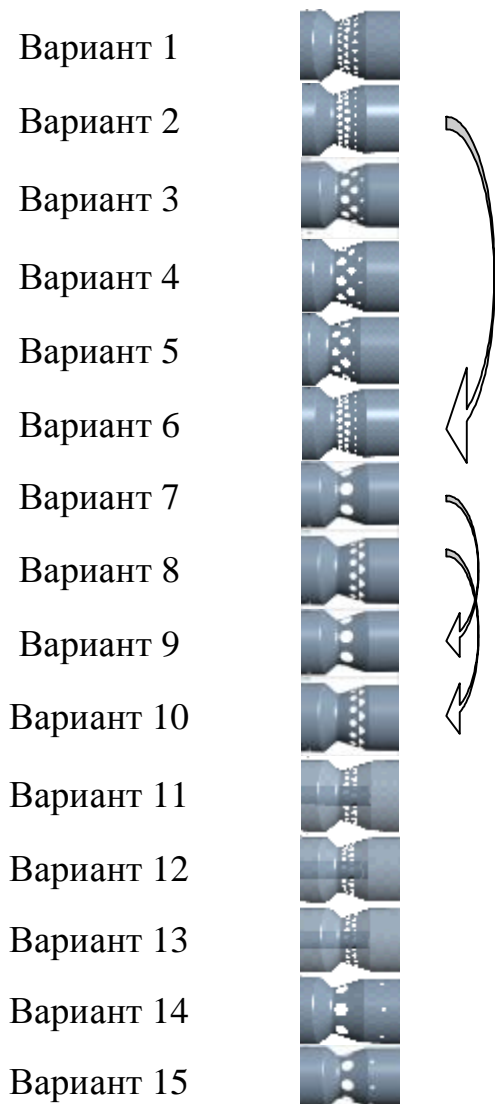


Рис. 5. Варианты расчета. Фигурные стрелки показывают переход от исходного варианта к аналогичному варианту, но с продленным центральным телом

в одном ряду. Закрутка основного потока не моделировалась. Смесь продуктов сгорания, поступающих из первичной зоны в зону разбавления, заменялась прямолинейным потоком газа при температуре 1900 К. Температура охлаждающего воздуха составляла 700 К, направление струй задавалось по нормали к поверхности смесителя в области отверстия.

Оценка вариантов конструкции производилась на основании величины безразмерной температуры, а также интегрального параметра нормализованного отклонения от безразмерной температуры. Безразмерная температура характеризует неравномерность поля температур в данном сечении, а интегральный параметр нормализованного отклонения – качество (скорость) перемешивания на требуемом участке длины.

Для определения неравномерности поля температур в ближнем следе величина безразмерной температуры определялась по соотношению

$$\Theta = \frac{T_i^* - T_e^*}{T_{\bar{n}\delta}^* - T_e^*},$$

где \dot{O}_i^* , К - местная полная температура,

\dot{O}_e^* , К - полная температура за компрессором,

$\dot{O}_{\bar{n}\delta}^*$, К - среднемассовая температура газа в соответствующем сечении. Радиальное распределение осредненной в окружном направлении безразмерной температуры представлено на рис. 6. Для оценки отклонения безразмерной температуры от значения $\Theta=1$, при котором смесь является полностью перемешанной, функция $((\Theta(r) - 1)^2)^{0.5}$ интегрируется вдоль радиуса смесителя:

$$\Theta_{\bar{n}\delta i} = \int_0^r ((\Theta(r) - 1)^2)^{0.5} d(r).$$

Результаты интегрирования представлены в табл. 2.

Качество перемешивания вторичного и первичного воздуха вдоль оси смесителя на участке от 0,35 м до 1,01 м от входа в расчетную область (рис. 7) определяется в соответствии со следующей методикой [4].

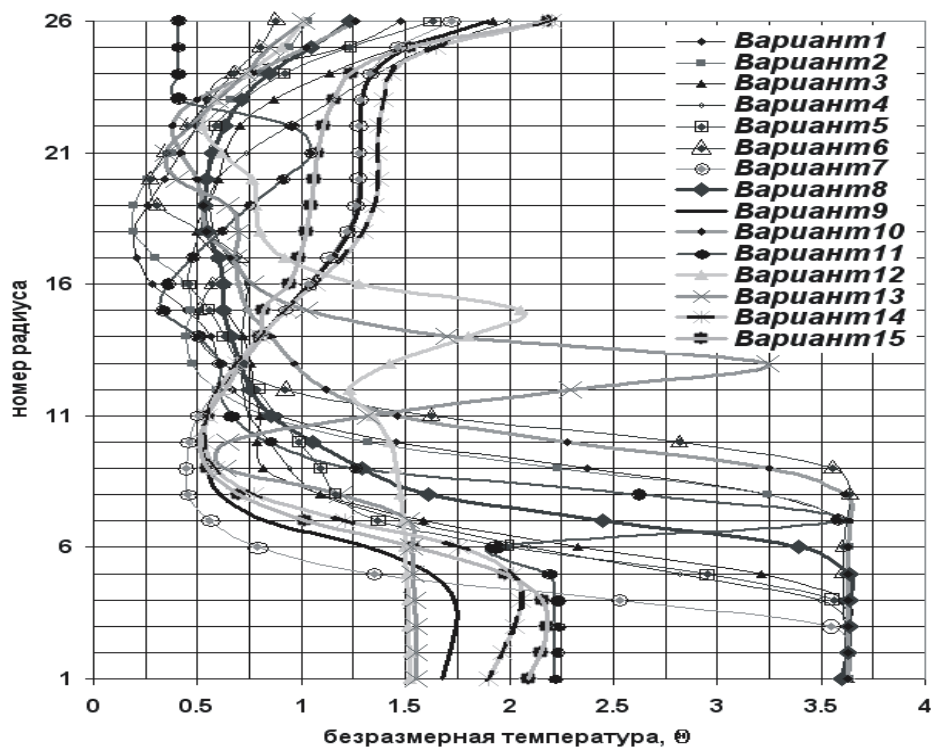


Рис. 6. Радиальная эпюра безразмерной температуры, осредненной в окружном направлении на расстоянии $2d$ от последнего ряда отверстий, d – диаметр отверстия в первом ряду

Таблица 2. Качество перемешивания первичного и вторичного воздуха в смесителе Σ_{norm} , величина относительного импульса струй и интегральное значение функции $\Theta_{\bar{n}\bar{o}i}$

Вариант	Σ_{norm}	$\bar{I}_{i \bar{o} \bar{a}}$	$\Theta_{\bar{n}\bar{o}i}$
1	0,443805	0,0642	29,04954
2	0,43653	0,08973	28,41284
3	0,28428	0,245	19,12859
4	0,26067	0,245	18,01713
5	0,290385	0,168	18,40306
6	0,404655	0,076	30,92171
7	0,27507	0,5752	15,08135
8	0,3249	0,197	21,56969
9	0,206505	0,503	9,564067
10	0,314715	0,177	21,56969
11	0,292245	0,095	17,37248
12	0,1776	0,079	10,15749
13	0,184125	0,079	12,79694
14	0,19248	0,4524	12,13272
15	0,185733	0,4524	10,21254

Безразмерная температура:

$$\Theta_i = \frac{T_i^* - T_{\bar{e}}^*}{T_{\bar{a}}^* - T_{\bar{e}}^*},$$

где $T_{\bar{a}}^*$, К - полная температура газа на входе в смеситель.

Стандартное отклонение от безразмерной температуры:

$$s_m = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Theta_m - \Theta_i)^2},$$

где

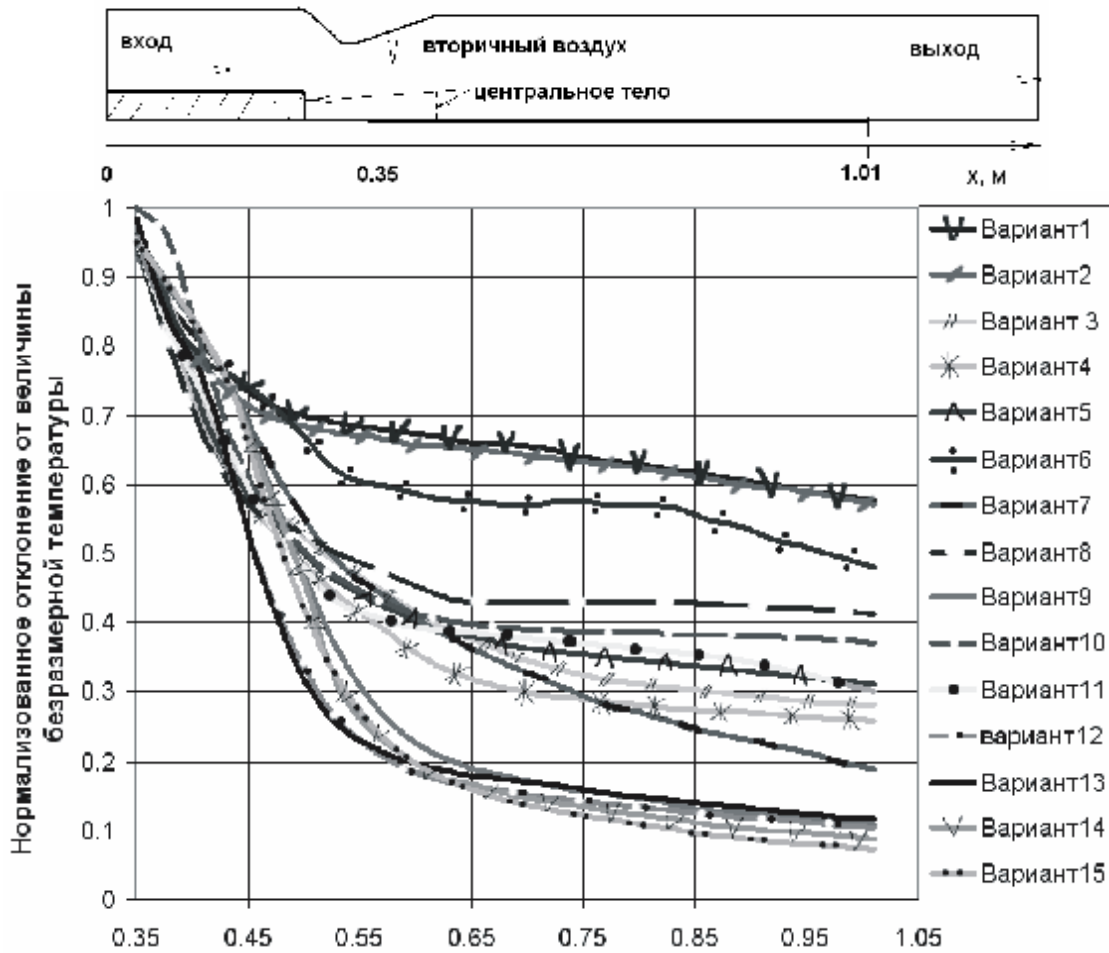


Рис. 7. Распределение нормализованного отклонения от безразмерной температуры вдоль оси смесителя

$$\Theta_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Theta_i.$$

Теоретическое максимальное стандартное отклонение:

$$s_{max} = \sqrt{\Theta_m (1 - \Theta_m)}.$$

Нормализованное отклонение характеризует скорость перемешивания первичного и вторичного потоков вдоль оси смесителя и определяется по формуле

$$s_{norm} = \frac{s_m}{s_{max}}.$$

Для определения качества перемешивания на требуемом участке длины смесителя нормализованное отклонение интегрируется вдоль оси смесителя:

$$\Sigma_{norm} = \int_{0,25}^l s_{norm} d(x).$$

Величина относительного импульса для одного отверстия в первом ряду для каждого варианта определяется по соотношению

$$\bar{I}_{i\dot{a}} = \frac{G_{i\dot{a}} v_{i\dot{a}}}{G_{\Sigma} v_{\dot{a}}},$$

где v_{oms} – скорость воздуха на входе в отверстие, v_{cp} – среднemasовая скорость основного потока перед струей, G_{oms} – расход воздуха через одно отверстие, G_{Σ} – расход газа в первичной зоне $G_{вкс}/n$, n – число отверстий в данном ряду. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Проведем анализ рассмотренных вариантов по группам.

Группа А - струи с малым импульсом ($\bar{I}_{i\dot{a}} = 0,0642 \dots 0,095$), варианты 1, 2, 6, 11, 12, 13. Малая глубина проникновения струй, в центре смесителя остается неразмешанное горячее ядро. Поэтому худший показатель по качеству перемешивания на требуемом участ-

тке длины (варианты 1, 2, 6). Хорошее перемешивание на периферии. Горячие следы на стенке за струями имеют небольшую протяженность. Подача части охлаждающего воздуха через продленное центральное тело позволяет добиться хороших результатов по неравномерности поля температур и качеству перемешивания на требуемом участке длины (варианты 11, 12, 13).

Группа Б - струи со средним импульсом ($\bar{I}_{i\dot{a}} = 0,168\dots 0,245$), варианты 3-5, 8, 10. Плохое перемешивание на периферии (варианты 3-5) и увеличение горячих следов на стенке за отверстиями. Недостаточная глубина проникновения. В центре смесителя остается неразмешанное горячее ядро. Неудовлетворительный показатель по качеству перемешивания на требуемом участке длины (варианты 3-5, 8, 10). Увеличение количества отверстий в одном ряду с 10 (варианты 3-5) до 15 (варианты 8, 10) улучшает перемешивание у периферии, но приводит к увеличению горячего центрального ядра и снижению качества перемешивания на требуемом участке длины.

Группа В - струи с большим импульсом ($\bar{I}_{i\dot{a}} = 0,4524\dots 0,5752$), варианты 7, 9, 14, 15. Плохое перемешивание на периферии и еще большее увеличение горячих следов на стенке за отверстиями. Недостаточная глубина проникновения. В центре смесителя остается не размешанное горячее ядро (вариант 7). Добавление отверстий второго ряда в вариант 9 существенным образом не отражается на размере горячих следов (варианты 14, 15), но несколько улучшает качество перемешивания (табл. 2). Улучшение качества перемешивания на требуемом участке длины, поскольку продлением центрального тела

удается размешать центральное горячее ядро, получить существенно меньшую неравномерность поля температур в ближнем следе и значительно улучшить качество перемешивания на требуемом участке длины (варианты 9, 14, 15).

Выводы

В результате выполненной работы проведен параметрический анализ таких элементов жаровой трубы, как фронтное устройство и зона смешения.

Проведенное численное исследование взаимодействия закрученных струй для 10 вариантов конфигураций фронта горелочного отсека показало, что при увеличении расстояния между горелками качество перемешивания ухудшается, а направление крутки соседних струй не оказывает существенного влияния на качество перемешивания.

Проведенное численное исследование влияния формы и расположения отверстий на характеристики смешения струй воздуха со сносным потоком в канале сложной формы позволило определить наилучшие варианты конструкций жаровых труб.

Список литературы

1. Гупта А. Лилли Д. и др. Закрученные потоки / Пер с англ. - М.: Мир, 1987.
2. CFX-TASCflow, v.2.12. User Documentation.
3. Васильев А. Ю., Майорова А. И., Свириденков А. А., Третьяков В. В., Ягодкин В. И. Исследование распыла топлива и смесеобразования в головной части камеры сгорания двигателей типа «НК». - Вестник СГАУ, № 2 (2), 2002 г.
4. M. Blomeyer, B. Krautkremer, O. Haag, D. K. Hennecke, Secondary air mixing in a typical combustor flowfield, ISABE 99-7189, a99-34190.

PARAMETRIC CFD DESIGNING OF COMBUSTION CHAMBER ELEMENTS

© 2006 A. Yu Yurina, D. K. Vasilyuk, V. V. Tokarev, Yu. N. Shmotin

Joint-Stock Company Saturn, Rybinsk

The paper present a numerical and parametrical analysis of gas-turbine engine lines elements. The first part deals with the impact of the front device swirlers location and way of swirling on fuel-air mixing effectiveness in the lines. The second part offers a numerical analysis of the temperature pattern in the wake of secondary air jets and of mixing quality in the mixing area of the combustion chamber.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ГАЗОВОГО БАЛЛОНА КАК НЕКЛАССИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ И ОЦЕНКА ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ

© 2006 Т. В. Ашихмина, А. И. Довгялло

Самарский государственный аэрокосмический университет

Описаны процессы в универсальном газовом баллоне, отличающемся от криогенных емкостей с малыми уровнями давления при бездренажном хранении тем, что теплоизоляция находится внутри емкости, а не снаружи. Приводится анализ и расчеты процессов для классической двухфазной системы. Определены закономерности изменения объема (массы) жидкости и газа при повышении температуры и давления. Проведена оценка теплопроводных свойств системы внутренней изоляции баллона.

Особенности предлагаемого по патенту [1] баллона заключаются в его универсальности по заправке. Баллон, содержащий внутренний теплоизолированный сосуд и систему экранов в газовой полости (рис. 1), может заправляться как заливкой (во внутренний сосуд) криогенной жидкости, так и компримированием (заполняется весь объем баллона). Такое устройство баллона и ожидаемые особенности эксплуатации требуют изучения процессов, происходящих при его заправке, хранении продукта в безрасходном состоянии и отборе продукта.

Если процессы при наполнении и опорожнении баллона сжатыми газами достаточно хорошо изучены, то теплофизика процессов в таком баллоне при использовании криопродукта требует самостоятельного изучения.

После наполнения внутреннего сосуда криогенной жидкостью начинается перераспределение низкопотенциального тепла (запасенного в криопродукте холода) по элементам конструкции баллона. Очевидно, что в случае отсутствия теплопритоков снаружи конечное температурное состояние баллона определяется соотношением полной энтальпии стенки теплового баллона и потенциалом криопродукта.

Нетрудно показать, что если тепла определяемого энтальпией стенки баллона, оказывается достаточно для испарения заправленной массы криопродукта, то задача сводится к решению балансовых соотношений перераспределения энергии, но динамика процесса и время полного испарения криоагента определяются из решения задачи теплопереноса. При этом на каждом шаге расчета по времени условия на границах газового

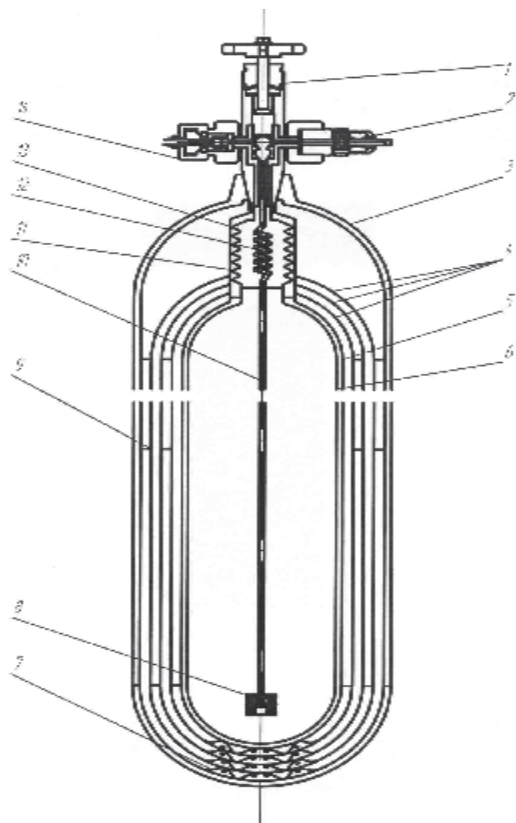


Рис. 1. Конструктивная схема универсального газового баллона:

- 1 – вентиль; 2 – клапан предохранительный;
- 3 – баллон; 4 – экраны; 5 – теплоизоляция;
- 6 – термос; 7 – тарелка прижимная; 8 – фильтр;
- 9 – вставка амортизационная; 10 – трубка газозаборная; 11 – сильфон; 12 – змеевик;
- 13 – стакан; 14 – заправочный штуцер

объема будут соответствовать условиям первого ряда. Изменения теплофизических свойств прослоек газа и криопродукта необходимо учитывать на каждом временном шаге расчета.

В случае теплопритоков к внешней поверхности баллона на каждом временном шаге расчета задача теплопереноса снаружи решается с граничными условиями 3-го рода и со стороны криопродукта – с граничными условиями 1-го рода. В обоих случаях в баллоне ожидаются следующие физические процессы.

Жидкость начинает испаряться, и испарившаяся доля криопродукта перераспределяется по слоям газовой полости. Давление в начальный момент может даже снизиться, что будет способствовать дальнейшему испарению жидкости. Однако через какое-то время давление может возрасти и кипение прекратится. Особенности начального этапа и последующего поведения криопродукта будут обусловлены соотношением объемов жидкой и газовой фаз. Так, если удельный объем двухфазной смеси (при изохорном процессе) больше $v_{\text{ср}}$, то жидкость будет непрерывно испаряться вплоть до полного перехода криопродукта в состояние сухого насыщенного пара.

Приведенные выше рассуждения построены на анализе так называемых классических двухфазных систем, в которых температура и давление насыщенных паров и жидкости равны. Но в рассматриваемом баллоне, когда в газовой полости температура существенно отличается от температуры криопродукта, равновесным (точнее квазиравновесным) можно назвать состояние жидкости и паров только во внутреннем сосуде (термосной емкости).

Тогда для такой термодинамической системы (всего баллона) уравнение Клапей-

рона-Клаузиуса в виде
$$\frac{dP}{dT} = \frac{r}{T(v_2 - v_1)}$$

может быть неприменимым и аналитическое решение задачи будет некорректным.

Наиболее близкой из рассмотренных подобных систем будет система при неодинаковых давлениях фаз [2], в которой на каждую из двух сосуществующих фаз действуют

различные давления (например, наддув сосуда инертным газом). В нашем случае дополнительное давление может задаваться газовой полостью с повышенной температурой за счет внешних теплопритоков, а температура насыщенных паров над жидкостью будет соответствовать ее температуре.

Тогда при общем изменении давления в баллоне и воздействии его на жидкую фазу

по уравнению Д. Г. Пойтинга
$$\left(\frac{\partial E_2}{\partial E_1} \right)_o = \frac{v_1}{v_2}$$

давление в паровой фазе также возрастет, но его увеличение будет во столько раз меньше приращения общего давления, во сколько раз удельный объем одной фазы меньше удельного объема другой фазы. То есть применительно к рассматриваемому баллону при общем росте давления в баллоне давление насыщения должно быть ниже общего давления и процесс испарения должен происходить непрерывно.

Вместе с этим относительно представленных выводов необходимо сделать следующие замечания. Во-первых, в отличие от системы с сосуществующими фазами и инертным газом по [2] в рассматриваемом случае в газовой полости баллона и термосе находится одно и то же рабочее тело, и эти разделенные по объемам составляющие не отвечают закону Дальтона. Во-вторых, уравнение Д. Г. Пойтинга выведено для условия $T = \text{const}$ в сосуществующих фазах, а это условие в рассматриваемом случае сохраняется только в объеме термосной емкости.

Таким образом, для решения задачи требуется найти свой алгоритм. По предварительным оценкам наиболее приемлемым будет численный метод совместного решения задачи энергетики процессов испарения и перераспределения испарившейся массы криопродукта между термосной и газовой полостями и задачи переноса тепла через систему изоляции газовой полости с учетом влияния на теплофизические характеристики рабочего тела изменяющихся давления и температуры.

В настоящее время такой численный метод расчета реализован с применением ввода теплофизических характеристик. Предва-

рительные результаты подтверждают ожидаемые предположения по поведению рабочего тела и тепловому состоянию баллона. Прежде чем реализовать такой уточненный метод расчета, предлагается оценить температурное состояние баллона и процессы в нем по упрощенной методике, приведенной ниже.

Полный объем универсального газового баллона находится из условия заполнения его газом при максимально допустимых давлении и температуре:

$$V_{\dot{A}} = \frac{m_{\dot{\zeta}} \cdot R \cdot T_{max}}{P_{max}}. \quad (1)$$

По значению массы заправки $m_{\dot{\zeta}}$ определяется объем внутреннего сосуда (термоса):

$$V_{\dot{O}} = \frac{m_{\dot{\zeta}}}{\rho_{\dot{\alpha}.i.}} - \frac{m_{\dot{\alpha}}}{\rho_{\dot{\alpha}.i.}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\dot{\alpha}.i.}$ - плотность жидкого криопродукта при условиях заправки, $m_{\dot{\alpha}}$ - масса газообразной фазы в газовой полости, $\rho_{\dot{\alpha}.i.}$ - средняя плотность газообразного продукта.

Тогда объем газовой полости определится как добавочный объем к объему термоса:

$$\begin{aligned} V_{\dot{\alpha}.i.} &= V_{\dot{A}} - V_{\dot{O}} = \frac{m_{\dot{\zeta}} \cdot R \cdot T_{max}}{P_{max}} - \frac{m_{\dot{\zeta}}}{\rho_{\dot{\alpha}.i.}} = \\ &= m_{\dot{\zeta}} \cdot \left(\frac{R \cdot \dot{O}_{max}}{P_{max}} - \frac{1}{\rho_{\dot{\alpha}.i.}} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Протекание процессов в баллоне и изменение параметров будут зависеть от режима работы баллона.

Основными такими режимами будут: режим заправки (заполнение криопродуктом); безрасходное хранение; работа в расходном режиме.

При этом все три режима могут иметь особенности по начальному состоянию баллона. Например, заправку криопродуктом можно осуществлять в «теплый» баллон (тем-

пература баллона равна температуре окружающей среды) или в баллон с остатками жидкой фазы. Безрасходное хранение может осуществляться при различных уровнях температуры снаружи баллона. Опорожнение баллона может происходить жидкой фазой сразу после заправки криопродуктом либо после частичной газификации спустя некоторое время также жидкой фазой, либо после полной газификации уже отбором газа.

Прежде чем приступить к решению общей задачи, будет полезным оценить теплопроводные свойства системы внутренней изоляции, отвечающей требованию допустимых термических напряжений стенки баллона. Эти напряжения определяются темпом изменения температуры и градиентом температуры в стенке.

Подвод тепла к криопродукту осуществляется через стенку термосной емкости трубопроводом выдачи продукта и сильфонную горловину. По трубке и сильфону тепло передается теплопроводностью

$$\begin{aligned} Q_{\dot{O}} + Q_{\dot{N}} &= \lambda_{\dot{O}} \cdot F_{\dot{O}} \cdot \frac{\dot{O}_{\dot{A}} - \dot{O}_{\dot{\alpha}}}{l_{\dot{O}}} + \\ &+ \lambda_{\dot{N}} \cdot F_{\dot{N}} \cdot \frac{\dot{O}_{\dot{A}} - \dot{O}_{\dot{\alpha}}}{l_{\dot{C}}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где λ_T , λ_C - теплопроводность материала трубки и сильфона; F_T , F_C - площади сечения стенки и сильфона; $\dot{O}_{\dot{A}}$, $\dot{O}_{\dot{\alpha}}$ - текущие значения температуры стенки баллона и криопродукта (температура стенки термоса принимается равной температуре криопродукта $\dot{O}_{\dot{O}} = \dot{O}_{\dot{\alpha}}$).

Тепло, подводимое к боковой поверхности термосной емкости, обусловлено теплопроводностью газа и тепловыми мостами (для предварительного этапа расчета последними можно пренебречь – это доказывается ниже) и определяется следующим выражением:

$$Q_{\dot{\epsilon}\dot{\zeta}} = \lambda_{\dot{\epsilon}\dot{\zeta}} \cdot \bar{F}_{\dot{y}\dot{o}} \cdot \frac{T_{\dot{A}} - \dot{O}_{\dot{\alpha}}}{\delta_{\dot{\epsilon}\dot{\zeta}}}. \quad (5)$$

Здесь $\lambda_{\dot{e}\dot{c}}$ - эквивалентная теплопроводность системы экранов, теплоизоляция термоса и др.; $\bar{F}_{\dot{y}\dot{o}}$ - среднее значение эффективной площади прохождения теплового потока; $\delta_{\dot{e}\dot{c}}$ - толщина газовых прослоек (радиальный зазор между стенкой баллона и стенкой термоса).

Тогда общие теплопритоки определяются суммой:

$$Q = Q_T + Q_C + Q_{\dot{e}\dot{c}} = (\dot{O}_A - \dot{O}_e) \cdot \left(\frac{F_T}{l_T/\lambda_T} + \frac{F_C}{l_C/\lambda_C} + \frac{\bar{F}_{\dot{y}\dot{o}}}{\delta_{\dot{e}\dot{c}}/\lambda_{\dot{e}\dot{c}}} \right). \quad (6)$$

Несложно показать, что комплекс

$$\frac{F_T}{l_T/\lambda_T} + \frac{F_C}{l_C/\lambda_C}$$

составляет менее 1 % от вели-

$$\frac{\bar{F}_{\dot{y}\dot{o}}}{\delta_{\dot{e}\dot{c}}/\lambda_{\dot{e}\dot{c}}}$$

чины. Таким образом, основные теп-

лопритоки будут осуществляться от боковых стенок баллона:

$$Q = \lambda_{\dot{e}\dot{c}} \cdot \frac{\dot{O}_A - \dot{O}_e}{\delta_{\dot{e}\dot{c}}} \cdot \bar{F}_{\dot{y}\dot{o}}. \quad (7)$$

Предположим, что время полной газификации криопродукта составляет 1 сутки, т. е. 24 часа, и за это время термические деформации и напряжения находятся в допустимых пределах.

Ставится вопрос: какого уровня должно быть значение коэффициента теплопроводности $\lambda_{\dot{e}\dot{c}}$, обеспечивающее заданное время газификации. Энергетический баланс будет следующим:

$$Q = \lambda_{\dot{e}\dot{c}} \cdot \frac{\dot{O}_A - \dot{O}_e}{\delta_{\dot{e}\dot{c}}} \cdot \bar{F}_{\dot{y}\dot{o}} \cdot \Delta\tau = \bar{r} \cdot m_{\dot{c}}. \quad (8)$$

Здесь \bar{r} - среднее значение теплоты испарения криопродукта в диапазоне давлений

до критического значения ($r_{\dot{e}\dot{o}} = 0$). Для метана $r_{112}^{01} = 511 \frac{\dot{e}\dot{A}\dot{e}}{\dot{e}\dot{a}}$, $\bar{r} = 255 \frac{\dot{e}\dot{A}\dot{e}}{\dot{e}\dot{a}}$ (для предварительных оценок такое осреднение допустимо).

Из предыдущего выражения эквивалентная теплопроводность изоляции и газовых прослоек определится следующим образом:

$$\lambda_{\dot{e}\dot{c}} = \frac{\bar{r} \cdot m_{\dot{c}} \cdot \delta_{\dot{e}\dot{c}}}{(\dot{O}_A - \dot{O}_e) \cdot \bar{F}_{\dot{y}\dot{o}} \cdot \Delta\tau}. \quad (9)$$

Температура баллона \dot{O}_A понижается с 300 К до 200 К, т. е. среднее значение температуры баллона $\bar{\dot{O}}_A = 250$ К, а температура криопродукта \dot{O}_e повышается от 112 К до 190 К, т. е. среднее значение температуры криопродукта $\bar{\dot{O}}_e = 150$ К.

Вычислим значение теплопроводности изоляции:

$$\lambda_{\dot{e}\dot{c}} = \frac{255 \cdot 12 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{(250 - 150) \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 24} = 0,018 \frac{\dot{A}\dot{o}}{\dot{i} \cdot \dot{E}}.$$

Если время полной газификации криопродукта уменьшится до 2,4 часа, то теплопроводность изоляции, соответственно, изменит-

$$\text{ся до значения } \lambda_{\dot{e}\dot{c}} \cong 0,2 \frac{\dot{A}\dot{o}}{\dot{i} \cdot \dot{E}}.$$

Для метана критические значения температуры и давления: $T_{кр} = 190$ К, $P_{кр} = 4,64$ МПа. Если считать, что теплопроводность системы изоляции будет равна собственной теплопроводности газа, то среднее значение теплопроводности газообразного метана [3] составит $\bar{\lambda} = 0,03 \frac{\dot{A}\dot{o}}{\dot{i} \cdot \dot{E}}$. Это позволит получить продолжительность процесса испарения до 14 часов.

Уточним, до какой температуры охладится баллон при полной газификации криопродукта. При толщине стенки в 10 мм масса баллона $m_A = 90$ кг ($V = \pi \cdot 27 \cdot 1 \cdot 135 = 11445 \text{ м}^3$,

$$\rho = 7,8 \frac{\dot{a}}{\dot{n}\dot{i}^3}, m_A = 11445 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 89 \dot{e}\dot{a}).$$

При захлаживании баллона от 300 К до 190 К без внешних теплопритоков потребуются испарить некоторое количество криопродукта, для СПГ это будет

$$\Delta m_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \bar{r} = m_{\tilde{A}} \cdot \tilde{N}_{\tilde{A}} \cdot (\dot{O}_0 - 190); \quad (10)$$

$$\Delta m_{\tilde{N}\tilde{A}} = \frac{90 \cdot 0,5 \cdot 100}{255} = 17,6 \text{ êã.}$$

Масса заправки составляет $m_{\tilde{c}} = 12 \text{ êã}$, т. е. $\Delta m_{\tilde{N}\tilde{A}} > m_{\tilde{c}}$, и, соответственно, температура баллона будет выше 190 К, а именно:

$$\begin{aligned} \dot{O}_A^{min} &= T_0 - \frac{m_{\tilde{c}} \cdot \bar{r}}{m_{\tilde{A}} \cdot \tilde{N}_{\tilde{A}}} = 300 - \frac{12 \cdot 255}{90 \cdot 0,5} = \\ &= 230 \text{ Ê} \approx -40 \text{ }^{\circ}\tilde{N}. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, из предварительных оценок следует, что при существующих допустимых уровнях давления заправки и температуры баллона (-40°C) [4] универсальный газовый баллон может иметь допустимую

температуру стенки, причем ее захлаживание будет происходить в течение нескольких часов без термоудара, что обеспечивает больший ресурс работы.

Представленные здесь расчетно-аналитические данные дают основание считать универсальный газовый баллон перспективным для практического применения не только по снижению энергозатрат при заправке, но и по ресурсу.

Список литературы

1. Топливный баллон./ Довгялло А. И., Лукачев С. В. и др.// Патент № 2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6.
2. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. - М.: Энергия, 1968.
3. Загорученко В. А., Журавлев А. М. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана. - М.: Изд-во стандартов, 1969.
4. ГОСТ 949-73. Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $P \leq 16,6$ МПа (200 кгс/см²). Технические условия.

PECULIARITIES OF SETTING UP A PROBLEM OF CALCULATING PROCESSES FOR A GENERAL-PURPOSE GAS CYLINDER AS A NON-CLASSICAL TWO-PHASE SYSTEM AND ESTIMATION OF ITS TEMPERATURE CONDITION

© 2006 T. V. Ashikhmina, A. I. Dovgyallo

Samara State Aerospace University

The paper describes the processes in a general-purpose gas cylinder different from cryogenic capacities with low pressure levels stored without draining in that heat isolation is inside the vessel. Existing approaches to solving the problem of process calculation for similar two-phase systems are analysed. The results of calculating cylinder temperature condition carried out using a simplified method are presented.

УДК 621.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦЕЛЬНОШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО СХЕМЕ ОТБОРТОВКА-ФОРМОВКА

© 2006 Е. Г. Демьяненко, И.П. Попов, А. Г. Шляпугин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассмотрены способы получения деталей типа тонкостенных конических оболочек авиационных двигателей. Приведены методика эксперимента и обработки экспериментальных значений, а также экспериментальные данные изготовления модели детали.

Развитие конструкторских разработок в области изготовления авиационных двигателей ограничено технологической возможностью изготовления деталей известными способами листовой штамповки. К конструкторским требованиям, ограничивающим технологическую возможность изготовления детали, в основном относятся высокие требования к ее геометрической точности, в том числе и к диапазону изменения толщины.

В статье рассмотрена возможность получения детали камеры сгорания конической формы (рис. 1). В основном для получения деталей подобных форм в листовой штамповке применяется раздача на растяжных пуансонах (рис. 2) и штамповка в инструментальных штампах (рис. 3). Возможно также использование оснастки с эластичной средой, штамповка жидкостью или газом, штамповка взрывом [1, 2].

При раздаче на растяжных пуансонах используют штамп, который состоит из конусной оправки 1, сегментов растяжных пуансонов 2, штока 3, выталкивателей 4.

В исходном состоянии шток приподнят, и заготовка свободно устанавливается на сегментах. Во время рабочего хода штока вниз происходит скольжение сегментов вниз по конической поверхности оправки и в результате увеличение исходного диаметра заготовки. Поскольку между сегментами в ходе процесса обязательно появляется зазор, то деталь после выполнения операции получается с огранкой. Уменьшить огранку можно за счет многократного поворота заготовки. Для этого необходимо периодически останавливать процесс, разгружать пуансон, снимать заготовку с сегментов с помощью выталкивателя и поворачивать на угол, равный $1/2$ от угла между боковыми поверхностями сегмента.



Рис. 1. Деталь камеры сгорания

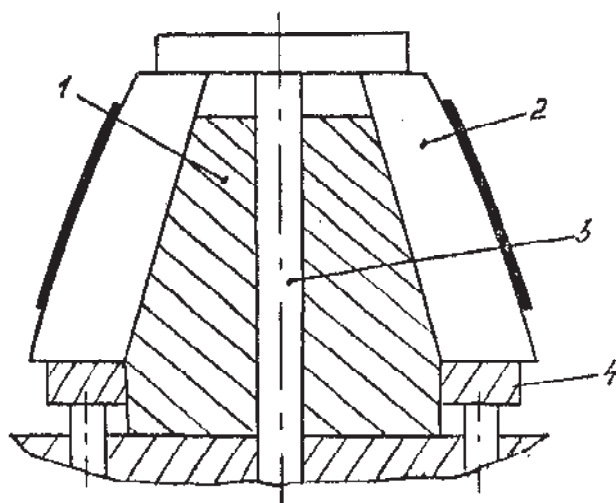


Рис. 2. Раздача на растяжных пуансонах

Вследствие многократного поворота заготовки в ходе процесса технологичность изготовления детали значительно уменьшается, при этом избежать огранки так и не удается [3].

Отбортовку в инструментальных штампах осуществляют по двум схемам. На рис. 3 представлен способ, как правило, реализуемый для деталей, которые легко отбортовываются [4]. Для осуществления процесса по данной схеме необходимо предварительно произвести отбортовку верхней кромки заготовки, которая в дальнейшем используется для фиксации заготовки с помощью прижима инструментального штампа. Недостатком данной схемы является необходимость проведения предварительной отбортовки, а также более высокий расход материала, так как после изготовления детали верхнюю кромку обычно срезают.

На рис. 4 приведена схема, применяемая для толстостенных заготовок. Наиболее серьезным недостатком данной схемы является значительное пружинение при разгрузке детали и, следовательно, низкая точность ее размеров.

При реализации способов, описанных выше, избежать дополнительного припуска на механическую обработку не удастся, что приводит к удорожанию изделия. Например, деталь, полученная способом, представленным на рис. 4, имеет толщину после механи-

ческой обработки $3,5^{+0,2} \times 10^{-3}$ м, а штампуют ее из листа толщиной $10^{0,2} \times 10^{-3}$ м.

Для изготовления ряда деталей небольших размеров возможно использование эластичной среды (рис. 5). Существенным недостатком и в ряде случаев ограничением для реализации данного способа является необходимость создания большого усилия, значительная часть которого тратится на сжатие эластичной среды [2].

Для повышения точности штампуемых деталей, полученных перечисленными способами, часто приходится проводить термофиксацию. Операция термофиксации заключается в том, что заготовку после процесса формоизменения (заготовка плотно обхватывает пуансон) помещают вместе с пуансоном в печь и длительно выдерживают до частичного снятия внутренних напряжений. Получаемая деталь имеет высокую точность геометрических размеров (кроме толщины), полностью соответствующую геометрии пуансона, но процесс длительный и требует значительных затрат энергии [5].

Одним из перспективных способов получения деталей камер сгорания является способ отбортовка-формовка, реализуемый с помощью специальной оснастки на гидравлических прессах (рис. 6). С его помощью появляется возможность уменьшить толщину исходной заготовки на 45-50 % за счет

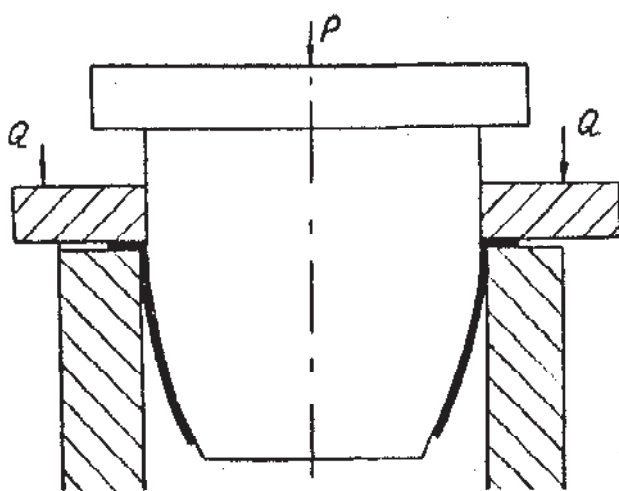


Рис. 3. Штамповка в инструментальном штампе тонкостенных заготовок

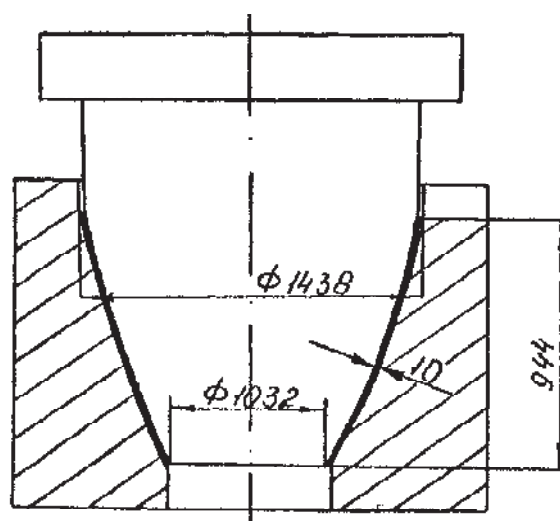


Рис. 4. Штамповка в инструментальном штампе

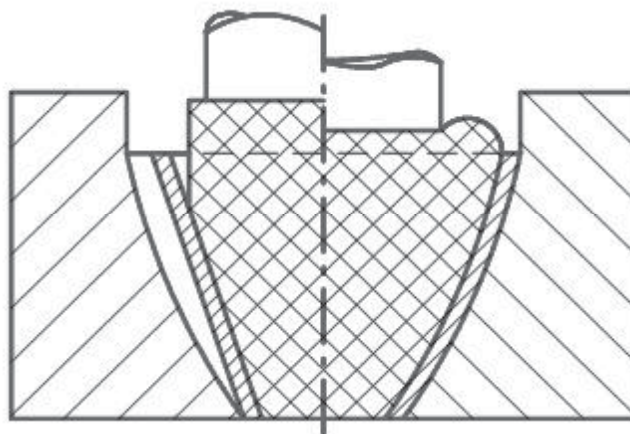


Рис. 5. Штамповка с применением эластичной среды

уменьшения припуска на механическую обработку.

Суть способа сводится к тому, что после реализации схемы, представленной на рис. 3, без снятия заготовки с пуансона дополнительно производится избыточное деформирование заготовки на величину 5-10% (в зависимости от обрабатываемого материала), позволяющее за счет деформации растяжения частично снять пружинение. Для реализации данной схемы разработана специальная штамповая оснастка, которая позволяет зафиксировать нижний край заготовки после осуществления процесса отбортовки.

Штамп состоит из подкладной плиты 1, выталкивателя 2, матрицы 3, прижима 4, пуансона 5.

Рассмотрим этапы нового способа на примере конусной заготовки, из которой получают конусную деталь.

Заготовка 6 типа конуса устанавливается в штамп так, чтобы ее наружная поверхность, прилегающая к открытому большому торцу, легла на рабочую поверхность матрицы 3. При опускании прижима 4 заготовка зажимается между поверхностями прижима 4 и матрицы 3. При опускании пуансона 5 осуществляется отбортовка свободной части

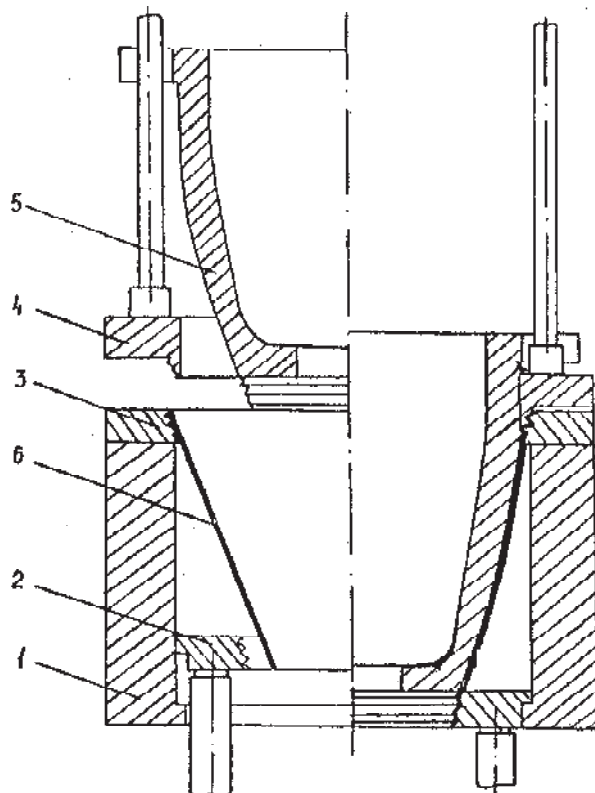


Рис. 6. Схема штампа для реализации нового способа

заготовки до тех пор, пока не произойдет зажим заготовки со стороны малого торца. После этого одновременно с отбортовкой происходит растяжение заготовки вдоль образующей. При этом усилие растяжения приложено только со стороны большого торца, так как малый торец заготовки в начальной стадии деформирования свободен от зажима. Зажим по малому торцу заготовки происходит в момент, когда ход формующего инструмента станет равным высоте исходной заготовки, считая от плоскости ее большого торца. С этого момента усилие растяжения вдоль образующей прикладывается по всей заготовке.

При разработке данного способа предполагалось, что наличие неравномерных геометрических деформаций вдоль образующей в ходе второго этапа будет частично компенсироваться за счет участия в процессе формоизменения сил трения и что дополнительное растяжение позволит снизить пруженные детали после разгрузки.

Была проведена серия экспериментов, в которых использовались конусные заготовки с размерами оснований 0,141 м и 0,100 м, высотой 0,096 м. Исходным материалом являлась нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т толщиной $0,5^{0,02} \times 10^3$ м.

Размеры штамповой оснастки и материала заготовки выбирались из условий физического и геометрического подобий. Под геометрическим подобием понимается соответствие размеров экспериментальной оснастки и заготовки реальной заготовке и оснастке с учетом масштабного коэффициента. Под физическим подобием понимается одинаковое значение механических показателей материала модели и натуре.

Для определения геометрического соответствия штампованной детали и пуансона необходимо сравнить диаметры участков, которые находились в контакте до снятия детали с пуансона. Трудность заключается в том, что точно зафиксировать и затем провести замер данных участков с заданным уровнем точности достаточно сложно.

В подобных случаях прибегают к способу, который заключается в том, что наружную поверхность пуансона и внутреннюю

поверхность детали представляют в виде зависимости высоты от диаметра. При проведении эксперимента была использована зависимость второй степени:

$$\dot{A}_i = \dot{a}_0 + \dot{a}_1 \tilde{\sigma}_1 + \dot{a}_2 \tilde{\sigma}_2^2, \quad (1)$$

$$\hat{A}_i = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \tilde{\sigma}_1 + \hat{a}_2 \tilde{\sigma}_2^2, \quad (2)$$

где D_n – диаметр пуансона как функция от высоты сечения x .

Для расчета коэффициентов необходимо воспользоваться формулами

$$a_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \varphi_i(x_i)}{\sum_{i=1}^n \varphi_i^2(x_i)}, \quad b_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i f_i(x_i)}{\sum_{i=1}^n f_i^2(x_i)}, \quad (3)$$

где D_i – замеренное значение диаметра заготовки или пуансона; φ_i, f_i – высота сечения, на котором производился замер диаметра пуансона или заготовки.

На рис. 7 показан график зависимости диаметра пуансона, используемого при эксперименте, от высоты, на которой располагается данный диаметр.

Для наиболее объективной оценки результатов эксперимента была разработана схема (рис. 8, 9), в соответствии с которой производились замеры значений толщин и диаметров по различным сечениям детали и пуансона, расположенным на определенной высоте x от нулевого (базового) сечения.

Выбор базового по высоте сечения с диаметром D_0 производился из условия совпадения диаметра заготовки и пуансона: $D_n = D = D_0$. Далее по (1) производился расчет высот сечений заготовки и пуансона, в которых и располагаются диаметры D_n и D . Для пуансона и детали эти значения разные, так как начало координат находится в разноименных точках пуансона и детали. Определив значения высот для одинаковых диаметров, можно найти координаты сечения пуансона и детали, которые на заключительной стадии формообразования находились в контакте (рис. 10).

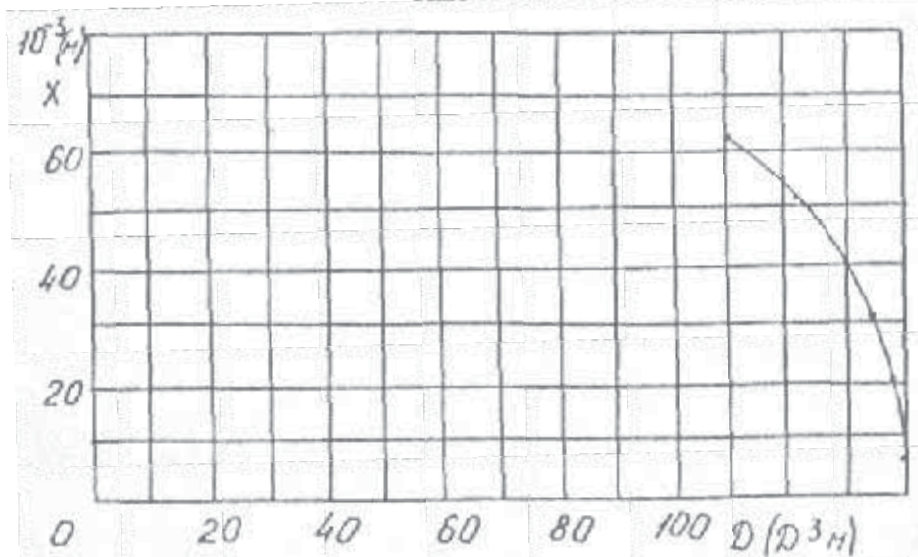


Рис. 7. Изменение диаметра пуансона в зависимости от высоты его сечения

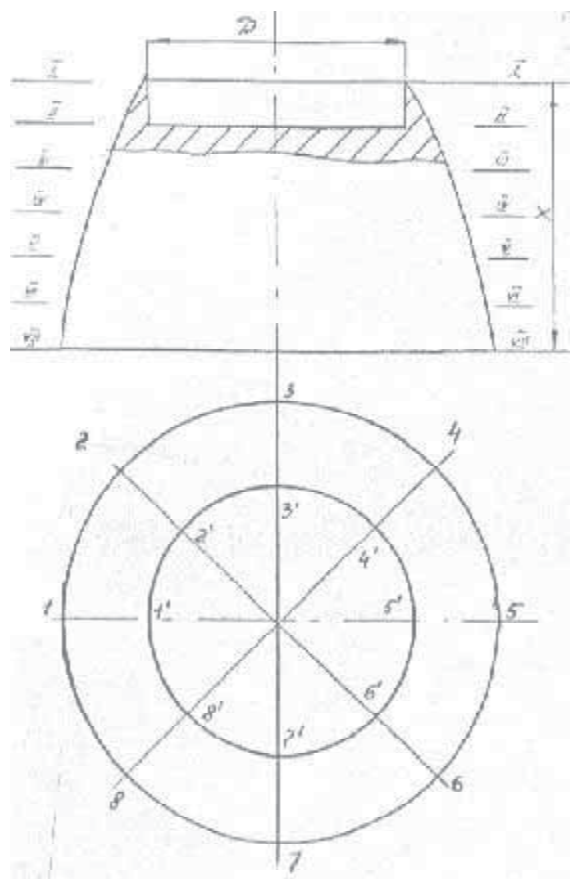


Рис. 8. Схема снятия размеров с пуансона

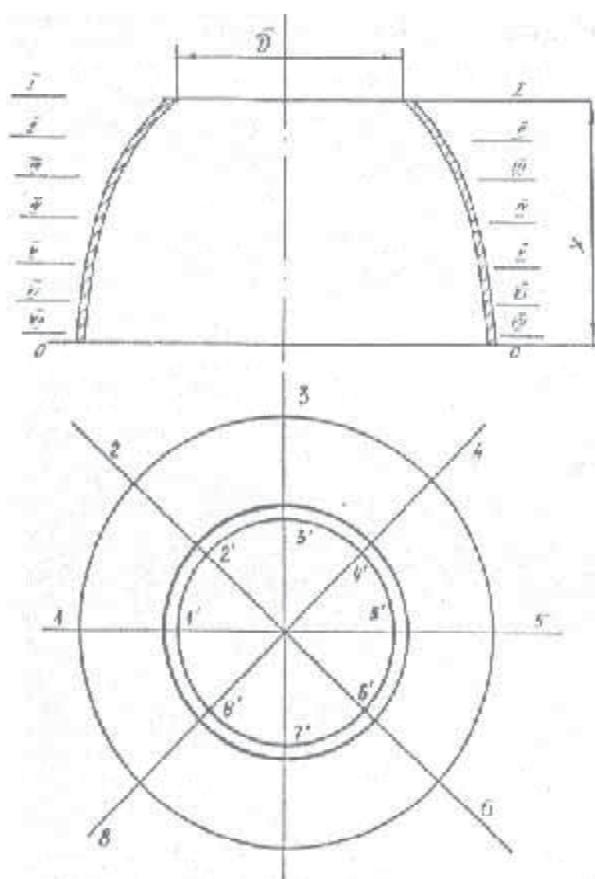


Рис. 9. Схема снятия размеров с детали

Наиболее интересным с точки зрения исследования параметром является толщина стенки детали и ее изменение в зависимости от сечения детали. Интерес к изменению толщины детали обуславливается в первую очередь тем, что равная толщина детали позволяет избежать дополнительной механической

обработки и выполнить условие равнопрочности по всему контуру детали. Значения толщин, полученных в результате эксперимента, представлены в таблице 1. Замер осуществлялся с помощью индикатора с точностью до 0,01. Для сравнения приведены значения толщин, полученных при изготовлении по-

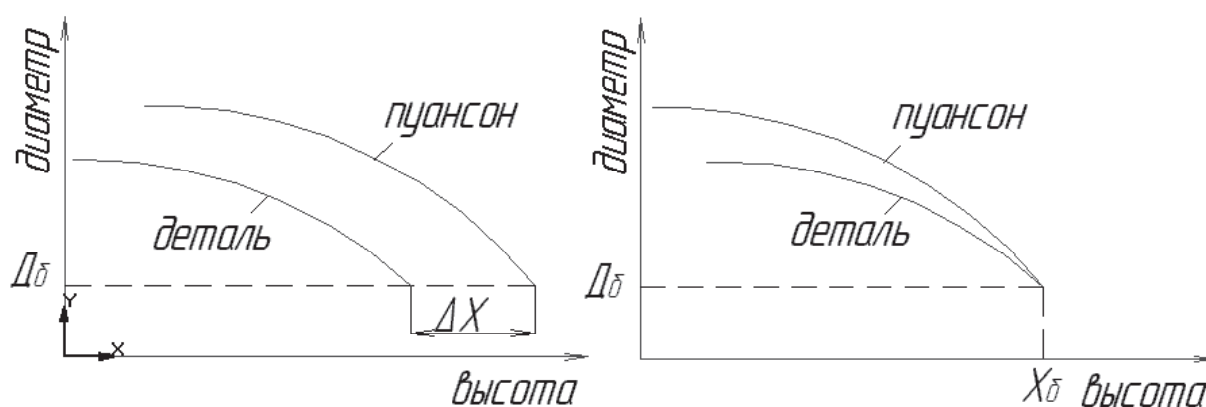


Рис. 10. Схема приведения высот и диаметров детали и пуансона

добной детали способом, представленным на рис. 4 (таблица 2).

Как видно из таблиц 1 и 2, интервал изменения толщины при реализации нового способа составил 0,015 мм (от 0,435 до 0,45 мм). При получении детали способом отбортовки в инструментальном штампе интервал изменения толщины составил 0,04 мм (от 0,48 до 0,44 мм), что в 2,7 раза больше, чем при реализации нового способа. Соответственно, появляется возможность уменьшить припуск на механическую обработку примерно в 2,5 раза.

Характер экспериментальной зависимости толщины детали от высоты сечения по-

казан для штамповки в инструментальном штампе (по схеме отбортовки) и для нового способа на рис. 11.

Из рис. 11 видно, что толщина детали вдоль образующей при штамповке в инструментальном штампе изменяется по зависимости, имеющей одно экстремальное значение между 2 и 3 сечениями по высоте. Значения толщины, полученные в результате постановки эксперимента по новому способу, находятся вблизи среднего по толщине значения. Вид зависимости, описывающий эти экспериментальные данные, более сложный, так как содержит информацию о двух стадиях деформирования.

Таблица 1. Значения толщин полученные из эксперимента при реализации способа отбортовки-формовки

Сечение	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1-1	0,45	0,44	0,445	0,45	0,445	0,445
3-3	0,445	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44
5-5	0,45	0,435	0,44	0,445	0,445	0,44
6-6	0,45	0,44	0,44	0,45	0,445	0,44
Среднее значение по сечению	0,449	0,439	0,441	0,449	0,444	0,441

Таблица 2. Значения толщин, полученные из эксперимента при реализации способа отбортовки в инструментальных штампах

Сечение	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1-1	0,445	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47
3-3	0,45	0,44	0,44	0,45	0,46	0,48
5-5	0,445	0,44	0,435	0,45	0,46	0,47
6-6	0,45	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47
Среднее значение по сечению	0,448	0,44	0,439	0,45	0,46	0,473

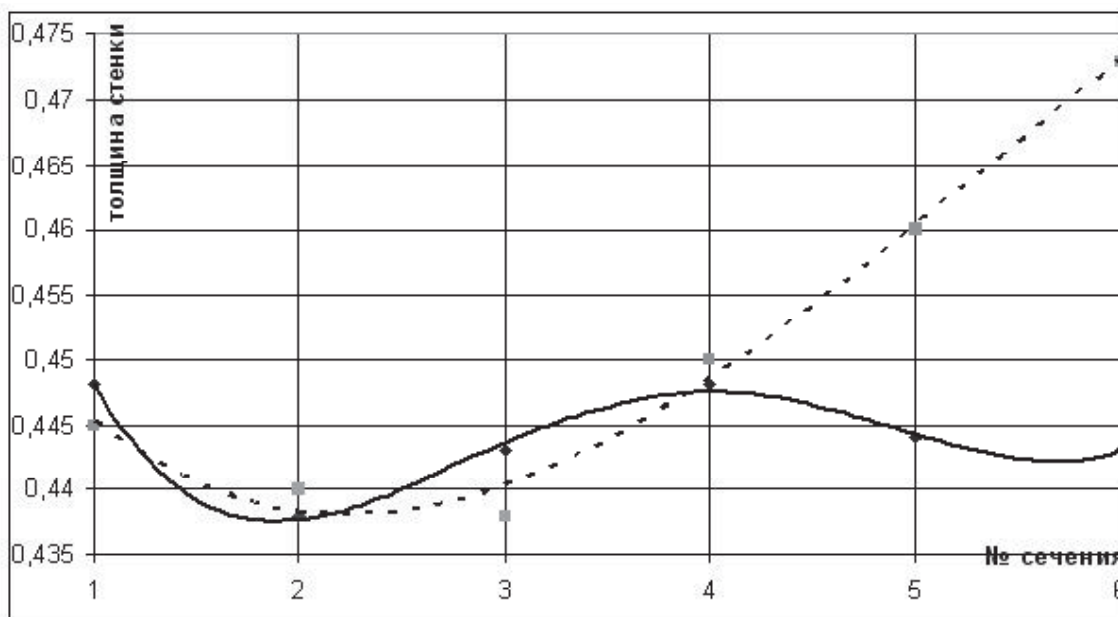


Рис. 11. Зависимость толщины от высоты сечения детали, полученной штамповкой в инструментальных штампах способом отбортовки (- - -) и новым способом (отбортовки - формовки —)

Первая стадия – процесс отбортовки (участок 1-3 идентичен участку штамповки в инструментальном штампе). Толщина на участке 4-6 сформирована на второй стадии деформирования в процессе формовки.

Другим фактором, определяющим толщину заготовки, является пружинение. Поскольку разверткой заготовки является трапеция, то после разгрузки деталь изменяет свои размеры на равных по высоте участках неодинаково. Поэтому возникает дополнительное искажение детали (рис. 12). Для того, чтобы повысить геометрическую точность размеров детали, приходится давать дополнительный припуск на механическую обра-

ботку (рис. 12 б, пунктиром показана деталь).

Для построения зависимости диаметров пуансона и заготовки от высоты рассматриваемого сечения по имеющимся экспериментальным данным использовался симплекс-метод. В результате вычислений получены уравнения (рис. 13) со степенью достоверности аппроксимации экспериментальных данных (R^2). В качестве аппроксимирующей кривой была задана парабола второго порядка.

В качестве базового сечения по высоте было принято сечение, соответствующее одному из оснований детали с диаметром, равным 104 мм.

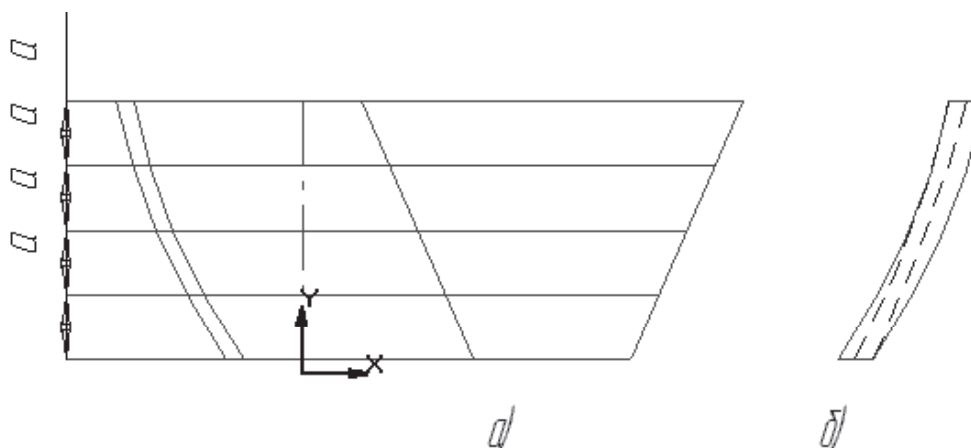


Рис. 12. Пружинение детали и припуск на механическую обработку

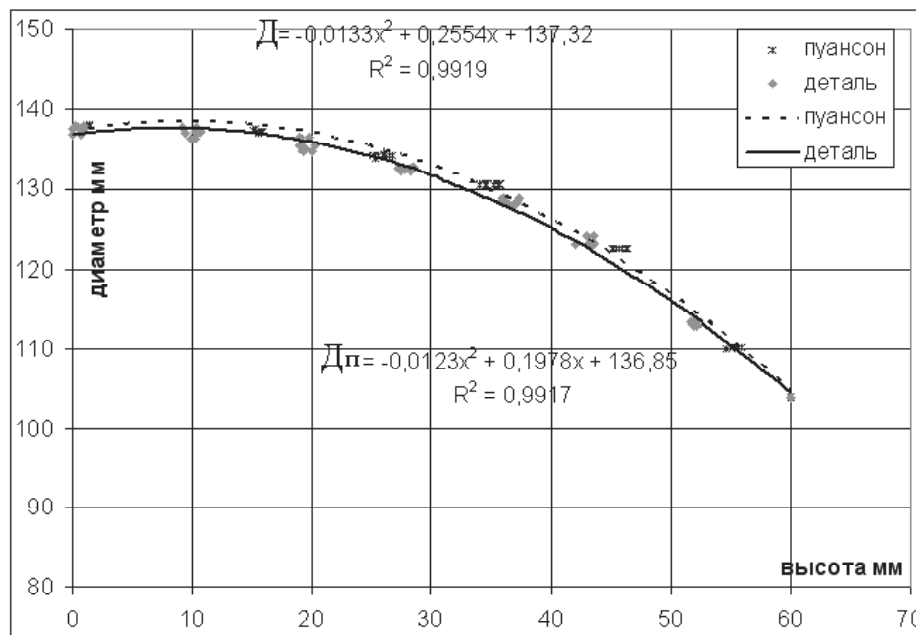


Рис. 13. Экспериментальные зависимости диаметральных размеров от высоты сечения для пуансона и заготовки

Анализ уравнений, описывающих размеры внутренней поверхности детали и рабочей поверхности пуансона, показал, что разница в диаметрах составляет $0,2 \times 10^{-3}$ мм. В ходе экспериментов было установлено, что припуск на механическую обработку, назначаемый из-за пружинения детали, может быть уменьшен в 2 раза.

Сопоставляя экспериментальные данные по изменению толщины и диаметров полученной новым способом детали, можно сделать заключение: заготовка, применяемая для получения деталей камер сгорания новым способом, имеет припуск на механическую обработку на 50 % меньший по сравнению с заготовкой, предназначенной для отбортовки в инструментальном штампе.

Список литературы

1. Разумихин М. И. Новые способы холодной штамповки. - Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1969.
2. Исаченков Е. И., Исаченкова В. Е. Штамповка эластичной и жидкостной средой. - М.: Машиностроение, 1976.
3. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. - Издательство Ростовского университета, 1984.
4. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. - М.: МГТУ имени Баумана, 2000.
5. Норицин И. А., Газизов Б. Я. Исследование режимов термофрикционной формовки. Кузнечно-штамповочное производство. - Москва, 1976 г. №9. - С. 13.

INVESTIGATING THE PROCESS OF SHAPING SOLID MOULDED PARTS ACCORDING TO THE OUTWARD HAPPING-MOULDING PATTERN

© 2006 Ye. Y. Demyanenko, I. P. Popov, A. G. Shlyapugin

Samara State Aerospace University

The paper considers techniques for producing parts like thin-walled conical casings of aircraft engines. Experimental procedure and that of processing experimental data are given as well as experimental data of producing a model of the part.

УДК 621.001.63

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ШУМА РУЧНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОИНСТРУМЕНТА

© 2006 А. Н. Крючков

Самарский государственный аэрокосмический университет

Разработана математическая модель для исследования динамических характеристик ручного механизированного пневмоинструмента. Модель позволяет на стадии проектирования оценивать влияние различных конструктивных параметров на акустические характеристики и крутящий момент, создаваемый работающим инструментом.

Развитие промышленного производства, повышение его эффективности неизбежно влечет за собой механизацию труда и повышение энергоемкости используемого оборудования. Так, на многих производствах, и в частности в автомобилестроении, широко используется ручной механизированный инструмент (РМИ), питающийся от сжатого воздуха. Работа пневматического привода РМИ сопровождается интенсивными колебательными процессами и высокими уровнями шума, превышающими допустимые нормы. Основными причинами колебаний и шума РМИ являются протекающие в пневмодвигателе и редукторе механические и аэродинамические процессы. На стадии проектирования инструмента важно прогнозировать его динамические характеристики и оценивать влияние различных конструктивных параметров, в частности, на создаваемый инструментом крутящий момент и шум, излучаемый работающим устройством. Для реализации этих задач необходима разработка математической модели, учитывающей:

- конструкцию привода, состоящего из нескольких однотипных устройств – камер или полостей, каждая из которых аналогична пневмоцилиндру;
- зависимости изменения объемов этих камер от времени;
- временные зависимости открытия отверстий для впуска и выпуска воздуха.

Схема ротационного пневмопривода приведена на рис. 1. В статоре A , имеющем ограниченные углами γ_i и γ_k отверстия C и D для входа сжатого воздуха из магистрали с давлением P_M и для выхода его в атмосферу

с давлением P_a , расположен ротор B , ось вращения которого смещена относительно оси статора на эксцентриситет e . В пазах ротора, радиус которого равен r , помещены пластины, прижимающиеся при вращении к внутренней поверхности статора, имеющего радиус R_C .

При разработке математической модели пневматического гайковерта рассматривается установившийся режим. В ротационном двигателе внешняя работа совершается за счет изменения параметров состояния сжатого воздуха, находящегося в рабочей камере. Так же, как и в случае поршневого двигателя, в работе ротационного двигателя можно выделить следующие этапы:

1. Наполнение;
2. Расширение;
3. Выталкивание воздуха из рабочей камеры.

Для описания процесса сжатия (расширения) получено выражение из первого закона термодинамики с учетом постоянства энтропии и уравнения Клапейрона:

$$kRT_m dm_m = V_1 dp_1 + kp_1 dV_1, \quad (1)$$

где k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; \dot{O}_i – температура в магистрали; V_1 – объем камеры; p_1 – давление в камере.

Однако, если предположить, что некоторая часть работы силы трения пластин о статор переходит в теплоту, передаваемую сжатому воздуху, и учитывать теплообмен с окружающей средой, то уравнение (1) можно переписать в следующем виде:

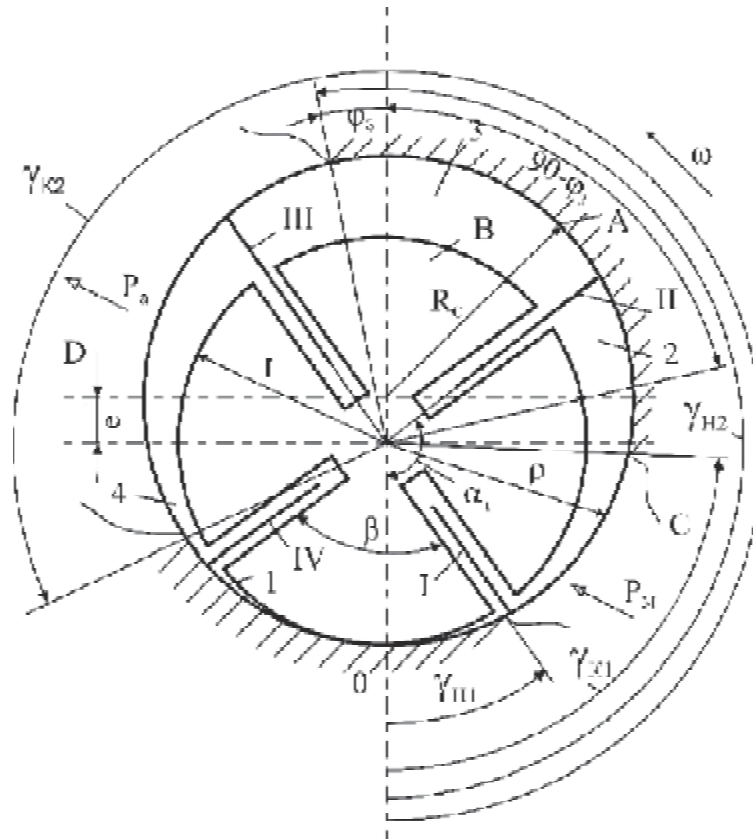


Рис. 1. Схема ротационного пневмопривода:

I, ..., IV – номера пластин ротора; 1, 2, 3, 4 – номера камер; А – статор; В – ротор; С – входное отверстие; D – выхлопное отверстие; e – эксцентриситет; r – радиус ротора; R_c – радиус статора; p_a – атмосферное давление; γ_{i1} – угол начала впуска; γ_{k1} – угол конца впуска; γ_{i2} – угол начала выхлопа; γ_{k2} – угол конца выхлопа; β – угол между пластинами; α_i – текущий угол поворота; ρ – радиус-вектор; ω – круговая частота вращения; p_m – давление в магистрали

$$kRT_i dm_i + dQ_{\dot{d}d} - dQ = Vdp + kpdV . \quad (2)$$

Заменим в этом уравнении массу сжатого воздуха dm_m , поступающего в полость V_i в течение времени dt , соответствующим значением G_m расхода

$$dm_i = G_i dt , \quad (3)$$

тогда

$$kG_i RT_i dt + dQ_{Tp} - dQ = Vdp + kpdV . \quad (4)$$

Математическая модель учитывает два режима истечения: докритический, когда расход воздуха, поступающего в камеру, определяется формулой Сен-Венана в предположении поступления его из неограниченного объема (магистрали):

$$G_i = \mu_i f_i p_i \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{RT_i} \left[\left(\frac{p_1}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1}{p_i} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} , \quad (5)$$

где μ_i – коэффициент расхода отверстий; f_i – площадь отверстия; T_m – температура воздуха в магистрали; R – газовая постоянная ($R = 287$ Дж/кг·К для воздуха при $T_m = 290$ К), и надкритический, при котором имеет место максимальный критический расход воздуха [2]:

$$G_* = 0,0404 \mu_i f_i p_m / \sqrt{T_i} . \quad (6)$$

Расход воздуха, вытекающего из камер в полость за статором, будем рассчитывать по формулам (5) и (6), но с учетом возможного «обратного течения» воздуха. Это связано с тем, что с полостью за статором могут соединиться сразу три камеры. И возможна ситуация, когда воздух из области повышенного давления полости начнет заполнять камеру. Для того, чтобы учесть возможность «обратного течения», введем безразмерный коэффициент ψ . На рис. 2 представлен график зави-

симости безразмерной величины ψ от перепада давления:

$$\psi = \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{2}{\epsilon}} - \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\epsilon+1}{\epsilon}}}, & \text{если } \frac{p_1}{p_0} \geq \sigma_* \\ \sqrt{\sigma_*^{\frac{2}{\epsilon}} - \sigma_*^{\frac{\epsilon+1}{\epsilon}}}, & \text{если } \frac{p_1}{p_0} \leq \sigma_* \end{cases} \quad (7)$$

Тогда уравнение расхода, используя выражение (7), можно записать в виде

$$G_{01} = \mu f p_0 \sqrt{\frac{2\epsilon}{\epsilon-1} \frac{1}{RT_0}} \psi \quad (8)$$

Работа сил трения определяется выражением

$$dQ_{Tr} = \eta_T (k-1) M_1 d\alpha, \quad (9)$$

где $M_1 = A\omega^2$ – момент сил трения пластин о статор, A – постоянный коэффициент, ω – круговая частота вращения, η_O – коэффициент перехода работы сил трения в теплоту.

В случае прямоугольной пластины

$$A = zlbh \rho_T f_{\partial\delta} R_c \left[R_c - \frac{h}{2} \right], \quad (10)$$

где b и h – толщина и высота пластины, ρ_T – плотность материала пластины, f_{Tr} – коэффи-

циент трения пластины, z – число пластин, l – длина пластины.

С учетом утечек сжатого воздуха из камер повышенного давления в камеры с более низким давлением, а также теплообмена с окружающей средой, для любой i -той камеры можно записать следующее уравнение для определения в ней давления [2]:

$$\frac{dp}{dt} = \left(kG_1 RT_M + \eta_T (k-1) M_1 \frac{dV}{dt} \pm \right. \\ \left. \pm kG_r RT_r - kG_2 RT_i - kp \frac{dV}{dt} \right) \frac{1}{V}, \quad (11)$$

где G_1 – расход, поступающий в камеру; G_2 – расход, вытекающий из камеры; G_r – расход, связанный с утечками между соседними камерами.

В математической модели РМИ в уравнении (11) не учитываются слагаемые, связанные с утечками воздуха, с трением пластин о статор и слагаемое, определяющее расширение газа за счет изменения объема камеры. Тогда уравнение (11) для выхлопных камер можно переписать в виде

$$\frac{dp}{dt} = (kG_M RT_M - kG_2 RT_i) \frac{1}{V}. \quad (12)$$

Расход воздуха через каналы выхлопной системы определим из уравнения Бернулли

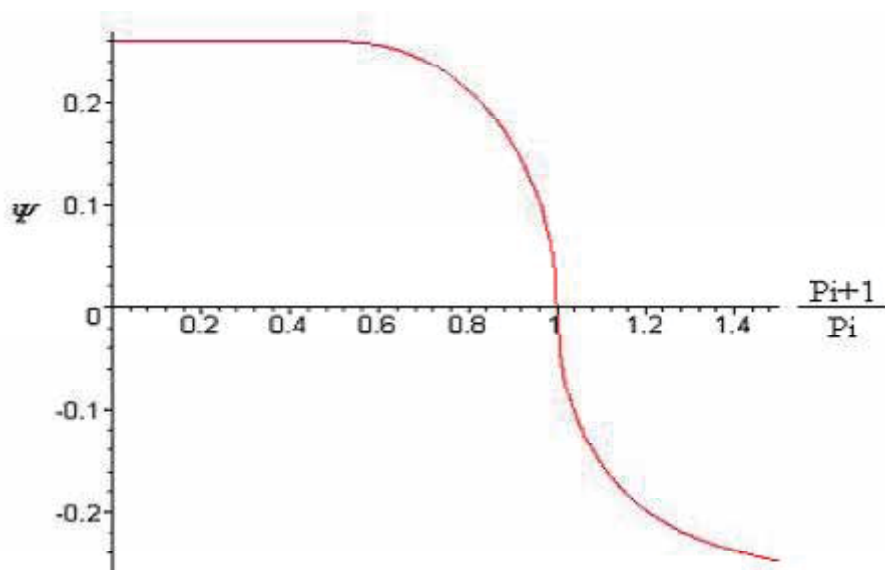


Рис. 2. Зависимость безразмерной величины ψ от перепада давления

$$\frac{dG}{dt} = \left(\Delta p - \xi \frac{G^2}{F^2 \cdot 2} \cdot \rho \right) \frac{F}{L}, \quad (13)$$

где Δp - перепад давления на длинном канале; ξ - коэффициент местных потерь; F - площадь каналов; L - длина каналов; ρ - плотность рабочего тела.

С целью определения крутящего момента, развиваемого пневмодвигателем, рассмотрим уравнение движения ротора, которое в общем случае имеет вид [3, 4]:

$$J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha} = M - M_1 \text{sign } \omega - M_2, \quad (14)$$

где J - момент инерции вращающихся масс, приведенный к ротору; α и ω - текущий угол поворота и его угловая скорость; M - движущий момент; M_1 - момент силы трения; M_2 - момент сил полезного сопротивления.

Движущий момент M_i определяется силой, действующей на i -ю пластину (рис. 1), при вращении ротора по часовой стрелке:

$$P_i = (p_i - p_{i+1})(p_i - r)l, \quad (15)$$

где p_i, p_{i+1} - давление сжатого воздуха в i -й и $(i+1)$ -й камерах; p_i - текущий радиус-вектор, определяющий положение i -й пластины; r ; l - радиус ротора и его длина.

Движущий момент M_i от приложенных в середине пластин сил P_i :

$$M_i = l(p_i - p_{i+1})(p_i^2 - r^2) / 2. \quad (16)$$

Для упрощения задачи примем постоянными момент инерции и момент сил полезного сопротивления в уравнении (14). Тогда это уравнение примет вид

$$\begin{aligned} J d\omega / dt = \\ = \left\{ l \left[\sum_{i=1}^{z-1} (p_i - p_{i+1})(p_i^2 - r^2) + (p_z - p_1)(p_z^2 - r^2) \right] / 2 \right\} - \\ - M_1 \text{sign } \omega - M_2. \end{aligned} \quad (17)$$

Радиус-вектор ρ_i может быть найден на основании теоремы косинусов (рис. 1):

$$p_i = \sqrt{R_c^2 - e^2 \sin^2 \alpha_i} - e \cos \alpha_i, \quad (18)$$

где R_c - радиус статора; α_i - угол поворота i -й пластины.

Зависимости объемов вычисляем по формуле

$$V = Fl, \quad (19)$$

где $F = 0,5 \int (\rho_i^2 - r^2) d\alpha$.

Поскольку рассматривается установившийся режим движения ротора пневмодвигателя, то момент, развиваемый пневмомотором, можно представить в виде

$$\begin{aligned} M_{\text{эд}} = \\ = \frac{l}{2} \left[\sum_{i=1}^{z-1} (p_i - p_{i+1})(p_i^2 - r^2) + (p_z - p_1)(p_z^2 - r^2) \right] - \\ - M_1. \end{aligned} \quad (20)$$

Диаметр выхлопных отверстий гораздо меньше длины излучаемой звуковой волны, поэтому данные отверстия можно представить как точечный источник, который создаст сферические звуковые волны. При этом не учитываются нелинейные процессы в виде слабых ударных волн, имеющих в случае выхлопа РМИ малую интенсивность. С учетом этого допущения звуковое давление в момент времени t на расстоянии r от выхлопного отверстия площадью S составит

$$p(r, t) = \frac{\rho_0 S}{4\pi r} \frac{\partial v \left(t - \frac{r}{c_0} \right)}{\partial t}, \quad (21)$$

где c_0 - скорость звука в свободном пространстве; ρ_0 - плотность окружающего воздуха; S - площадь выхлопных отверстий пневматического гайковерта; r - расстояние от источника до точки, в которой находится звуковое давление; v - пульсационная скорость выхлопа сжатого воздуха.

Из уравнения следует, что звуковое давление зависит от производной по времени скорости исходящего потока, т. е. чем рав-

номернее поток, тем меньше шума он производит. Так как при выводе уравнений, описывающих изменение давления в полостях пневмоинструмента, пользовались не скоростью, а расходом, то и выражение (21) удобно переписать в виде

$$p(r, t) = \frac{\rho_0}{4\pi\rho} \frac{\partial}{\partial t} G\left(t - \frac{r}{c_0}\right), \quad (22)$$

где ρ - плотность воздуха, выбрасываемого из выхлопных отверстий; q - объемный расход.

Для анализа акустических характеристик машины и оборудования используются логарифмические уровни звукового давления L (децибел), поэтому в модели предусмотрен переход от полученных по формуле (22) пульсаций давления к уровням шума в децибелах [5]:

$$L = 10 \lg \frac{\tilde{p}^2}{\tilde{p}_0^2}; \quad (23)$$

где \tilde{p} - эффективное значение реального звукового давления; $\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – пороговое значение давления для воздушного тракта.

При определении эффективного значения пользуются выражением

$$\tilde{p}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt. \quad (24)$$

Схематично основные компоненты математической модели представлены на рис. 3.

При разработке математической модели были приняты следующие допущения:

- закон открытия выхлопных отверстий статора кусочно-линейный;
- отсутствуют утечки по торцам пластин;
- отсутствует теплообмен с окружающей средой;
- распределенностью параметров можно пренебречь.

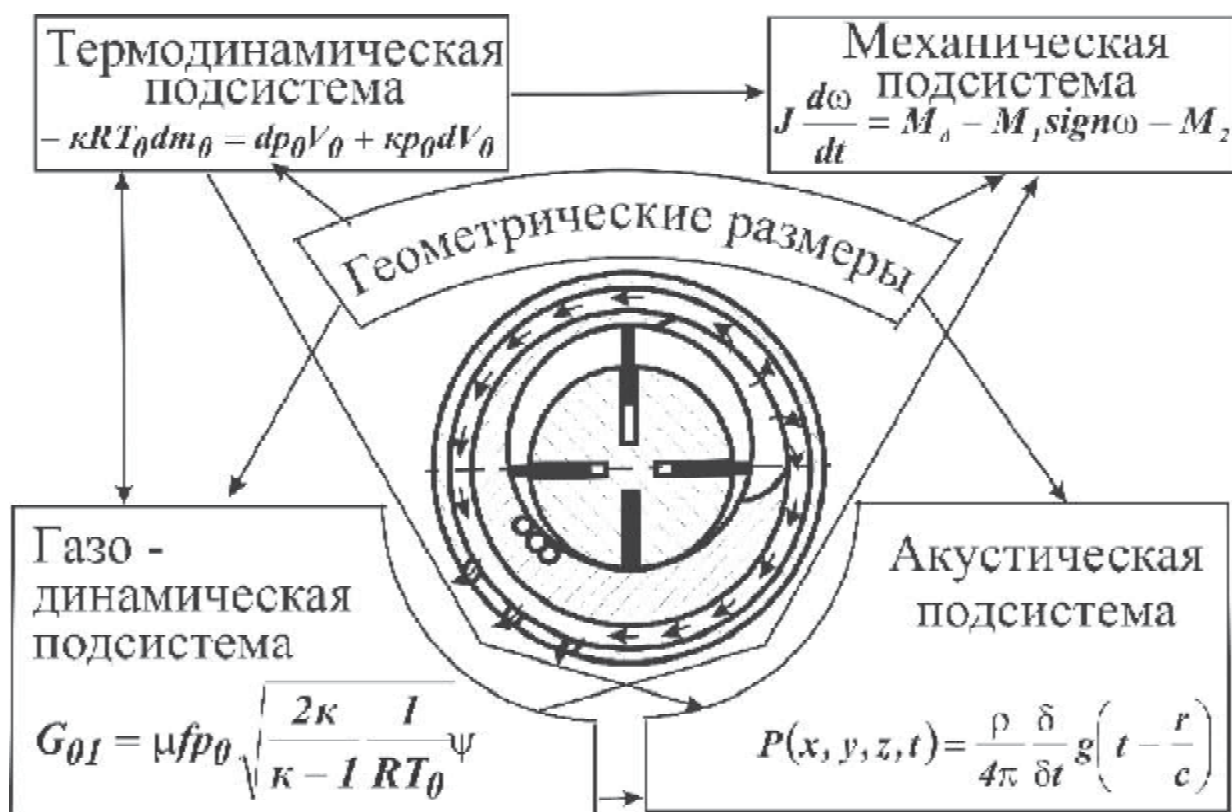


Рис. 3. Структура компонента математической модели пневмоинструмента

Для определения динамических характеристик пневматического инструмента запишем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_k}{dt} &= \left(kG_{\text{вд}} RT_M + \eta_r (k-1) M_1 \frac{dV}{dt} \pm \right. \\ &\left. kG_r RT_r - kG_{\text{вд}} RT_{ki} - kP_{ki} \frac{dV_{ki}}{dt} \right); \\ i &= 1..5 \\ \frac{dp_5}{dt} &= (kG_{\text{вд}1} RT_{k1} + kG_{\text{вд}2} RT_{k2} + kG_{\text{вд}3} RT_{k3} + kG_{\text{вд}4} RT_{k4} + \\ &+ kG_{\text{вд}5} RT_{k5} - kG_{57} RT_5) \frac{1}{V_5}; \\ \frac{dp_7}{dt} &= (kG_{57} RT_5 - kG_{87} RT_7) \frac{1}{V_7}; \\ \dot{I}_{\text{едод}} &= \\ &= \left\{ I \left[\sum_{i=1}^{z-1} (p_i - p_{i+1}) (\rho_i^2 - r_o^2) + (p_z - p_1) (\rho_z^2 - r_o^2) \right] / 2 \right\} - \dot{I} \quad 1; \\ p(x, y, z, t) &= \frac{\rho S}{4\pi r} \frac{\partial}{\partial t} q(t - r/c). \end{aligned} \right. \quad (25)$$

В результате расчета получены временные зависимости давления в камерах пневмодвигателя и его выхлопных полостях, а также крутящего момента. Удобно анализировать процессы изменения давления в камерах пневмодвигателя совместно с графиком изменения объема камеры (рис. 4). Во всех

пяти камерах протекают аналогичные процессы со сдвигом по фазе на угол 72° (угол между лопатками ротационного пневмодвигателя). До поступления воздуха из магистрали давление в камере равно атмосферному с учетом потерь в выхлопных каналах. После открытия впускных отверстий давление в камере растет почти мгновенно, становясь равным магистральному. Далее после закрытия входного отверстия давление в камерах падает за счет расширения и при выхлопе опять становится равным давлению, превышающему атмосферное на величину потерь в выхлопной системе. Затем цикл повторяется.

На рис. 5 показаны расчетные пульсации давления в полости за статором. Во временной реализации кроме основного тона присутствует также вторая гармоника, что связано с несколькими рядами выхлопных отверстий. Основная частота пульсаций давления равна пятикратному значению частоты вращения ротора (вследствие наличия пяти рабочих камер). Пульсации давления в выхлопном корпусе также носят периодический, полигармонический характер с основной частотой, равной лопастной частоте вращения.

Движущий момент изменяется следующим образом. Когда одна из пластин начина-

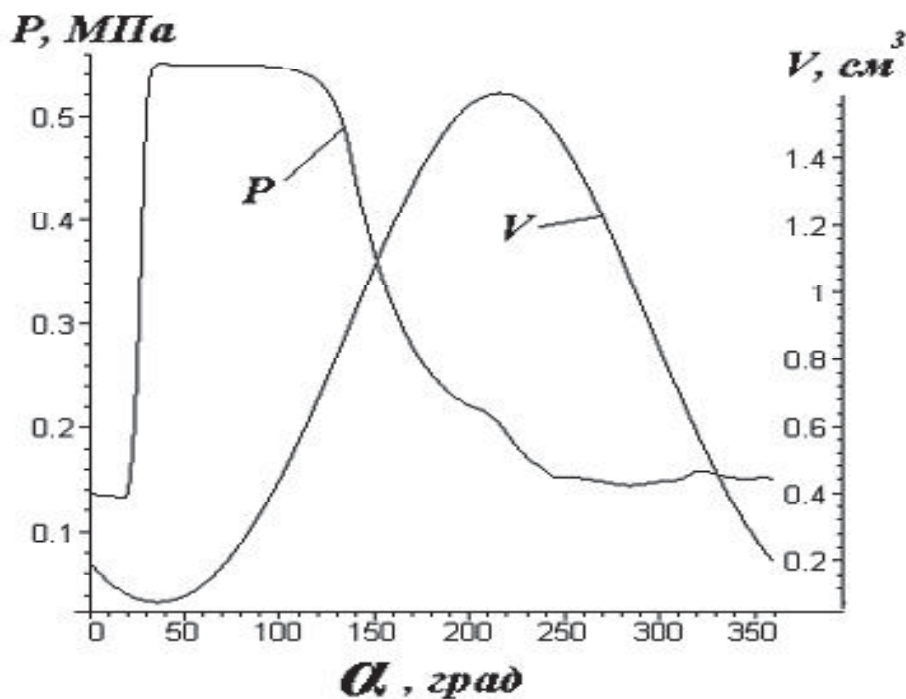


Рис. 4. Зависимость объема камеры и давления в камере от угла поворота

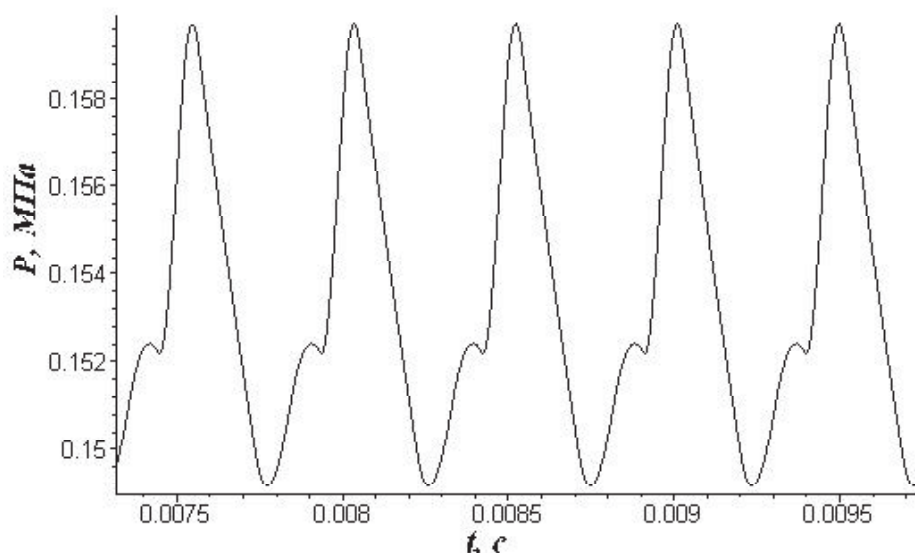


Рис. 5. Зависимости пульсации давления в полости за статором

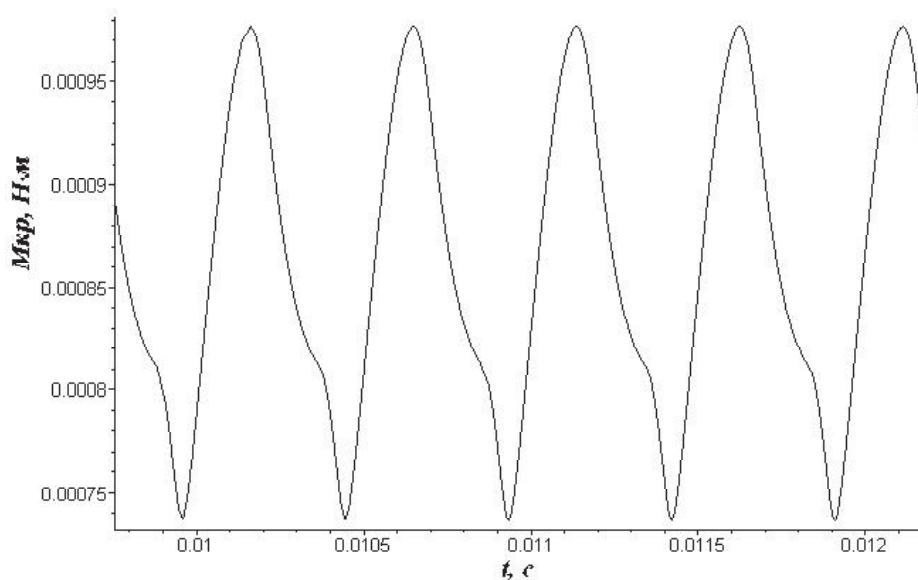


Рис. 6. Зависимость движущего момента от времени

ет открывать входное отверстие, сжатый воздух из магистрали поступает не только в камеру, в которой давление должно быть близким магистральному, но и в соседнюю, создавая “отрицательный” момент, действующий на соседнюю пластину в сторону, обратную движению мотора, поэтому в это время момент резко падает (рис. 6). Затем по мере увеличения объема при дальнейшем вращении ротора этот момент начинает расти. Падения момента повторяются периодически через угол β при прохождении каждой пластиной входного отверстия. Участки стабильного момента приходятся на периоды, когда

камера не сообщается ни с одним из отверстий. При соединении камеры с выхлопным отверстием момент вначале возрастает, когда сопротивление уменьшается, но затем по мере выхлопа сжатого воздуха из этой камеры значение момента резко уменьшается.

Таким образом, разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать динамические характеристики пневматического инструмента с ротационным пневмоприводом. В результате расчета могут быть определены зависимости давления в камерах пневмодвигателя, работа, совершаемая пневмоприводом, движущий момент, пульсации

давления в камерах выхлопной системы РМИ. На базе разработанной модели можно учитывать влияние различных конструктивных параметров (объемов камер выхлопной системы, площади и длины соединительных каналов, угловых размеров впускных и выпускных отверстий) на момент, развиваемый гайковертом, и его акустические характеристики. На базе модели разработана программа расчета характеристик РМИ, используемая конструкторами инструментального производства АО «АвтоВАЗ». Данная разработка выполнена в рамках Программы сотрудничества СГАУ и АО «АвтоВАЗ».

Список литературы

1. Зеленецкий С. Б., Рябков Е. Д., Микеров А. Г. Ротационные пневматические двигатели. - Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1976.
2. Герц Е. В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985.
3. Герц Е.В. Пневматические приводы. Теория и расчет. - М.:Машиностроение, 1969.
4. Зиневич В. Д., Гешлин Л. А. Поршневые и шестеренные пневмодвигатели горно-шахтного оборудования. - М.:Недра, 1982.
5. Справочник по технической акустике / Пер. с нем. Под редакцией М. Хекла и Х. А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980.

MATHEMATICAL MODELLING OF PRESSURE PULSATIONS AND NOISE OF A MANUAL MECHANIZED PNEUMATIC TOOL

© 2006 A. N. Krutchkov

Samara State Aerospace University

A mathematical model for analyzing dynamic characteristics of a manual mechanized pneumatic tool is developed. The model makes it possible to assess the influence of various design parameters on the acoustic characteristics and the torque created by the tool in operation at the stage of designing.

УДК 536.24:532.517.4

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКИ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ С НАКЛОННЫМИ ЩЕЛЯМИ

© 2006 В. П. Лукаш, А. И. Майорова, А. Д. Рекин, А. А. Свириденков, С. А. Стряпунин

Центральный институт авиационного моторостроения, г. Москва

Проведено экспериментальное определение с помощью тепловизора теплового состояния стенки с наклонными щелями для жаровых труб в модельных условиях. Выполнены 3-D расчеты аэродинамики пограничного слоя на стенке при вдуве охладителя через дискретные наклонные щели на основе численного интегрирования трехмерной системы уравнений Навье-Стокса. Результаты расчетов по средней температуре стенки сравниваются с полученными экспериментальными данными. Установлено, что при веерной подаче проникновение струй охладителя в горячей поток происходит менее интенсивно, чем при прямой, и охлаждение стенки при веерной подаче охладителя более эффективно. Получена зависимость эффективности охлаждения от угла наклона боковых стенок щелей.

Введение. В высокотемпературных камерах сгорания жаровые трубы из металлических материалов должны изготавливаться из двойных стенок, так как при малых расходах воздуха, выделяемого для охлаждения стенок, должно быть организовано совместное интенсивное конвективное и пленочное охлаждения. Двойная перфорированная стенка состоит из “холодной” стенки с нормальными отверстиями и “горячей” стенки с наклонными отверстиями или щелями. В окружном направлении “горячая” стенка может быть разрезана на отдельные сегменты. Значительная интенсификация конвективного охлаждения получается за счет использования большого перепада давления на “холодной” стенке: $\Delta P_w = (0,02-0,03) P_k^*$, в результате чего в струйках воздуха, выходящих из отверстий “холодной” стенки жаровой трубы и ударяющихся о “горячую” стенку, получается большая скорость (около 100 м/с). Большая скорость в отверстиях “горячей” стенки для организации перфорационного охлаждения не нужна, так как в противном случае из-за глубокого проникновения струек охлаждающего воздуха в горячий поток продуктов сгорания такое охлаждение получается неэффективным. Поэтому для организации хорошей завесы около “горячей” стенки отверстия или щели в ней должны быть большего размера и наклонены вдоль потока.

Ранее [1, 2] экспериментально было показано, что чем больше угол α наклона от-

верстий от нормали в “горячей” стенке (в пределах от 0 до 70°), тем эффективнее получается охлаждение. Однако проведенные измерения и расчет напряжений в “горячей” стенке с нормальными и наклонными отверстиями показали, что концентрации температурных напряжений на острой кромке наклонных отверстий с $\alpha = 70^\circ$ оказались в три раза больше, чем для нормальных отверстий. Для уменьшения температурных напряжений на острой кромке отверстий предложено перфорировать “горячие” стенки наклонными щелями. Проведенные экспериментальные исследования теплового состояния двухстенных перфорированных пластин с наклонными щелями при обтекании их нагретым потоком воздуха и облучении радиационным потоком тепла показали преимущество наклонных щелей по эффективности охлаждения по сравнению с наклонными отверстиями при одинаковых углах наклона и расходах охлаждающего воздуха.

Эффективность системы охлаждения во многом определяется глубиной проникновения струй охлаждающего воздуха в горячий поток. Недостаточность охлаждения стенки между щелями связана с тем, что прямоугольная струя, втекающая в сносящий поток, изменяет по длине свое поперечное сечение, стремясь приобрести круглую форму. В этом случае повышения эффективности охлаждения наклонными щелями можно добиться, используя веерные струи, которые реализуют-

ся в щелях постоянной высоты и расширяются по длине. В этом случае вытекающий охлаждающий воздух лучше заполняет промежутки между соседними щелями и дольше сохраняется вблизи стенки.

Разработана программа и проведены 3-D расчеты аэродинамики в пограничном слое на стенке при вдуве охладителя в пограничный слой через дискретные наклонные щели. Для верификации программы проведены эксперименты на моделях. Полученные результаты экспериментов и расчетов позволяют на стадии проектирования выбирать оптимальную перфорацию стенок щелями с целью обеспечения наиболее эффективного пленочного охлаждения.

Математическая модель. Для описания турбулентных течений в плоском канале вблизи проницаемой стенки с дискретным выдувом охладителя в сносный поток разработаны алгоритм и программа расчета на основе численного интегрирования трехмерной системы уравнений Навье-Стокса [3]. В ходе вычислений решаются уравнения: неразрывности

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho U) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho W) = 0$$

и движения

$$\rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_e \left(2 \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3} \text{Div} \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_e \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_e \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \right],$$

$$\rho U \frac{\partial V}{\partial x} + \rho V \frac{\partial V}{\partial y} + \rho W \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_e \left(2 \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3} \text{Div} \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_e \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_e \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right) \right],$$

$$\rho U \frac{\partial W}{\partial x} + \rho V \frac{\partial W}{\partial y} + \rho W \frac{\partial W}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_e \left(2 \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{2}{3} \text{Div} \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_e \left(\frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_e \left(\frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z} \right) \right].$$

Дополнительно с уравнениями движения решаются уравнения для температуры

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\rho UT) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho VT) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho WT) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial z} \right), \end{aligned}$$

энергии турбулентности и скорости ее диссипации

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\rho Uk) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho Vk) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho Wk) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_k \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_k \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_k \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \rho S_k, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\rho U\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho W\varepsilon) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \rho S_\varepsilon. \end{aligned}$$

Для вычисления турбулентной вязкости использовалась модификация двухпараметрической модели турбулентности (k - ε) с малыми числами Рейнольдса [4]. В этой модели

$$\Gamma_k = \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu, \Gamma_\varepsilon = \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu = \frac{\mu_t}{\sigma_h} + \mu,$$

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu k^2 / \varepsilon, \nu_t = \mu_t / \rho,$$

$$S_k = \rho (\nu_t F_k - \varepsilon - 2\nu k / \Delta^2),$$

$$S_\varepsilon = \rho \frac{\varepsilon}{k} \left[C_1 \nu_t F_k - C_2 f_\varepsilon \varepsilon - C_4 2 \frac{\nu k}{\Delta^2} \exp(-C_3 \frac{u^* \Delta}{\nu_w}) \right],$$

$$\begin{aligned} F_k = & 2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \\ & + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2, \end{aligned}$$

$$C_1 = 1,35; C_2 = 1,8; C_3 = 0,5; C_4 = 1;$$

$$\sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3; \sigma_h = 0,9;$$

$$f_\varepsilon = 1 - 0,222 \exp \left[- \left(\frac{k^2}{6\nu\varepsilon} \right)^2 \right],$$

$$f_\mu = 1 - \exp(-0,0115 \frac{u^* \Delta}{\nu_w}).$$

Здесь u^* – динамическая скорость ($\rho_w u^{*2} = \tau_w$, τ_w – напряжение трения на стенке); Δ – расстояние по нормали до стенки; μ , ν – коэффициенты ламинарной динамической и кинематической вязкости; U , V , W – компоненты осредненной скорости. Индекс w обозначает значение соответствующей величины на стенке. Другие обозначения в уравнениях и граничные условия для газодинамических компонентов являются общепринятыми в газовой динамике.

Эксперимент. Схема экспериментального стенда приведена на рис. 1. Экспериментальная модель для исследования щелевого перфорационного охлаждения помещалась в открытом воздушном потоке, нагретом в электроподогревателе омического сопротивления. Через модель продувался охлаждающий воздух. С помощью излучателя на исследуемую стенку направлялся радиационный тепловой поток, имитирующий излучение сажистого пламени в реальной камере сгорания по отношению величин радиационного и конвективного потоков тепла в стенку.

При измерении полей скорости и температуры в пограничном слое применялся комбинированный плоский насадок скоростного напора и термопара. Расход охлаждающего воздуха определялся с помощью расходной шайбы, а температура с помощью термопары хромель-копель. Для измерения тем-

пературы “горячей” пластины применялись тепловизионная аппаратура фирмы “AGEMA” и контрольные термопары хромель-копель.

Методика проведения эксперимента и описание используемых моделей приведены в [1, 2].

Результаты расчета и сравнение с экспериментом. Для условий эксперимента был выполнен расчет согласно приведенным выше уравнениям. Расчетная область представляла собой параллелепипед (рис. 2). Течение рассматривалось в декартовой системе координат (ось X направлялась вдоль пластины, ось Y – по нормали к ней, ось Z – поперек пластины). Длина расчетной области по оси X составляла 120 мм, по оси Y – 12 мм и по оси Z – 36 мм. Проводился сквозной счет на (существенно) неравномерной сетке со сгущением узлов по потоку в районе щелей охлаждения и по высоте пограничного слоя вблизи стенки. Общее число узлов составляло 1 225 305. Для детального исследования течения в районе щели использовалась дополнительная расчетная область, изображенная на рис. 2 штрихпунктиром в виде отдельного параллелепипеда.

В направлении оси X вдоль пластины подавался горячий поток с температурой $T_g = 430$ К и максимальной скоростью U_g , имеющий развитый турбулентный профиль

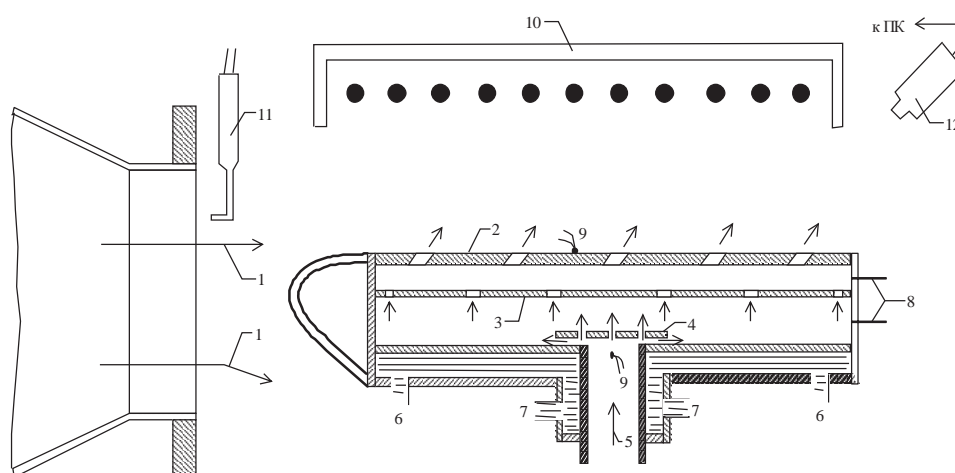


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

1 – нагретый поток воздуха, 2 – перфорированная “горячая” пластина с наклонными щелями, 3 – перфорированная “холодная” пластина, 4 – отбойник, 5 – охлаждающий воздух, 6, 7 – подводы и отводы вспомогательного охлаждающего воздуха, 8 – отборы статического давления, 9 – термопары, 10 – излучатель, 11 – комбинированный насадок для измерения параметров основного потока воздуха, 12 – приемная камера тепловизора. Стрелки означают направления движения охлаждающего воздуха

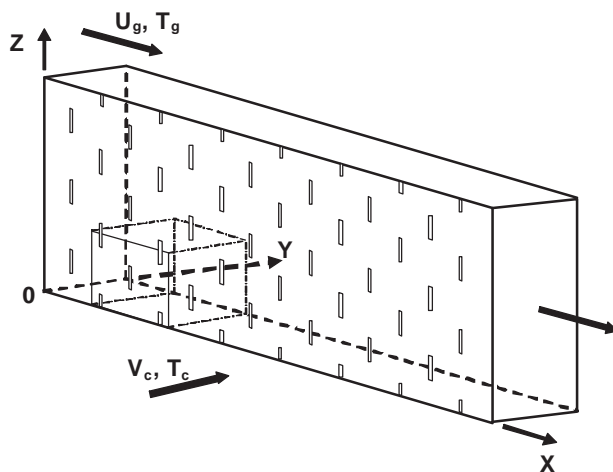


Рис. 2. Схема расчетной области

продольной скорости со степенным законом $1/7$. Через щели в пластине выдувался охладитель с температурой $T_c = 293$ К. Число Рейнольдса основного потока составляло 37500. Стенка считалась адиабатической.

Рассматривалось шахматное расположение щелей на исследуемой пластине. Шаг между щелями в продольном направлении (по оси X) равнялся 16 мм, шаг в поперечном направлении (по оси Z) составлял 12 мм. Последний размер считался характерным и принимался за единицу. Форма расчетных щелей представлена на рис. 3. Рассматривались щели с наклоном в направлении основного потока под углом φ_s к нормали пластины. В зависимости от формы щели исследовалось два способа подачи охладителя. В первом случае охладитель подавался через наклонные прямоугольные щели, во втором – через

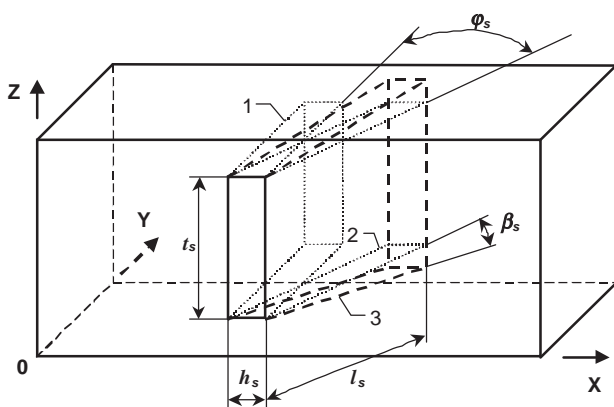


Рис. 3. Схема расчетных щелей охлаждения:
1 – нормальная щель, 2 – наклонная щель,
3 – наклонная расширяющаяся щель

наклонные расширяющиеся щели (при постоянной высоте щели) с углом раскрытия β_s (реализуется так называемая веерная струя).

Так как расчет течения в каналах охлаждения не проводился, то наклонная подача охладителя в сносящий поток моделировалась через граничные условия путем задания соответствующих компонент скорости. Продольный угол подачи охладителя задавался равным углу наклона щели φ_s . Трансверсальный угол в случае прямоугольной струи принимался равным нулю, а в случае веерной струи задавалось его линейное изменение от 0 в центре щели до $\pm\beta_s$ на его кромках. Значение угла β_s варьировалось от 0 до 30° . В расчетах угол наклона щелей принимался равным 50° в соответствии с результатами ранее проведенных экспериментов.

Типичная картина распределения расчетной продольной скорости вблизи охлаждаемой стенки приведена на рис. 4.

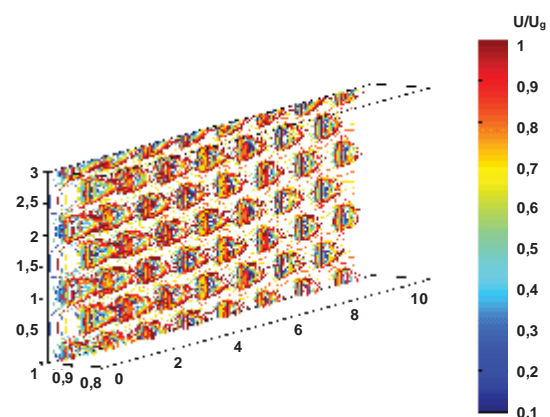


Рис. 4. Расчетное распределение относительной продольной скорости около поверхности пластины, $\rho V_w / \rho U_g = 0,02$

На рис. 5 приведено сравнение расчетных распределений температур стенки с экспериментальными распределениями, полученными с помощью тепловизора. Если по среднему уровню температур вдоль пластины расчетные и экспериментальные данные совпадают, то локальные значения отличаются. Это объясняется тем, что тепловизором регистрируется температура стенки, сглаженная по оси X в результате теплопроводности материала стенки. В расчетных распределе-

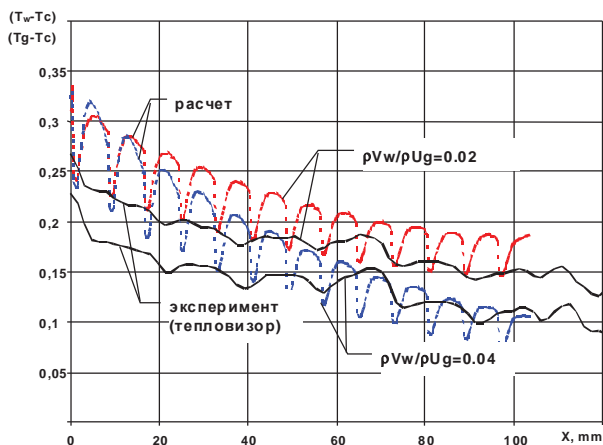


Рис. 5. Продольные распределения температуры “горячей” стороны стенки

ниях эта теплопроводность не учитывается, в результате чего по длине получается периодическая зависимость, связанная с продольным шагом между щелями.

На рис. 6 приведены экспериментальные данные изменения эффективности охлаждения стенки со щелями на расстоянии 140 мм от ее начала в зависимости от расхода охладителя. Для сравнения эффективности охлаждения “горячих” различных перфорированных стенок здесь же приведены экспериментальные данные для наклонных отверстий с $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ и 70° . Как видно, эффективности двух сравниваемых систем (щель – $\alpha = 50^\circ$ и отверстия – $\alpha = 70^\circ$) оказались практически одинаковыми как при от-

сутствии внешнего радиационного потока, так и при его наличии. При одинаковом наклоне щели и отверстий глубина проникновения охлаждающих струй из щелей меньше, чем при истечении охладителя из отверстий, что и объясняет преимущество наклонных щелей перед наклонными отверстиями по эффективности охлаждения при одинаковом расходе охладителя.

Расчетное поверхностное распределение адиабатической температуры перфорированной стенки с прямоугольными щелями показано на рис. 7. Как и следовало ожидать, минимальные значения продольной скорости и температуры реализуются непосредственно за щелями охлаждения.

На рис. 8 представлено расчетное поверхностное распределение адиабатической температуры перфорированной пластины при веерной подаче охладителя. Из сравнения рис. 7 и 8 хорошо видно, что охлаждение стенки в промежутках между щелями при веерной подаче охладителя происходит значительно более эффективно.

Как следует из расчета, при прямой подаче охладитель отклоняется от пластины в сторону горячего потока. При веерной подаче охладитель разворачивается и растекается вдоль перфорированной пластины. Сравнение расчетных линий тока в окрестности прямоугольной ($\beta_s = 0^\circ$) и веерной щели ($\beta_s = 20^\circ$) приведено на рис. 9.

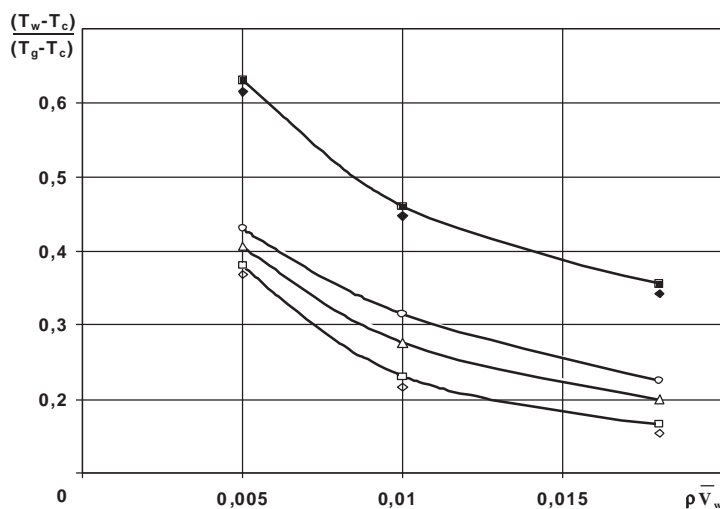


Рис. 6. Изменение температуры двойной перфорированной стенки в зависимости от относительной скорости вдува охлаждающего воздуха при различном отношении радиационного и конвективного потоков тепла (светлые значки $q_r/q_c = 0$, темные – $q_r/q_c = 1,4$). Щели: $\downarrow, \triangleleft$ – $\alpha = 50^\circ$. Отверстия ($d = 0,9$ мм): \square – $\alpha = 0^\circ$; \triangle – $\alpha = 45^\circ$; \circ – $\alpha = 70^\circ$

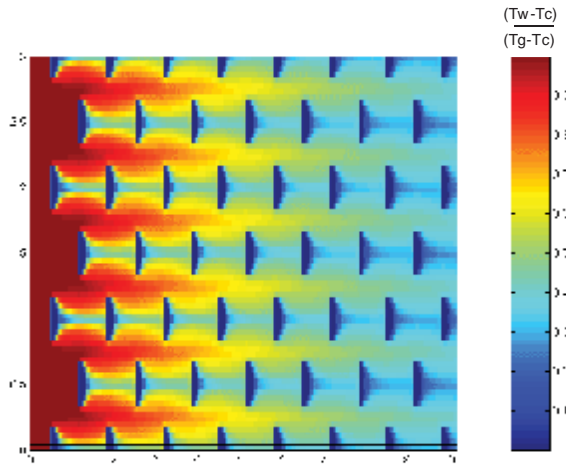


Рис. 7. Расчетное распределение адиабатической температуры по поверхности пластины с прямоугольными щелями ($\beta_s = 0^\circ$), $\rho V_w / \rho U_g = 0,02$

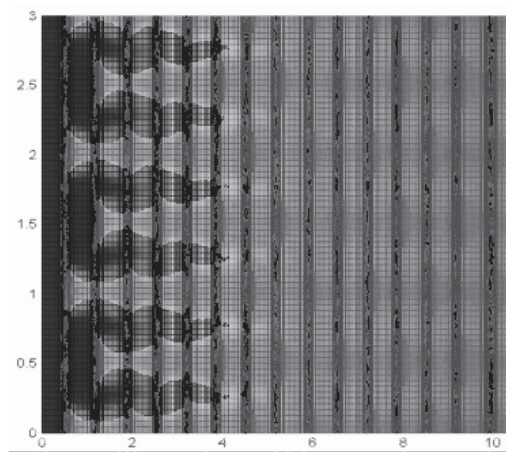


Рис. 8. Расчетное распределение адиабатической температуры по поверхности пластины с расширяющимися щелями ($\beta_s = 0^\circ$), $\rho V_w / \rho U_g = 0,02$

На рис. 10 представлена зависимость эффективности перфорационного охлаждения от угла раскрытия веерной струи. Под эффективностью охлаждения $\Delta\theta_w$ понимается разница осредненных по ширине пластины относительных избыточных температур в начале и в конце элемента. Как видно из рисунка, при увеличении отклонения боковых стенок щели от нормали с 0 до 30° эффективность перфорационного охлаждения секции увеличивается примерно вдвое, причем наиболее резкий рост эффективности происходит при $\beta_s > 20^\circ$, когда линии тока охладителя разворачиваются параллельно пластине. Необходимо отметить, что дальнейшее уве-

личение угла раскрытия щели может привести к отрыву потока охлаждающего воздуха от боковых стенок, что приведет к снижению эффективности данного способа охлаждения.

Список литературы

1. Рекин А. Д., Жестовский В. В., Лукаш В. П., Стряпунин С. А. Экспериментальное и расчетное исследование теплового и напряженного состояния перфорированной стенки жаровой трубы с различным наклоном отверстий и шагом между ними // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей». - Вестник СГАУ, №2 (2). Самара: Самарский госу-

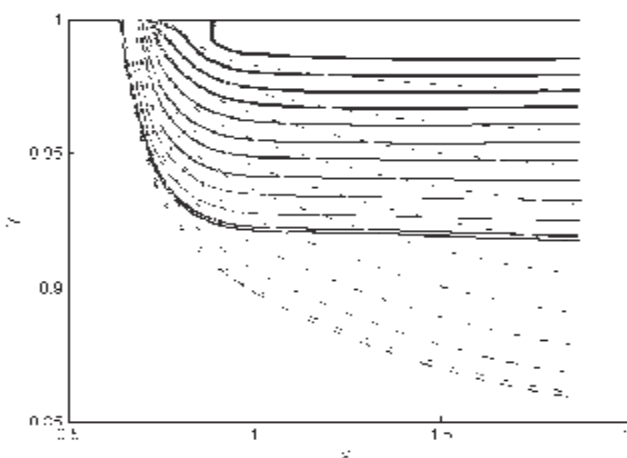


Рис. 9. Линии тока в центральной плоскости (X,Y) в окрестности щели охлаждения; пунктир – $\beta_s = 0^\circ$, сплошные линии – $\beta_s = 20^\circ$

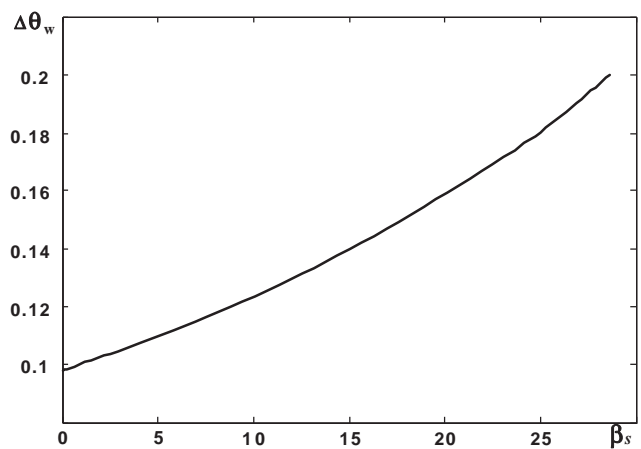


Рис. 10. Зависимость эффективности перфорационного охлаждения от угла раскрытия веерной струи

дарственный аэрокосмический университет, 2002. - С. 81-87.

2. Рекин А. Д., Лукаш В. П., Стряпунин С. А. Экспериментальное определение конвективного теплообмена с горячей и холодной сторон стенки при перфорационном ее охлаждении // Труды Третьей Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Том 2. Вынужденная конвекция од-

нофазной жидкости. - М.: Издательство МЭИ, 2002. - С. 239-242.

3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

4. Chien, K.-Y., “Predictions of Channel and Boundary-Layer Flows with Low-Reynolds-Number Turbulence Model,” AIAA Journal, vol. 20, 1982, p. 33-38.

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE THERMAL STATE OF A PERFORATED WALL OF A LINER WITH INCLINED SLOTS

© 2006 V. P. Lukash, A. I. Mayorova, A. D. Rekin, A. A. Sviridenkov, S. A. Stryapunin

Central Institute of aircraft engine construction, Moscow

The thermal state of a perforated wall with inclined slots for liners was determined experimentally by means of a thermovision system. Three-dimensional calculations of boundary layer aerodynamics on the wall with cooling air injection through discrete inclined slots were carried out on the basis of numerical integration of a three-dimensional system of Navier-Stokes equations. It is established that the cooler jet penetrate into a hot stream less intensively with fan air supply than with straight supply. Consequently, the wall is cooled more efficiently with fan air supply. Dependence of cooling efficiency on the angle of inclined slots was obtained.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЕРФОРАЦИЯ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭЛАСТИЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

© 2006 В. К. Моисеев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Предложена методика управления последовательностью пробивки отверстий при перфорации трубчатых изделий эластичным инструментом. Приведен пример расчета эластичного пуансона для последовательной перфорации трубчатых фильтров.

Отверстия в стенках трубчатых деталей выполняются различными способами, наиболее распространенными из которых являются сверление, фрезерование, растачивание, пробивка отверстий в штампах. Основные сложности при использовании этих процессов обуславливаются небольшой жесткостью и затрудненным доступом внутрь изделий: смятие и коробление тонкостенных конструкций, поломка инструмента, отклонения от соосности пуансонов и матриц, особенно для длинных изделий небольшого диаметра, неудобство снятия заусенцев на внутренней поверхности труб и т. д. Этим недостаткам лишено выполнение разделительных операций штамповкой эластичной средой по жесткой матрице. При такой штамповке изделия не коробятся и одновременно калибруются, а на кромке среза со стороны действия эластомера образуются скругления с радиусом, равным примерно толщине стенки трубы.

Так как разделительные операции осуществляются, в основном, при размещении эластичного инструмента внутри трубы, то снимается исключительно трудоемкая и сложная ручная операция по снятию заусенцев на внутренней поверхности изделия.

На рисунке 1 представлена схема пробивки отверстий с помощью полиуретанового пуансона в универсальном штампе. Этот универсальный штамп предназначен для штамповки из трубчатых заготовок фильтров нескольких близких типоразмеров с большим количеством отверстий и неглубоким рельефом поверхности. Детали изготавливаются из цельнотянутых трубчатых заготовок из нержавеющей стали, толщина стенки трубы 1 мм. Штамп состоит из обоймы 1 со встав-

кой 2, устанавливаемых и закрепляемых на столе пресса 12, разъемной матрицы 3, эластичного пуансона 5, штока 6, прикрепляемого к ползуну пресса, направляющей 7, упора 10 и выталкивателя 11.

Штамп работает следующим образом. В исходном состоянии на столе пресса стоит обойма 1 со вставкой 2, а шток 6 находится на ползуне пресса, выведенном в верхнее положение. Выталкиватель 11 опущен вниз. Внутри вставки 2 устанавливается упор 10, на него надевается трубчатая заготовка 4 с матрицей 3. В заготовку вкладывается полиуретановый пуансон 5, ставится и закрепляется направляющая 7. Шток 6 на холостом ходу пресса опускается и входит в направляющую 7 (рис.1, слева). При создании усилия пресса шток 6 давит на полиуретановый пуансон 5, полиуретан оказывает воздействие на стенку заготовки и деформирует ее вплоть до разделения по острым режущим кромкам матрицы. В результате получается деталь 8, соответствующая профилю и контуру матрицы (рис.1, справа). После снятия нагрузки шток 6 выводится в верхнее положение, открепляется и снимается направляющая 7. С помощью выталкивателя 11 и упора 10 из вставки 2 выводится матрица 3 с деталью 8 и отходом 9 и пуансон 5. Разъемная матрица раскрывается, из нее извлекается готовая деталь. После удаления из отверстий полуматриц отхода 9 цикл изготовления детали начинается снова. Сменными в штоке являются матрица 3, которая заменяется при каждой смене наименования штампуемой детали, а также вставка 2, пуансон 5, шток 6, направляющая 7 и упор 10, которые заменяются в том случае, когда меняется диаметр загото-

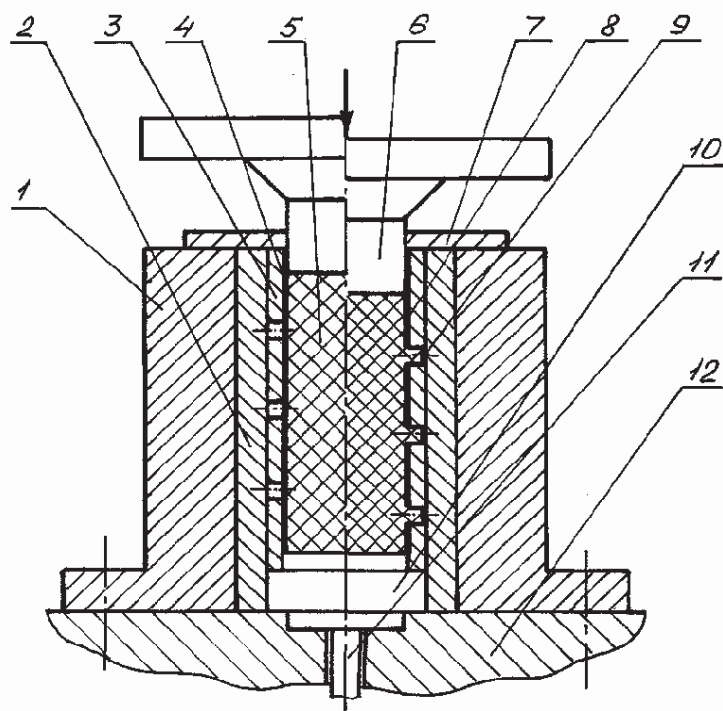


Рис. 1. Схема штампа для пробивки отверстий в трубной заготовке полиуретановым пуансоном по жесткой матрице: 1 – обойма; 2 – вставка; 3 – матрица; 4 – трубная заготовка; 5 – пуансон; 6 – шток; 7 – направляющая; 8 – деталь; 9 – отход; 10 – упор; 11 – выталкиватель; 12 – стол прессы

вок. Конструкция данного и подобных штампов защищена авторскими свидетельствами на изобретения [1, 2].

Эластичный пуансон целесообразно изготавливать составным из шайб, причем диаметры верхних шайб пуансона должны быть меньше диаметров нижележащих шайб с тем, чтобы между заготовкой и эластичным пуансоном в исходном состоянии имелся увеличивающийся кверху зазор. В верхней части пуансона между эластичными шайбами рекомендуется ставить металлические прокладки толщиной 1...2 мм.

Зазор и прокладки позволяют регулировать давление эластичной среды на заготовку так, что давление внизу будет большим, чем давление в верхней части. В этом случае пробивка отверстий на начальной стадии осуществляется в нижней части трубной заготовки с последующим распространением вверх. Такое конструктивное решение эластичного пуансона – переменной жесткости – позволяет управлять давлением эластичной среды [3, 4]. В случае, если пуансон будет выполнен с постоянным диаметром, равным внутреннему диаметру заготовки, пробивка отверстий начнется в верхней части с последую-

щим распространением вниз. При этом эластомер затекает в верхние отверстия матрицы и смещается вниз, заполняя нижний ряд отверстий. Такое перетекание эластичного материала приводит к его разрушению, выкрашиванию и выходу из строя иногда после первого цикла нагружения.

Таким образом, более предпочтительной является технологическая схема перфорации эластичным пуансоном переменной жесткости, т. е. управляемым давлением эластичной среды. Для осуществления схемы перфорации снизу вверх необходимо разработать методику определения размеров верхних шайб пуансона, обеспечивающих указанный выше зазор между пуансоном и заготовкой в начальной стадии процесса. Этот зазор должен сокращаться по мере нарастания усилия штамповки так, чтобы в момент его исчезновения нижняя часть заготовки уже оказалась бы нагруженной некоторым давлением Δq . Величина Δq должна обеспечить компенсацию возможной разницы в необходимом давлении пробивки отверстия Δq_1 из-за разнотолщинности стенки Δs в пределах допуска. Кроме того, это давление должно компенсировать потери на трение Δq_2 , кото-

рое вызывает падение давления по высоте заготовки. Следовательно,

$$\Delta q = \Delta q_1 + \Delta q_2. \quad (1)$$

Для пробивки круглых отверстий диаметром до $1/3 \dots 1/4$ диаметра заготовки, а именно такие отверстия и имеют упомянутые выше фильтры, необходимое давление составляет [4]

$$q = \frac{4s\sigma_{cp}}{d} = \frac{3s\sigma_B}{d}, \quad (2)$$

где s – толщина стенки заготовки; σ_B – предел прочности материала трубы; d – диаметр пробиваемого отверстия.

Таким образом, первая составляющая в формуле (1)

$$\Delta q_1 = \frac{3\Delta s\sigma_B}{d}. \quad (3)$$

Для определения потерь на трение можно использовать следующую расчетную модель (рис. 2). Эластичный элемент толщиной dx находится в равновесии под действием давлений q , $q - dq$ и сил трения элемента о заготовку F . Учитывая, что силы давления и трения распределены по соответствующим площадям, уравнение равновесия элемента в проекции на ось x будет иметь вид:

$$q \frac{\pi d^2}{4} - (q - dq) \frac{\pi d^2}{4} - F = 0, \quad (4)$$

где d – диаметр элемента (диаметр внутренней поверхности трубной заготовки).

Пренебрегая бесконечно малыми второго порядка, силу трения можно выразить через давление, площадь и коэффициент трения

$$F = f q \pi d dx, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения между эластичной средой и заготовкой.

Коэффициент трения между эластомерами и металлами зависит от многих факторов, главными из которых при холодной квазистатической штамповке являются марки материалов контактирующих пар, твердость эластомера и величина контактного давления. С достаточной для инженерных расчетов точностью коэффициент трения можно определять упрощенно:

$$f = \frac{b}{q+a} + c, \quad (6)$$

где q – величина давления эластичной среды; a , b , c – коэффициенты, учитывающие марки материалов и наличие смазки [4].

С учетом (5) и (6) уравнение равновесия эластичного элемента (4) можно переписать в виде

$$q \frac{\pi d^2}{4} - (q - dq) \frac{\pi d^2}{4} - \left(\frac{b}{a+q} + c \right) q \pi d dx = 0. \quad (7)$$

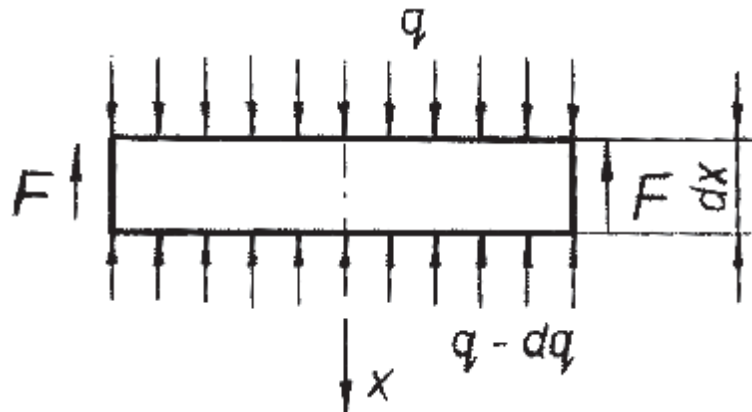


Рис. 2. Элемент эластичного пуансона под нагрузкой

После соответствующих преобразований и интегрирования была получена следующая логарифмическая зависимость:

$$x = \left(\frac{1}{m} - \frac{a}{n} \right) \ln(mq + n) + \frac{a}{n} \ln q + \left(\frac{a}{n} - \frac{1}{2m} \right) \ln m + C, \quad (8)$$

где $m = \frac{4c}{d}$; $n = \frac{4(b+ac)}{d}$.

Постоянную интегрирования C можно определить, используя граничные условия:

$x = 0$; $q = q_T = \frac{4P}{\pi d^2}$. Это означает, что на

верхнем торце эластичного пуансона действует давление q_T , на которое трение не оказывает влияния.

В окончательном виде связь между давлением эластичной среды и координатой x , обозначающей расстояние от торца эластичного пуансона, может быть представлена следующей зависимостью:

$$x = \frac{1}{n} \left(\frac{b}{c} \ln \frac{mq + n}{mq_T + n} + a \ln \frac{q}{q_T} \right). \quad (9)$$

Полученная зависимость (9) проиллюстрирована графиками (рис. 3), на которых показано падение давления по высоте трубы

относительно торцевого давления q_T при различных его значениях (от 10 до 600 МПа). Расстояние от торца представлено в безразмерном виде отношением расстояния x к внутреннему диаметру трубы d . Расчет произведен для контактирующих пар: полиуретан СКУ-7Л - нержавеющая сталь 12Х18Н10Т - без смазки.

По этим графикам для конкретного случая несложно определить величину второй составляющей формулы (1) Δq_2 для нижней части штампуемой детали.

Характеристика сжатия эластичной шайбы описывается зависимостью [5]

$$P = \frac{1}{3} EF\beta \left(\frac{1}{\lambda^2} - \lambda \right), \quad (10)$$

где $\lambda = \frac{h - \Delta}{h}$ - степень сжатия шайбы; h -

начальная высота шайбы; Δ - осадка по высоте; F - начальная площадь торца; E - модуль упругости; β - коэффициент ужесточения.

Модуль упругости E эластомеров зависит от их марки и твердости [4, 5]. Для полиуретана, наиболее часто применяемого в штамповке (СКУ-7, тв. 82...84 ед. по Шору А), он составляет примерно 10 МПа. Коэффициент ужесточения β учитывает краевой эффект и зависит от отношения диаметра шайбы к ее высоте [5] (рис. 4).

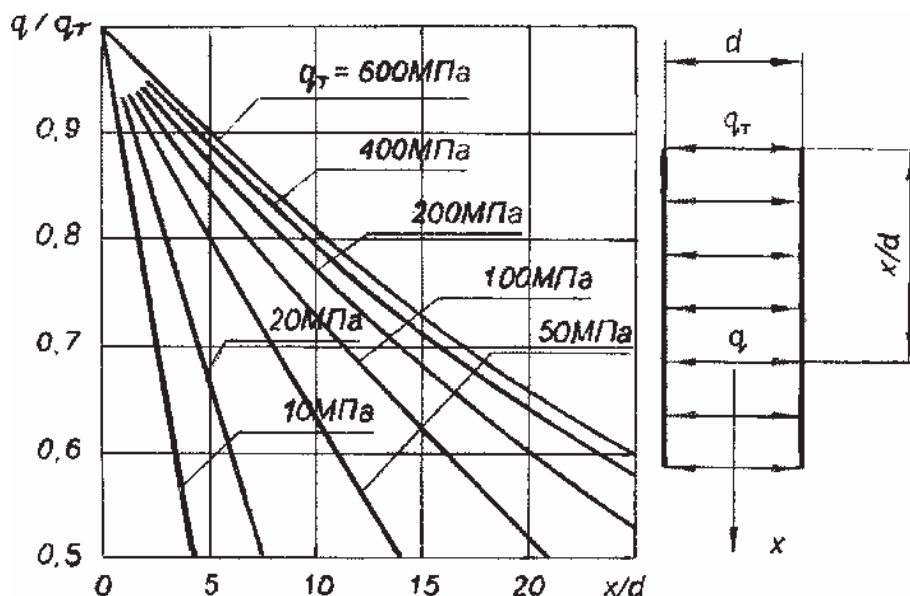


Рис. 3. Распределение давления полиуретана

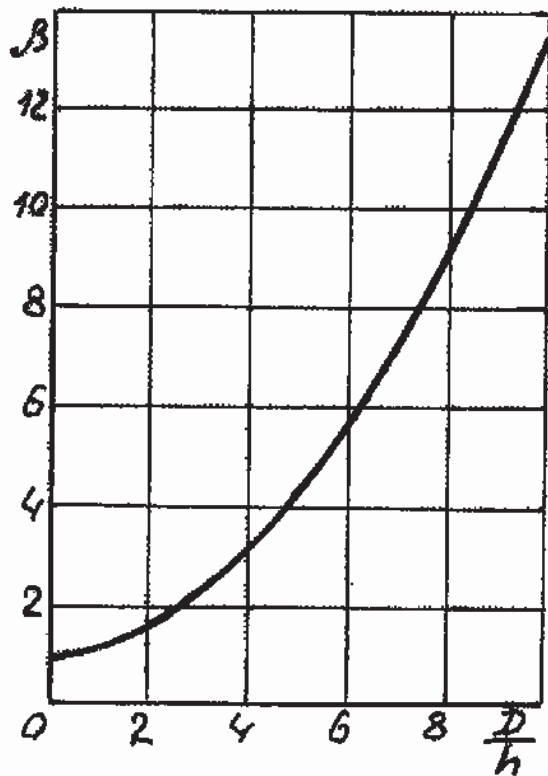


Рис. 4. Зависимость коэффициента ужесточения β от отношения диаметра и высоты шайбы

С учетом найденного суммарного значения Δq формулу (10) можно переписать в виде

$$\Delta q = \frac{1}{3} E \beta \left(\frac{1}{\lambda^2} - \lambda \right). \quad (11)$$

Исходя из этой зависимости и равенства объема верхней шайбы составного пуансона до и после сжатия, можно определить исходный диаметр верхней шайбы, т. е. обеспечить переменный зазор между заготовкой и эластичным пуансоном.

Рассмотрим пример расчета пуансона для последовательного перфорирования одного из фильтров в штампе, представленном на рис. 1. Фильтр имеет отверстия диаметром 8 мм, расположенные на длине 200 мм. Внутренний диаметр фильтра составляет 58 мм, толщина стенки $1^{+0,1}$ мм, материал – нержавеющая сталь 12X18H10T, $\sigma_B = 660$ МПа.

Давление, необходимое для пробивки отверстий, в соответствии с формулой (2) составит

$$q = \frac{3 \cdot 1 \cdot 660}{8} \approx 250 \text{ МПа.}$$

Согласно графику (рис. 3) при $\frac{x}{d} = \frac{200}{58} \approx 3,5$

и $q = 250$ МПа отношение $\frac{q}{q_T} \approx 0,9$, т. е. для

компенсации потерь на трение необходимо увеличить давление на торце пуансона на величину $\Delta q_2 \approx 25$ МПа.

С учетом возможной разнотолщинности в пределах допуска на толщину $\Delta s = 0,1$ мм по формуле (3)

$$\Delta q_1 = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 660}{8} \approx 25 \text{ МПа,}$$

и суммарное увеличение давления в соответствии с формулой (1)

$$\Delta q = 25 \text{ МПа} + 25 \text{ МПа} = 50 \text{ МПа.}$$

Таким образом, для обеспечения последовательной пробивки отверстий снизу вверх верхняя шайба пуансона должна иметь диаметр, обеспечивающий такой зазор между пуансоном и заготовкой, который будет сокращаться до нуля при сжатии шайбы давлением на торце величиной 50 МПа.

Пусть исходный диаметр верхней шайбы имеет диаметр D , а шайбы изготовлены из листа толщиной $h = 20$ мм, т. е. объем шайбы составляет

$$V = \frac{\pi D^2 \cdot 20}{4}.$$

После деформирования на величину Δ по высоте под воздействием давления $\Delta q = 50$ МПа объем равен

$$V = \frac{\pi 58^2 \cdot (20 - \Delta)}{4}.$$

Исходя из допущения о несжимаемости, т. е. равенства объемов, можно получить

$$D = \sqrt{3364 - 168 \Delta}. \quad (12)$$

Коэффициент ужесточения в формуле (11) можно приближенно определить, пренебрегая величиной зазора в силу его малости по сравнению с диаметром шайбы, т. е. при-

няв $\frac{D}{h} = \frac{58}{20} = 2,9$. С учетом этого из графика (рис. 4) следует, что $\beta \approx 3,3$.

Из уравнения (11) с учетом того, что шайба высотой 20 мм сжимается предварительно давлением 50 МПа, т.е. $\Delta q = 50$ МПа, можно получить, что $\Delta = 7,3$ мм, и из уравнения (12) $D = 46$ мм.

Таким образом, в исходном состоянии в верхней части пуансона необходимо обеспечить зазор между пуансоном и заготовкой 6 мм на сторону и выполнить пуансон в виде усеченного конуса с верхним диаметром 46 мм и нижним диаметром 58 мм.

Пробивка отверстий таким эластичным инструментом будет происходить по благоприятной схеме снизу вверх.

Технологический процесс последовательной перфорации трубчатых изделий эластичным инструментом внедрен в производство при изготовлении топливных фильтров космической техники.

Список литературы

1. Авт. свид. №624686 МКИ В21d28. Устройство для пробивки отверстий в трубчатых деталях эластичной средой./ А. Д. Комаров, В. К. Моисеев, Т. А. Голиусов и др. (СССР).
2. Авт. свид. №1184586 МКИ В21d28. Устройство для пробивки отверстий в трубчатых заготовках преимущественно эластичной средой./ А. Д. Комаров, В. К. Моисеев, А. В. Домогатский (СССР).
3. Авт. свид. №755378 МКИ В21d28. Способ штамповки./ В. К. Моисеев, В. Д. Щеголеватых, А. Д. Комаров и др. (СССР).
4. Барвинок В. А., Кирилин А. Н., Комаров А. Д., Моисеев В. К. и др. Высокоэффективные технологические процессы изготовления элементов трубопроводных и топливных систем летательных аппаратов. – М.: Наука и технологии, 2002.
5. Пономарев С. Д., Бидерман В. Л., Лихарев И. К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Т.2. – М.: Машгиз, 1956.

SEQUENTIAL PERFORATION OF TUBULAR ARTICLES BY ELASTIC TOOLS

© 2006 V. K. Moiseev

Samara State Aerospace University

The paper proposes a procedure for controlling the sequence of tubular articles by an elastics tool. An example of designing an elastic punch for sequential perforation of tubular filters is given.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ДОЗВУКОВЫМИ ГАЗОВЫМИ СТРУЯМИ

© 2006 А. А. Овчинников, В. В. Ледяев, М. В. Фетисов, К. Я. Якубовский

ФГУП ММП «Салют», г. Москва

Создание новых технических устройств требует теоретического обоснования закономерности проявления у них заявляемых признаков. Особенно такой этап важен для устройств и агрегатов двигателей летательных аппаратов (ЛА), надежность которых определяет безопасность эксплуатации воздушных транспортных средств. В статье на физическом и математическом уровне дается обоснование одного газодинамического способа управления дозвуковыми газовыми струями, основанного на использовании эффекта Коанда [1]. Обоснование дается с точки зрения наиболее общего подхода, основанного на свойствах решений дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа (ДУЧПЭТ) второго порядка.

1. Постановка задачи. Физическая модель течения газа

В соответствии с зональным подходом для многих важных технических приложений, в которых рассматривается течение газа у тел аэродинамической формы, можно пренебречь вязкостью и считать течение газа изэнтропическим. Вязкость газа для данных задач необходимо учитывать лишь в тонком пограничном слое у тела, поскольку она не оказывает влияния на характер течения газа в целом, которое в данном случае можно считать потенциальным – изэнтропическим. Подобные течения газа хорошо изучены теоретически, и для них доказаны теоремы существования и единственности решений [1].

В качестве исходного уравнения, описывающего течение газа, будем использовать уравнение Лапласа для потенциала скорости жидкости, а учет сжимаемости будем осуществлять с помощью поправки Кармана-Ченя.

При обосновании газодинамического способа управления дозвуковой струей газа (изменение направления ее течения) будем использовать теорию потенциального течения жидкости.

В динамике сплошной среды изучается движение самой среды с учетом сил, вызывающих это движение. Рассматривая только поверхностные силы, напряженное состояние элементарного объема жидкости, находящегося в покое, в декартовой системе координат $OXYZ$, можно определить через нормальные напряжения:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = -p,$$

где p – давление.

Таким образом, для реализации газодинамического способа управления необходимо организовать такое течение струи, чтобы к ней в поперечном направлении была приложена разность давлений.

2. Методология доказательства единственности решения задачи газодинамического управления дозвуковыми струями

Для корректно поставленных задач аэрогидродинамики, описываемых ДУЧПЭТ второго порядка, существует принцип максимума [2, 3], который гласит, что как максимальные, так и минимальные значения потенциала скорости должны достигаться на границах области (на поверхности тел). Решение данных задач существует и является единственным. Проверка правильности полученных решений осуществляется установлением того факта, что на границах области решение ведет себя должным образом.

Обоснование газодинамического способа управления дозвуковыми струями может быть проведено следующим образом:

- формулируется задача течения жидкости таким образом, чтобы она описывалась ДУЧПЭТ второго порядка, для чего необходимо рассматривать уравнение для потенциала скорости жидкости;

- в качестве устройства, реализующего эффект Коанда, выбирается ориентированная

по потоку хорошо обтекаемая профилированная поверхность (поверхность Коанда), что необходимо для получения единственного решения задачи;

- с помощью решения ДУЧПЭТ найдется аналитическое выражение для потенциальной функции (потенциала скорости) или ее численные значения;

- устанавливается тот факт, что решение ведет себя должным образом;

- по найденному решению находятся скорости на поверхности тела. Вследствие того, что потенциальные функции на границах области достигают своих минимальных и максимальных значений, скорость газа на некоторых участках поверхности будет больше, а на некоторых участках меньше скорости невозмущенного потока газа;

- по найденному распределению скоростей жидкости определяются давления, т. е. поверхностные силы, которые и приводят в итоге к отклонению струи в ее поперечном направлении;

- для проверки полученного решения оно сопоставляется с решением задачи обтекания той же поверхности потоком вязкой жидкости. Определяется, насколько адекватна принятая идеализированная математическая модель течения газа течению реальной вязкой жидкости;

- в заданной постановке полученное решение задачи обтекания поверхности аэродинамической формы будет единственным.

Таким образом, в случае, если исходную задачу течения газа можно свести к ДУЧПЭТ второго порядка, то аналитическое обоснование газодинамического способа управления дозвуковыми газовыми струями сводится к

использованию следствий лемм и теорем принципа максимума.

3. Обтекание профиля крыла потенциальным потоком газа

Для расчета циркуляционного обтекания профиля крыла потоком жидкости был использован метод, описанный в [4]. Течение моделировалось с помощью источников и стоков, непрерывно распределенных по поверхности крыла. Для выполнения условия Жуковского-Чаплыгина на задней кромке внутри профиля размещалась система дискретных вихрей.

На рис. 1 показан эскиз профиля крыла. Параметры жидкости определялись в связанной с расчетной точкой системе декартовых координат $on\tau$.

На рис. 2 представлены графики для безразмерных потенциальных функций для профиля крыла, находящегося в потоке жидкости, набегающем слева (рис. 1).

Как следует из рис. 2, потенциальные функции ведут себя должным образом: на верхней поверхности крыла функция достигает максимального значения, что приводит в итоге к разгону жидкости и минимизации давлений; на нижней поверхности потенциальная функция (для соответствующих значений безразмерных продольных координат) минимизируется, что приводит к уменьшению скорости и росту давлений.

На рис. 3 представлены результаты расчета циркуляционного обтекания профиля несжимаемой жидкостью. Из него следует, что на верхней поверхности крыла за счет разгона потока образуется протяженная область пониженного давления.

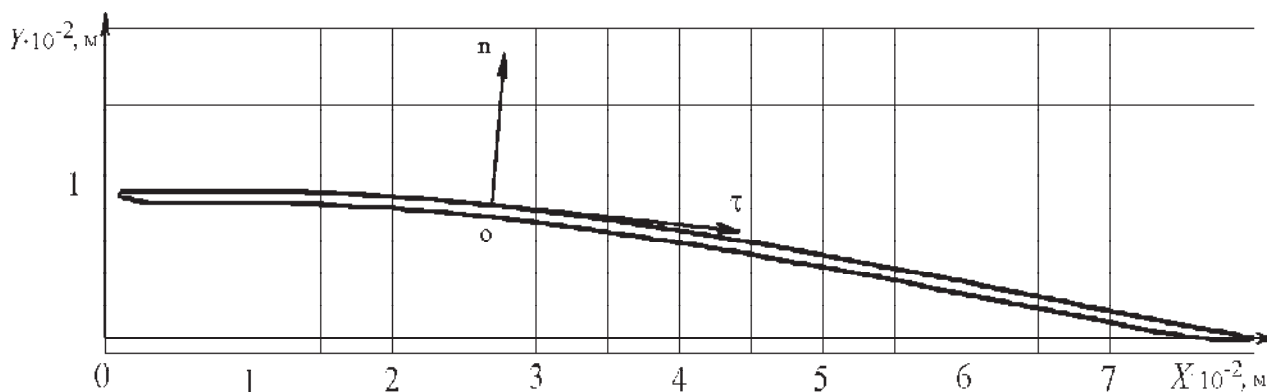


Рис. 1. Расчетная геометрия профиля крыла

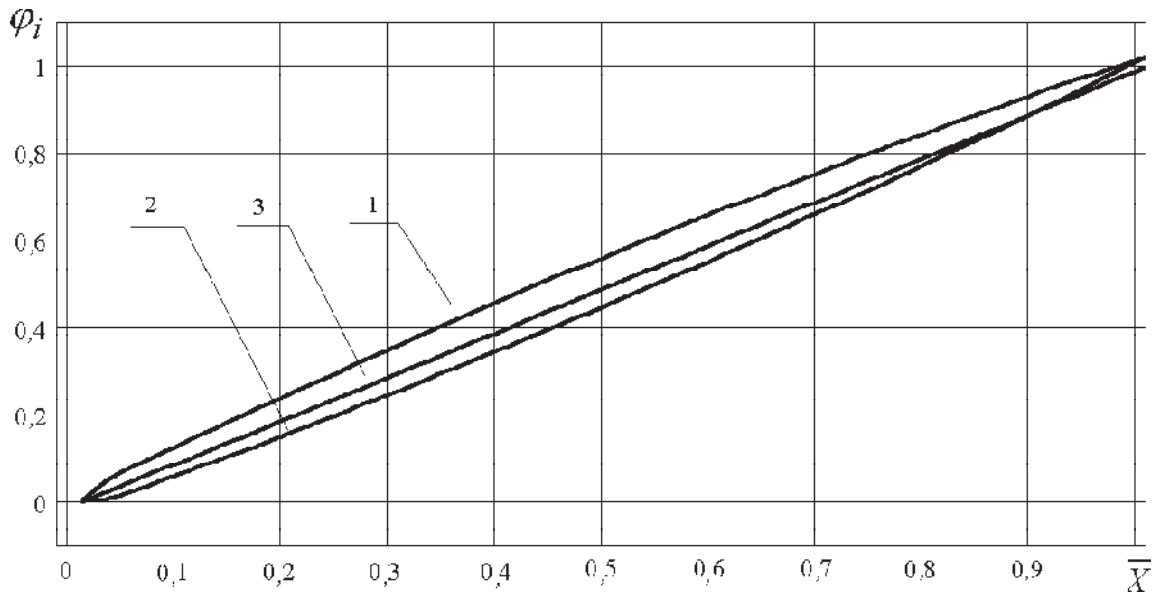


Рис. 2.

1 - график для суммарного значения безразмерной потенциальной функции $\Phi_{\Sigma_1} = \Phi_{\infty} + \Phi_1$ для верхней поверхности крыла; 2 - график потенциальной функции $\Phi_{\infty} = \bar{X}$ для невозмущенного потока жидкости; 3 - график функции $\Phi_{\Sigma_2} = \Phi_{\infty} + \Phi_2$ для нижней поверхности крыла; $\bar{X} = X / L$ - значение безразмерной продольной координаты, где L - длина профиля

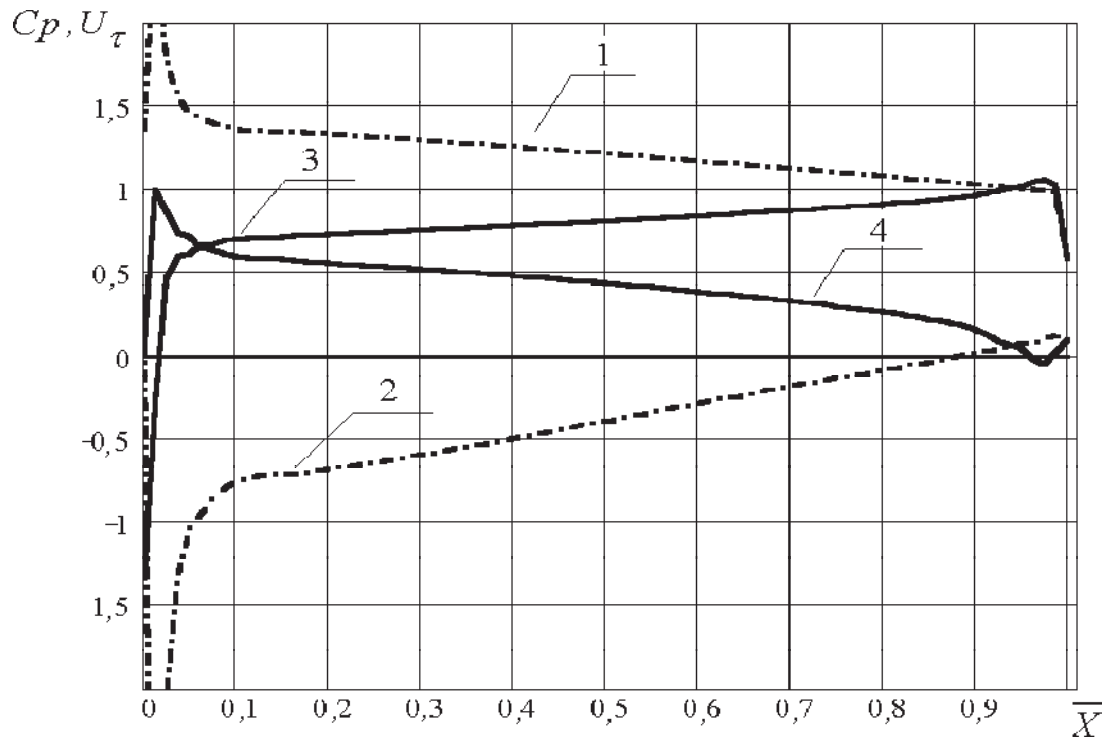


Рис. 3.

1 - график безразмерной скорости жидкости u_{τ} для верхней поверхности крыла; 2 - график коэффициента давлений $C_{p_i} = (P_i - P_{\infty}) / q_{\infty}$ для верхней поверхности крыла; 3 - график безразмерной скорости жидкости u_{τ} для нижней поверхности крыла; 4 - график коэффициента давлений для нижней поверхности крыла

На рис. 4, 5 представлено сопоставление результатов расчета обтекания верхней поверхности крыла воздухом с учетом вязкости с результатами расчетов обтекания профиля идеальным газом для различных чисел Маха.

Анализ полученных результатов показывает, что для чисел Маха $M \leq 0,7$ принятая математическая модель потенциального течения газа хорошо согласуется с результатами расчетов течения вязкого газа у профиля. Отличие наблюдается лишь у передней и задней кромок, где существенны вязкие эффекты в обтекании.

Начиная с числа Маха $M=0,8$, на верхней поверхности крыла появляются области местных сверхзвуковых скоростей, вследствие чего результаты расчетов начинают расходиться. Но вследствие того, что местные скачки уплотнения являются слабыми, они

(результаты) могут быть использованы для качественных (но не количественных) оценок полученных решений.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что если для отклонения струи газа в качестве поверхности Коанда использовать верхнюю поверхность рассматриваемого крыла, где давление минимально, то струя газа под действием разности давлений, образующихся на его поверхности и в свободном потоке, будет прилипать к профилю и, двигаясь вдоль него, изменять направление своего движения.

Эффект Коанда обычно формулируется как прилипание тонких струй к поверхности [1]. Определим, насколько далеко разрежение, образующееся над верхней поверхностью крыла, распространяется в направлении оси (рис. 1), что позволит оценить поперечные размеры струи, при которых она в той или

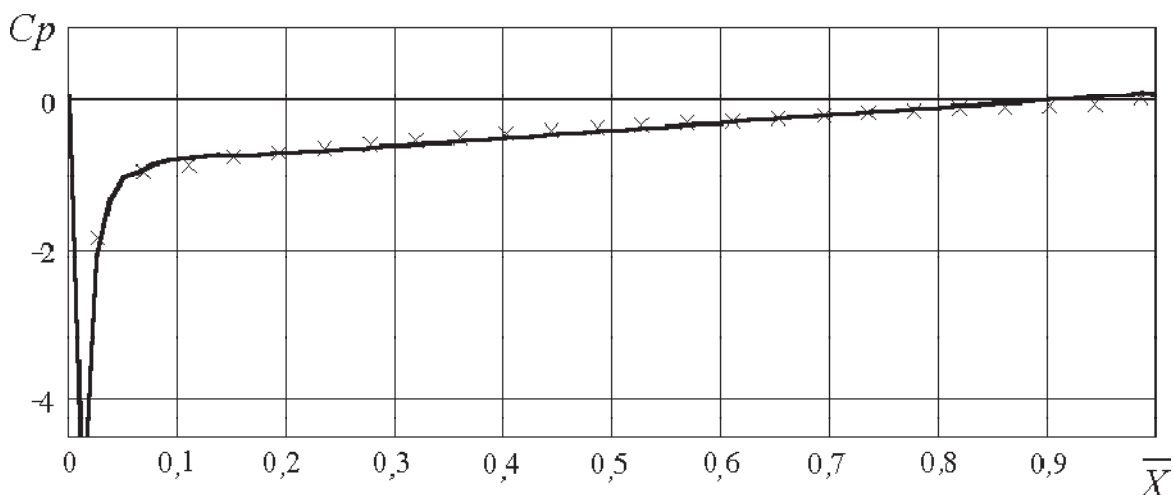


Рис. 4. Число Маха $M=0,05$. Графики для коэффициентов давлений:
 × × × - обтекание профиля воздухом с учетом вязкости;
 — - потенциальное обтекание идеальным газом

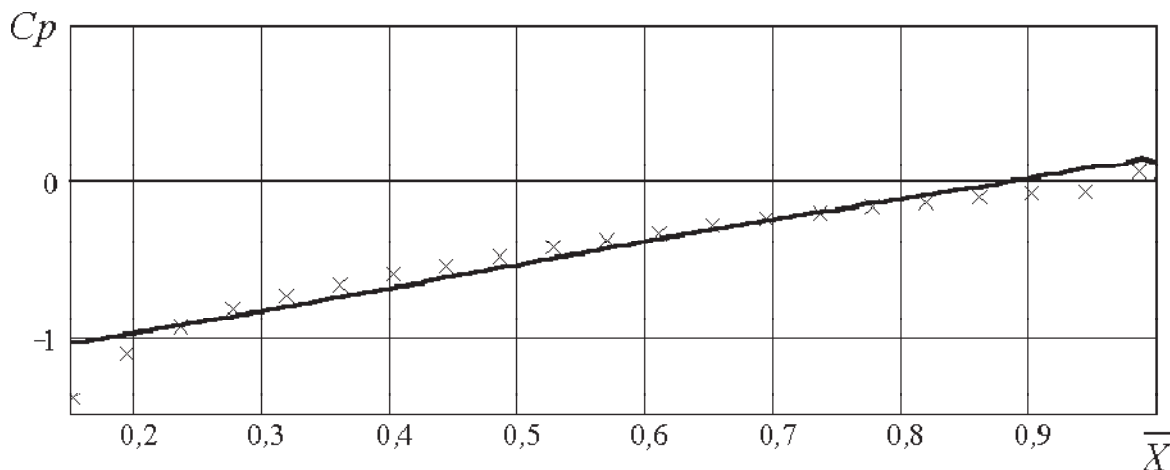


Рис. 5. Число Маха $M=0,7$. Графики для коэффициентов давлений:
 × × × - обтекание профиля воздухом с учетом вязкости;
 — - потенциальное обтекание идеальным газом

иной мере будет подвергаться воздействию поперечных «изгибных» напряжений от перепада давлений.

4. Исследование различных вариантов течения газа у поверхности крыла (плоская задача)

Проведем расчет обтекания профиля крыла (рис.1) безграничным потоком вязкого сжимаемого газа (воздуха) при числе Маха невозмущенного потока $M_\infty = 0,9$.

На рис. 6 представлен график изменения избыточных давлений газа $\Delta P_i = P_i - P_\infty$ над верхней поверхностью крыла в зависимости от расстояния вдоль местной нормали on .

График изменения избыточного давления (рис. 6) на расстоянии, равном длине профиля, близок к линейному. Это свидетельствует о том, что напряжения, действующие в поперечном направлении на поток газа, примерно одной величины и приложены не только к тонкому слою газа, непосредственно прилегающему к поверхности крыла, но и к значительной части потока над крылом, что приводит в итоге к изменению направления течения потока газа.

На рис. 7 представлены изобары (для избыточных давлений воздуха) у профиля крыла (масштабы по осям OX и OY одинаковы).

Как следует из рис. 7, над профилем образуется обширная зона пониженного давления, распространяющаяся круто вверх и характеризующаяся большим градиентом давлений. Суммарные напряжения, действующие на элементарный объем газа, находящегося над профилем, направлены по направлению к профилю. Влияя на величины напряжений, можно управлять направлением распространения газовых струй.

Полученный результат справедлив для струйных течений с высокими дозвуковыми скоростями, т. к. именно большие скорости позволяют сформироваться в потоке газа над поверхностью хорошо обтекаемой формы зоне разряжения, характеризующейся большой протяженностью в поперечном направлении.

Обтекание профиля крыла имеет свою особенность, которая заключается в том, что за счет циркуляции скорости (дополнительного разгона потока) давления, образующиеся на верхней поверхности крыла, меньше давлений на профиле без циркуляции. Уст-

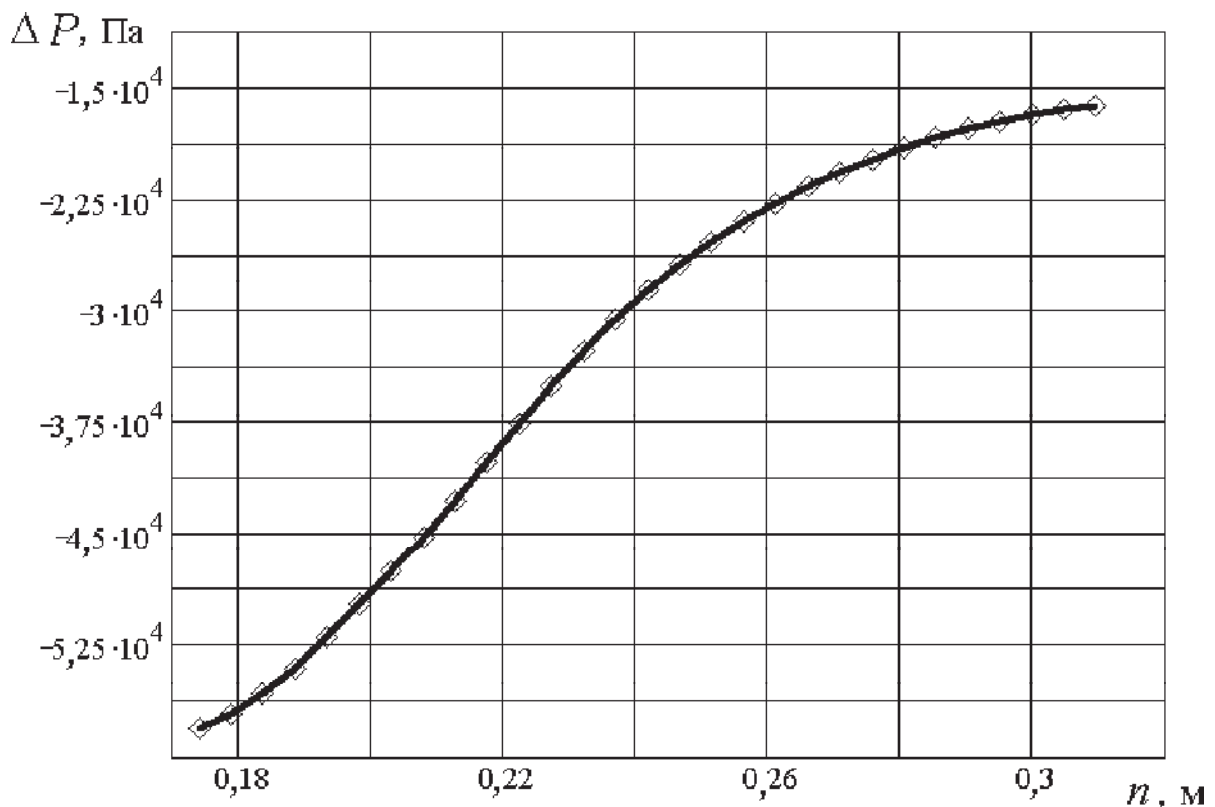


Рис. 6. Изменение давления ΔP_i над верхней поверхностью крыла

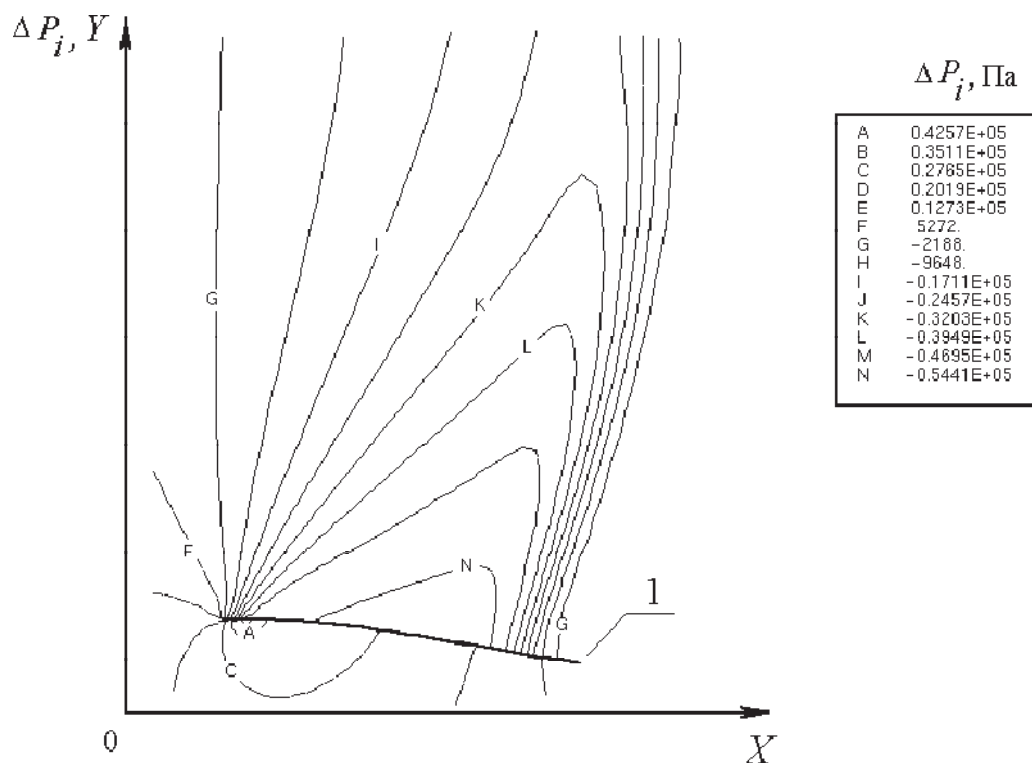


Рис. 7. Изобары у профиля крыла 1

раним циркуляцию скорости за счет разделения набегающего потока газа на две части: высокоскоростную – над профилем и низкоскоростную, обтекающую нижнюю часть профиля. При этом будем рассматривать струю ограниченных поперечных размеров – толщина струи равна (примерно) половине длины профиля. Число Маха невозмущенного потока $M_\infty=0,9$.

На рис. 8 представлено поле скорости газа у профиля крыла для струи ограниченных поперечных размеров.

На рис. 9 представлены изобары (для избыточных давлений воздуха) у профиля (масштабы по осям OX и OY одинаковы).

На рис. 10 представлен график изменения избыточных давлений газа $\Delta P_i = P_i - P_\infty$ над верхней поверхностью крыла в зависи-

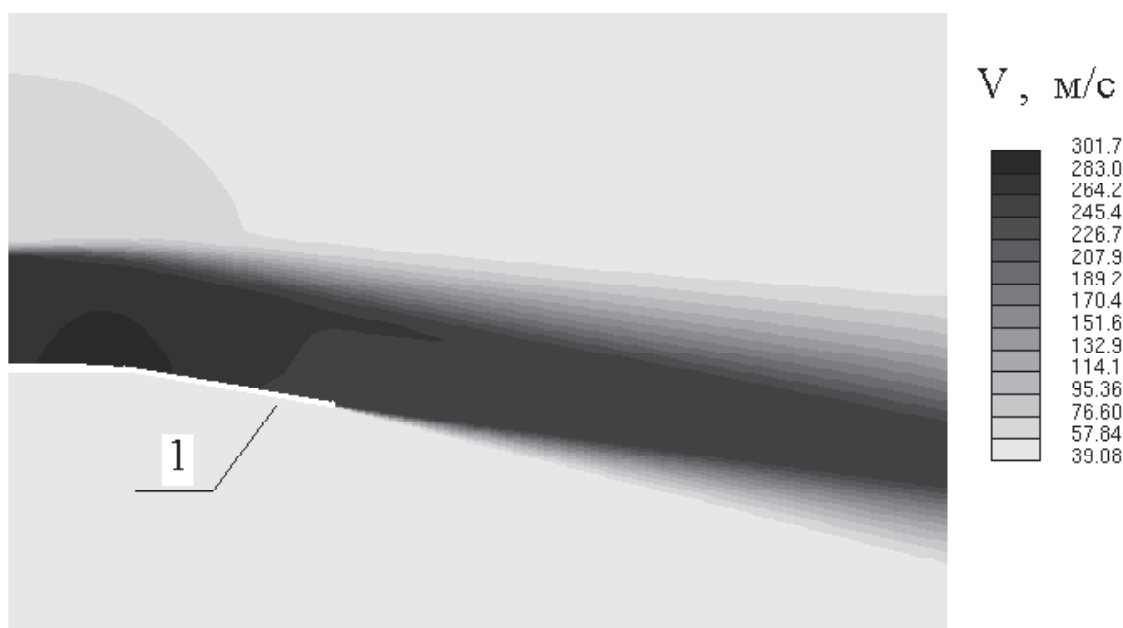


Рис. 8. Поле скорости газа у профиля крыла 1, угол отклонения струи 10°

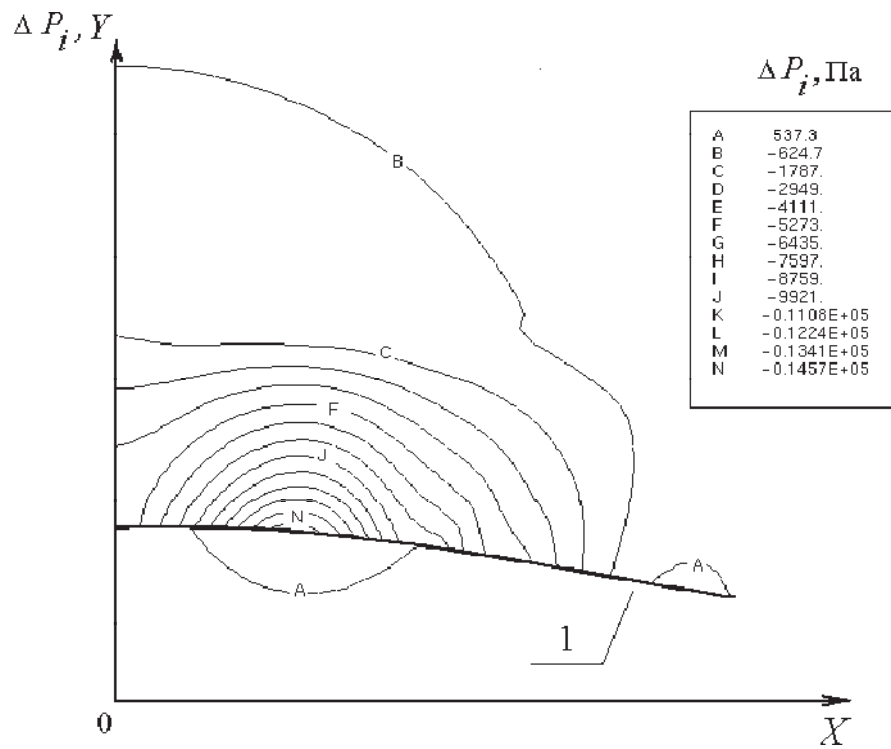


Рис. 9. Изобары у профиля крыла 1

мости от расстояния вдоль местной нормали on .

Как следует из рис. 9, 10, в струе ограниченных поперечных размеров в ее поперечном сечении действуют напряжения примерно одной и той же величины, что приводит в итоге к отклонению всей струи на угол, определяемый кривизной профиля (рис. 11).

Рассмотрим устойчивость проявления рассмотренного эффекта отклонения дозвуковой струи для неблагоприятной ситуации - случая, когда струя на начальном участке находится на некотором расстоянии от профиля, определяемом высотой перегородки, и не соприкасается с поверхностью крыла. На рис. 12 представлены линии тока для рассмат-

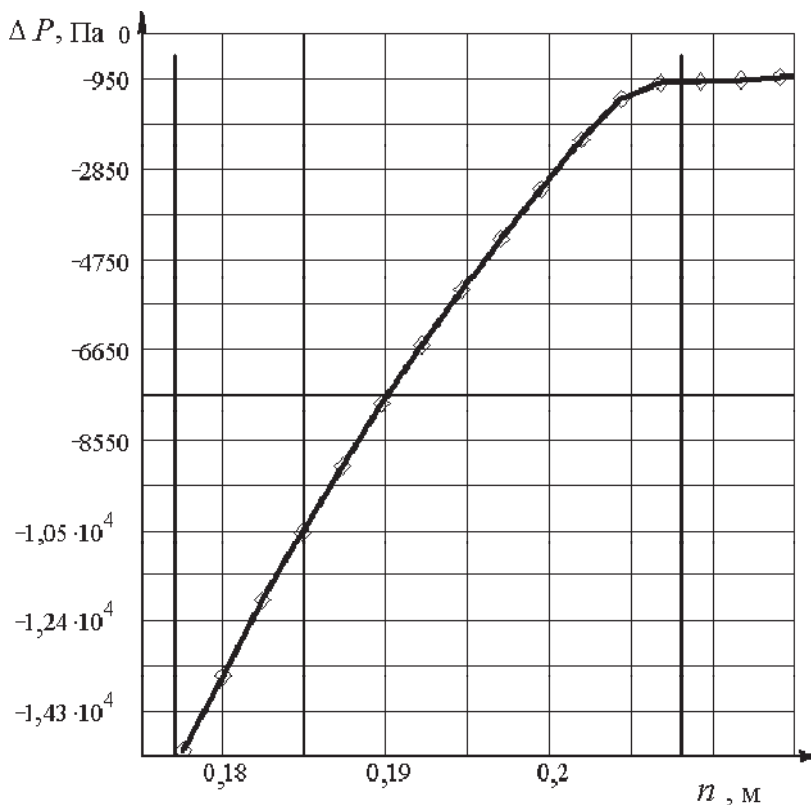


Рис. 10. Изменение избыточного давления ΔP_i над верхней поверхностью крыла для струи ограниченных поперечных размеров, вертикальные линии – границы струи

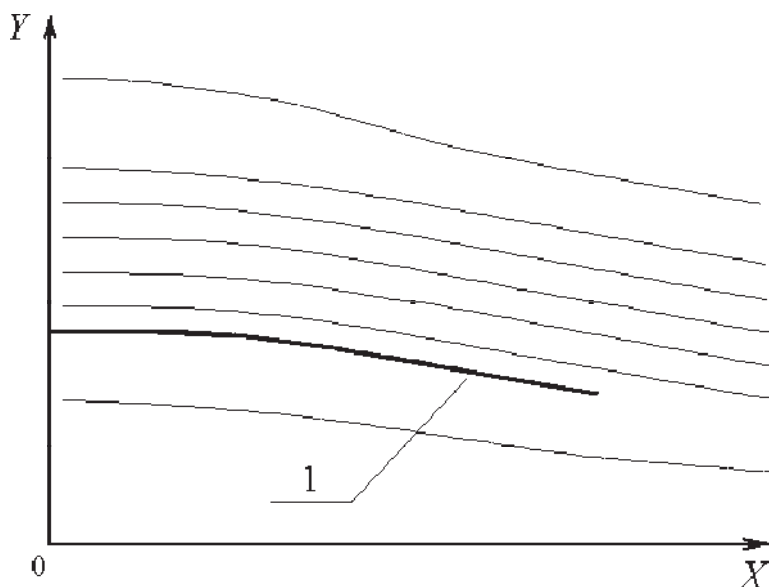


Рис. 11. Линии тока у профиля крыла 1

риваемого течения. Как следует из рисунка, непосредственно за перегородкой образуется область возвратно-циркуляционного движения газа. Это, тем не менее, не препятствует присоединению струи к поверхности крыла сразу за данной зоной, благодаря все той же области разрежения, образующейся над профилем и характеризующейся наличием суммарных напряжений, направленных к профилю (рис. 13).

Выводы

Выполненные исследования позволили установить, что рассматриваемый газодинамический способ, основанный на использовании поверхности Коанда, является надеж-

ным и эффективным средством управления направлением распространения дозвуковых газовых струй. Закономерность появления протяженной зоны пониженного давления над поверхностью аэродинамической формы, ориентированной по потоку, позволяет даже для неблагоприятных режимов распространения газовой струи (без соприкосновения с поверхностью) обеспечивать эффективный угол ее отклонения.

В работе показано, что основой образования над поверхностью Коанда обширной области пониженного давления является свойство дозвуковых течений газа разгоняться на криволинейных поверхностях, имеющих специальную форму и определенным

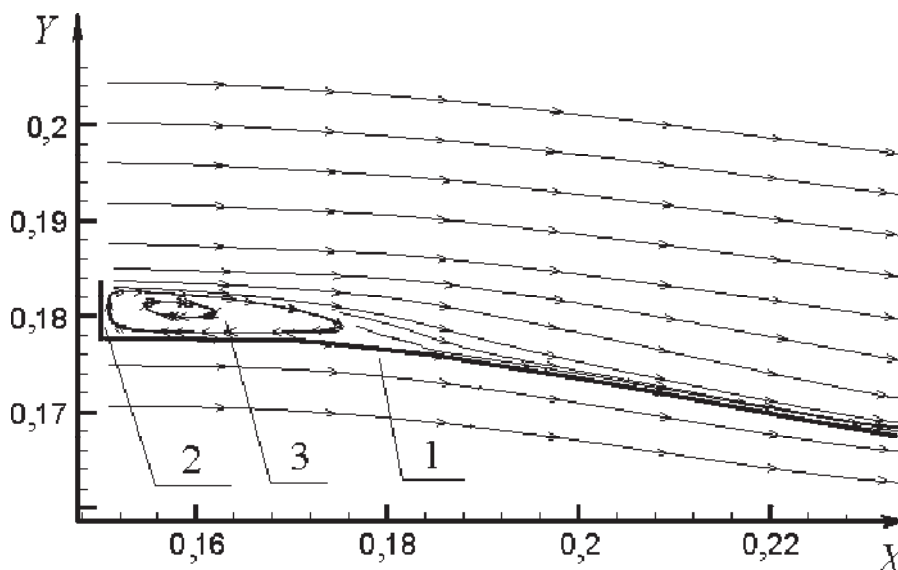


Рис. 12. Линии тока у профиля крыла и при наличии перегородки на начальном участке: 1 – профиль крыла; 2 – перегородка; 3 – зона возвратно-циркуляционного течения

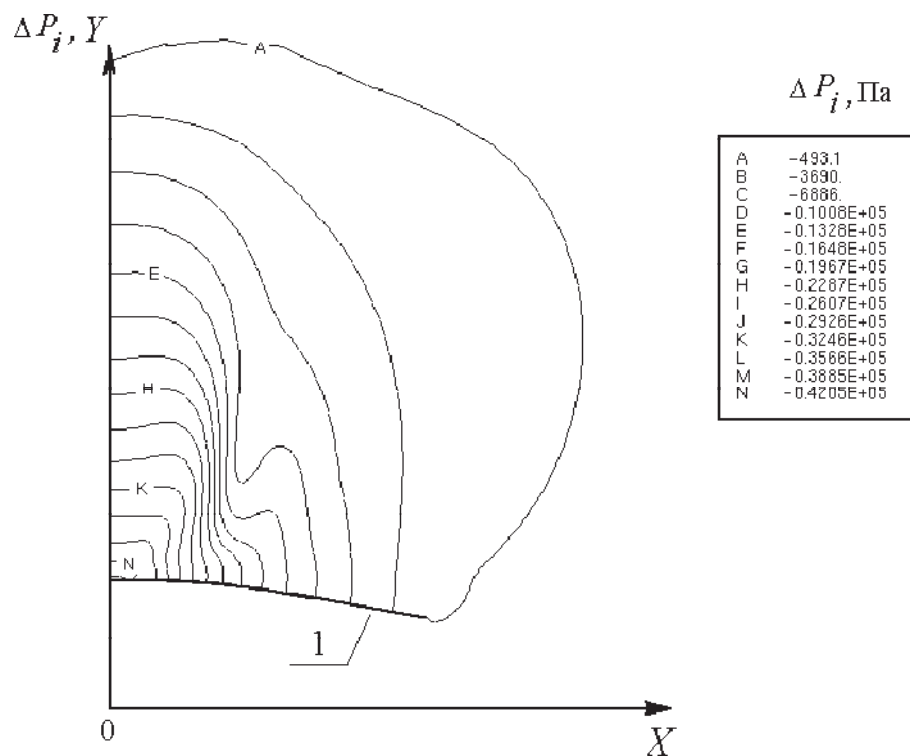


Рис. 13. Изобары у профиля крыла 1, содержащего на начальном участке истечения струи перегородку

образом ориентированных в потоке газа. Подобное изменение параметров газа, взаимодействующего при движении с твердой стенкой, следует из формулировки принципа максимума для ДУЧПЭТ второго порядка.

Вследствие однозначной определенности проявления у устройств, реализующих рассматриваемый способ управления дозвуковыми струями, заявляемых признаков они могут быть рекомендованы для использования в узлах воздушно-реактивных двигателей ЛА.

Список литературы

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987.
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х т.: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.
3. Курант Р. Уравнения с частными производными. - М.: Мир, 1964.
4. Маслов Л. А. Расчет обтекания кольцевого крыла // Ученые записки ЦАГИ. Том X, №1. - 1979. - С. 1-9.

PHYSICAL FOUNDATIONS OF GAS DYNAMIC METHOD OF CONTROLLING SUBSONIC GAS FETES

© 2006 A. A. Ovchinnikov, V. V. Ledyayev, M. V. Fetisov, K. Ya. Yakubovsky

Federal State Unitary Enterprise "Moscow Machine Building Manufacturing Company"
"Salyut", Moscow

Making new engineering devices requires a stage of theoretical grounding of the regularity of the claimed indicators being manifested. This stage is particularly important for aircraft engine devices and units as their reliability provides the safety of operating an air vehicle as a whole. The paper offers mathematical and physical grounding of a gas dynamic method of controlling subsonic gas jets based on the use of Coanda effect.

УДК 539.3:617.7

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АККОМОДАЦИИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2006 В. П. Пересыпкин¹, А. В. Золотарев², К. В. Пересыпкин¹, Е. А. Иванова¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Самарская клиническая офтальмологическая больница

На основе конечно-элементного моделирования с точки зрения механики исследуется процесс хрусталиковой аккомодации глаза человека. Полученные результаты позволяют предполагать, что активными действующими силами аккомодации является разница давлений между передним и задним отделами глаза. Предлагается новая гипотеза принципа действия механизма аккомодации.

Введение

Одной из актуальных проблем современной офтальмологии является исследование механизма аккомодации – механизма перестройки оптики человеческого глаза для четкого видения разноотдаленных предметов [1].

Одно из наиболее популярных объяснений механизма аккомодации глаза было предложено Германом фон Гельмгольцем в шестидесятых годах 19-го столетия. До сих пор эта теория аккомодации признается многими офтальмологами, хотя есть и другие точки зрения в диапазоне от некоторой ревизии до полного отрицания. Общепринята точка зрения, что двигателем механизма аккомодации является расположенная внутри глазного яблока цилиарная мышца, а аккомодация в большей мере обеспечивается изменением фор-

мы и положения хрусталика. При этом нет единого мнения, каким образом мышца воздействует на хрусталик. В том числе, существуют разногласия о характере взаимодействия хрусталика в процессе аккомодации с окружающими его элементами. В настоящей работе предлагается модель хрусталика, непосредственно воздействующих на него элементов и исследуется влияние этих воздействий на изменение формы хрусталика. В качестве методов моделирования используются современные компьютерные методы механики, основанные на методе конечных элементов.

Описание объекта исследования

Основными элементами глаза, участвующими в аккомодации, с точки зрения механики являются хрусталик, зонулярные волокна и стекловидное тело (рис. 1).



Рис. 1. Схематическое расположение элементов глазного яблока, участвующих в хрусталиковой аккомодации

Главным элементом оптической системы глаза является подвешенный на зонулярных волокнах хрусталик, примыкающий к передней части стекловидного тела. Хрусталик имеет форму двояковыпуклой линзы и за счет своей эластичности может менять кривизну своих оптических поверхностей. Таким образом, создается необходимый эффект фокусировки глаза на изображении отдаленных и близких предметов на сетчатке. В зависимости от фокусировки на близкие или отдаленные объекты в офтальмологии используются термины «аккомодация вблизи» и «аккомодация вдаль». При аккомодации вблизи кривизна поверхностей хрусталика увеличивается, а при аккомодации вдаль уменьшается.

В настоящей работе использованы данные об элементах глаза, приведенные в классическом труде [2].

Хрусталик. Хрусталик представляет собой упругую капсулу, заполненную жидким веществом под некоторым давлением. Диаметр хрусталика взрослого человека в среднем составляет 9-10 мм, толщина – 3,7-4,0 мм (рис. 2, а). Передняя поверхность хрусталика в состоянии аккомодации вдаль менее выпуклая, чем задняя. Форма передней поверхности хрусталика близка к эллипсу, радиус кривизны передней поверхности в полюсе – 11,05 мм. Форма задней поверхности хрусталика – парабола с радиусом кривизны в полюсе – 6 мм. Поверхностные слои капсулы хрусталика состоят из коллагеноподобно-

го материала и имеют разную толщину в различных отделах капсулы. Средние толщины капсулы хрусталика здорового человека в возрасте 25-35 лет показаны на рис. 2, б.

Зонулярные волокна. Хрусталик удерживается в своем положении при помощи системы зонулярных волокон (рис. 2). Далее для краткости зонулярные волокна называются волокнами. Одним концом эти волокна крепятся к хрусталику. Способ и место крепления другого отдаленного от хрусталика конца волокон вызывают разногласия. Различают передние (ПВ), задние (ЗВ) и средние (СВ) волокна. Передние волокна образуют пучки (70-80 пучков), которые присоединены равномерно по касательной к переднему поясу хрусталика и направлены под углом к оптической оси глаза в меридиональных плоскостях (рис. 2). Задние волокна, переплетаясь между собой, образуют сетку. Эта сетка является опорой для стекловидного тела. Задние волокна присоединены к заднему поясу хрусталика.

Стекловидное тело. Стекловидное тело – прозрачная структура, заполняющая пространство между сетчаткой и хрусталиком. Оно заключено в герметичную гибкую капсулу, содержит 98 % воды и несжимаемо. При силовом воздействии стекловидное тело ведет себя как жидкость, заключенная в оболочку. Оболочка стекловидного тела связана с задней поверхностью капсулы хрусталика связкой Вигера (рис. 2).

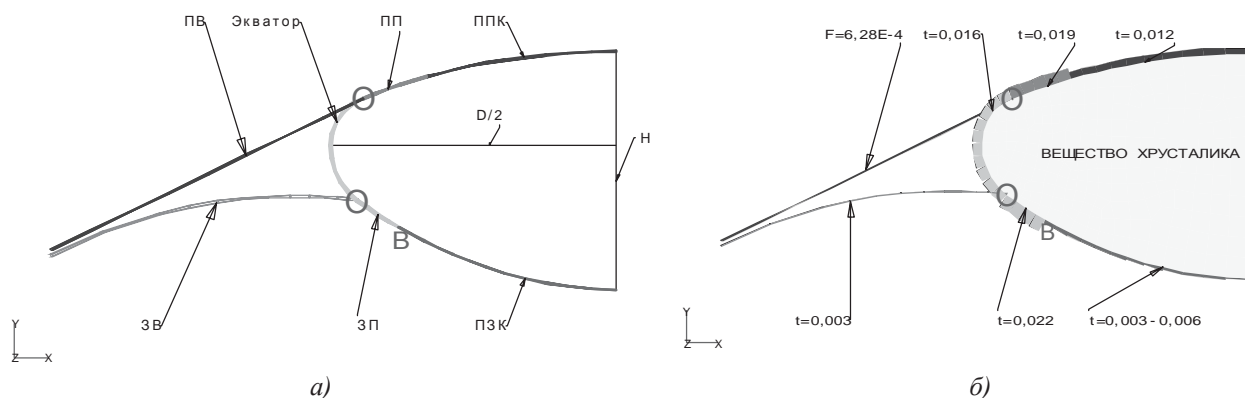


Рис. 2. Строение хрусталика и зонулярных волокон: а) Геометрия и обозначения зон хрусталика и волокон: ППК – передняя поверхность капсулы; ЗПК – задняя поверхность капсулы; ПП – передний пояс капсулы; ЗП – задний пояс капсулы; Экватор – экваториальная зона капсулы; ПВ – передние волокна; ЗВ – задние волокна; D – диаметр хрусталика; H – толщина хрусталика; O – место начала прикрепления волокон к хрусталику; B – связка Вигера, соединяющая хрусталик со стекловидным телом;

б) Толщины зон капсулы хрусталика t , мм, площади поперечных сечений зонулярных волокон F , мм²

Закрепление и уравнивание хрусталика

В работе используется цилиндрическая система координат (рис. 3): Z – продольное направление (совпадает с оптической осью глаза); R – радиальное направление; θ – окружное направление.

Хрусталик как подвижный элемент оптической системы в любой момент ясного видения должен быть точно зафиксирован. Все степени свободы хрусталика как твердого тела могут ограничиваться передними и задними волокнами. Однако фиксировать положение хрусталика гибкие волокна способны только в том случае, если они натянуты.

Рассмотрим силы, действующие на хрусталик (рис. 3). Передние и задние волокна действуют на хрусталик силами, направленными вдоль волокон. Задние волокна могут быть натянуты, только когда их изогнутая форма поддерживается избыточным давлением со стороны стекловидного тела. Передние волокна натягиваются давлением стекловидного тела, передаваемым через хрусталик. Таким образом, для фиксации положения хрусталика необходимо избыточное давление со стороны стекловидного тела.

Аналогичный вывод следует из рассмотрения равновесия сил, действующих на хрусталик, в проекции на ось Z . Для этого

рассечем волокна, заменив их действие силами (рис. 3). Для упрощения задние волокна на радиусе R_A там, где усилия в задних волокнах перпендикулярны оси Z и не войдут в уравнение равновесия. Для поддержания формы выпуклой линзы и натяжения оптических поверхностей хрусталика внутри него действует давление p_{xp} , которое должно быть выше, чем давление в стекловидном теле и в переднем отделе (рис. 1). Но поскольку давление внутри хрусталика является самоуравновешенной системой сил, оно также не входит в уравнение равновесия.

Тогда уравнение равновесия можно записать в следующей форме:

$$\sum_{ПВ} N_Z + (p_{СТ} - p_{ПО}) \cdot S_A = 0,$$

где $\sum_{ПВ} N_Z$ – проекция суммарной силы со стороны передних волокон на направление Z ; $p_{СТ}$ – давление в стекловидном теле; $p_{НО}$ – давление жидкости в переднем отделе; S_A – площадь круга с радиусом R_A .

Из уравнения равновесия следует, что силы в передних волокнах противодействуют избыточному давлению со стороны стекловидного тела. Слагаемое $\sum N_Z$ может быть только отрицательным, так как волокна обязательно должны быть растянуты. Отсюда следует, что $(p_{СТ} - p_{НО})S_A > 0$. Тогда $p_{СТ} > p_{НО}$.

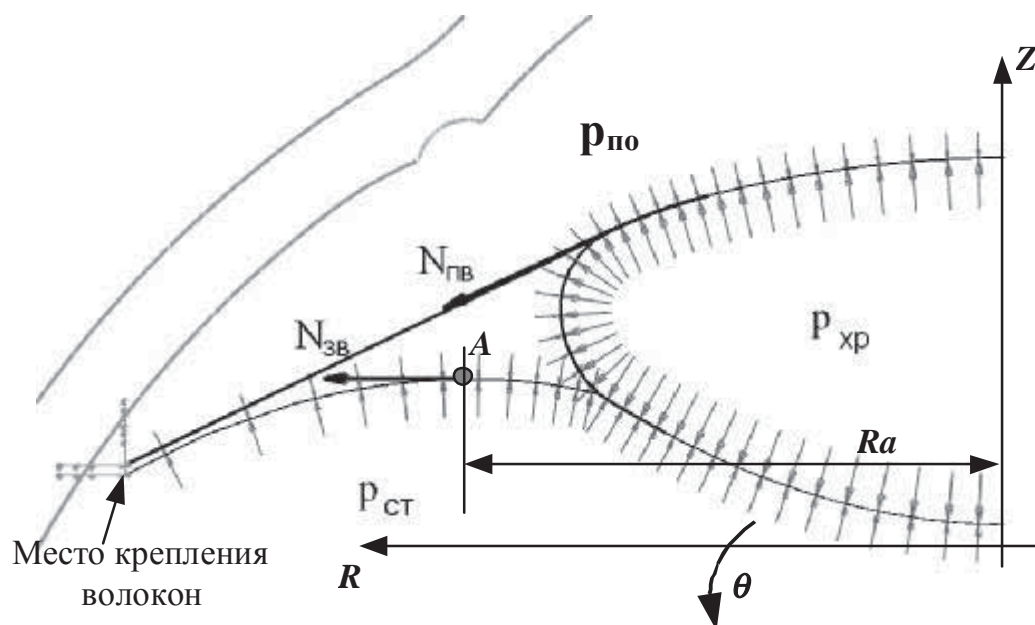


Рис 3. Силы, действующие на хрусталик

поскольку S_A всегда положительна. Таким образом, для натяжения передних волокон необходимо и достаточно, чтобы давление в заднем отделе было больше, чем в переднем.

Возможная подвижность отдаленных от хрусталика концов зонулярных волокон влияет на величину перемещения хрусталика в продольном направлении, но не должна существенно влиять на изменение его формы. Поэтому, чтобы ограничить задачу рассмотрением формоизменения хрусталика и зонулярных волокон, считаем эти концы неподвижными. Другими словами, будем рассматривать деформации хрусталика относительно отдаленных от хрусталика концов зонулярных волокон.

Конечно-элементная модель хрусталика и волокон

Для исследования взаимодействия хрусталика, зонулярных волокон и стекловидного тела в процессе аккомодации разработана конечно-элементная модель, показанная на рис. 4. Считалось, что хрусталик вместе с системой волокон обладает циклической симметрией в соответствии с числом пучков передних волокон, равным 72. В связи с этим моделировался сектор глаза между двумя радиальными плоскостями с углом 5° и введением в этих плоскостях условий симметрии.

Капсула хрусталика моделировалась оболочкой переменной толщины. Передняя и задняя поверхности капсулы в процессе аккомодации во всех ее фазах должны образовывать правильные оптические поверхности.

Для этого необходимы, во-первых, низкий модуль упругости материала капсулы, во-вторых, некоторое внутреннее избыточное давление, поддерживающее эти поверхности в устойчивом состоянии постоянного двухосного растяжения.

Экваториальная зона, передний пояс и задний пояс оболочки хрусталика утолщены. Это связано с тем, что здесь в капсулу хрусталика врастают волокна. Врастающие в капсулу более жесткие волокна образуют в этих зонах подобие армированного композиционного материала. В связи с этим экваториальная зона, зоны переднего и заднего поясов хрусталика кроме повышенной толщины обладают и более высоким модулем упругости, образуя кольцо, более жесткое на растяжение, чем полярные зоны капсулы. Размеры оболочки капсулы в модели соответствуют рисунку 2. Для моделирования оболочки капсулы использовался универсальный элемент оболочки. Материал капсулы принят изотропным с различными модулями упругости для разных зон: передняя и задняя части оболочки – $E = 0,2$ МПа; экваториальная зона $E = 1,0$ МПа; передний пояс – $E = 2,0$ МПа; задний пояс $E = 1,0$ МПа. Коэффициент Пуассона для всех зон оболочки капсулы 0,45.

Тело хрусталика моделировалось объемными конечными элементами из материала с модулем одноосного сжатия 1,65 Па и модулем объемного сжатия 1,65 МПа. При объемном сжатии такой материал в 10^6 раз жестче, чем при одноосном сжатии, и ведет

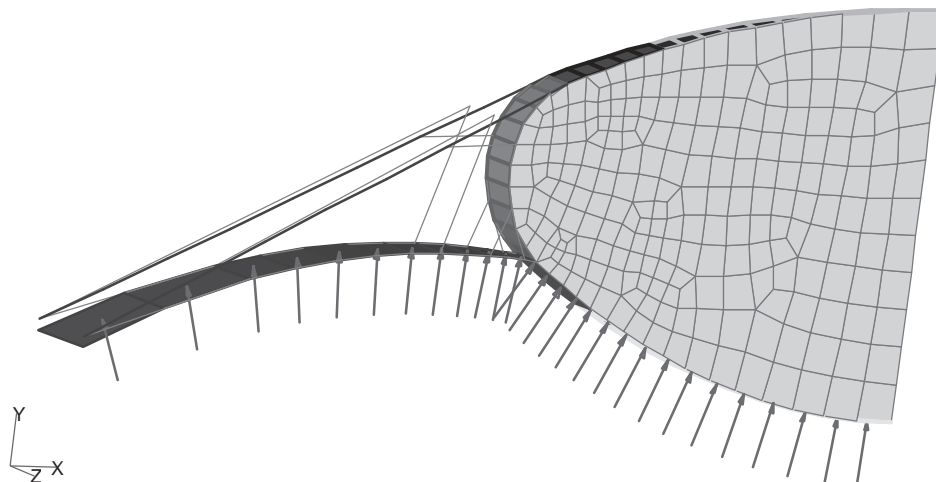


Рис. 4. Конечно-элементная модель хрусталика и волокон

себя как почти несжимаемая жидкость, реально сопротивляясь только изменению объема, а не формы.

Передние волокна моделировались одинаковыми элементами с жесткостью поперечного сечения $EF = 0,0628$ МПа·мм². Задние волокна моделировались элементами оболочки, имеющими толщину 0,003 мм, модуль упругости 2,0 МПа и коэффициент Пуассона 0,49.

Чтобы не допустить проникновения волокон в тело хрусталика при больших деформациях, в модель введены специальные контактные элементы.

Расчет напряженно-деформированного состояния хрусталика и волокон

Расчет выполнялся методом конечных элементов в среде программного продукта *MSC/Nastran*. Использовался алгоритм нелинейной статки. Учитывались следующие источники нелинейности: изменение формы и размеров всех элементов модели вследствие упругих деформаций; изменение направления действия давления и реакций в закреплениях вследствие деформаций хрусталика и смещения его в пространстве; переменный контакт между хрусталиком и волокнами.

Нагружение хрусталика производилось в два этапа. На первом этапе выполнялось нагружение хрусталика внутренним избыточным давлением $p_{xp} - p_{no}$. На втором этапе прикладывалось давление со стороны стекловидного тела $p_{cm} - p_{no}$ и силы натяжения волокон.

Избыточное давление внутри хрусталика создавалось с помощью приложения к передней и задней оболочкам хрусталика начальных деформаций, представляющих собой равномерное двухосное сжатие. При этом капсула хрусталика находилась в состоянии растяжения, а в теле хрусталика появились одинаковые во всех направлениях сжимающие напряжения, как и должно быть в жидкости. Давление в хрусталике составило 12 Па.

Ранее было показано, что на хрусталик действуют силы натяжения волокон и избыточное давление со стороны стекловидного тела, причем эти нагрузки порождают друг друга. Поэтому на втором этапе конечно-элементная модель нагружалась следующим образом. Концы волокон, отдаленные от хрусталика, закреплялись, как показано на рис. 3. К задним волокнам и задней поверхности капсулы хрусталика со стороны стекловидного тела прикладывалось разность давлений между стекловидным телом и передним отделом $p_{cm} - p_{no}$. При этом в закреплениях концов волокон возникали реакции, которые растягивали волокна. В ходе второго этапа нагружения избыточное давление со стороны стекловидного тела увеличивалось от 0 до 60 Па.

Результаты конечно-элементного расчета

Деформации хрусталика, полученные в расчете, показаны на рис. 5. Хрусталик утолщается в центральной зоне (рис. 6) и стано-

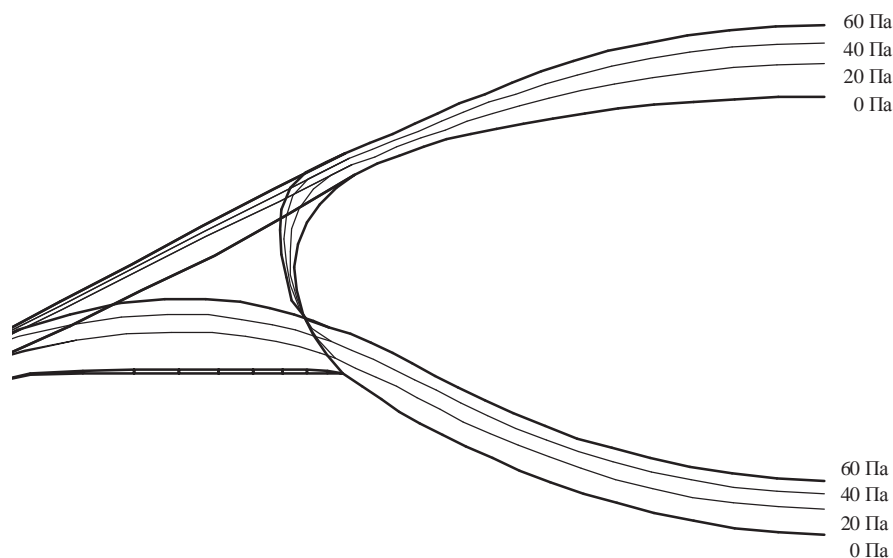


Рис. 5. Деформации капсулы хрусталика, передних и задних волокон для ряда значений избыточного давления в заднем отделе. Значения давления указаны на рисунке

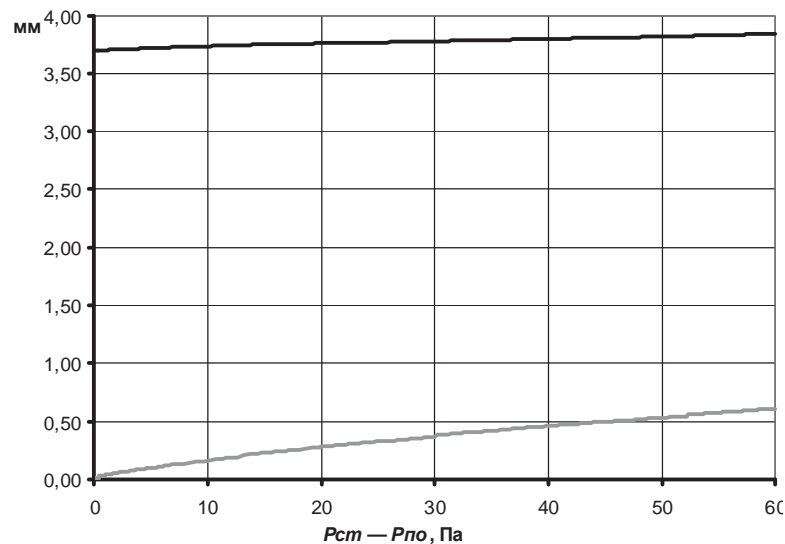


Рис. 6. Толщина хрусталика (чёрная линия) и перемещение переднего полюса капсулы хрусталика по направлению оси Z (серая линия) в зависимости от давления со стороны стекловидного тела

вится тоньше в экваториальной зоне. Радиус кривизны передней поверхности хрусталика уменьшается, а для задней поверхности остается практически постоянным (рис. 7). По мере увеличения давления со стороны стекловидного тела хрусталик смещается по направлению оси Z (рис. 6). Такие деформации соответствуют изменению формы и положения хрусталика при аккомодации вблизи.

Результаты конечно-элементного расчета согласуются с экспериментальными данными. В работе [3] экспериментально измеренное изменение радиуса передней поверхности хрусталика составляет при расслабленных волокнах 13,95 мм, при аккомодации

вдаль – 11,42 мм и при аккомодации вблизи – 9,05. В представленных расчетах этот радиус меняется с 13,81 мм до 7,42 мм (рис. 7). Таким образом, модель хрусталика при увеличении давления со стороны стекловидного тела от 0 до 60 Па проходит через состояния, соответствующие расслабленным волокнам, аккомодации вдаль и аккомодации вблизи.

В работе [4] отмечается слабое изменение радиуса задней поверхности хрусталика при аккомодации, что согласуется с результатами конечно-элементного расчета (рис. 7).

Смещение хрусталика вперед при аккомодации вблизи, полученное на модели, наблюдалось и в эксперименте [3, 5]. В работе

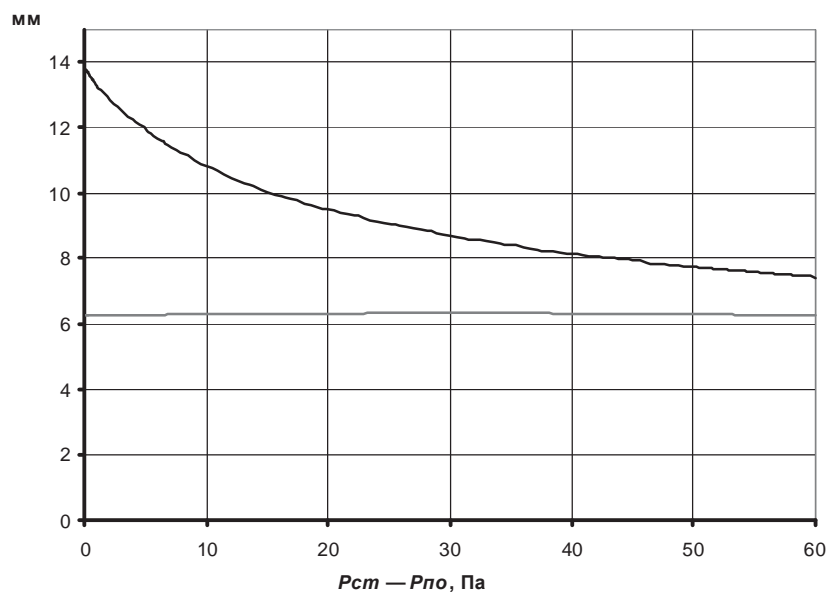


Рис. 7. Радиусы поверхностей хрусталика в зависимости от давления со стороны стекловидного тела: чёрная линия – передняя поверхность; серая линия – задняя поверхность

[3] при аккомодации вблизи наблюдалось смещение полюса передней поверхности хрусталика вперед на 0,61 мм. В расчете этот параметр достигает 0,65 мм (рис. 6).

В работе [3] утверждается, что при аккомодации вблизи граница стекловидного тела сбоку от хрусталика тоже перемещается вперед. Моделирование дало сходные результаты (рис. 5).

Обсуждение результатов

Следует отметить, что деформации хрусталика, полученные в расчете и достаточные для аккомодации вблизи, достигаются при низком уровне силового воздействия. Силы в переднем волокне имеют порядок $1,5 \cdot 10^{-4}$ Н (рис. 8). Величина прикладываемого избыточного давления со стороны стекловидного тела – 60 Па, что составляет порядка 2 % нормального внутриглазного давления. Напряжения в переднем и заднем полюсах капсулы хрусталика (рис. 9) составляют 20 - 30 КПа, что близко к уровню напряжений 10 - 15 КПа в роговице, обусловленных внутриглазным давлением. Низкий уровень силового воздействия, необходимый для аккомодации, свидетельствует об эффективности и экономичности механизма аккомодации и о реалистичности модели. Объяснить факт сильного изменения кривизны передней поверхности капсулы хрусталика при мало меняющейся кривизне задней позволяет рис. 10, показы-

вающий, что передняя поверхность испытывает более высокое избыточное внутреннее давление.

Важным результатом расчетов является то, что деформации хрусталика, характерные для аккомодации вблизи, сопровождаются увеличением натяжения волокон (рис. 8), что противоречит теории аккомодации Гельмгольца, предполагающей, что при взгляде вблизи происходит ослабление натяжения зонулярных волокон.

Величины смещения полюса передней поверхности хрусталика относительно отдаленных от хрусталика концов волокон, полученные в эксперименте и расчете, сопоставимы, что позволяет предположить, что эти концы волокон почти неподвижны. Это противоречит тем теориям аккомодации, которые отводят движению волокон активную роль.

Рассмотрим процессы хрусталиковой аккомодации в замкнутом объеме глазного яблока с точки зрения механики.

При аккомодации вблизи хрусталик и стекловидное тело двигаются вперед, уменьшая объем переднего отдела (рис. 12). Жидкость, заполняющая передний отдел, несжимаема, и изменение объема может сопровождаться лишь ее оттоком. Изменение объема переднего отдела в КЭ модели показано на рис. 11, и видно, что этот отток составляет десятки мм^3 . Процесс аккомодации занимает

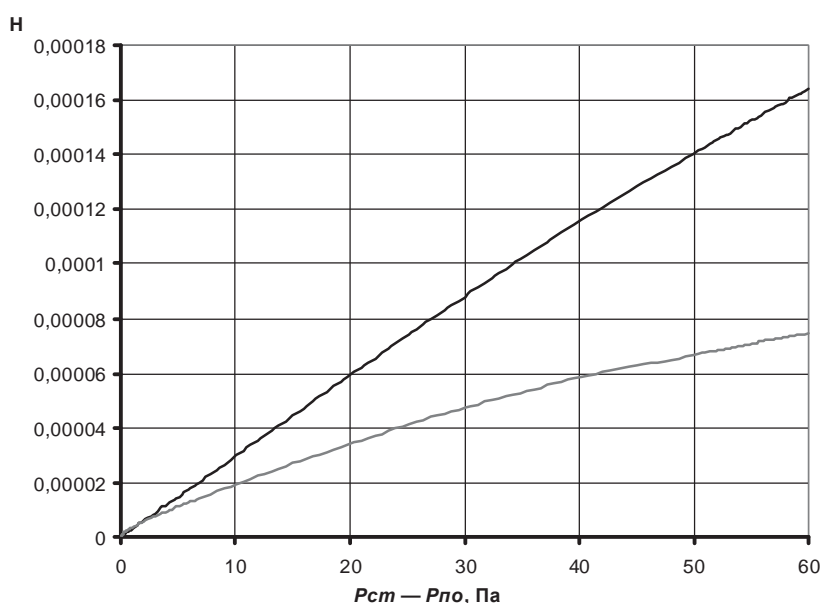


Рис. 8. Сила натяжения зонулярных волокон. Черная линия – сила в одном пучке передних волокон; серая линия – радиальная сила в секторе задних волокон, приходящемся на один пучок передних (5 градусов)

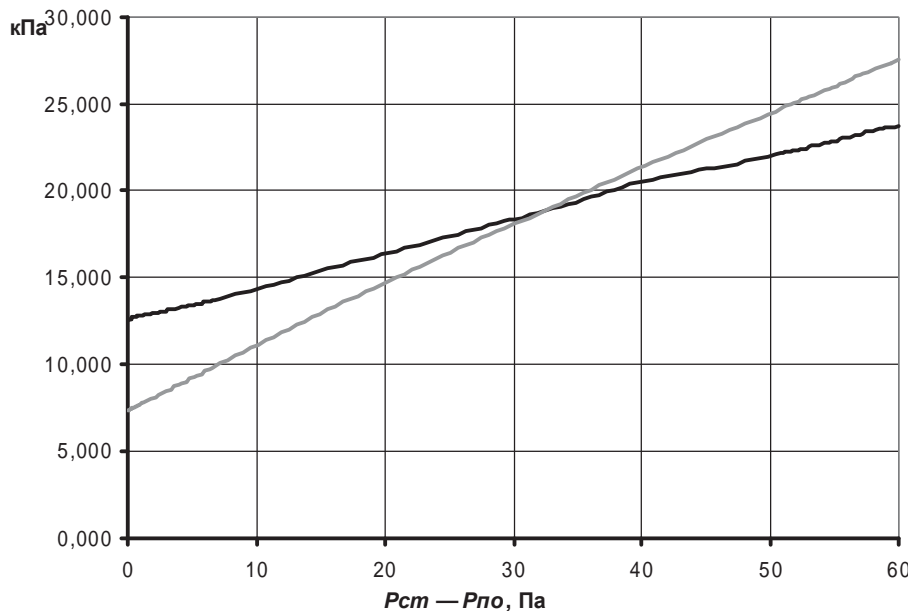


Рис. 9. Напряжения в переднем полюсе капсулы хрусталика (черная линия) и в заднем полюсе капсулы хрусталика (серая линия)

доли секунды, и значит отток жидкости из переднего отдела очень интенсивный.

Наличие быстрого движения жидкости в переднем отделе наблюдалось в работе [5]. Поскольку оболочка глаза относительно жесткая, объем жидкости внутри глаза должен оставаться постоянным. Следовательно, отток из переднего отдела должен компенсироваться притоком жидкости в задний отдел. Допущение о том, что в задний отдел жидкость поступает, а из переднего уходит по независимым каналам предполагает слишком

сложную систему управления и исполнительные механизмы.

На наш взгляд, должна существовать простая система перекачки жидкости непосредственно между передним и задним отделами. Такой механизм не только смещает хрусталик вперед, но и, преодолевая сопротивление упругих тканей хрусталика и волокон, увеличивает перепад давления между стекловидным телом и передним отделом, изменяя форму хрусталика. Таким образом, с нашей точки зрения, ключевым звеном является воз-

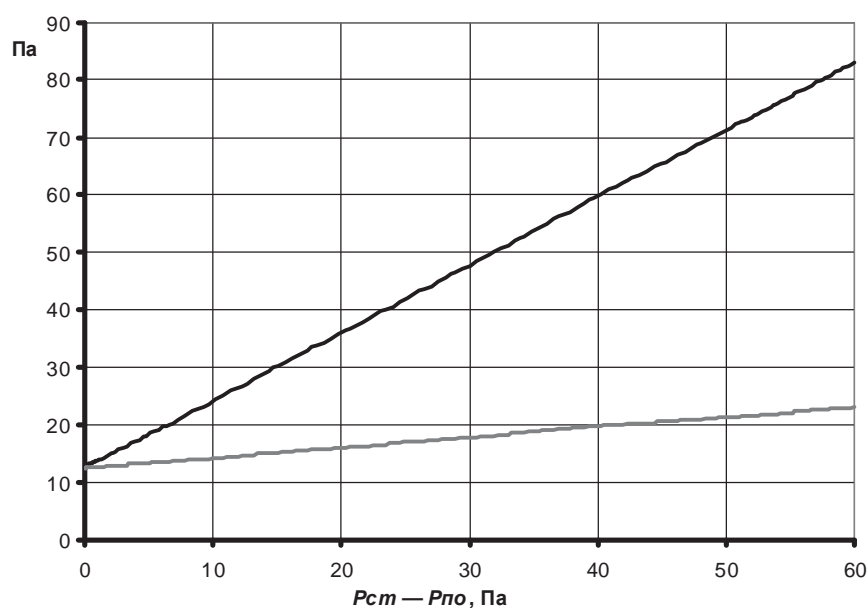


Рис. 10. Избыточное давление в хрусталике в зависимости от давления со стороны стекловидного тела: черная линия – изменение избыточного давления между хрусталиком и передним отделом; серая линия – изменение избыточного давления между хрусталиком и стекловидным телом

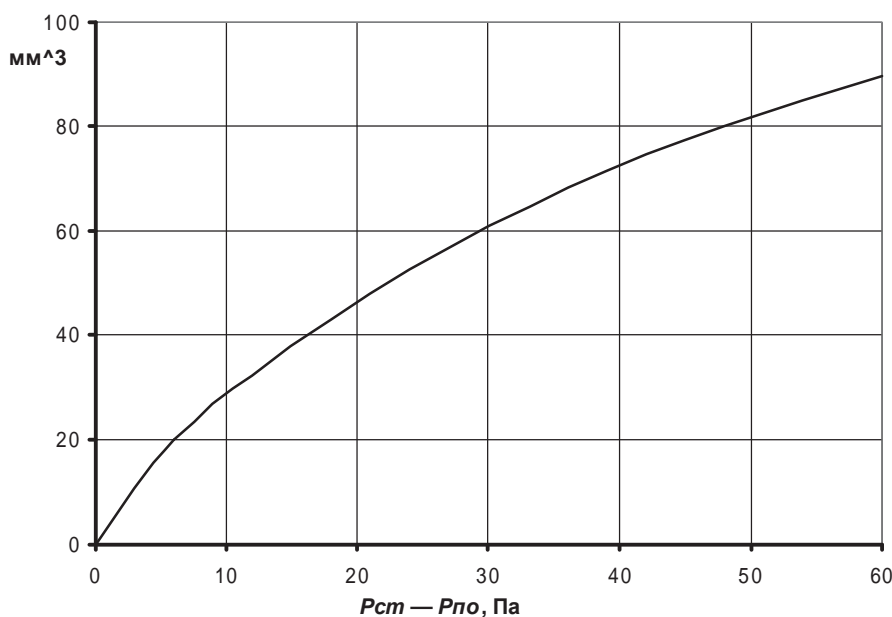


Рис. 11. Зависимость перетока жидкости из переднего отдела при увеличении давления в стекловидном теле

можность перетока жидкости из переднего отдела в задний отдел и обратно. До последнего времени о такой возможности не было известно, пока экспериментальными исследованиями [6] не была показана новая роль увеосклерального пути оттока внутриглазной жидкости, который при сокращении цилиарной мышцы способен быстро переместить достаточно большое количество жидкости из переднего отдела глаза в задний.

Предлагаемая гипотеза действия механизма аккомодации

На основе результатов конечно-элементных исследований предлагается следующий механизм аккомодации.

Наружная оболочка глаза, состоящая из склеры и роговицы, представляет собой жесткую относительно сил, действующих при аккомодации, замкнутую оболочку. Оболочка заполнена жидкостью, находящейся под давлением (внутриглазное давление). Полость оболочки глаза разделена герметичной перегородкой на передний отдел и задний отдел. Эта граница проходит по передней части оболочки стекловидного тела и по цилиарной мышце (рис. 1). В сфокусированном глазе давление в заднем отделе выше, чем в переднем. Разность давлений, действуя на переднюю часть оболочки стекловидного

тела, натягивает задние волокна. Стекловидное тело своей центральной частью давит на хрусталик, который натягивает передние волокна. В натянутом состоянии волокна фиксируют хрусталик в пространстве. Кроме того, натяжение волокон обеспечивает сохранение оптически правильной формы хрусталика.

Все зонулярные волокна - передние, задние и средние - непосредственно не связаны с цилиарной мышцей и не играют активной роли в аккомодации.

Ведущая роль в аккомодации принадлежит перетеканию жидкости между отделами глаза. В процессе аккомодации вблизи часть жидкости из переднего отдела перекачивается в задний. Объем жидкости в заднем отделе увеличивается. Этому упруго сопротивляются натянутые зонулярные волокна и капсула хрусталика, что вызывает увеличение разности давлений между отделами и приводит к аккомодационным изменениям геометрии хрусталика. Процесс обратной аккомодации происходит при перетекании жидкости из заднего отдела глаза в передний, то есть из области с высоким давлением в область с низким давлением.

Перемещение жидкости между отделами осуществляется цилиарной мышцей.

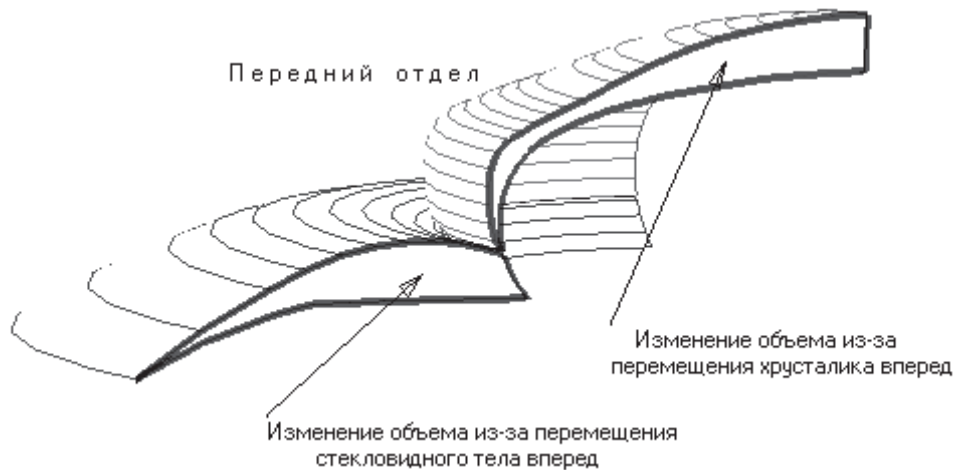


Рис. 12. Изменение объема переднего отдела при изменении давления в стекловидном теле с 0 до 60 Па

Заключение

Современные методы компьютерной механики, основанные на методе конечных элементов, дают широкие возможности для моделирования таких сложных систем, каким является глаз. Однако ценность расчетов целиком зависит от достоверности исходных данных.

При выполнении конечно-элементных исследований хрусталиковой аккомодации авторы встретились со следующими трудностями.

При моделировании необходимо точно знать положение в пространстве и взаимную связь отдельных элементов глаза. Эта информация необходима для уравнивания каждого отдельного элемента, определения их напряженно-деформированного состояния. В настоящее время в офтальмологии нет однозначной информации, например, о том, куда крепятся отдаленные от хрусталика концы зонулярных волокон; какова структура цилиарной мышцы; к чему прикладываются силы, развиваемые каждым мышечным волокном, и многое другое.

Важно иметь достоверную информацию о механических характеристиках живых тканей разных типов: разных зон капсулы хрусталика, зонулярных волокон, мышечных связок, способности мышц к сокращению и развиваемую силу мышечных волокон. Причем для моделирования естественных состояний глаза нужны не предельные значения характеристик, такие, как прочность на раз-

рыв и удлинение при разрыве. Важны механические свойства тканей при напряжениях и деформациях, возникающих в процессе аккомодации. Изучению механических свойств тканей глаза посвящено много исследований, однако результаты исследований крайне противоречивы.

Отсутствие достоверных данных о величинах давлений, действующих в разных частях глаза – в теле хрусталика, переднем отделе, стекловидном теле – в течение нормальных процессов аккомодации, вынудило авторов варьировать в некоторых пределах упругие свойства элементов модели и параметры нагружения, чтобы смоделировать аккомодационные изменения хрусталика.

Отсутствие полных и достоверных данных об анатомии глаза и о механических свойствах живых тканей могут вызвать сомнения в полученных результатах. Авторы, тем не менее, настроены оптимистично, основанием для чего является следующее: во-первых, достаточно широкое варьирование исходных данных качественно не меняет картины деформаций хрусталика, которые соответствуют аккомодационным; во-вторых, полученные в расчете перемещения, силы и напряжения вполне реалистичны. Авторы считают, что уточнение исходных данных только подтвердит полученные в работе результаты.

Авторы выражают благодарность профессору Лукашеву Л. Г. за то, что обратил их внимание на возможность моделирования

структур глаза методом конечных элементов, и способствовал сотрудничеству авторов данной статьи.

Авторы признательны Волковой Н. Я. за труд по подбору специальной литературы по офтальмологии.

Список литературы

1. Котляр К. Е., Иомдина Е. Н., Кошиц И. Н. Биомеханика глаза как эффективный инструмент для выбора и разработки перспективных направлений клинических и экспериментальных исследований // Сб. трудов IV семинара «Биомеханика глаза». – М.: Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им. Гельмгольца, 2004.

2. Salzmann. Анатомия и гистология человеческого глаза. - М., 1913.

3. Страхов В. В., Бузыкин М. А. Меди-

коментозная модель биомеханики аккомодации глаза. // Сб. трудов II семинара «Биомеханика глаза». – М.: Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им. Гельмгольца, 2004.

4. Присташ И. В., Скицюк С. В. Современные представления об аккомодации глаза // Офтальмологический журнал (Украина). - Киев, 2002.

5. Страхов В. В., Суслова А. Ю., Бузыкин М. А. Аккомодация и гидродинамика глаза // Клиническая Офтальмология. - т. 4, № 2, 2003.

6. Zolotaryov A. V., Karlova E. V., Nikolayeva G. A. Trabecular Meshwork Contribution to the Uveoscleral Outflow // Symposium & Congress ASCRS, San Francisco, 17 March 2006.

INVESTIGATING THE MECHANISM OF HUMAN EYE ACCOMMODATION ON THE BASIS OF FINITE-ELEMENT MODELLING

© 2006 V. P. Peresykin¹, A. V. Zolotaryov², K. V. Peresykin¹, Ye. A. Ivanova¹

¹Samara State Aerospace University

²Samara Ophthalmological Clinics

The paper investigates the process of human eye crystalline lens accommodation in terms of mechanics on the basis of finite-element modeling. The results obtained suggest that the active forces of accommodation are the pressure difference between the front and back parts of the eye. A new hypothesis of accommodation mechanism principle is proposed.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

© 2006 С. Н. Перов, Ю. В. Скворцов, К. А. Цапурин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Дано решение задачи статистической динамики, которое является одним из ключевых моментов в оценке надежности магистральных трубопроводов, и проведено сравнение двух численных методов: статистических испытаний и интерполяционных полиномов.

В работе [1] представлена методика оценки вероятности безотказной работы трубопроводных систем различного назначения, одним из ключевых моментов которой является решение задачи статистической динамики. Для линейной части магистрального трубопровода данная задача решается с учетом того, что трубопровод во время эксплуатации испытывает нагрузки и воздействия, которые в общем случае представляют собой пространственно-временные функции.

Рассматривается участок реального магистрального подземного нефтепровода в районе перехода через реку, схема которого показана на рисунке 1. Исходные данные для анализа напряженно-деформированного состояния трубопровода представлены в таблице 1. Физико-механические и конструктивные

параметры труб, используемых при прокладке данного участка, приведены в таблице 2.

Расчет напряженно-деформированного состояния трубопровода выполняется по программе AutoPIPE с использованием стандарта на нефтепроводы ASME B31.4. Он позволяет выявить наиболее опасное сечение, в котором коэффициент отношения расчетного напряжения к допускаемому достигает наибольшего значения (рис. 1).

Проведено сравнение двух численных методов решения задачи статистической динамики: метода статистических испытаний [2] и метода интерполяционных полиномов [3]. В качестве входных случайных параметров выбираются те величины, которые оказывают наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции:

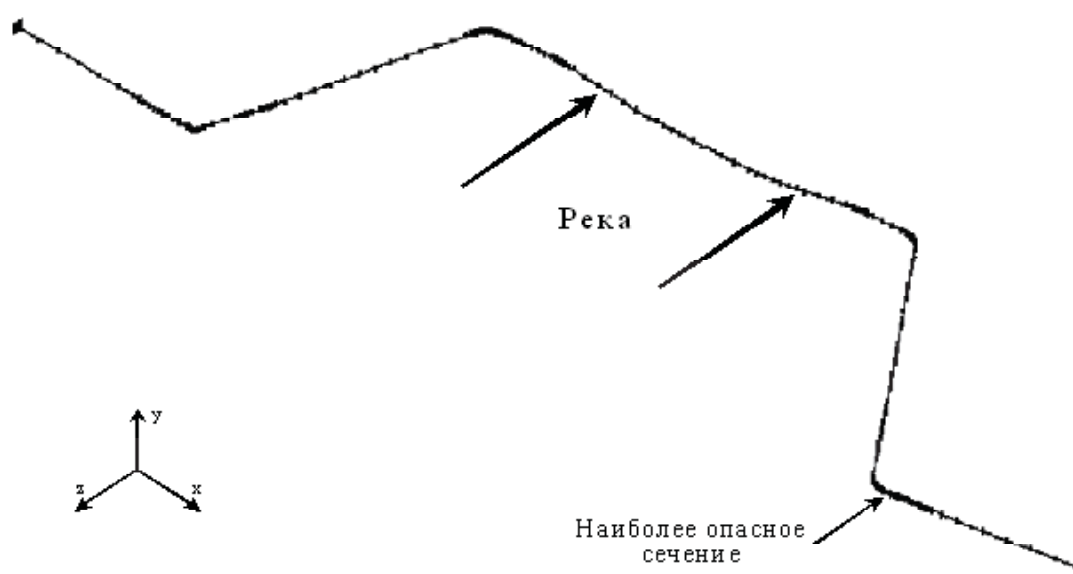


Рис. 1. Расчетная схема трубопровода

Таблица 1
Исходные данные

Общие характеристики системы		Характеристики материала трубопровода	
Рабочее давление	$P = 4,5 \text{ МПа}$	Плотность	$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$
Температурный перепад	$\Delta t = 45^\circ \text{C}$	Коэффициент линейного расширения	$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Плотность продукта	$\rho_{\text{прод}} = 800 \text{ кг/м}^3$	Модуль упругости	$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$
		Коэффициент Пуассона	$\mu = 0,3$

Таблица 2
Физико-механические и конструктивные параметры трубопровода

№ п/п	Наружный диаметр D , мм	Толщина стенки δ , мм	Материал трубы	Нормативное временное сопротивление σ_s , МПа	Нормативный предел текучести σ_T , МПа
1	1016	12,3	X - 65	561	482
2	1016	15,3	X - 65	566	456
3	1016	20,1	X - 70	592	487
4	1016	20,1	X - 65	592	487
5	1016	14	17Г1С - У	510	363

рабочее давление, температура, толщина стенки, модуль упругости материала трубы. Параметры распределения выбранных случайных величин приведены в таблице 3. За функцию качества системы принимается обычно эквивалентное напряжение, определяемое по одной из теорий прочности. В рассматриваемом случае за параметры качества выбраны напряжение по Мизесу (или эквивалентное напряжение по теории прочности энергии формоизменения) и нормативное эквивалентное напряжение по стандарту ASME B31.4.

Прежде чем производить расчет напряженно-деформированного состояния трубопровода, необходимо убедиться в том, что характер распределения входных случайных величин, полученных с помощью датчика псевдослучайных чисел, в действительности соответствует заданным законам распределения.

Для этого используется критерий согласия – критерий χ^2 Пирсона. Мера расхождения между гипотетическим и статистическим

распределениями определяется соотношением

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (1)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, k$, где n - число опытов, n_i - число значений в i -м разряде ($i = 1, 2, 3, \dots, k$), p_i - вероятность попадания случайной величины в i -й разряд.

Гистограммы входных случайных параметров, полученных на ЭВМ с помощью датчика случайных чисел, представлены на рисунке 2.

Составлены таблицы, по которым можно для каждого известного значения χ^2 определить соответствующие вероятности \tilde{p} . Если вероятность \tilde{p} очень мала и не превосходит выбранного значения «уровня значимости» $\alpha = 0,4$ (событие с вероятностью α считается практически невозможным), то опытные данные противоречат гипотезе о том, что

Таблица 3
 Параметры распределения

№	Случайный параметр	Закон распределения	Параметры распределения
1	Рабочее давление P	Нормальный	Математическое ожидание $\langle P \rangle = 4,6 \text{ МПа}$ Среднее квадратичное отклонение $\sigma_p = 0,2 \cdot \langle P \rangle$
2	Температурный перепад Δt	Равномерный	Минимальное значение $\Delta t_{\min} = 35^\circ \text{C}$ Максимальное значение $\Delta t_{\max} = 55^\circ \text{C}$
3	Толщина стенки трубы δ	Нормальный	Математическое ожидание $\langle \delta \rangle = 14 \text{ мм}$ Среднее квадратичное отклонение $\sigma_\delta = 0,05 \cdot \langle \delta \rangle$
4	Модуль упругости материала трубы E	Равномерный	Минимальное значение $E_{\min} = 1,90 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Максимальное значение $E_{\max} = 2,22 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

случайные величины имеют предложенные распределения. В противном случае выбранную гипотезу можно считать правдоподобной.

В таблице 4 представлены значения распределения χ^2 , вычисленные с использовани-

ем формулы (1) для каждой исходной измеряемой величины, и значения соответствующих вероятностей \tilde{p} , взятые из таблиц Пирсона [2]. Из нее следует, что вероятности \tilde{p} превосходят уровень значимости. Следова-

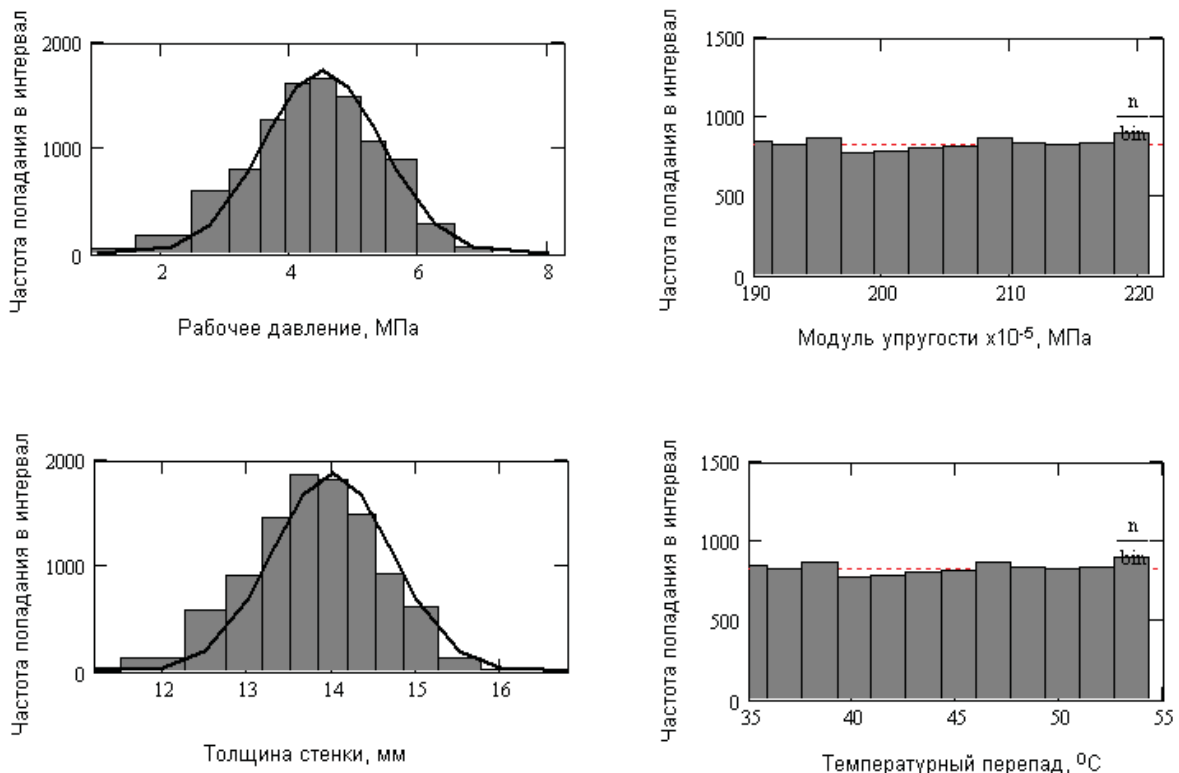


Рис. 2. Гистограммы распределения исходных данных

Таблица 4

Значения χ^2 и \tilde{p} для входных параметров

	Давление, P	Толщина, δ	Температура, t	Модуль упругости, E
Значение χ^2	10,01	9,94	9,25	8,24
Значение \tilde{p}	0,42	0,43	0,51	0,58

тельно, расхождения между теоретическими и гипотетическими распределениями, полученными на ЭВМ с помощью датчика случайных чисел, несущественны. Выдвинутые гипотезы о нормальности (давление и толщина) и равномерности (температура и модуль упругости) распределения случайных величин можно считать достоверными.

Для определения вероятностных характеристик выходных параметров воспользуемся методом статистических испытаний (или методом Монте-Карло), суть которого заключается в моделировании системы с учетом реальных условий и случайного характера входного процесса.

Пусть нелинейная система описывается уравнениями вида

$$\frac{du_j}{dt} = f_x(t, u_1, u_2, \dots, u_n, q_1, q_2, \dots, q_m), \quad (2)$$

где $u_j(t)$ - выходные параметры системы, $q_j(t)$ - случайные внешние воздействия с известными вероятностными характеристиками.

Решение задачи заключается в том, что для каждого блока конкретных реализаций внешних воздействий $q_j(t)$, которые выбираются из совокупности возможных значений, интегрируется уравнение (2) и определяются реализации выходного процесса $u_j(t)$. В рассматриваемой задаче блок внешних воздействий составляют четыре параметра системы, которые носят случайный характер: давление, толщина стенки, температура, модуль упругости. Следует отметить, что каждая реализация воздействия на трубопровод получается с учетом взаимного влияния и сочетаемости перечисленных выше

случайных параметров. Для каждой реализации определяется напряженно-деформированное состояние в наиболее опасном сечении. Дифференциальное уравнение решается n раз, и, следовательно, имеется n реализаций выходного процесса.

Далее проводится статистическая обработка полученных результатов, определяются оценки математического ожидания m_u^* , дисперсии D_u^* и среднеквадратического отклонения σ_u^* каждого выходного процесса системы:

$$\begin{aligned} m_u^*(t) &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j(t); \\ D_u^*(t) &= \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (u_j - m_u^*)^2; \\ \sigma_u^*(t) &= \sqrt{D_u^*(t)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, определенные методом Монте-Карло при различном числе реализаций, представлены в таблице 5.

На рисунке 3 приведены гистограммы эквивалентных напряжений, построенные для 700 реализаций. Из него следует, что законы распределения близки к нормальному. Следует также отметить, что при увеличении числа реализаций более 100 оценки математического ожидания и среднего квадратического отклонения изменяются всего на 0,5 %, что отражено на графиках (рис. 4, 5).

По критерию χ^2 Пирсона определим, действительно ли значения напряжений по Мизесу и нормативных напряжений имеют вероятностные характеристики нормального закона распределения.

Таблица 5
Метод статических испытаний

Число реализаций	Напряжение по Мизесу		Нормативное напряжение	
	Математическое ожидание, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа	Математическое ожидание, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа
100	217,3	29,0	243,9	30,2
200	219,6	27,9	246,5	29,4
300	221,1	27,4	247,9	28,7
400	219,8	28,4	246,7	29,8
500	219,5	28,7	246,5	30,2
600	218,3	28,1	245,3	29,6
700	218,3	27,9	245,3	29,4

В таблице 6 приведены значения распределения χ^2 для каждой измеряемой величины, а также табличные значения соответствующих вероятностей \tilde{p} [2].

Можно сделать вывод о том, что предположенная гипотеза о нормальном законе распределения выходных параметров системы

(напряжение по Мизесу, нормативное напряжение) не противоречит полученным данным.

Метод интерполяционных полиномов позволяет избежать большого объема вычислений, требующихся при использовании методов статистической обработки и оценки, и позволяет получать вполне удовлетворитель-

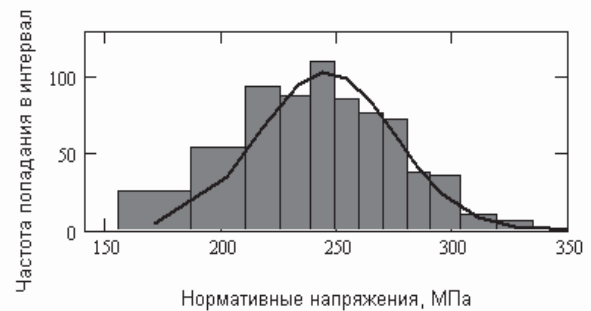
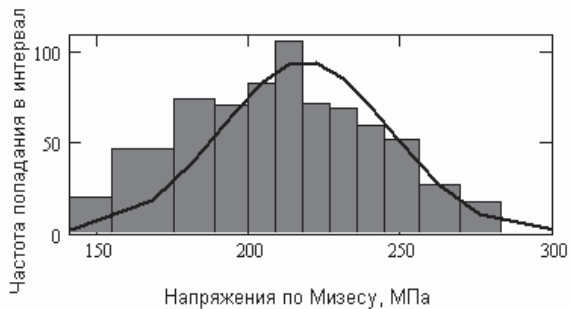


Рис. 3. Гистограммы эквивалентных напряжений

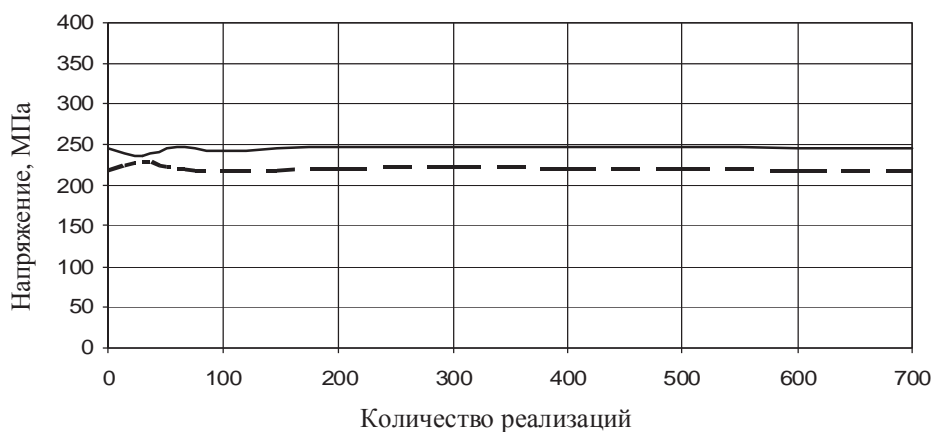


Рис. 4. Математическое ожидание выходных параметров системы:
---- напряжение по Мизесу ——— нормативное напряжение

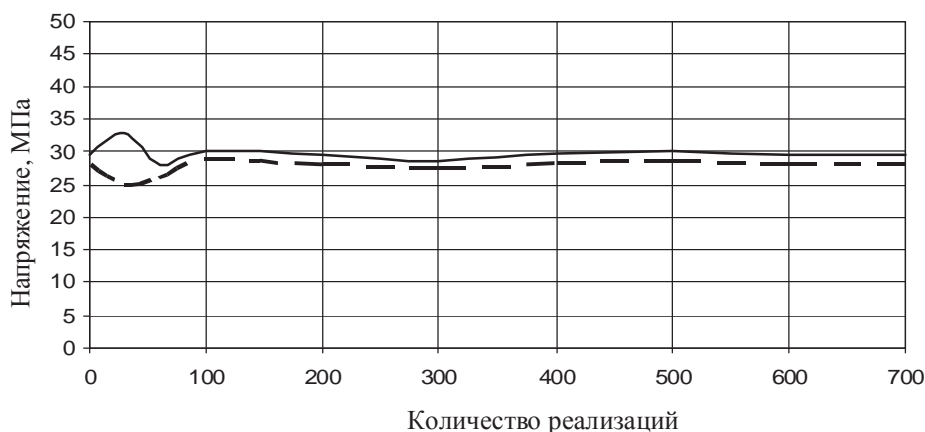


Рис. 5. Среднее квадратическое отклонение выходных параметров системы:
 - - - - напряжение по Мизесу — нормативное напряжение

ные результаты при достаточно малом числе реализаций. Пусть поведение системы описывается системой уравнений (2). Требуется по заданной системе (2) и известным характеристикам случайных входных параметров определить вероятностные характеристики выходных параметров.

Формулы для расчета математического ожидания, дисперсии и среднего квадратического отклонения выходных процессов запишутся в виде

$$m_i(t) \approx \sum_{k_1, k_2, \dots, k_m} u_i(t, q_{1k_1}, q_{2k_2}, \dots, q_{mk_m}) \cdot \prod_{j=1}^m \rho_{kj} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (4)$$

$$D_i(t) \approx \sum_{k_1, k_2, \dots, k_m} [u_i(t, q_{1k_1}, q_{2k_2}, \dots, q_{mk_m}) - \langle u_i \rangle]^2 \cdot \prod_{j=1}^m \rho_{kj};$$

$$\sigma_i(t) = \sqrt{D_i(t)},$$

где ρ_{kj} - числа Кристоффеля, значения которых определяются в зависимости от закона

распределения входной случайной величины и числа узлов интерполирования в соответствии с таблицами, представленными в [3], или с помощью ψ -преобразования, q_{jk_j} - узлы интерполяции, значения которых выбираются в зависимости от входного случайного параметра и заданного количества числа узлов интерполирования.

Количество узлов интерполирования определяется таким образом, чтобы разница между предыдущим и последующим результатами расчета не превышала некоторого установленного допустимого значения.

В таблице 7 приведены результаты, полученные при выборе по два и по три узла интерполяции для каждой входной случайной величины. Следует отметить, что уже при 16 реализациях наблюдается хорошее соответствие с результатами, полученными методом Монте-Карло.

Проведенный по результатам расчетов анализ позволяет сделать вывод о том, что при оценке надежности трубопроводных систем различного назначения решение задач статистической динамики целесообразно прово-

Таблица 6
 Значения χ^2 и \tilde{p} для выходных параметров

	Напряжение по Мизесу	Нормативное напряжение
Значение χ^2	9,66	9,34
Значение \tilde{p}	0,48	0,50

Таблица 7
Метод интерполяционных полиномов

Число узлов	Напряжение по Мизесу		Нормативное напряжение	
	Математическое ожидание, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа	Математическое ожидание, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа
2×2×2	217,1	28,6	243,9	29,9
3×3×3	217,1	28,3	243,8	29,7

дить методом интерполяционных полиномов, который на порядок сокращает необходимое количество интегрирований уравнений системы в сравнении с методом статистических испытаний (метод Монте-Карло), сохраняя при этом требуемую точность получаемых результатов.

Список литературы

1. Тарасов Ю. Л., Перов С. Н., Логвинов С. Л. Методика оценки вероятности бе-

зотказной работы трубопроводных систем. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2003. - №1. - С. 111-119.

2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1988.

3. Чернецкий В. И. Анализ точности нелинейных систем управления. – М.: Машиностроение, 1968.

SOLVING THE PROBLEM OF STATISTICAL DYNAMICS FOR THE OIL MAIN

© 2006 S. N. Perov, Ju. V. Skvortsov, K. A. Tsapurin

Samara State Aerospace University

The paper presents the solution of the problem of statistical dynamics. This solution is one the key points in assessing the reliability of pipelines. Two numerical methods are compared: method of statistical testes and that of interpolation polynomials.

СМЕШЕНИЕ СТРУИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА СО СНОСЯЩИМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

© 2006 Н. М. Рогачев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Исследуется влияние соотношений скоростей потоков, степеней начальной турбулентности и конфигураций струй углекислого газа, распространяющихся в поперечном потоке воздуха, на положение передней границы зоны смешения.

Введение. Распространение газовых струй в сносящем потоке давно привлекло к себе внимание исследователей [1-5]. Связано это, с одной стороны, с тем, что турбулентные газовые струи, обдуваемые боковым потоком, используются в ряде технических устройств: камерах сгорания газотурбинных двигателей, газовых горелках струйного типа, вентиляционных воздушных завесах, распространении дыма из труб и т. д. С другой стороны, они представляют несомненный теоретический интерес, так как особенностью их распространения является криволинейность оси (в отличие от свободных затопленных струй), асимметрия границ зоны смешения относительно оси струи, подковообразная форма поперечного сечения.

Экспериментальные исследования, выполненные Ю. В. Ивановым [4], показали, что интенсивность смешения газовой струи со сносящим потоком зависит от начальных размеров и формы струи, от угла атаки струи, от степени турбулентности и гидродинамического параметра (отношения скоростных напоров струи и сносящего потока).

Согласно работе [2] неизотермические струи распространяются во всех направлениях быстрее изотермических. При этом существенно, что во всех случаях теплообмен происходит интенсивнее, чем обмен импульсов, что хорошо согласуется с аналогичными данными для затопленных струй. Проведенные измерения позволили также установить, что уровень турбулентности струи, развивающейся в сносящем потоке, значительно выше, чем в свободной затопленной струе, и в месте максимальной кривизны траектории достигает 35 %. На основании измерений утверждается, что силы турбулентного трения, выз-

ванные наличием турбулентных пульсаций, значительно превышают силы вязкого трения.

Исследования влияния формы выходного отверстия на характеристики смешения [4] показали, что для струй овального и квадратного поперечных сечений наблюдаются те же закономерности, что и для круглых струй.

Физическая картина течения и механизм перемешивания струи со сносящим потоком недостаточно изучены, что затрудняет создание точных аналитических методик расчета. Поэтому большое значение приобретают экспериментальные исследования процесса смешения струй для накопления опытных данных и использования их в практических целях.

В настоящей работе экспериментально определялось положение передней границы одиночной струи, распространяющейся в поперечном потоке. Эксперименты проводились при различных соотношениях скоростей и гидродинамических параметров вдуваемых струй и сносящего потока. Причем значения параметров лежали в области, не встречающейся в известной литературе. Варьировалась также форма выходных отверстий и начальные степени турбулентности. На основе экспериментальных данных были выведены параметрические уравнения, описывающие границы струй, истекающих из круглого и овального отверстий. Производилось сравнение экспериментальных данных и параметрических уравнений.

Экспериментальная установка. Для исследования смешения газовой струи со сносящим потоком была изготовлена экспериментальная установка, схематический чертеж которой показан на рис. 1.

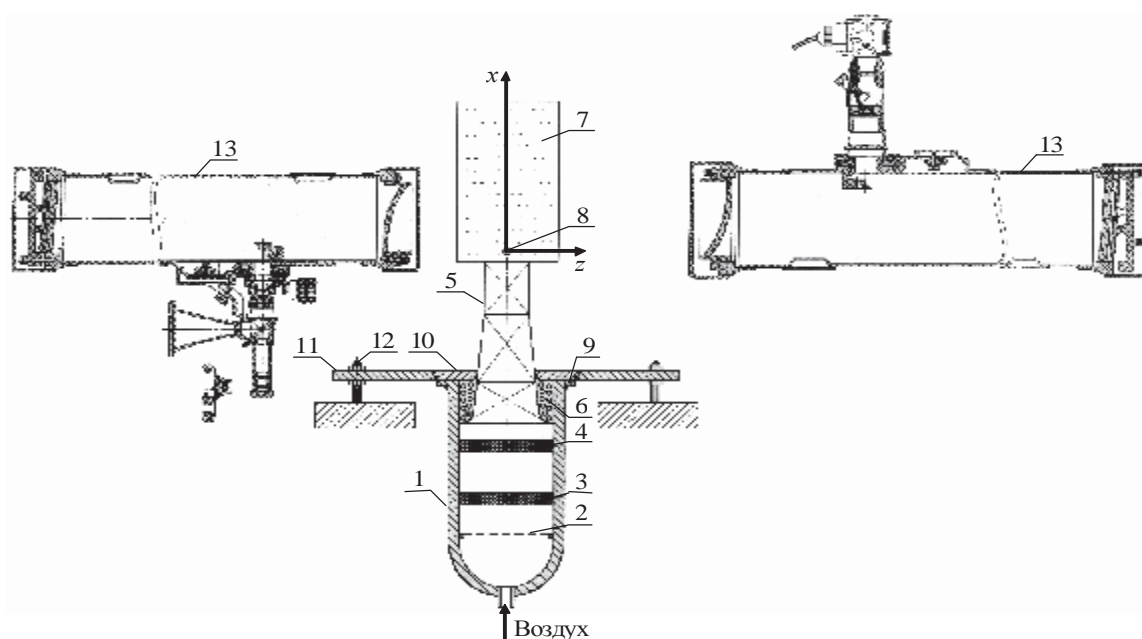


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Установка состоит из выравнивающей камеры 1, предназначенной для гашения пульсаций в потоке воздуха; поворотного устройства 9, 10, 11; вертикально расположенного стекла 7 и сопловой камеры 5. Поворотное устройство позволяет проводить фотосъемки различных проекций струй. Выравнивающая камера 1 представляет собой толстостенный полый цилиндр, к верхней открытой части которого приварен кольцевой фланец 9. Воздух от компрессора подается в камеру через отверстие в ее полукруглом дне таким образом, что имеет направление, совпадающее с осью цилиндра. Во внутренней полости камеры устанавливаются устройства 2, 3, 4, предназначенные для гашения пульсаций поступающего в нее воздуха.

Выравнивающая камера с помощью переходного кольца фланца 9 болтами соеди-

няется с фланцем 10, который является подвижной частью поворотного устройства установки. Фланец 11 крепится к станине регулировочными болтами 12, позволяющими изменять высоту среза сопловой камеры в поле зрения прибора, а также выдерживать горизонтальность этого среза.

В оптических стеклах 7, имеющих толщину 10 мм, сделаны отверстия для установки газоподводящей трубки 8 (рис. 2). В экспериментах использовались два сменных стекла, в одно из которых устанавливалась цилиндрическая трубка 8, а в другое – трубка овального поперечного сечения (площади поперечных сечений круглой и овальной трубок одинаковы). Внутренние нижние кромки трубок выставлялись на одном и том же расстоянии от среза сопловой камеры, равном 9 мм.

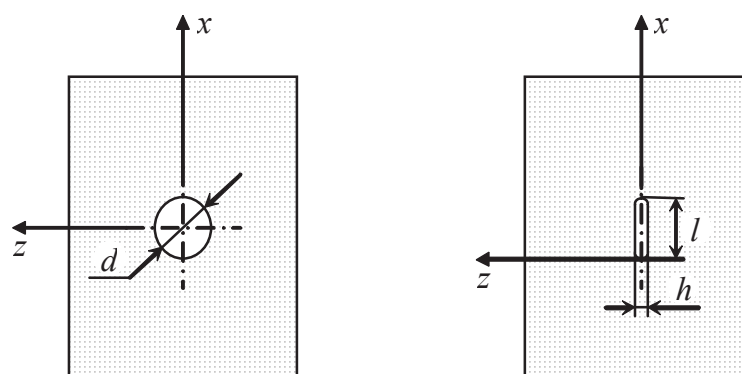


Рис. 2. Оптические стекла

Сопловая камера 5, представляющая собой сварной металлический короб квадратного сечения, крепится к подвижному фланцу 10. С обратной стороны к фланцу 10 крепится входное устройство 6, изготовленное из пенопласта и имеющее форму конфузора с плавным входом. К внешней кромке входного устройства 6 приклеивается металлическая сетка, имеющая квадратные ячейки размером 1,5 мм.

В магистрали подачи углекислого газа при некоторых экспериментах в цилиндрическую трубку 8 устанавливались крестообразные турбулизирующие решетки толщиной 3 мм, а в овальную трубку впаивались три вставки диаметром 3 мм на расстоянии 7,5 мм.

Для турбулизации сносящего потока в сопловой камере 5 размещались сменные турбулизирующие решетки, представляющие собой плоские пластины с отверстиями 20 мм и шагом 28 мм и с отверстиями 10 мм и шагом 14 мм.

Положение границ зоны смешения углекислого газа со сносящим потоком воздуха определялось методом визуализации течения с помощью теневого прибора ИАБ-451. При съемках теневых изображений с помощью поворотного устройства плоскость стекла 7 устанавливалась параллельно оптической оси прибора.

В качестве источника света для визуального наблюдения и съемок исследуемых процессов применяется лампа накаливания К-50. Теневые изображения проекций струй регистрируются на фотопленке. Экспозиция при съемках составляла 1/30 с. Ширина щели теневого прибора 13 устанавливалась равной 0,35 мм при положениях лимба каретки ножа Фуко 15,1-15,2.

Методика проведения экспериментов. Выбраны скорости воздушного потока $v = 18$ м/с, 24 м/с, 36 м/с и углекислого газа $v = 18$ м/с, 24 м/с, 30 м/с. При этом относительное соотношение скоростей $\bar{v} = v_0/v_\infty = (0,5 - 2,0)$, а изменение гидродинамического параметра $\bar{q} = \frac{\rho_0 v_0^2}{\rho_\infty v_\infty^2} = 0,38 - 6,06$.

Здесь ρ_0, ρ_∞ - плотности углекислого газа и воздуха, соответственно. Скорости течения газа контролировались с помощью тарированных кривых по показаниям манометров. При изменении атмосферного давления и температуры газа в значения скоростей вводились поправки.

Здесь ρ_0, ρ_∞ - плотности углекислого газа и воздуха, соответственно. Скорости течения газа контролировались с помощью тарированных кривых по показаниям манометров. При изменении атмосферного давления и температуры газа в значения скоростей вводились поправки.

Схема распространения газовой струи в поперечном потоке показана на рис. 3. Положение границ зоны смешения струи углекислого газа со сносящим потоком воздуха определялось с помощью теневого прибора и фиксировалось на фотопленку. После обработки фотопленок были построены графики, отражающие положение передней границы струи. Каждая кривая на графиках получена в результате обработки пяти фотоснимков. Максимальная случайная погрешность измерений не превышала 5%. При построении графиков была выбрана система координат, показанная на рис. 3 (на рисунке не показана ось oz , которая перпендикулярна плоскости чертежа).

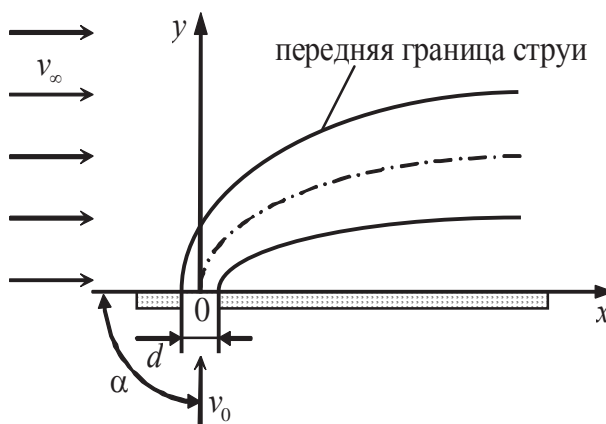


Рис. 3. Схема струи

Некоторые наиболее характерные фотографии струй в сносящем потоке приведены на рис. 4.

Анализ и обобщение результатов экспериментов. По данным экспериментов были построены графики зависимости координат передней границы струи при истечении ее из круглого и овального отверстий. Для обработки результатов экспериментов использовалась математическая система *MathCAD*, с помощью которой были получе-

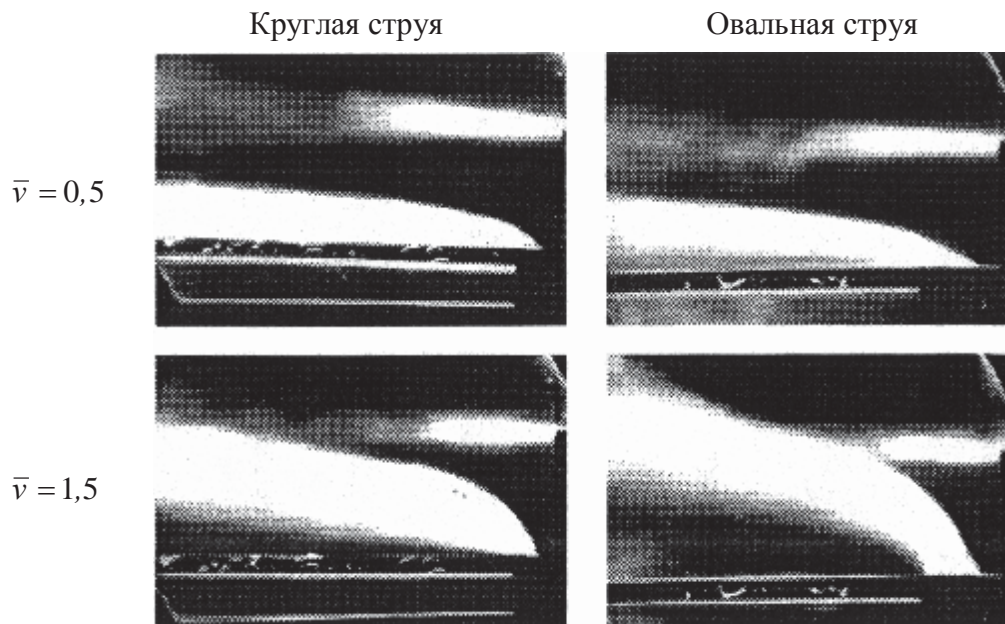


Рис. 4. Фотографии струи

ны две функции вида $\bar{y} = f(\bar{x}, \bar{v})$, где $\bar{x} = \frac{x}{d}$,

$\bar{y} = \frac{y}{d}$ - для круглой струи и $\bar{x} = \frac{x}{h}$, $\bar{y} = \frac{y}{h}$ -

для овальной струи (d - диаметр круглого отверстия, h - ширина овального отверстия).

Результирующая функция определялась следующим образом:

1. Брался график при конкретном значении относительной скорости \bar{v} .

2. Из конкретного набора базовых функций $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ находилась основная функция $f(\bar{x})$:

$$f(\bar{x}) = K_1\Phi_1(\bar{x}) + K_2\Phi_2(\bar{x}) + \dots + K_n\Phi_n(\bar{x}).$$

Коэффициенты K_1, K_2, \dots, K_n подбирались с помощью системы *MathCAD* так, чтобы основная функция наилучшим образом совпадала с экспериментальной. Для каждой базовой функции был подобран коэффициент, который надо было использовать при построении основной функции для данного значения \bar{v} .

3. Находилась зависимость коэффициентов каждой базовой функции от \bar{v} : $K_1 = K_1(\bar{v})$ по методу, изложенному в пункте 2.

4. Результирующая функция $\bar{y} = f(\bar{x}, \bar{v})$ равна

$$f(\bar{x}, \bar{v}) = K_1(\bar{v})\Phi_1(\bar{x}) + K_2(\bar{v})\Phi_2(\bar{x}) + \dots + K_n(\bar{v})\Phi_n(\bar{x}).$$

Вышеуказанные действия проводились для круглой и овальной струй.

Найденные параметрические функции имеют вид:

- для круглой струи

$$f(\bar{x}, \bar{v}) = K_1(\bar{v}) + K_2(\bar{v})\lg(\bar{x} + 1) + K_3(\bar{v})\lg(\bar{x} + 2), \quad (1)$$

где

$$K_1(\bar{v}) = 37,405 - 73,18\sqrt{\bar{v}} + 60,087\bar{v} - 5,76e^{\bar{v}},$$

$$K_2(\bar{v}) = -49,868 - 99,681\sqrt{\bar{v}} - 77,788\bar{v} - 7,8e^{\bar{v}},$$

$$K_3(\bar{v}) = 14,98 - 29,81\sqrt{\bar{v}} + 23,335\bar{v} - 2,339e^{\bar{v}};$$

- для овальной струи

$$f(\bar{x}, \bar{v}) = K_1(\bar{v}) + K_2(\bar{v})\lg(\bar{x} + 1) + K_3(\bar{v})\lg(\bar{x} + 2), \quad (2)$$

где

$$K_1(\bar{v}) = -184,05 + 338,053\sqrt{\bar{v}} - 229\bar{v} + 19,531e^{\bar{v}},$$

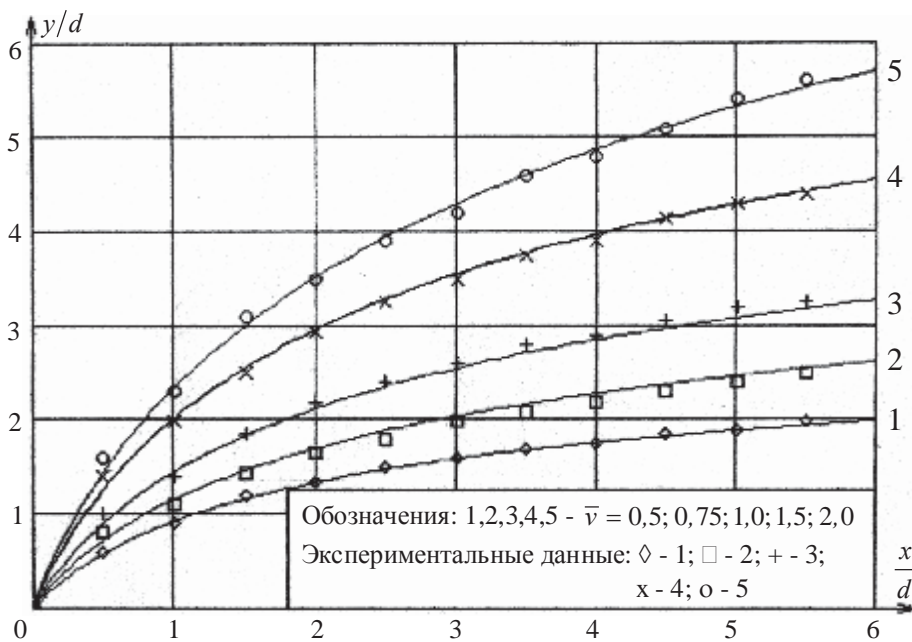


Рис. 5. Истечение струи из круглого отверстия

$$K_2(\bar{v}) = 351,236 - 615,581\sqrt{\bar{v}} + 389,882\bar{v} - 30,826e^{\bar{v}}$$

$$K_3(\bar{v}) = -103,639 + 181,664\sqrt{\bar{v}} - 115,502\bar{v} + 9,209e^{\bar{v}}$$

Экспериментальные данные и кривые параметрических уравнений показаны на рис. 5, 6.

Из сопоставления экспериментальных графиков можно сделать следующие выводы:

1. С увеличением относительной скорости \bar{v} ординаты передней границы y/d и y/h возрастают. У струи овальной формы нарастание ординаты происходит более интенсивно.

2. Наличие турбулизирующих решеток в сносящем потоке существенно изменяет положение передней границы зоны смешения потоков. Значительно возрастают углы выхо-

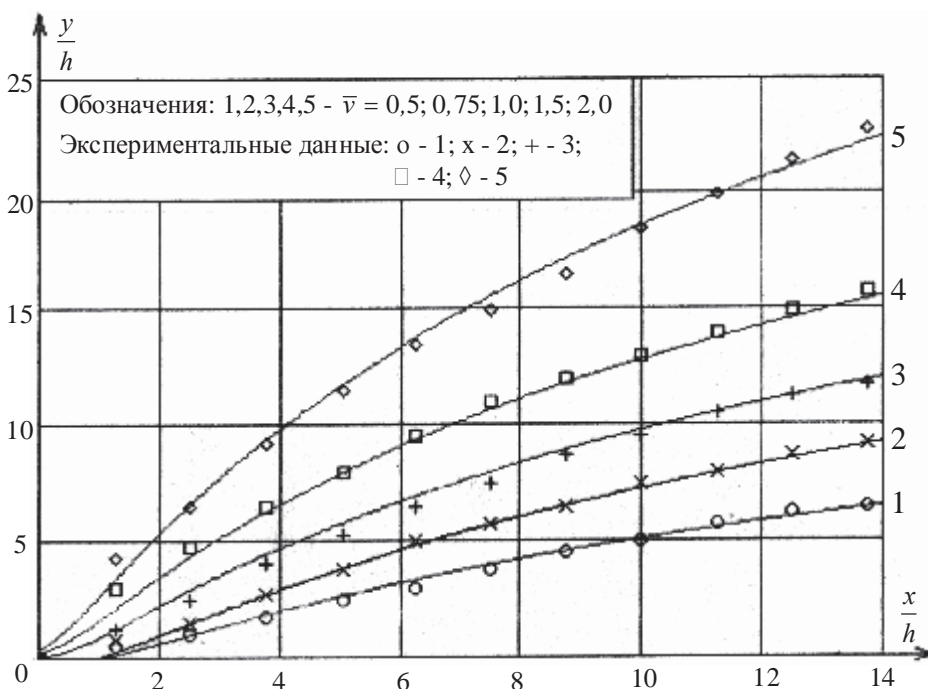


Рис. 6. Истечение струи из овального отверстия

да струй углекислого газа, интенсивнее увеличивается ордината границ струи u с ростом координаты x .

3. Помещение турбулизирующих решеток в магистраль углекислого газа качественно не изменяет картины взаимодействия потоков. При этом наблюдается уменьшение значений ординат границ зоны смешения как для круглой, так и для овальной струй.

Список литературы

1. Теория турбулентных струй. / Под ред. Г. Н. Абрамовича. - М.: Наука, 1984.

2. Палатник И. Б., Темирбаев Д. Ж. Закономерности распространения осесимметричной воздушной струи в сносящем одно-

родном потоке // Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. - 1967, вып. 4.

3. Акатнов Н. И. Круглая турбулентная струя в поперечном потоке // МЖГ. – 1969. №6.

4. Иванов Ю. В., Гендриксон В. А. Закономерности изменения осевой скорости осесимметричной струи в поперечном потоке // Теплоэнергетика. – 1968. №11.

5. Горелов Ю. А., Висков А. Н., Филиппова Н. М. Расчет поля скоростей и давлений, индуцируемых струй в сносящем потоке // Труды ЦАГИ. - 1972, вып.1412.

6. Васильев Л. А. Теневые методы. - М.: Наука, 1968.

MIXING A CARBONIC ACID JET WITH AIR FLOW

© 2006 N. M. Rogatchyov

Samara State Aerospace University

The paper analyses the influence of flow velocity ratios, initial turbulence degrees and configurations of carbonic acid gas jets propagating in the transverse air flow on the position of the shift area front boundary.

ЗАРЯД МЕНИСКА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ИГОЛЬЧАТОМ ЭЛЕКТРОДЕ

© 2006 С. М. Шепелев, Н. Д. Семкин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Проведен расчет напряженности электрического поля и заряда на поверхности и в объеме мениска диэлектрической жидкости на высоковольтном игольчатом электроде с учетом влияния поверхностного заряда на результирующее поле.

Процесс электродиспергирования жидкости широко применяется от электро-капель-струйных регистрирующих устройств до научных приборов, создаваемых для изучения веществ в экстремальных состояниях.

В настоящее время для лабораторного исследования воздействия высокоскоростных частиц космической пыли на элементы конструкции космического аппарата (КА) используются ускорители твердых частиц, в основу которых положено ускорение заряженных твердых частиц в электростатическом поле.

Для изучения влияния на элементы конструкции КА жидких частиц разработан инжектор диэлектрических жидких частиц, состоящий из гидродинамического насоса, капилляра с игольчатым электродом, ускоряющего электрода, системы фокусировки.

В мениске диэлектрической жидкости на конце капилляра при высокой напряженности электрического поля образуется заряд. Действующие на него кулоновские силы приводят к разрушению капли, к отрыву частицы жидкости от мениска [1].

Критерий отрыва частицы от мениска записывается следующим образом:

$$W_{\text{ин}} + W_{\text{э}} = 0, \quad (1)$$

где $W_{\text{ин}} = \int_S \alpha dS$ - поверхностная энергия,

$$W_{\text{э}} = \frac{1}{2} \int_S \sigma_e(\mathcal{F}) \varphi(\mathcal{F}) dS + \frac{1}{2} \int_V \rho_e(\mathcal{F}) \varphi(\mathcal{F}) dV -$$

энергия взаимодействия поверхностного и объемного заряда с внешним полем,

σ_e - поверхностная плотность заряда на поверхности диэлектрической жидкости, ρ_e - объемный заряд в диэлектрической жидкости.

При этом необходимо учитывать, что при диспергировании изменение системы энергии должно быть минимальным.

Таким образом, важной задачей при исследовании электродиспергирования жидкости является определение напряженности поля и распределения заряда.

В слабопроводящих средах под влиянием сильных неоднородных электрических полей возникает конвективное движение. Объяснение этого явления основано на том, что в слабопроводящей среде с неоднородным распределением параметров (плотности, температуры, напряженности электрического поля) образуется объемный заряд, определяемый градиентом проводимости среды [2]. Механизм проводимости жидких диэлектриков, как и водных электролитов, носит ионный характер, а ионообразование происходит вследствие термической самодиссоциации примесных ионов. Наряду с электрокондуктивным механизмом зарядообразования заряд в приэлектродных областях может появиться вследствие перехода электрона через границу «электрод-жидкий диэлектрик» (ионизационно-рекомбинационный механизм). Ионообразование может происходить в результате приэлектродных реакций, причем у каждого из электродов возникает заряд одноименного с ним знака [3].

В работах [4, 5, 6] при изучении объемного заряда в слабопроводящих жидкостях отмечается хорошее экспериментальное согласие с моделью проводимости Френкеля [7].

В области высокой напряженности электрического поля, в соответствии с моделью Френкеля, проводимость диэлектрика задается соотношением

$$\sigma = \sigma_0 \exp \frac{e^{3/2} E^{1/2}}{(\pi \varepsilon)^{1/2} kT}. \quad (2)$$

Рассмотрим систему электродов, пространство между которыми заполнено вакуумом. Игольчатый электрод покрыт слоем диэлектрической жидкости.

Градиент проводимости обусловлен неоднородностью электрического поля и неоднородностью среды. На границе раздела жидкий диэлектрик-вакуум проводимость скачкообразно изменяется. Будем искать заряд диэлектрической жидкости на игольчатом электроде как объемный заряд жидкости и поверхностный заряд на границе раздела двух сред жидкость-вакуум.

Объемный заряд в жидкости будем находить в соответствии с [6], решая совместно систему уравнений сохранения заряда и закона Гаусса:

$$\operatorname{div} \left(\sigma \vec{E} + \rho_e \vec{V} + \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) \right) = 0, \quad (3)$$

$$\operatorname{div} (\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) = \rho_e. \quad (4)$$

Сделав допущение, что жидкость поляризуется линейно (изменение μ , измеренное в полях до 10 кВ/мм, у различных жидкостей не более 1 %) [8], получим уравнение

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} = - \left(\frac{\sigma}{\varepsilon} \rho_e + \vec{E} \operatorname{grad} \sigma \right). \quad (5)$$

Решая его при начальных условиях $\rho|_{t=0} = 0$, получим

$$\rho_e = - \frac{\varepsilon}{\sigma} A \left(1 - \exp \left(- \frac{\sigma}{\varepsilon} t \right) \right), \quad (6)$$

где $A = \vec{V} \operatorname{grad} \sigma$.

Получим в установившемся режиме

$$\rho_{ev} = - \frac{\varepsilon}{\sigma} \vec{V} \operatorname{grad} \sigma. \quad (7)$$

Заряд на границе раздела обусловлен током в жидком диэлектрике:

$$\frac{\partial \sigma_{ГР}}{\partial t} = j|_{ГР} = (\sigma E)|_{ГР}. \quad (8)$$

Пренебрегая влиянием объемного заряда, в приближении к квазистационарности процесса решаем задачу электростатики с граничными условиями на краю ускоряющего электрода, на краю игольчатого электрода и на границе раздела двух диэлектриков (жидкость-вакуум), на которой имеется поверхностный заряд σ_e .

Так как результаты аналогового моделирования электростатических полей реальных электродных систем в электролитической ванне по методу К. С. Демирчяна [9] показали, что изменение диаметра отверстия ускоряющего электрода в широком диапазоне не оказывает заметного влияния на распределение напряженности поля в непосредственной близости от кончика иглы, этим влиянием можно пренебречь. Так как диаметр ускоряющего электрода много больше диаметра острия, рассмотрим систему электродов игла-плоскость.

Расчетную модель системы электродов удобно представить в виде софокусных гиперболоидов вращения. Одним из них, наиболее узким, аппроксимируется игольчатый электрод, вторым - поверхность жидкости, а третьим (вырожденным в плоскость) - ускоряющий электрод, не имеющий отверстий.

Система симметрична в цилиндрических координатах по углу, поэтому задача решается на плоскости. Потенциал электрического поля в области между границей жидкости и ускоряющим электродом и в области между границей жидкости и игольчатым электродом является гармоническим, и поэтому в этих областях можно построить аналитическую функцию комплексной переменной: $f(z) = V(x, y) + iU(x, y)$.

Рассмотрим электростатическую задачу в комплексной плоскости z (рис. 1).

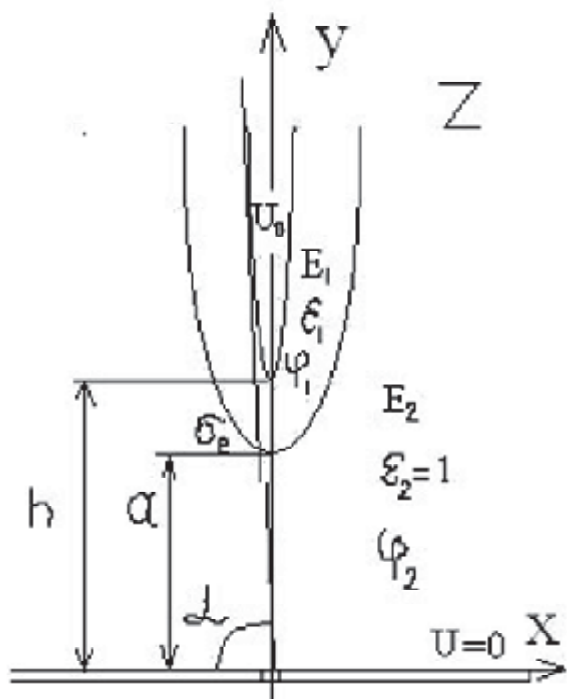


Рис. 1. Схема системы электродов в плоскости Z

Комфортное преобразование гиперболоида над плоскостью (рис. 1) в плоский бесконечный конденсатор (рис. 2) выглядит следующим образом [10]:

$$w = \frac{h}{\alpha} \ln \left(\frac{z \sin \alpha}{h} + \sqrt{\frac{z^2 \sin^2 \alpha}{h^2} + 1} \right). \quad (9)$$

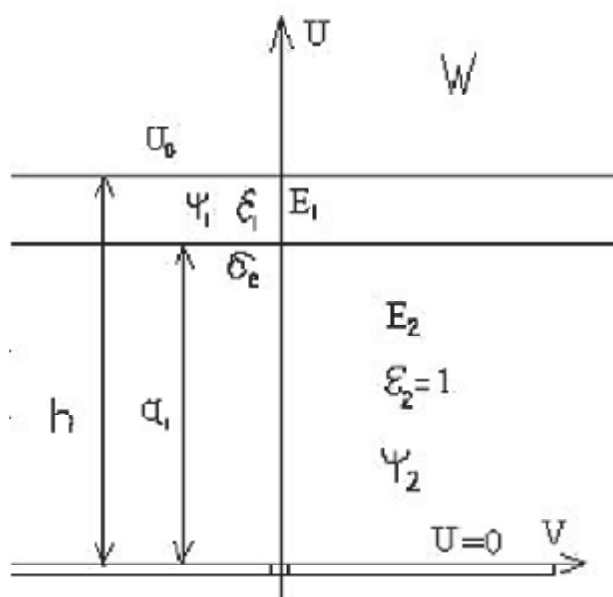


Рис. 2. Схема системы электродов в плоскости W

Определим поле плоского бесконечного конденсатора, между обкладками которого на границе раздела диэлектрика и вакуума заряд распределен с поверхностной плотностью σ_e . Для этого будем решать совместно уравнения Лапласа для ψ_1 и ψ_2 при граничных условиях: $\psi_1(h) = U_0$, $\psi_2(0) = 0$, $\epsilon_0 E_2 - \epsilon_0 \epsilon_1 E_1 = \sigma_e$.

Выражения для комплексного потенциала в W плоскости выглядят следующим образом:

$$\psi_1 = \frac{U_0 - a_1 \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}}{K} (w - h) + U_0, \quad (10)$$

$$\psi_2 = \left(\epsilon_1 \frac{U_0 - a_1 \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}}{K} + \frac{\sigma_e}{\epsilon_0} \right) w, \quad (11)$$

где $K = (\epsilon_1 - 1)a_1 + h$ - коэффициент, характеризующий параметры слоя диэлектрической жидкости.

Расстояние от ускоряющего электрода до поверхности жидкости a_1 нетрудно вычислить из уравнения эквипотенциальных линий:

$$\left(\frac{y}{\frac{h}{\sin \alpha} \sin \frac{\alpha U}{U_0}} \right)^2 - \left(\frac{x}{\frac{h}{\sin \alpha} \cos \frac{\alpha U}{U_0}} \right)^2 = 1. \quad (12)$$

Из (12) получим

$$a_1 = \frac{h}{\alpha} \arcsin \frac{a \sin \alpha}{h}. \quad (13)$$

Решая (8) совместно с (10), получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \sigma_e}{\partial t} = \sigma_1 \frac{U_0}{K} - \frac{\sigma_1 a_1 \sigma_e}{\epsilon_0 K}, \quad (14)$$

где $\sigma_1 = \sigma_0 \exp \frac{e^{3/2} U_0^{1/2}}{(K \pi \epsilon_1)^{1/2} k T}$.

Решая уравнение (14), получим

$$\sigma_a = \frac{\varepsilon_0 U_0}{a_1} \left(1 - \exp\left(-\frac{\sigma_1 a_1}{\varepsilon_0 K} t\right) \right). \quad (15)$$

С учетом (15) уравнения (10) и (11) перепишутся:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \frac{U_0}{K} \exp\left(-\frac{\sigma_1 a_1}{\varepsilon_0 K} t\right) (w-h) + U_0 = \\ &= A(t)(w-h) + U_0, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \psi_2 &= \left[\varepsilon_1 \frac{U_0}{K} \exp\left(-\frac{\sigma_1 a_1}{\varepsilon_0 K} t\right) + \right. \\ &\left. + \frac{U_0}{a_1} \left(1 - \exp\left(-\frac{\sigma_1 a_1}{\varepsilon_0 K} t\right) \right) \right] w = B(t)w. \end{aligned} \quad (17)$$

Из теории конформного преобразования известно [11]:

$$E = E_x + iE_y = -i \frac{\partial \varphi}{\partial z}. \quad (18)$$

Сделав преобразование в плоскость Zc помощью (9), из уравнений (16) и (17) получим комплексный потенциал системы электродов гиперболоид - плоскость со слоем жидкости на гиперболоиде (игле). Продифференцируем его:

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = A(t) \left(\frac{h \sin \alpha}{\alpha \sqrt{z^2 \sin^2 \alpha + h^2}} \right), \quad (19)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial z} = B(t) \left(\frac{h \sin \alpha}{\alpha \sqrt{z^2 \sin^2 \alpha + h^2}} \right). \quad (20)$$

Из (18), (19) и (20) получим выражения для модуля напряженности электрического поля:

$$|\bar{E}_1| = A(t) \left(\frac{h}{\alpha} \right)^4 \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + \rho^2 - z^2 \right)^2 + 4\rho^2 z^2}}, \quad (21)$$

$$|\bar{E}_2| = B(t) \left(\frac{h}{\alpha} \right)^4 \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + \rho^2 - z^2 \right)^2 + 4\rho^2 z^2}}. \quad (22)$$

Зависимости напряженности электрического поля на оси z в жидком диэлектрике (в трансформаторном масле при $h = 0,03$ м, толщине диэлектрика 10^{-5} м, угле $\alpha = 99^\circ$ и $U_0 = 1000$ В) на кончике острия от времени, от расстояния между игольчатым электродом и ускоряющим, от толщины слоя диэлектрической жидкости приведены на рис. 3, 4, 5, соответственно.

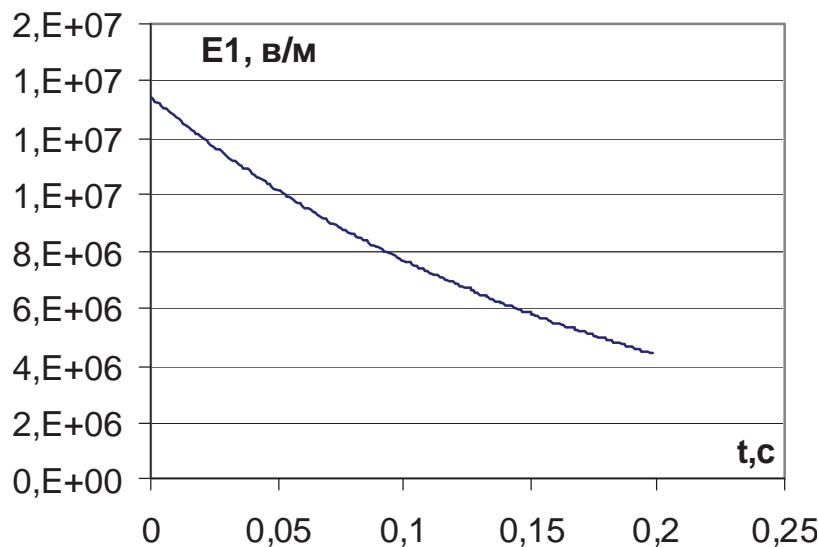


Рис. 3. Зависимость напряженности E_1 у острия иглы от времени

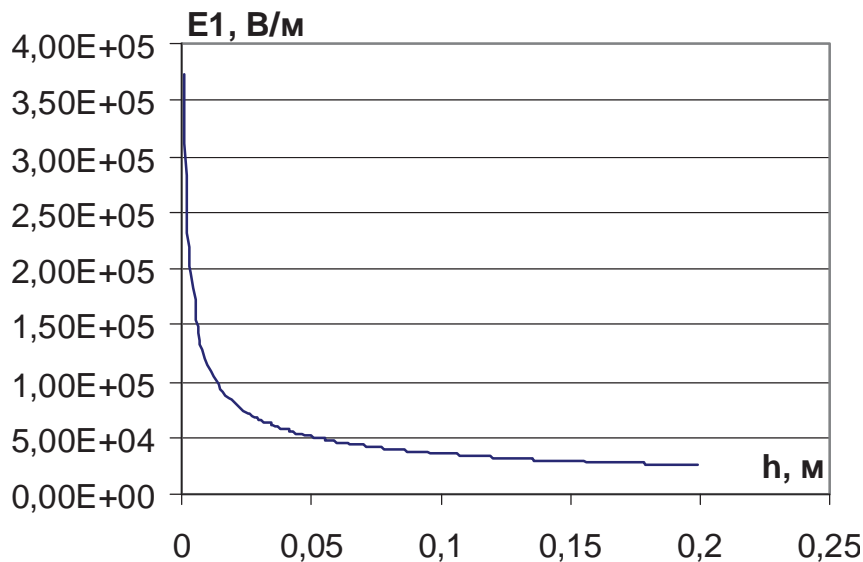


Рис. 4. Зависимость напряженности E_1 у острия иглы от расстояния между иглой и ускоряющим электродом

Исходя из того, что поверхностный заряд обусловлен скачком нормальной составляющей электрической индукции $\epsilon_0 E_2 - \epsilon_0 \epsilon_1 E_1 = \sigma_e$, получим значение истинного поверхностного заряда σ_{eu} :

$$\sigma_{eu} = \frac{\epsilon_0 h U_0}{a_1 \alpha} \left(1 - \exp\left(-\frac{\sigma_1 a_1 t}{\epsilon_0 K}\right) \right) \times \sqrt[4]{\frac{1}{\left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + \rho^2 - z^2\right)^2 + 4\rho^2 z^2}}, \quad (23)$$

где ρ и z координаты точек, лежащих на поверхности жидкости.

На рис. 6 показана зависимость плотности заряда на поверхности мениска диэлектрической жидкости (в трансформаторном масле при $h = 0,03$ м, толщине диэлектрика 10^{-5} м, угле $\alpha = 99^\circ$ и $U_0 = 1000$ В) при $\rho = 0$ (на оси z) от времени.

Из (7) и (21), учитывая, что вектор напряженности и градиент проводимости противоположно направлены, и пренебрегая временем релаксации заряда, получим выражение для объемного заряда в диэлектрической

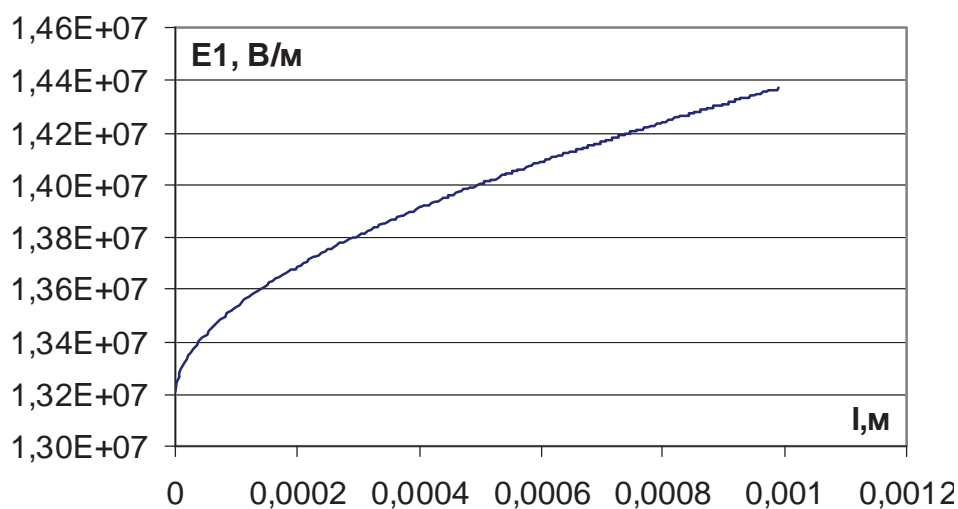


Рис. 5. Зависимость напряженности E_1 у острия иглы от толщины слоя диэлектрика

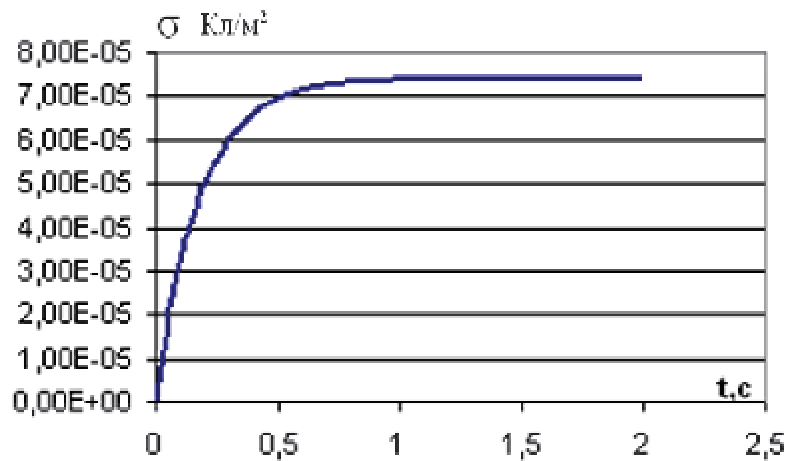


Рис. 6. Зависимость плотности заряда на поверхности диэлектрической жидкости от времени

жидкости мениска на конце игольчатого высоковольтного электрода:

$$\rho = \frac{\epsilon_1 (\dot{a} \cdot A(t) \cdot h)^2}{2\alpha^2 (\pi\epsilon_1)^{\frac{1}{2}} kT} \left(\left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + x^2 - y^2 \right)^2 + 4x^2 y^2 \right)^{\frac{11}{8}} \times \sqrt{x^2 \left(\left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + x^2 + y^2 \right)^2 + y^2 \left(\frac{h^2}{\sin^2 \alpha} + 3x^2 - y^2 \right)^2 \right)} \quad (24)$$

На рис. 7 приведена зависимость плотности объемного заряда мениска диэлектрической жидкости (в трансформаторном масле при $h = 0,03$ м, толщине диэлектрика 10^{-5} м, угле $\alpha = 99^\circ$ и $U_0 = 1000$ В) у острия

игольчатого электрода от времени без учета влияния поверхностного заряда на результирующее поле.

Действительно, объемный заряд уменьшается во времени вместе с напряженностью поля, обеспечивающей градиент проводимости. Рассмотрев (6) и (24), видим, что релаксация объемного заряда происходит медленнее уменьшения напряженности поля, вызванного образованием поверхностного заряда. Это значит, что объемный заряд в мениске будет очень мал и все процессы обусловлены поверхностным зарядом диэлектрической жидкости. Следовательно, в (1) при определении параметров и режимов диспергирования энергией взаимодействия объемного заряда с внешним полем можно пренебречь.

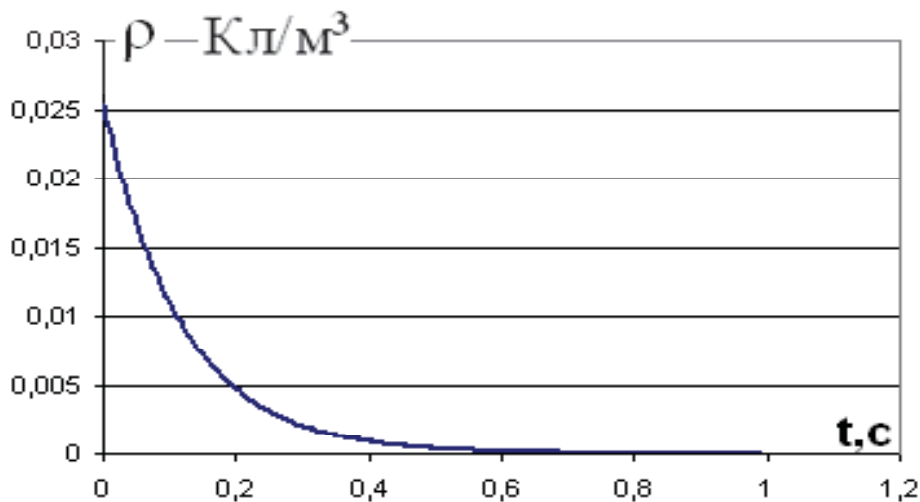


Рис. 7. Зависимость объемной плотности заряда мениска диэлектрической жидкости от времени

Заключение

Количественные оценки, сделанные в рамках рассмотренной модели, позволяют утверждать, что при выполнении очевидного требования влияния поверхностного заряда мениска жидкости на игольчатом электроде на электрическое поле системы электродов игла – плоскость объемным зарядом мениска диэлектрической жидкости можно пренебречь, а решающее влияние на процесс диспергирования оказывает поверхностный заряд мениска жидкости.

Применение предложенной модели позволяет определить критерии электродиспергирования и параметры ускоряемой жидкой диэлектрической частицы.

Список литературы

1. Нагорный В. С. Электро-капле-струйные регистрирующие устройства. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988.
2. Остроумов Г. А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. - М.: Наука, 1979.
3. Стишков Ю. К., Остапенко А. А. Электро-гидродинамические течения в жидких диэлектриках. - Л.: Издательство Ленинградского университета, 1989.
4. Апфельбаум М. С., Поляский В. А. Об образовании объемного заряда в слабопроводящих жидкостях // Магнитная гидродинамика. - 1982. № 1. – С. 71-76.
5. Ятовский Е. И., Апфельбаум М. С. О силе, действующей от игольчатого электрода на слабопроводящий жидкий диэлектрик, и вызываемых ею течениях // Магнитная гидродинамика. - 1977. №4. – С. 73-80.
6. Апфельбаум М. С., Баранова Т. Н., Северов А. М., Скуратовский Н. О., Ятовский Е. И. Электроковекция в диэлектрических жидкостях // Труды VIII рижской конференции. - С. 275-278.
7. Френкель Я. И. К теории электрического пробоя в диэлектриках и электронных полупроводниках // ЖЭТФ. - 1938. т.8. № 12.- С. 1292-1301.
8. Любимов Ю. А. Диэлектрическое насыщение в жидкостях и полимерах // Физика и физико-химия жидкостей. - М.: Изд-во МГУ, 1973. – Вып. 2.
9. Демирчян К. С. Моделирование магнитных полей. - Л.: Энергия, 1974.
10. Новгородцев А. Б., Фатхиев А. Р., Фатхиева И. С. Применение функции комплексного переменного к расчету электростатических полей электродов сложной конфигурации. - Уфимский авиационный институт, 1986.
11. Свешников А. Г., Тихонов А. Н. Теория функций комплексной переменной. - М.: Физматлит, 2001.

DIELECTRIC LIQUID MENISCUS CHARGE ON A HIGH-VOLTAGE NEEDLE ELECTRODE

© 2006 N. D. Syomkin, S. M. Shepelev

Samara State Aerospace University

The paper presents the calculation of electric field intensity and charge on the surface in the volume of dielectric liquid meniscus on a high-voltage needle electrode with regard to the influence of the surface charge on the resultant field.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ВОЗДУХОМ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ

© 2006 В. П. Шорин, М. А. Гимадиев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Изложена методика расчета гидродинамических параметров при движении столба жидкости в пластмассовой трубопроводной магистрали, частично заполненной воздухом и подключенной к емкости с воздушной полостью над жидкостью. Движение жидкости начинается с момента открытия электропневмозаслонки и зависит от давления в емкости, параметров трубопроводов и числа их изгибов. Расчет гидродинамических параметров ведется в результате решения нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений конечно-разностным методом. В результате расчета определяются скорость жидкости, силы реакции жидкости в изгибах трубопроводов и анализируется влияние действующих на них факторов.

Малый опыт эксплуатации пластмассовых труб и арматуры в технологических системах не позволяет учесть многие их особенности при проектировании и доводке. Поэтому в процессе эксплуатации таких систем часто возникают задачи, связанные с обеспечением их надежности.

Целью исследований является разработка математической модели гидродинамических процессов в трубопроводной магистрали, подсоединенной к емкости с воздушной полостью над жидкостью (рис. 1), и определение динамических нагрузок в изгибах трубопроводов при резком открытии электропневмозаслонки (ЭПЗ).

При расчете гидродинамических процессов принят ряд допущений: процесс истечения воздуха из емкости в трубопровод происходит по изотермическому циклу; скорость движения столба жидкости в трубопроводе намного меньше скорости звука; движение воздуха в трубопроводе (впереди потока жидкости) рассчитывается по квазистационарной модели; жидкостная «пробка» распространяется по трубопроводной магистрали без остатка.

В соответствии с принятыми допущениями гидродинамический процесс в трубопроводной магистрали описывается интегральными и дифференциальными уравнениями, соответственно для входного (воздушного) участка, для участка с движущейся жидкостной пробкой и выходного воздушного участка.

Уравнение для воздушного участка на входе в трубопровод выводится на основании уравнения баланса массы газа в емкости (над жидкостью) (рис. 1). Первоначальная масса газа, запасенная в верхней части емкости (фильтра), определяется зависимостью

$$M_{z.0} = V_{\phi.0} \rho_{z.0}, \quad (1)$$

где $V_{\phi.0}$ - объем воздушной полости над жидкостью в емкости в первоначальный момент

времени; $\rho_{z.0} = \frac{P_{\phi.0}}{RT}$, $P_{\phi.0}$ - плотность и давление

газа в емкости в первоначальный момент времени; R - газовая постоянная; T - температура газа.

При открытии заслонки жидкость, находящаяся в трубопроводах 1 и 2, начинает двигаться со скоростью $v_{ж}(t)$. При этом газ расширяется и давление в емкости $P_{\phi}(t)$ уменьшается. Масса газа, оставшаяся в емкости $M_{z.\phi}(t)$ и прошедшая в трубопровод $M_{z.mp}(t)$, равна первоначальной массе газа в газовой полости емкости:

$$M_{z.0} = M_{z.\phi}(t) + M_{z.mp}(t). \quad (2)$$

Масса газа, оставшаяся в емкости, определяется по формуле

$$M_{z.\phi} = \rho_{z.\phi}(t) [V_{\phi.0} - \Delta V_{ж}(t)], \quad (3)$$

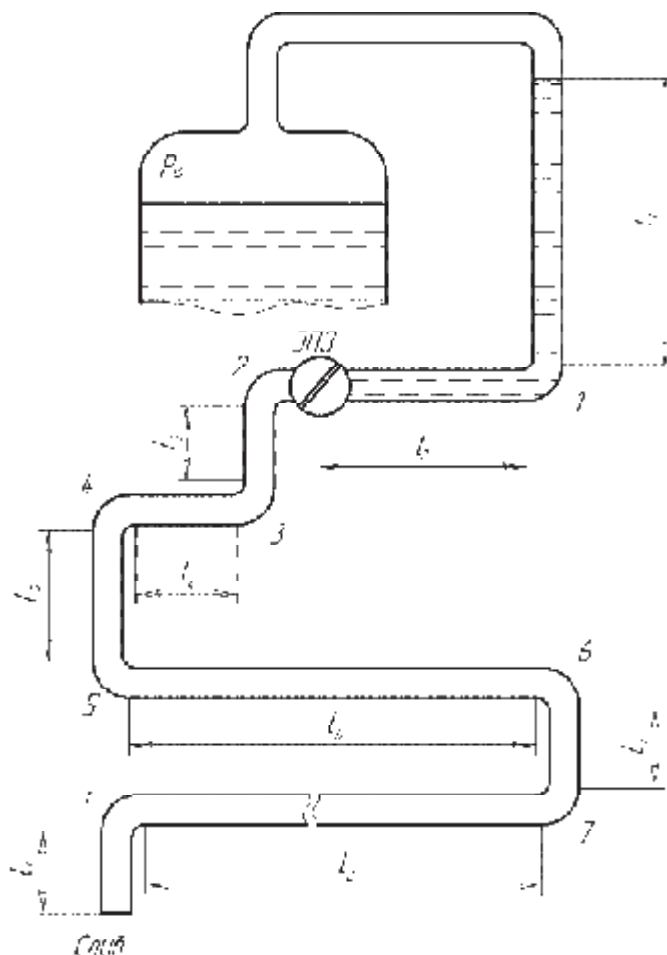


Рис. 1. Расчетная схема частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали, подсоединенной к емкости с воздушной полостью

где $\rho_{г.ф}(t)$ - плотность газа в емкости в момент времени t ; $\Delta V_{ж.ф}(t)$ - приращение объема жидкости, обусловленной ее расширением в результате падения давления и упругой деформации стенок емкости.

Приращение объема жидкости $\Delta V_{ж.ф}(t)$ определяется зависимостью

$$\Delta V_{ж.ф}(t) = \frac{V_{ж.ф}}{B_{ж.ф}} [P_{ф.0} - P_{ф}(t)], \quad (4)$$

где $V_{ж.ф}$ - объем жидкости в емкости;

$B_{ж.ф}$ - модуль объемной упругости жидкости в емкости с учетом податливости ее стенок;

$P_{ф.0}$ - первоначальное давление в газовой полости емкости.

Величина $B_{г.ф}$ может быть приближенно определена по формуле Н. Е. Жуковского [1]

$$B_{г.ф} = \frac{B_{г}}{1 + \frac{d_{г} B_{г}}{\delta E}}, \quad (5)$$

где $B_{г}$ - модуль объемной упругости жидкости; $d_{г}$ - диаметр емкости; δ - толщина стенок емкости; E - модуль упругости материала стенок емкости. Более точное значение $B_{г.ф}$ может быть получено экспериментальным путем измерений объема жидкости $\Delta V_{г.ф}$, вытесненной из тщательно заполненной водой емкости, и падения давления в ней $\Delta P_{г.ф}$:

$$B_{\alpha.\delta} = V_{\alpha.0} \frac{\Delta P_{\delta}}{\Delta V_{\delta}}, \quad (6)$$

где $V_{\alpha.0}$ - внутренний объем емкости, полностью заполненной жидкостью.

Плотность газа $\rho_{\alpha.\delta}(t)$, представленная в формуле (3), зависит от давления $P_{\delta}(t)$ [1]:

$$\rho_{\alpha.\delta}(t) = \frac{P_{\delta}(t)}{RT}. \quad (7)$$

С учетом (4) и (7) формула (3) переписывается в виде

$$\dot{m}_{\alpha.\delta}(t) = \frac{P_{\delta}(t)}{RT} \left\{ V_{\delta.0} - \frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}} [P_{\delta.0} - P_{\delta}(t)] \right\}. \quad (8)$$

Масса газа, прошедшего в первый участок трубопровода, определяется зависимостью

$$M_{\alpha.\delta\delta}(t) = \rho_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t) \int_0^t Q_{\alpha}(t) dt, \quad (9)$$

где $\rho_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t)$ - плотность газа; $Q_{\alpha}(t) = v_{\alpha}(t)F$ - объемный расход жидкости, движущейся в трубопроводе; F - площадь проходного сечения трубопровода.

Плотность газа в трубопроводе $\rho_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t)$ зависит от давления газа $P_{\delta}(t)$ (без учета гидравлических потерь на трение по сравнению с абсолютным значением давления):

$$\rho_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t) = \frac{P_{\delta}(t)}{RT}. \quad (10)$$

Уравнение (2) с учетом (8) - (10) переписывается в виде

$$\frac{P_{\delta.0}V_{\delta.0}}{RT} = \frac{P_{\delta}(t)}{RT} \left\{ V_{\delta.0} - \frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}} [P_{\delta.0} - P_{\delta}(t)] \right\} + \frac{P_{\delta}(t)}{RT} \int_0^t Q_{\alpha}(t) dt. \quad (11)$$

Сократив RT в левой и правой частях (11) и преобразовав, получим

$$\frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}} P_{\delta}^2(t) + \left[\int_0^t Q_{\alpha}(t) dt - \frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}} P_{\delta.0} + V_{\delta.0} \right] \times P_{\delta}(t) - P_{\delta.0}V_{\delta.0} = 0. \quad (12)$$

Если известна величина $\int_0^t Q_{\alpha}(t) dt$, то уравнение (12) можно решить относительно $P_{\delta}(t)$, предварительно представив его в виде

$$aP_{\delta}^2(t) + bP_{\delta}(t) - c = 0, \quad (13)$$

где $a = \frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}}$; $b = \int_0^t Q_{\alpha}(t) dt - \frac{V_{\alpha.\delta}}{B_{\alpha.\delta}} P_{\delta.0} + V_{\delta.0}$;

$$\tilde{c} = P_{\delta.0}V_{\delta.0}.$$

Решив квадратное уравнение (13), получим

$$P_{\delta}(t) = \frac{\sqrt{b^2 + 4ac} - b}{2a}. \quad (14)$$

Если $P_{\delta}(t)$ имеет отрицательное значение, то из физических соображений ему будет присвоено нулевое значение.

Уравнение движения газа в трубопроводе за ЭПЗ, представленное относительно давления на входе в воздушный участок магистральной $P_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t)$, записывается в виде [2]:

$$P_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t) = \left\{ \left[1 - \frac{1}{RT} (v_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t))^2 \times \left[\lambda_{\alpha} \frac{l_{\alpha\delta\delta}}{d} - \Delta l_2(t) + 2 \ln \left(\frac{P_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t)}{P_H} \right) \right] \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} P_H, \quad (15)$$

где $v_{\alpha.\delta\delta}^{(1)}(t)$ - скорость потока газа на входе в воздушный участок трубопровода за движущейся жидкостью (рис. 1); λ_{α} - коэффициент

сопротивления трения газового потока; $l_{\text{аио}}$ - длина выходного участка трубопровода после заслонки, заполненного воздухом; $\Delta l_2(t)$ - отрезок трубопровода за ЭПЗ, который прошел столб жидкости после открытия заслонки; P_H - давление на выходе из трубопроводной магистрали.

Так как $v_{\text{а.о.о}}^{(1)}(t) = \frac{Q_{\text{е}}(t)}{F}$ и

$$\Delta l_2(t) = \frac{1}{F} \cdot \int_0^t Q_{\text{е}}(t) \cdot dt, \text{ то уравнение (15)}$$

перепишется в виде

$$P_{\text{а.о.о}}^{(1)}(t) = \left\{ 1 - \frac{Q_{\text{е}}^2(t)}{RTF^2} \left(\frac{\lambda_{\text{а}}}{d} (l_{\text{аио}} - \frac{1}{F} \int_0^t Q_{\text{е}}(t) dt) + \right) \right\}^{\frac{1}{2}} P_H. \quad (16)$$

Из (16) следует, что противодействие на столб жидкости со стороны воздушного участка магистрали зависит от расхода жидкости, параметров трубопровода и давления окружающей среды P_H .

При выводе зависимости для определения давления на выходе из воздушного участка трубопровода перед столбом жидкости приняты следующие допущения: движение газа по трубопроводу изотермическое, квазистационарное; инерционное сопротивление столба газа в трубопроводе мало по сравнению с активными потерями. Тогда аналогично выводу уравнения (16) можно получить выражение для определения давления $P_{\text{а.о.о}}^{(2)}(t)$ на выходе из входного участка трубопровода (на входе в жидкостный столб):

$$P_{\text{а.о.о}}^{(2)}(t) = \left\{ 1 - \frac{Q_{\text{е}}^2(t)}{RTF^2} \left(\frac{\lambda_{\text{а}}}{d} (l_{\text{ао}} + \frac{1}{F} \int_0^t Q_{\text{е}}(t) dt) + \right) \right\}^{\frac{1}{2}} P_{\text{о}}(t), \quad (17)$$

где $l_{\text{ао}}$ - длина воздушного участка трубопровода перед жидкостным столбом до открытия заслонки.

Уравнение движения жидкости в трубопроводной магистрали выводится на основе уравнения баланса сил, действующих на массу жидкости. С учетом принятых ранее допущений уравнение движения жидкости в трубопроводе записывается в виде [3]:

$$L_{\text{а}}(t) \frac{dQ_{\text{е}}(t)}{dt} + K_{\text{иэ}}(t) Q_{\text{е}}(t) |Q_{\text{е}}(t)| = P_{\text{а.о.о}}^{(2)}(t) - P_{\text{а.о.о}}^{(1)} + \frac{\rho_{\text{е}} g}{F} (V_{\text{е.о}} - \int_0^t Q_{\text{е}}(t) dt), \quad (18)$$

где $L_{\text{а}}(t)$ - акустическая индуктивность участка трубопровода, заполненного жидкостью;

$K_{\text{иэ}}(t) = \frac{\rho_{\text{е}}}{2F^2} (\sum_{i=1}^{i=l} \zeta_{\text{и.о}}^{(i)} + \lambda_{\text{е.о}} \frac{l_{\text{е}}}{d})$ - коэффициент нелинейного гидравлического сопротивления участка трубопровода, заполненного жидкостью; $\zeta_{\text{и.о}}^{(i)}$ - коэффициент i -ых местных гидравлических потерь (изгибов трубопроводов) при неустановившемся движении жидкости; $\lambda_{\text{е.о}}$ - коэффициент гидравлических потерь в трубопроводе при неустановившемся движении жидкости; $l_{\text{е}} = l_1 + l_2$ - длина участка трубопровода, заполненного жидкостью; $\rho_{\text{е}}$ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения; $V_{\text{е.о}}$ - объем жидкости в вертикальном участке трубопровода длиной l_1 .

Из полученных уравнений (12), (17) и (18) следует, что возможны различные режимы движения жидкости в трубопроводной магистрали, и поэтому определение $L_{\text{а}}(t)$ и $K_{\text{иэ}}(t)$ следует проводить отдельно для каждого режима.

Режим 1. В емкости присутствует воздушная подушка над жидкостью, и трубопровод, начиная от ЭПЗ до выхода, заполнен воздухом. Акустическая индуктивность $L_{\text{а}}(t)$ в момент времени t определяется зависимостью

$$L_{\text{а}}(t) = \frac{\rho_{\text{а}} l_{\text{а}}}{F} \text{ при } \frac{1}{F} \int_0^t Q_{\text{е}}(t) dt \leq l_{\text{аио}} - l_{\text{е}},$$

$$L_a(t) = \frac{\rho_{\omega}}{F} (l_{\omega} - l_{\dot{a}\ddot{a}\delta} + \frac{1}{F} \int_0^t Q_{\omega} t dt) \quad (19)$$

при $\frac{1}{F} \int_0^t Q_{\omega} (t) dt \geq l_{\dot{a}\ddot{a}\delta} - l_{\omega}$.

Режим 2. В емкости присутствует воздушная полость над жидкостью, и трубопровод, начиная от ЭПЗ до выхода, заполнен жидкостью. Уравнение движения жидкости запишется в виде

$$\begin{aligned} L_{\dot{a}}(t) \frac{dQ_{\omega}(t)}{dt} + K_{i\ddot{e}}(t) Q_{\omega}(t) |Q_{\omega}(t)| = \\ = P_{\dot{a}\ddot{a}\delta}^{(2)}(t) + \frac{\rho_{\omega} g}{F} (V_{\omega,0} - \int_0^t Q_{\omega}(t) dt). \end{aligned} \quad (20)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления $K_{i\ddot{e}}(t)$ определяется в соответствии с (18), а акустическая индуктивность рассчитывается по зависимости

$$L_a(t) = \frac{\rho_{\omega}}{F} (l_{\omega} + l_{\dot{a}\ddot{a}\delta} - \frac{1}{F} \int_0^t Q_{\omega} t dt). \quad (21)$$

Движение жидкости в трубопроводе начинается с момента открытия ЭПЗ, характеристика которого учитывается при расчете суммарного сопротивления $K_{i\ddot{e}}(t)$. ЭПЗ открывается за время t_c . Принимая во внимание, что площадь проходного сечения заслонки в открытом положении равна $F_{\zeta,0} = \gamma F$ (где γ - коэффициент, учитывающий стесненность потока жидкости из-за наличия самой заслонки и узла ее крепления), закон изменения площади проходного сечения заслонки для трубопровода можно определить на основе данных, приведенных в [4]:

$$F_{\zeta}(t) = F_{\zeta,0} \cdot [1 - \cos(\alpha t)]. \quad (22)$$

Если заслонка за время $t = t_c$ поворачивается на угол, равный $\pi/2$, т. е. полностью открывается, то закон изменения площади

проходного сечения заслонки (22) можно представить в виде

$$F_{\zeta}(t) = \begin{cases} \gamma F_{\zeta,0} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{t_c}\right)\right) & \text{и\ddot{d}e } t < t_c; \\ \gamma F_{\zeta,0} & \text{и\ddot{d}e } t \geq t_c. \end{cases} \quad (23)$$

В результате решения системы нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений для трубопроводной магистрали с переменными параметрами может быть определена скорость движения жидкости в любом заданном сечении в заданный момент времени.

Расчет гидродинамических параметров потока жидкости в сливной магистрали при открытии заслонки проводится на основе решения нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Решение таких уравнений в явном виде не представляется возможным, и поэтому применен метод последовательных приближений с представлением интегрально-дифференциальных уравнений в разностной форме.

Перепишем уравнение (17) в следующем виде:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \left[\begin{aligned} & P_{\dot{a}\ddot{a}\delta}^{(2)}(t) - P_{\dot{a}\ddot{a}\delta}^{(1)}(t) + \frac{\rho_{\omega} g}{F} \times \\ & (V_{\omega,0} - \int_0^t Q_{\omega}(t) dt) - K_{i\ddot{e}}(t) Q_{\omega}(t) |Q_{\omega}(t)| \end{aligned} \right] / L_a(t). \quad (24)$$

Разностное уравнение, записанное на основании (24), имеет вид:

$$Q_{1,i} = Q_{1,i-1} + \left[\begin{aligned} & \left(P_{\dot{a}\ddot{a}\delta,i-1}^{(2)} - P_{\dot{a}\ddot{a}\delta,i-1}^{(1)} + \right. \\ & \left. \frac{\rho_{\omega}}{F} (V_{\omega,0} - \sum_{i=1}^{i=J} Q_{\omega,i-1} \Delta t) - \right. \\ & \left. K_{i\ddot{e},i-1} Q_{\omega,i-1} |Q_{\omega,i-1}| \right) \end{aligned} \right] / L_{a,i-1} \Delta t, \quad (25)$$

где $K_{i\ddot{e},i-1}$, $L_{a,i-1}$, $P_{\dot{a}\ddot{a}\delta,i-1}^{(1)}$, $P_{\dot{a}\ddot{a}\delta,i-1}^{(2)}$, $Q_{\omega,i-1}$ - соответственно коэффициент гидравлических потерь, акустическая индуктивность, давление и расход жидкости, рассчитываемые на предыдущем шаге интегрирования с учетом

начальных условий; Δt - шаг интегрирования.

На основании выведенных формул составлены алгоритм и программа расчета гидродинамических параметров трубопроводной магистрали [6]. В результате расчета определяются расход (скорость потока) жидкости в трубопроводной магистрали и давление в емкости. При известной скорости жидкости в местах изгиба рассчитываются гидродинамические силы, действующие на трубопроводы. Так как по допущению о сосредоточенности параметров трубопроводов объемная скорость потока в пределах выделенного столба жидкости одинакова, то и силы реакции струи в местах изгиба при одинаковых скоростях в один и тот же момент времени будут одинаковы. Поэтому для определения силы реакции струи жидкости в местах изгиба трубопроводов достаточно рассчитать скорость потока и определить, проходит ли в этот момент времени жидкость через тот или иной изгиб.

Гидродинамические силы рассчитываются на основе теоремы о количестве движения материальных точек. При выводе расчетных зависимостей будем предполагать, что движение жидкости в месте изгиба трубопровода квазистационарное. На основании теоремы об изменении количества движения массы жидкости, находящейся в изгибе трубопровода между сечениями на входе и выходе (рис. 2), можно записать [5]:

$$\left. \begin{aligned} \beta_0 \rho_\alpha Q_\alpha v_Y &= R_{\delta\delta.Y} - R_Y - R_{P.\dot{a}\dot{a}}, \\ \beta_0 \rho_\alpha Q_\alpha v_X &= R_{\delta\delta.X} + R_X - R_{P.\dot{a}\dot{a}\dot{a}} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

где β_0 - коэффициент, учитывающий неравномерность скорости потока жидкости по сечению трубопровода на входе в изгиб и на его выходе; v_Y - средняя по сечению трубопровода скорость потока жидкости на входе в изгиб; $R_{\delta\delta.Y}$ - проекция силы трения жидкости о стенку трубопровода внутри изгиба на ось Y ; R_Y - сила реакции струи на стенки трубопровода вдоль оси Y ; v_X - средняя по сечению трубопровода скорость потока жид-

кости на выходе из изгиба; $R_{\delta\delta.X}$ - проекция силы трения жидкости о стенки трубопровода внутри изгиба на ось X ; R_X - сила реакции струи на стенки трубопровода вдоль оси X ; $R_{P.\dot{a}\dot{a}}$, $R_{P.\dot{a}\dot{a}\dot{a}}$ - проекции силы давления жидкости соответственно на оси X и ось Y .

Так как участки трубопровода в месте изгиба малы, то при расчетах потерями на трение о стенки можно пренебречь: $R_{\delta\delta.X} \approx 0$, $R_{\delta\delta.Y} \approx 0$. Кроме того, учитывая большой диаметр трубопровода по отношению к пограничному слою и турбулентный характер потока, можно принять $\beta_0 = 1$. Учитывая однородность потока и одинаковость диаметров проходных сечений на входе в изгиб и на выходе из него, можно принять

$$v_X = v_Y = v, \quad (27)$$

$$R_{P.\dot{a}\dot{a}} = P_{\dot{a}\dot{a}} F, \quad R_{P.\dot{a}\dot{a}\dot{a}} = P_{\dot{a}\dot{a}\dot{a}} F, \quad (28)$$

где $P_{\dot{a}\dot{a}}$, $P_{\dot{a}\dot{a}\dot{a}}$ - статическое давление жидкости на входе в изгиб и на его выходе.

Тогда на основании (26)-(28) и принятых допущений силы реакции струи по осям X и Y запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} R_Y &= P_{\dot{a}\dot{a}} F + \rho_\alpha Q_\alpha v, \\ R_X &= P_{\dot{a}\dot{a}\dot{a}} F + \rho_\alpha Q_\alpha v. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

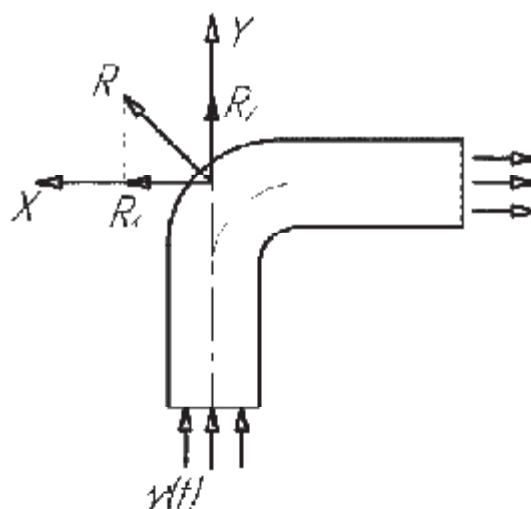


Рис. 2. Схема приложения сил реакции струи жидкости в месте изгиба трубопровода

Суммарная сила реакции струи на изгиб определяется по формуле

$$R = \sqrt{2(\rho_{\alpha} Q_{\alpha} v)^2 + (P_{\dot{\alpha}\delta} + P_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\delta})^2} F. \quad (30)$$

При действии силы реакции струи R на изгиб трубопровод испытывает сложное напряженное состояние. Входной и выходной участки трубопроводов подвергаются одновременно растяжению и изгибу. Сила R_x создает на входном участке изгибающий момент, а R_y - растяжение; на выходном участке R_x растягивает, а R_y создает изгибающий момент. В зависимости от конфигурации входного и выходного участков труб и степени крепления их в опорных точках могут быть определены напряжения в опасных сечениях и рассчитан запас прочности трубопроводных магистралей.

Список литературы

1. Попов Д. Н. Механика гидро- и пневмоприводов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002.
2. Ибрагимов А. И., Фарзана Н. Г., Илясов Л. В. Элементы и системы пневмоавтоматики. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1975.
3. Шорин В. П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. – М.: Машиностроение, 1980.
4. Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – М.: Машиностроение, 1976.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – М.: Издательство иностранной литературы, 1951.
6. Шорин В. П., Гимадиев М. А. Алгоритм расчета гидродинамических параметров частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали // Вестник СГАУ. – Самара, 2006. № 1(9). – С. 214-218.

MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN A PIPELINE PARTIALLY FILLED WITH AIR

© 2006 V. P. Shorin, M. A. Gimadiyev

Samara State Aerospace University

The papers present the procedure of calculating hydrodynamic parameters for liquid column motion in a plastic pipeline partially filled with air and connected up to a tank with an air cavity over the liquid. The liquid starts moving at the moment the electropneumatic gate is opened. End the motion depends on the pressure in the tank, pipeline parameters and the number of bends in the pipeline. Hydrodynamic parameters are calculated on the basis of solving non – linear integral and differential equations by the finite difference method. The results of calculation make it possible to define the liquid velocity, the forces of liquid reaction in pipeline bends and to analyse the influence of the factors affecting them.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ВОЗДУХОМ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ

© 2006 В. П. Шорин, М. А. Гимадиев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Изложен алгоритм программного обеспечения, позволяющего рассчитывать гидродинамические параметры столба жидкости в частично заполненной воздухом пластмассовой трубопроводной магистрали, подключенной к емкости с воздушной полостью над жидкостью при открытии электропневмозаслонки (ЭПЗ). Анализируется влияние объема полости в емкости и давления в ней, времени открытия заслонки, степени заполнения трубопроводной магистрали жидкостью, параметров трубопроводов и размеров диафрагм на скорость движения столба жидкости по трубопроводам и возникающие при этом силы реакции в изгибах труб. Даются рекомендации по снижению гидродинамических нагрузок на трубопроводы.

Расчет гидродинамических параметров потока жидкости в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали при открытии заслонки и опорожнении емкости проводится на основе решения нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, выведенными в [1]. Поскольку решение таких уравнений в явном виде не представляется возможным, применен метод последовательных приближений с представлением уравнений в разностной форме.

На основании выведенных в [1] формул и методики составлены алгоритм и программа расчета на ПЭВМ гидродинамических параметров в диалоговом режиме с вводом исходных данных с клавиатуры и выводом результатов на дисплей и при необходимости на принтер.

Алгоритм расчета скорости жидкости в трубопроводе построен таким образом, что определяется момент прохождения жидкостной пробки через тот или иной изгиб трубопровода. Если жидкость не проходит через изгиб в данный момент, то сила реакции потока жидкости равна нулю, а если проходит, то сила реакции потока жидкости в изгибе определяется по i -ой скорости. Таким образом, формируется массив данных, на основании которого строятся графики и анализируются гидродинамические нагрузки в изгибах трубопровода.

Программа написана под операционную систему Windows [2] и содержит испол-

няемый модуль, реализующий интерфейс пользователя и осуществляющий непосредственно вычислительные операции.

Исходными данными для расчета являются давление в фильтре; объем воздушной полости в емкости; объем емкости и ее объемная упругость; время открытия заслонки; время счета; состояние среды за заслонкой (воздух или жидкость); длины и диаметры участков трубопроводов; коэффициенты сопротивления изгибов трубопровода; номера изгибов, в которых установлена диафрагма; диаметр проходного сечения диафрагм. В дополнение к [1] алгоритмически учтен тот факт, что диаметры трубопроводов различных участков могут иметь разные диаметры.

Программа позволяет рассчитывать следующие параметры трубопроводной магистрали: площадь открытия заслонки во времени; скорость потока жидкости в трубопроводе от времени; изменение давления в емкости от времени; пройденный столбом жидкости путь; силы реакции потока жидкости в изгибах трубопровода от времени; гидравлическую расходную характеристику трубопроводной магистрали.

Теоретический анализ гидродинамических процессов в трубопроводной магистрали проводился на основе расчета скорости движения жидкости, давления в фильтре и сил реакции потока жидкости в изгибах труб при различных скоростях открытия ЭПЗ [1]. Была проверена степень адекватности расчетной модели реальным процессам (рис. 1, 2).

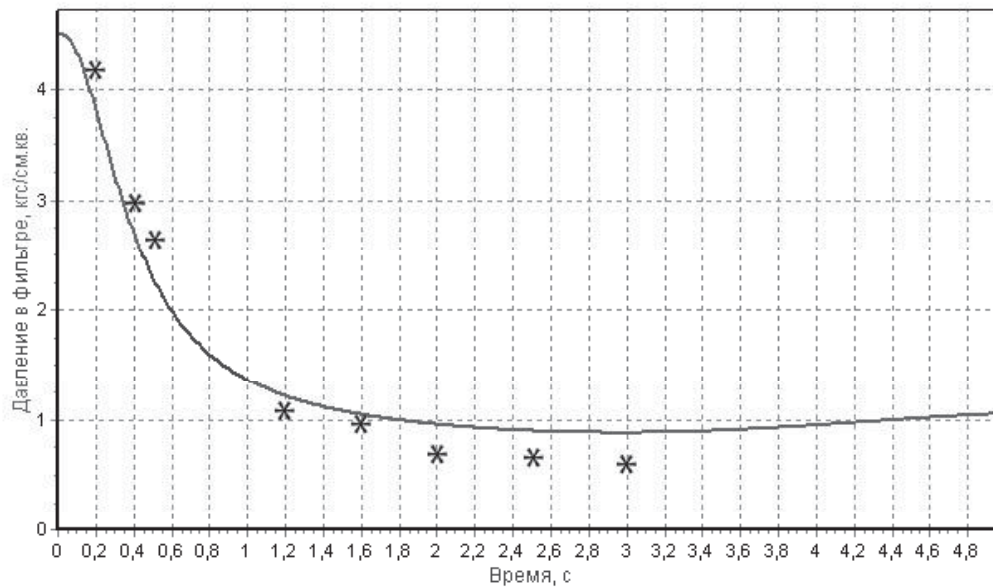


Рис. 1. Зависимость давления в емкости от времени при предварительном воздушном заполнении участка трубопровода за ЭПЗ: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: - - - - расчет; * * * - эксперимент

Максимальная скорость потока жидкости, рассчитанная и определенная по перепаду давления на третьем изгибе трубопровода, отличаются не более чем на 10 % (рис. 2). Известно, что скорость потока жидкости является одним из основных параметров, определяющих гидродинамические процессы в трубопроводе. Поэтому при таком совпадении расчетных и экспериментальных данных можно считать разработанную математическую

модель приемлемой для описания реальных процессов.

Дальнейший анализ проводился по результатам расчета гидродинамических процессов в трубопроводной магистрали с изменяющимися базовыми параметрами.

Расчеты и анализ показали, что объем воздушной полости в емкости до $0,01 \text{ м}^3$ не оказывает влияния на гидродинамические процессы и силы реакции потока жидкости в

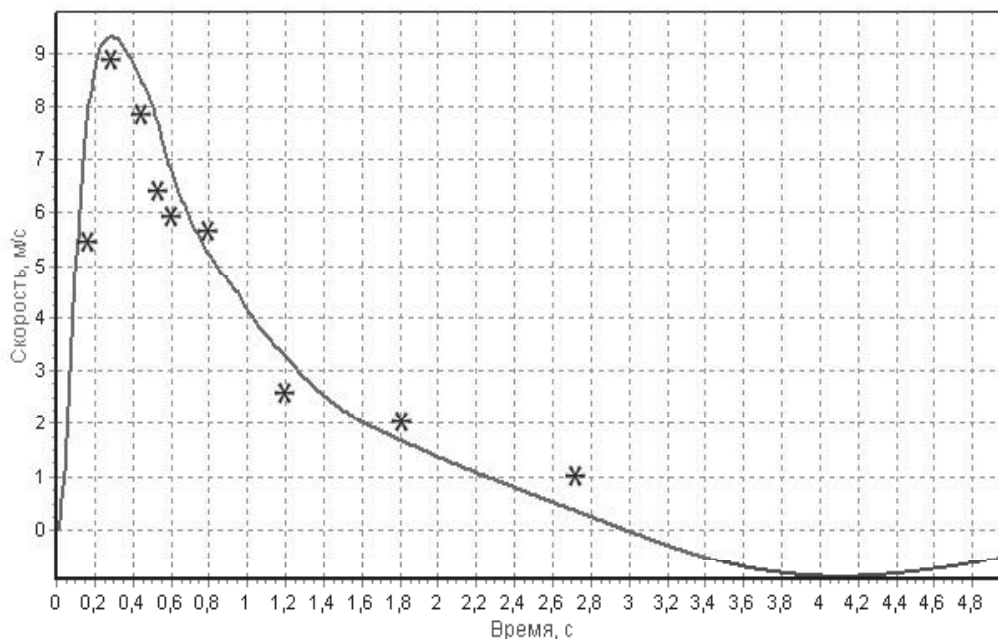


Рис. 2. Зависимость скорости потока жидкости от времени при предварительном воздушном заполнении трубопровода: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: - - - - расчет; * * * - эксперимент

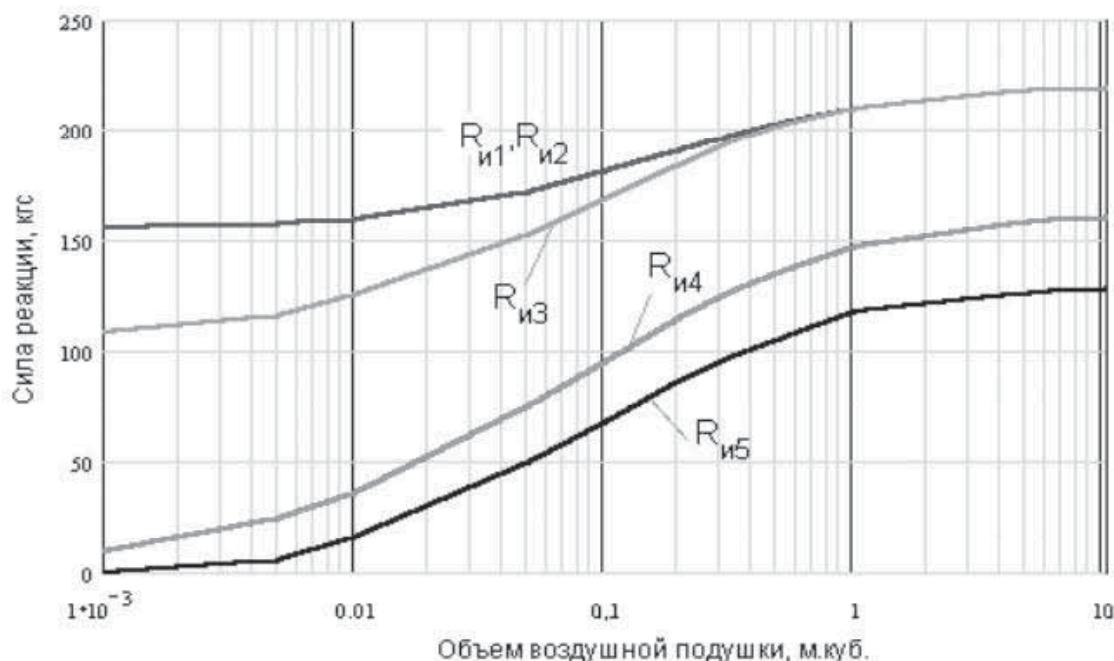


Рис. 3. Зависимость сил реакции потока жидкости $R_{и1}$, $R_{и2}$, $R_{и3}$, $R_{и4}$, $R_{и5}$

изгибах трубопровода (рис. 3). С объема воздушной полости $0,01 \text{ м}^3$ начинается рост сил реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при воздушном заполнении выходного участка трубопровода, давлении в фильтре 6 кгс/см^2 и времени открытия заслонки $t_3 = 0,1 \text{ с}$.

Наибольшая сила реакции потока жидкости наблюдается в трех начальных изгибах. Так, при увеличении объема газовой подушки с $0,05 \text{ м}^3$ до $0,5 \text{ м}^3$ сила реакции потока жидкости во втором изгибе увеличилась с 170 кгс до 200 кгс .

Длительность открытия ЭПЗ начинает влиять на гидродинамический процесс, начиная с $0,1 \text{ с}$ (рис. 4). Чем больше время открытия заслонки, тем меньше силы реакции жидкости в изгибах трубопровода. Так, во втором изгибе при воздушном заполнении сливного трубопровода и увеличении времени открытия заслонки с $0,1 \text{ с}$ до 4 с сила реакции жидкости уменьшилась с 200 кгс до 50 кгс . При жидкостном заполнении выходного участка трубопровода сила реакции жидкости примерно в 4 раза меньше по сравнению с воздушным заполнением. Длительность открытия заслонки при предварительном жидкостном заполнении слабо влияет на

силы реакции жидкости в изгибах труб. Таким образом, для исключения повышенных гидродинамических сил реакции потока жидкости на трубопроводы необходимо тщательно заполнять емкость и трубопроводы жидкостью. Длительность открытия заслонок должна быть не менее 5 с .

Чем больше давление в фильтре, тем больше реакция жидкости в изгибах трубопроводов. Так, при воздушном заполнении магистрали за ЭПЗ при увеличении давления в фильтре с 2 кгс/см^2 до 6 кгс/см^2 сила реакции струи на третьем изгибе увеличилась с $20,5 \text{ кгс/см}^2$ до $110,9 \text{ кгс/см}^2$. Поэтому технологический цикл должен быть построен таким образом, чтобы остаточное давление в емкости было минимально.

Чем меньше диаметр выходного участка трубопровода, тем меньше сила реакции жидкости, однако при этом одновременно возрастают изгибные напряжения в трубопроводе, причем в кубической зависимости. К тому же при уменьшении диаметра трубопровода снижается пропускная его способность, что может отразиться на технологическом цикле. Поэтому можно считать, что трубопровод с условным диаметром 150 мм вполне приемлем для сливных магистралей блока химводоочистки.

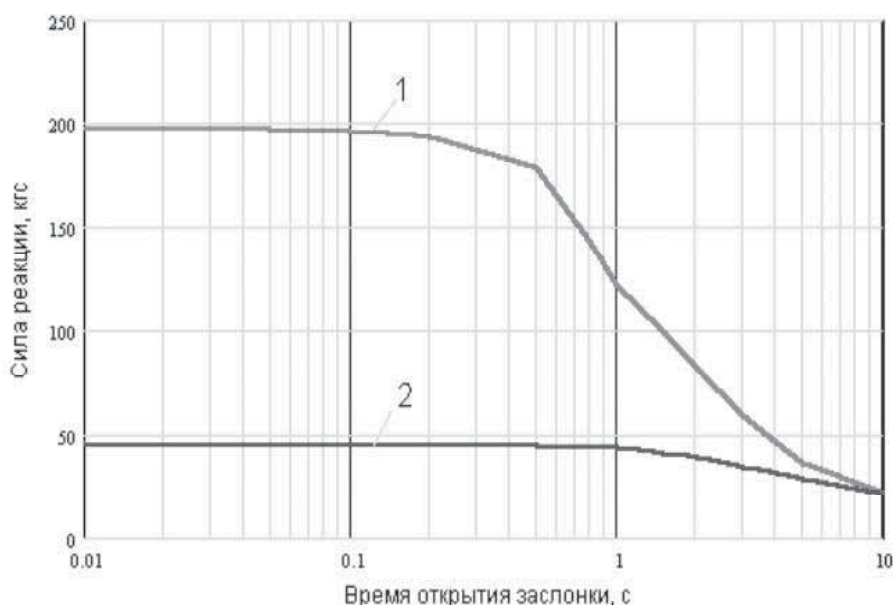


Рис. 4. Зависимость максимальной силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода от длительности открытия ЭПЗ при воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении сливной магистрали, давление в фильтре 6 кгс/см², объем воздушной полости - 0,3 м³

Применение местных сопротивлений в виде диафрагм, устанавливаемых перед заслонкой, существенно может снизить силы реакции жидкости. Например, применение диафрагмы с диаметром 80 мм у ЭПЗ позволило снизить силу реакции потока жидкости во втором изгибе при заполнении воздухом выходного участка трубопровода с 200 кгс до 50 кгс. Целесообразно устанавливать две диафрагмы: одну перед ЭПЗ, а другую - в выходном участке. Однако при этом так же, как и в случае уменьшения диаметра труб, снижается пропускная способность сливной магистрали. Поэтому выбор диаметра диафрагмы должен осуществляться с учетом пропускной способности трубопроводной магистрали. Для этого в программе предусмотрен расчет расходно-перепадной (статической) характеристики трубопроводной магистрали, по которой можно определить возможность применения диафрагмы с диаметром, удовлетворяющим обоим условиям: погашению скорости потока жидкости, а, следовательно, и сил реакции жидкости и обеспечению требуемой пропускной способности.

На основании теоретических исследований, подтвержденных экспериментами, можно рекомендовать следующие мероприя-

тия, реализация которых даст возможность защитить пластмассовые трубы от повышенных гидродинамических нагрузок при любых скоростях открытия заслонок, при больших объемах воздушной полости в емкости:

- полное заполнение выходного участка трубопровода жидкостью, что может быть выполнено либо сливом в емкость, либо установкой в сливной магистрали гидрозатвора;

- применение в трубопроводных магистралях диафрагм, диаметр которых рассчитывается по разработанной программе с учетом требуемого гашения сил реакции струи и обеспечения необходимого по технологическому циклу расхода жидкости в данной магистрали, причем целесообразно устанавливать две диафрагмы: одну перед ЭПЗ, а другую - в выходном участке.

Список литературы

1. Шорин В. П., Гимадиев М. А. Математическое моделирование гидродинамических процессов в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали // Вестник СГАУ. - Самара, 2006. № 1(9). - С. 207-213.
2. Винтер П. Microsoft Word 97: справочник. - С.-Пб.: Питер, 1999.

ALGORITHM OF CALCULATING HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF A PIPELINE PARTIALLY FILLED WITH AIR

© 2006 V. P. Shorin, M. A. Gimadiyev

Samara State Aerospace University

The paper presents a software algorithm which enables calculating hydrodynamic parameters of a liquid in a plastic main pipeline partially filled with air and connected up to a tank with an air cavity over the liquid when the electro pneumatic gate is opened. The influence of cavity volume and pressure in the tank, the time of opening the gate, the degree of filling the main line with liquid, pipeline parameters and diaphragm dimensions on the speed of liquid column moving along the lines and reaction forces emerging in pipe bends is analysed. Recommendations are given how to reduce hydrodynamic loads on the pipelines.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВНЕШНЕГО ИНТЕРНЕТ-КАНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА ПОДКЛЮЧЕНИЯ

© 2006 В. Г. Грачев, Е. А. Симановский

Самарский государственный аэрокосмический университет

Предлагается математическая модель Интернет-канала организации и методика оценки его скорости передачи данных для обеспечения требуемого качества подключения.

Для выбора конкретного поставщика услуг Интернет по критериям скорости передачи данных одной пользовательской сессии/приведенная стоимость подключения применяется метод функции полезности.

Задача оценки скорости передачи данных внешнего канала и выбора поставщика услуг Интернет (ПУИ) возникает либо при первоначальном подключении организации к сети Интернет, либо при расширении списка сетевых сервисов, доступных пользователям данной организации. Данная задача особенно актуальна для научных и образовательных организаций, когда, с одной стороны, необходимо обеспечить качественный доступ к сетевым ресурсам, а с другой стороны, минимизировать затраты на подключение.

Ошибки в выборе скорости Интернет-канала организации могут привести к тому, что доступ к сетевым ресурсам будет затруднен или неэффективен, а затраты на Интернет-подключение значительно возрастут. Действительно, оценка скорости подключения к сети Интернет самым прямым образом влияет на выбор типа линии связи, канального и сетевого оборудования. Дополнительные затраты на их замену в случае неверной оценки необходимой скорости передачи дан-

ных внешнего канала могут многократно превысить первоначальные вложения.

Таким образом, правильный выбор скорости передачи данных внешнего Интернет-канала организации позволяет достигать требуемого качества подключения к сети Интернет при минимуме финансовых вложений.

Математическая модель внешнего Интернет-подключения

Подключение организации к сети Интернет показано на рис. 1.

Задача оценки необходимой скорости передачи данных внешнего канала организации решается на основе математической модели внешнего Интернет-подключения [1]. Модель основана на следующих основных допущениях:

1. Сетевой трафик рассматривается на уровне пользовательских сессий, каждая из которых представляет собой поток данных от одного источника, инициированный пользователем (загрузка файла по протоколу FTP, html странички по протоколу HTTP и т. д.), и

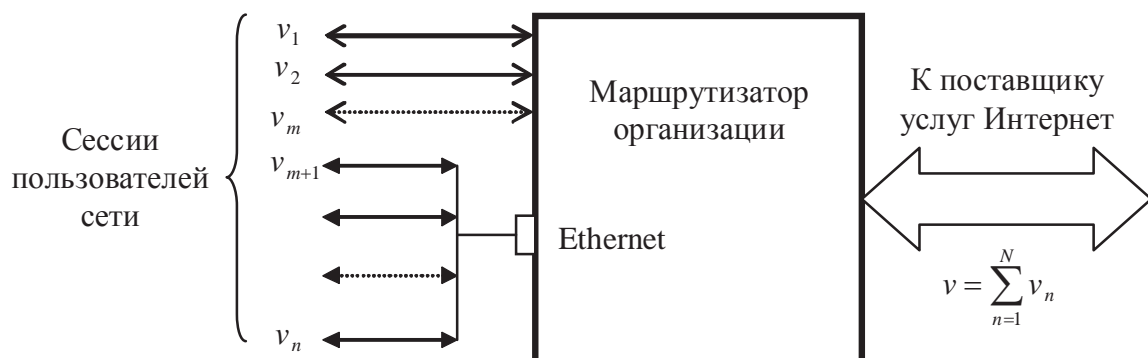


Рис. 1. Подключение организации к сети Интернет

характеризуется длиной (в байтах) и длительностью (в секундах).

2. Интервал наблюдения можно разбить на подынтервалы, в течение каждого из которых поток запросов на открытие пользовательских сессий будет стационарным пуассоновским со своим значением интенсивности.

3. Учитываются структура трафика сети и особенности алгоритмов работы конкретных, наиболее популярных протоколов (транспортного уровня UDP и TCP, прикладного уровня HTTP и FTP).

4. В незагруженном режиме работы сети времена обслуживания отдельных пользовательских сессий независимы друг от друга, зависимость между длиной и длительностью пользовательской сессии появляется только для длинных (по объему передаваемой информации) сессий.

5. Момент перегрузки в сети определяется по возникновению зависимости между временами обслуживания отдельных пользовательских сессий и между длиной и длительностью коротких сессий.

В рамках данной модели получены следующие выражения для среднего значения и дисперсии скорости передачи данных во внешнем Интернет-канале организации для незагруженного режима работы сети:

$$M[v] = \lambda_{UDP} \bar{L}_{UDP} + \lambda_{FTP} \bar{L}_{FTP} + \lambda_{HTTP} \bar{L}_{HTTP},$$

$$D[v] = \lambda_{UDP} M_{UDP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right] + \frac{28}{27} \lambda_{FTP} M_{FTP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right] + \frac{C}{\ln r} \frac{r-1}{r+1} \lambda_{HTTP} M_{HTTP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right],$$

$$D[v] = \lambda_{UDP} \frac{\bar{L}_{UDP}^2 + D[L_{UDP}]}{\bar{W}_H} + \frac{28}{27} \lambda_{FTP} \frac{\bar{L}_{FTP}^2 + D[L_{FTP}]}{\bar{W}_H} + \frac{C}{\ln r} \frac{r-1}{r+1} \lambda_{HTTP} \frac{\bar{L}_{HTTP}^2 + D[L_{HTTP}]}{\bar{W}_H},$$

где λ_x - интенсивность потока запросов на открытие пользовательских сессий для данного протокола; L_x - длина пользовательской сессии; W_x - длительность пользовательской сессии; C, r - параметры протокола TCP.

Если физическая скорость передачи данных внешнего Интернет-канала выбрана таким образом, что превышает верхнюю границу изменения скорости передачи данных, получаемую из модели (например, согласно неравенству Чебышева, в случае произвольного вида распределения скорость передачи данных будет лежать в диапазоне $M[v] \pm 3\sqrt{D[v]}$ с вероятностью 0,89), то сеть будет находиться в незагруженном режиме, обеспечивая наилучшее качество обслуживания, доступное для данного канала и поставщика услуг Интернет (наибольшую доступную скорость передачи данных пользовательской сессии).

В режиме перегрузки скорость передачи данных одной пользовательской сессии будет зависеть от всех других пользовательских сессий, находящихся на обслуживании в данный момент времени, и, естественно, значение скорости будет меньше, чем в незагруженном режиме.

Методика оценки скорости передачи данных внешнего Интернет-канала организации

Исходными параметрами для методики оценки скорости передачи данных внешнего Интернет-канала организации являются минимальная требуемая средняя скорость одной пользовательской сессии \bar{v}_n (байт/с) и оценки следующих величин:

$\lambda_{UDP}, \lambda_{FTP}, \lambda_{HTTP}$ - интенсивность поступления запросов на открытие сессий по различным протоколам, $1/c$;

$\bar{L}_{UDP}, \bar{L}_{FTP}, \bar{L}_{HTTP}$ - средние длины сессии по различным протоколам, байт;

$D[L_{UDP}], D[L_{FTP}], D[L_{HTTP}]$ - дисперсия длин сессии по различным протоколам;

$r_{FTP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right]$ - коэффициент корреляции случай-

ных величин L_n^2 и $1/W_n$ для протокола FTP;

$\sigma_{FTP} [L_n^2]$, $\sigma_{FTP} [1/W_n]$ - средние квадратические отклонения данных случайных величин для протокола FTP;

$\bar{W}_{H UDP}$, $\bar{W}_{H FTP}$, $\bar{W}_{H HTTP}$ - среднее гармоническое времени обслуживания сессии по различным протоколам.

Оценки величин λ_{UDP} , λ_{FTP} , λ_{HTTP} , \bar{L}_{UDP} , \bar{L}_{FTP} , \bar{L}_{HTTP} , $D[L_{UDP}]$, $D[L_{FTP}]$, $D[L_{HTTP}]$, $\sigma_{FTP} [L_n^2]$ могут быть получены методом экспертных оценок с учетом “класса” сети организации. Будем относить несколько сетей к одному классу, если эти сети имеют сходную структуру трафика, т. е. похожее распределение трафика по протоколам и запрашиваемым документам. В этом случае можно констатировать, что значения исходных параметров, описанных выше, будут подобны (с поправкой на размер сети) значениям тех же параметров сети другой организации, уже имеющей подключение к сети Интернет и относящейся к тому же “классу”.

Можно предложить следующие классы организаций: гуманитарный вуз, технический вуз, банк, коммерческая организация определенного профиля, организация, предоставляющая доступ в Интернет пользователям, работающим из дома по телефонной линии, и т. д.

Дать точные оценки описанных выше величин обычно не представляется возможным, так как они носят вероятностный характер. Поэтому их оценки следует рассматривать как случайные величины и из опыта или методом экспертных оценок задавать их закон распределения: непрерывный (с помощью функции плотности распределения) или дискретный (с помощью ряда распределения). Вероятности, фигурирующие в этих законах распределения, могут быть интерпретированы как субъективные вероятности [2]. В случае, когда нет уверенности в том, какой конкретный вид распределения будут иметь

исходные величины, могут быть заданы несколько возможных распределений для каждой из них (как в подходе, описанном в [2]) совместно с вероятностью реализации каждого вида распределения. Все эти меры по подготовке исходных данных позволят получить более точную оценку необходимой скорости подключения организации к сети Интернет.

Оценки величин $\bar{W}_{H UDP}$, $\bar{W}_{H FTP}$, $\bar{W}_{H HTTP}$,

$r_{FTP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right]$, $\sigma_{FTP} [1/W_n]$ получают тестирова-

нием сети поставщика услуг Интернет. Для тестирования должен использоваться набор сетевых ресурсов, характерный для данного класса организации. Они могут быть также заданы как непрерывные или дискретные случайные величины.

Предлагаемая методика состоит из последовательного выполнения следующих шагов:

1. Оценка значений исходных величин.

Методом экспертных оценок с учетом “класса” и размера сети организации дать оценки следующих величин в виде ряда распределения или функции плотности распределения: λ_{UDP} , λ_{FTP} , λ_{HTTP} , \bar{L}_{UDP} , \bar{L}_{FTP} , \bar{L}_{HTTP} , $D[L_{UDP}]$, $D[L_{FTP}]$, $D[L_{HTTP}]$, $\sigma_{FTP} [L_n^2]$.

2. Тестирование сети поставщика услуг Интернет.

Протестировать сетевые ресурсы, характерные для данной организации, и получить оценки величин $\bar{W}_{H UDP}$, $\bar{W}_{H FTP}$, $\bar{W}_{H HTTP}$,

$r_{FTP} \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right]$, $\sigma_{FTP} [1/W_n]$.

3. Оценка необходимой скорости внешнего Интернет-канала организации для данного поставщика услуг Интернет.

Оценка необходимой скорости внешнего Интернет канала производится по одному из следующих критериев:

3.1. Критерий наиболее вероятного события.

Оценка скорости внешнего Интернет-канала находится из следующего выражения:

$$v_{ai} = M[v] + k\sigma[v].$$

Здесь

$$M[v] = \lambda_{UDP} \bar{L}_{UDP} + \lambda_{FTP} \bar{L}_{FTP} + \lambda_{HTTP} \bar{L}_{HTTP} = \lambda \bar{L},$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[v] = & \lambda_{UDP} \frac{\bar{L}_{UDP}^2 + D[L_{UDP}]}{\bar{W}_{H UDP}} + \\ & + \frac{28}{27} \lambda_{FTP} \left(\frac{\bar{L}_{FTP} + D[L_{FTP}]}{\bar{W}_{H FTP}} + r \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right] \sigma_{FTP}[L_n^2] \sigma_{FTP}[1/W_n] \right) + \\ & + \frac{C}{\ln r} \frac{r-1}{r+1} \lambda_{HTTP} \frac{\bar{L}_{HTTP}^2 + D[L_{HTTP}]}{\bar{W}_{H HTTP}}, \end{aligned}$$

k - коэффициент, зависящий от вида распределения скорости во внешнем Интернет-канале и требуемой вероятности попадания скорости в интервал $M[v] \pm k\sigma[v]$. В случае произвольного вида распределения можно положить $k = 3$. Тогда, согласно неравенству Чебышева, вероятность попадания в заданный интервал $p \approx 0,89$ и, соответственно, вероятность того, что скорость во внешнем канале превысит величину $M[v] + 3\sigma[v]$ не больше $\tilde{p} = 1 - p \approx 0,11$. Когда распределение скорости во внешнем канале симметрично относительно ее математического ожидания, то $(1 - p)/2 \approx 0,055$. В случае нормального распределения $\Phi(k) = (1 - 2\tilde{p})/2$, где $\Phi(x)$ - функция Лапласа.

В качестве значений исходных величин λ_{UDP} , λ_{FTP} , λ_{HTTP} , \bar{L}_{UDP} , \bar{L}_{FTP} , \bar{L}_{HTTP} , $D[L_{UDP}]$, $D[L_{FTP}]$, $D[L_{HTTP}]$, $\sigma_{FTP}[L_n^2]$ для расчета данного критерия берутся значения с наибольшей вероятностью реализации. В частном случае, когда величины \bar{L}_x и $D[L_x]$ являются зависимыми, необходимо руководствоваться максимумом совместной плотности (ряда) оценки скорости внешнего канала.

Данный критерий лучше всего подходит для ситуации, когда вероятность одной из реализаций исходных величин значительно больше, чем вероятности остальных реализаций.

3.2. Критерий предельного уровня.

Оценка скорости внешнего канала вычисляется с помощью тех же выражений, что и для критерия наиболее вероятного события. В качестве значений исходных величин берутся их максимальные значения, для которых вероятность совместной реализации больше нуля (в случае независимости значений исходных величин любая их комбинация будет иметь ненулевую вероятность).

Данный критерий может использоваться в случае, когда необходимо обеспечить качественное Интернет-подключение при предельной нагрузке.

3.3. Комбинация ожидаемого значения и дисперсии.

При комбинации ожидаемого значения и дисперсии можно учесть возможное отклонение величины рассчитываемой скорости передачи данных внешнего Интернет-канала организации от ее среднего значения вследствие вероятностной природы исходных данных. Данный критерий выражается с помощью соотношения

$$v_{ai \hat{E}i\check{C}\check{A}} = M[v_{ai}] + k_{\hat{E}i\check{C}\check{A}} \frac{\sigma[v_{ai}]}{M[v_{ai}]}.$$

Здесь $v_{ai \hat{E}i\check{C}\check{A}}$ - скорость внешнего Интернет-канала по критерию ожидаемого значения и дисперсии;

$v_{ai} = M[v] + k\sigma[v]$ - расчетное выражение для скорости внешнего Интернет-канала;
 $M[v]$, $\sigma[v]$ - среднее значение и среднеквадратическое отклонение скорости во внешнем Интернет-канале;

$$M[v] = \lambda_{UDP} \bar{L}_{UDP} + \lambda_{FTP} \bar{L}_{FTP} + \lambda_{HTTP} \bar{L}_{HTTP} = \lambda \bar{L},$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[v] = & \lambda_{UDP} \frac{\bar{L}_{UDP}^2 + D[L_{UDP}]}{\bar{W}_{H UDP}} + \\ & + \frac{28}{27} \lambda_{FTP} \left(\frac{\bar{L}_{FTP} + D[L_{FTP}]}{\bar{W}_{H FTP}} + r \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right] \sigma_{FTP}[L_n^2] \sigma_{FTP}[1/W_n] \right) + \\ & + \frac{C}{\ln r} \frac{r-1}{r+1} \lambda_{HTTP} \frac{\bar{L}_{HTTP}^2 + D[L_{HTTP}]}{\bar{W}_{H HTTP}}; \end{aligned}$$

k - постоянный коэффициент, определяемый

так же, как и в критерии наиболее вероятно-го события;

$M[v_{ai}]$, $\sigma[v_{ai}]$ - среднее значение и средне-квадратическое отклонение расчетной скоро-сти внешнего канала;

$k_{\bar{E}i\bar{C}\bar{A}}$ - постоянный коэффициент, “уровень несклонности к риску”. Чем большее значе-ние организация придает риску перегрузки внешнего Интернет-канала за счет дисперсии его расчетной скорости, вызванной вероятно-стной природой исходных данных, тем боль-шее значение должен иметь данный коэффи-циент.

Среднее значение и среднеквадратичес-кое отклонение расчетной скорости переда-чи данных внешнего канала определяются как числовые характеристики функции несколь-ких независимых случайных аргументов (ис-ходных величин).

В случае, когда исходные величины за-даны в виде рядов распределений:

$$M[v_{ai}] = \sum_{i_1} K \sum_{i_{10}} v_{ai}(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}}) \times p(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}}),$$

$$\sigma^2[v_{ai}] = \sum_{i_1} K \sum_{i_{10}} (v_{ai}(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}}) - M[v_{ai}])^2 \times p(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}}).$$

Для исходных величин, заданных в виде функций плотности распределений:

$$M[v_{ai}] = \int_{-\infty}^{+\infty} K \int_{-\infty}^{+\infty} v_{ai}(x_1, x_2, K, x_{10}) \times f(x_1, x_2, K, x_{10}) dx_1 dx_2 K dx_{10},$$

$$\sigma^2[v_{ai}] = \int_{-\infty}^{+\infty} K \int_{-\infty}^{+\infty} (v_{ai}(x_1, x_2, K, x_{10}) - M[v_{ai}])^2 \times f(x_1, x_2, K, x_{10}) dx_1 dx_2 K dx_{10},$$

где x_1, x_2, K, x_{10} - значения исходных величин

λ_{UDP} , λ_{FTP} , λ_{HTTP} , \bar{L}_{UDP} , \bar{L}_{FTP} , \bar{L}_{HTTP} , $D[L_{UDP}]$, $D[L_{FTP}]$, $D[L_{HTTP}]$, $\sigma_{FTP}[L_n^2]$ соответственно;

$p(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}})$ - совместный ряд рас-пределения.

В случае независимости исходных дис-кретных величин:

$$p(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, K, x_{10,i_{10}}) = p_{x_{1,i_1}} p_{x_{2,i_2}} K p_{x_{10,i_{10}}};$$

$p_{x_1}, p_{x_2}, K, p_{x_{10}}$ - вероятности исходных вели-чин;

$f(x_1, x_2, K, x_{10})$ - совместная плотность рас-пределения.

В случае независимости исходных не-прерывных величин:

$$f(x_1, x_2, K, x_{10}) = f(x_1) f(x_2) K f(x_{10});$$

$f(x_1), f(x_2), K, f(x_{10})$ - функции плотности распределения исходных величин;

$$v_{ai}(x_1, K, x_{10}) = \lambda_{UDP} \bar{L}_{UDP} + \lambda_{FTP} \bar{L}_{FTP} + \lambda_{HTTP} \bar{L}_{HTTP} +$$

$$k \sqrt{\lambda_{UDP} \frac{\bar{L}_{UDP}^2 + D[L_{UDP}]}{\bar{W}_{HUDP}} + \frac{28}{27} \lambda_{FTP} \left(\frac{\bar{L}_{FTP}^2 + D[L_{FTP}]}{\bar{W}_{HFTP}} + r \left[\frac{L_n^2}{W_n} \right] \sigma_{FTP}[L_n^2] \sigma_{FTP}[1/W_n] \right) + \frac{C}{\ln r} \frac{r-1}{r+1} \lambda_{HTTP} \frac{\bar{L}_{HTTP}^2 + D[L_{HTTP}]}{\bar{W}_{HHTTP}}}$$

- значение расчетной скорости передачи дан-ных внешнего канала.

4. Рассчитать среднюю скорость од-ной пользовательской сессии для данного по-ставщика услуг Интернет.

Использовать формулу: $\bar{v}_n = \bar{L}/\bar{W}$.

5. Рассчитать приведенную стоимость E подключения в месяц к данному постав-щику услуг Интернет.

Приведенная стоимость подключения в месяц к данному поставщику услуг Интернет будет складываться из платы за подключение $E_{\bar{n}\bar{a}\bar{e}\bar{e}}$, приведенной ко всему времени эксп-луатации внешнего канала T (в месяцах), и абонентской платы за подключение в месяц $E_{\bar{a}\bar{a}\bar{i}\bar{i}}$: $E = E_{\bar{n}\bar{a}\bar{e}\bar{e}} / T + E_{\bar{a}\bar{a}\bar{i}\bar{i}}$.

Очевидно, что если организация под-ключается к сети Интернет на короткий срок, то важное значение для принятия решения о

подключении к данному поставщику услуг Интернет имеет плата за подключение. При длительном подключении важное значение приобретает абонентская плата.

Расчет платы за подключение $E_{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{e}}$ и абонентской платы $E_{\ddot{a}\ddot{a}i\ddot{i}}$ провести, используя полученную оценку скорости внешнего канала, условия подключения к данному поставщику услуг Интернет и выбранного тарифного плана.

6. Повторить пункты 2-5 для других поставщиков услуг Интернет.

7. Выбрать поставщика услуг Интернет и скорость внешнего канала.

Исходными данными на этом шаге являются рассчитанные для каждого поставщика услуг Интернет значения средней скорости одной пользовательской сессии \bar{v}_n и приведенная стоимость подключения в месяц E .

Выбор поставщика услуг Интернет

Задача выбора поставщика услуг Интернет в данных условиях является многокритериальной. Критерии являются взаимно конкурирующими. С одной стороны, при увеличении средней скорости пользовательской сессии \bar{v}_n качество обслуживания пользователей сети улучшается. С другой стороны, при увеличении средней скорости пользовательской сессии увеличивается расчетное значение необходимой скорости внешнего канала $v_{\ddot{a}i}$ (за счет увеличения дисперсии скорости передачи данных во внешнем канале) и, как следствие, возрастают плата за подключение $E_{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{e}}$, абонентская плата $E_{\ddot{a}\ddot{a}i\ddot{i}}$ и приведенная стоимость подключения в месяц E , которую организация стремится минимизировать.

В рассматриваемой задаче каждому поставщику услуг Интернет (варианту подключения организации к сети Интернет) соответствует точка $(\bar{v}_n^{(i)}, E^{(i)})$ в двухмерном пространстве (рис. 2). На рисунке также показаны ограничения на значения критериев: $\bar{v}_{n \text{ мин}}$ - минимальная допустимая скорость одной пользовательской сессии и $E_{i\ddot{a}\ddot{e}\ddot{e} \text{ макс}}$ - максимальная приведенная стоимость подключения к сети Интернет.

Как известно, оптимальное решение (выбор того или иного поставщика услуг Интернет) может принадлежать только области компромиссов (области Парето), то есть подмножеству решений, каждый вариант которого не может быть улучшен по одному или нескольким критериям без ухудшения по одному или более из оставшихся критериев. Решения из области компромиссов на рис. 2 обведены.

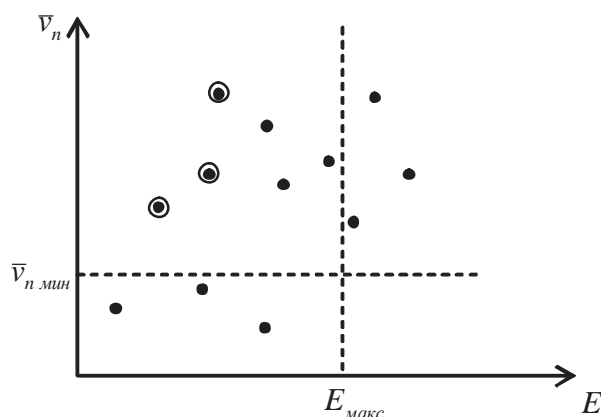


Рис. 2. Построение области компромиссов

В общем случае, нахождение области компромиссов не позволяет решить задачу до конца, но существенно сужает область поиска оптимального решения. На практике предпочтительная альтернатива может быть выбрана волевым решением лица, принимающего решения (ЛПР), или с помощью одного из методов выбора решения из области компромиссов.

Наиболее распространенные методы выбора решений из области компромиссов можно разделить на две большие группы [3].

Методы обобщенного критерия предполагают сведение задачи к однокритериальной путем формирования тем или иным образом (аддитивно, мультипликативно, комбинированно) из частных критериев некоторого обобщенного критерия, который затем максимизируется (минимизируется).

В методах последовательной оптимизации производится ряд последовательных приближений к оптимальному решению.

В работе [3] развивается метод выбора объективно предпочтительной альтернативы, названный методом функции полезности. Согласно данному методу каждая альтернатива характеризуется двумя (а не одним, как в методах выбора решения, которые описа-

ны выше и которые будем называть далее формальными методами) обобщенными критериями оптимальности: полезностью и платой за полезность.

Полезностью технической системы авторы называют некоторую количественную характеристику степени выполнения системой своего функционального назначения и доказывают, что может быть сформулирована объективная полезность для а) технических устройств индивидуального потребления при массовом производстве и б) устройств или систем общественного (неиндивидуального) использования.

Плата за полезность - обобщенный критерий, который объединяет частные критерии, не определяющие непосредственно полезность, но прямо или косвенно отражающие затраты (в широком смысле), на которые приходится соглашаться для приобретения полезности. К плате за полезность могут относиться такие частные критерии, как непосредственно стоимость (проектирования, изготовления, обслуживания) технического устройства (системы), его габариты, масса, энергопотребление и т. д.

Одним из главных отличий подхода, основанного на функции полезности и платы за полезность, от формальных методов является стремление избавиться от субъективизма в процессе принятия решения.

На последнем шаге предлагаемой методики оценки скорости передачи внешнего канала организации мы располагаем данными, которые могут быть непосредственно использованы при выборе предпочтительной альтернативы (конкретного поставщика услуг Интернет) методом функции полезности: приведенная стоимость подключения в месяц E может выступать в качестве обобщенного

критерия платы за полезность, а средняя скорость одной пользовательской сессии \bar{v}_n может входить в качестве частного критерия в выражение для полезности подключения организации к сети Интернет.

Заключение

Предложенная математическая модель внешнего Интернет-канала организации и методика оценки скорости передачи данных для обеспечения требуемого качества подключения могут быть использованы при проектировании сети организации и выборе поставщика услуг Интернет. Методика позволяет рассчитать скорость передачи данных внешнего Интернет-канала организации по требуемому сценарию (обеспечение качественного доступа в сеть Интернет для наиболее вероятного состояния сети, при максимальной загрузке, с заданным коэффициентом несклонности к риску) и выбрать конкретного поставщика услуг Интернет по критериям скорости передачи данных одной пользовательской сессии/приведенная стоимость подключения.

По данной методике проведены расчеты и выбрана скорость передачи данных внешнего Интернет-канала сети межвузовского медицентра (г. Самара).

Список литературы

1. Грачев В. Г. Модель внешнего Интернет-канала организации// Аспирантский вестник Поволжья. – 2003. - №1. – С. 19-20.
2. Дехтяренко В. А., Своятыцкий Д. А. Методы многокритериальной оптимизации сложных систем при проектировании. – Киев: Изд-во АН УССР, 1976.
3. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984.

ASSESSING THE SPEED OF DATA TRANSMISSION OF A COMPANY'S EXTERNAL INTERNET CHANNEL FOR PROVIDING THE REQUIRED QUALITY OF CONNECTION

© 2006 V. G. Gratchyov, Ye. A. Simanovsky

Samara State Aerospace University

The paper proposes a mathematical model of a company's Internet channel and a procedure for assessing its data transmission speed to provide the required quality of connection.

The method of utility function is used for selecting a particular Internet provider by the criteria of data transmission speed during one user session/given cost of connection.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И СПЕЦИАЛИСТОВ

© 2006 А. Н. Коптев, Э. И. Сурина

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается представление деятельности экипажа воздушного судна в рамках введенного множества всех образующих действий и построение из них заданных конфигураций.

Для выработки управляющего воздействия членов экипажа и специалистов (ЧЭС) необходим целостный образ объекта или события [1]. Однако, как показывает опыт, информация, подаваемая ЧЭС, носит дискретный характер. Отношение дискретности и целостности (связности) требует разработки некоторого языка для их представления, который включает, прежде всего, набор образующих этого языка, характеризуемых определенными признаками, связями, которые в рамках точного формализма будут использоваться в качестве концептуальной основы для анализа и синтеза образов, действий человека, т. е. объектом нашего изучения будут образы действий ЧЭС. Для описания образов необходимо введение некоторых формализмов для представления последних и действий над ними как некоторыми элементами. В качестве таких элементов могут выступать абстрактные символы, множества, отношения и функции. Остановимся на четком определении образующих и их свойств, необходимых для построения конфигурации, связанных с распознаванием с усвоением понятий или со спецификацией действий применительно к решению определенного типа задач.

Элементы, используемые для построения конфигураций и изображений, определение которых в рамках формализованных представлений будут даны ниже, назовем образующими. Множество образующих будем обозначать через A , символом для отдельного первичного элемента будет служить $a, a \in A$.

Образующие представляют собой элементы – носители информации, и так как они имеют значение неких первичных высказываний, то они могут быть формализованными и представлены знаками.

Множество всех образующих A состоит из непересекающихся классов образующих $A^\alpha, A^\alpha \subset A$, где α – общий индекс, индекс класса образующих.

$$A = \bigcup_{\alpha} A^\alpha, A - \text{непересекающиеся классы.} \quad (1)$$

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что образующие, сходные качественно, будут относиться к одному классу.

Образующие – это простейшие элементы объектов или событий, некоторые стандартные блоки. Они могут обладать определенными свойствами, и если они ими действительно обладают, то свойства эти могут быть двух типов.

Первый тип свойств – это признаки. Образующей ставится в соответствие признак $p = p(a)$, причем в качестве значений признака p могут выступать целые числа, действительные числа, векторы и так далее. Одной из составляющих признака служит индекс класса образующей α , однако он располагает и другими составляющими, представляющими более специфическую информацию.

Второй тип свойств охватывает связи. Определенной образующей a соответствует определенное число связи $\rho(a)$, которое выражается неотрицательным целым числом. Величина этого числа указывает максимальное число соединений, связывающих данную образующую с остальными, и представляет собой сумму входных связей $\rho_{in}(a)$ и выходных связей $\rho_{out}(a)$

$$\rho(a) = \rho_{in}(a) + \rho_{out}(a). \quad (2)$$

Эти показатели характеризуют максимальное число соединений, входящих в об-

разующую и выходящих из нее, соответственно.

Каждому подобному (потенциально возможному) соединению соответствует показатель связи, обозначаемый обычно символом β с соответствующим нижним индексом. Характер показателей связи β существенно изменяется в зависимости от каждого конкретного случая представления.

Множество связей всякой образующей a , соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей образующей. Структура связей не определяет значения показателей, поставленных в соответствие отдельным связям.

В дополнение к свойствам образующих необходим также идентификатор или имя для того, чтобы иметь возможность различать используемые образующие.

Отметим, что отдельные образующие могут входить в одну и ту же конфигурацию более одного раза. В таком случае берутся идентичные копии этой образующей, которые различаются при помощи идентифицирующих меток, вводимых в признак в качестве составляющих.

Для наглядного представления образующих будем пользоваться графическим формализмом, таким как на рисунке 1, для того, чтобы дать интуитивное представление об их свойствах. На этом рисунке входное число связей равно 2, соответствующие показатели связей – β_1 и β_2 и выходное число связей – 3, соответствующие показатели этих связей – β_3 , β_4 и β_5 , так что общее число возможных соединений равно 5.

Это графическое представление не следует рассматривать как образующую, окруженную своими связями, – связи являются частью собственно образующей.

Как правило, при решении большинства прикладных задач будем иметь дело с некоторыми отображениями множества образующих A в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в образующих. Эти отображения представляют собой преобразования подобия и должны удовлетворять следующему определению.

Определение 1. Будем считать, что множество S отображений $s: A \rightarrow A$ образует множество преобразований подобия, если:

- множество S является полугруппой с единицей относительно композиции преобразований;
- любое $s \in S$ отображает A^α в себя при любом индексе класса образующих α ;
- множество S не влияет на связи (но может влиять на показатели связей).

Отметим, что показатели связей преобразованной образующей $s\alpha$ могут отличаться от показателей связей исходной образующей α .

Для большей определенности считаем образующие неделимыми объектами, однако подобно тому, как атомы обладают внутренней структурой и могут расщепляться на элементарные частицы, образующие, в свою очередь, иногда допускают разбиение на более мелкие единицы. На любом уровне формального описания образов образующая будет рассматриваться как неприводимый элемент.

Определить образующую можно двумя способами. Простейший – задание образующей в абстрактном виде без всякого учета среды, в которой она действует. В этом случае образующая просто обозначается неким отвлеченным символом. Противоположный случай, который является основным, – определение образующих на некоторой среде – носителе информации. В этом случае образующая имеет конкретную интерпретацию.

В качестве одного из примеров множества абстрактных образующих, используемых в данной работе, можно привести

$$A = A^1 \cup A^2,$$

где A^1 – конечный список вершин графа (представляющих либо объекты, либо события) и

$$A^2 = \{ \overrightarrow{a}, \overleftarrow{a} \},$$

где a и \overleftarrow{a} – конечный список ориентированных и неориентированных дуг графа.

В качестве более сложного примера может быть приведен естественный язык для описания ситуаций и сцен.

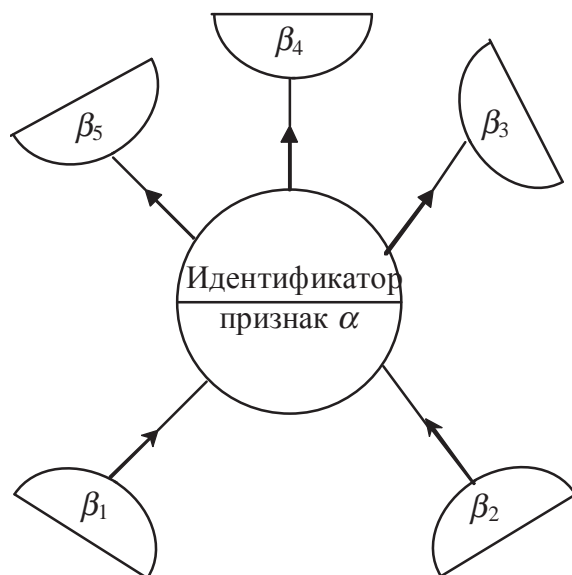


Рис. 1. Графический формализм образующей

Множество образующих в этом случае задается словарем, классами A^α служат классы слов, а признаками могут являться число, род, падеж и тому подобные категории с соответствующими диапазонами изменения [2].

Дадим определения конкретных образующих, наиболее часто встречающиеся при решении задач данной работы.

Определение 2. Если образующие являются элементами опорного пространства X , то они называются точечными образующими. Например, пусть $X = R$ и образующая состоит из идентификатора и значения в R ; s -преобразования заключаются в изменениях масштаба $x \rightarrow kx$, $k > 0$.

Определение 3. Если образующие являются подмножествами опорного пространства X , то они называются образующими – подмножествами. Например, пусть a – упорядоченная пара (x_1, x_2) в некотором топологическом пространстве X , рассматриваемая как стрелка, проведенная из x_1 в x_2 . Пусть S состоит из топологических отображений X на себя, и расширенное определение s имеет вид $(x_1, x_2) \rightarrow (s(x_1), s(x_2))$.

Очевидно, что точечные образующие являются частным случаем образующих-множеств, если точку в X отождествить с подмножеством, содержащим только эту точку.

Теперь перейдем к рассмотрению того типа образующих, который встречается чаще всего.

Определение 4. Пусть образующие состоят из отображений опорного пространства X в сопоставленное пространство Y . В этом случае мы говорим об образующих-соответствиях или образующих-функциях.

В качестве таких образующих могут быть рассмотрены универсальные операторы. В этом случае всякая образующая есть оператор с ν (переменными) входами x_1, x_2, \dots, x_ν и μ (переменными) выходами y_1, y_2, \dots, y_μ . Область значения всякого x_i есть некоторое пространство X_i , область значений всякого y_j – некоторое пространство Y_j . В частности, существуют операторы назначения, не имеющие входов (однако обычно обладающие некоторыми признаками). Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные образующие без изменения. В результате реализации этих преобразований признаки оператора назначения обычно изменяются, однако будем требовать, чтобы α изменялся, а области X и Y не увеличивались.

Представление образов на основе образующих – это совокупность правил и ограничений относительно того, как описывать целеустремленное поведение ЧЭС.

Задав образующие, необходимо ввести определенные правила, ограничивающие способы их соединения между собой. Эти правила приводят к типичным регулярностям образов и представляют собой комбинатор-

ную структуру.

Комбинаторная теория образов предусматривает структурное объединение стандартных блоков – образующих – в конфигурации.

Конфигурация определяется составом и структурой. Две конфигурации считаются идентичными только в том случае, если и их составы, и их структуры совпадают.

Для того чтобы выделить класс регулярных или допустимых конфигураций, можно воспользоваться двумя способами.

Во-первых, это определение через ограничения, т. е. построение конфигураций, удовлетворяющих набору заданных ограничений, и, во-вторых, это порождающее определение – построение конфигураций с правилом порождения.

Примем в нашей работе следующие правила и ограничения. Через R будем обозначать систему правил или ограничений (или тех и других), определяющую, какие конфигурации следует считать регулярными. Множество регулярных конфигураций, получаемых с помощью множества R , будем обозначать через $b(R)$ или через $b_n(R)$, где n – число образующих (если оно определено). Множество $b(R)$ характеризует регулярность образов.

Для оценки сложности конфигураций введем следующее определение.

Определение 5. Будем говорить, что при заданном множестве образующих и двух системах R_1 и R_2 структурная сложность конфигураций, регулярных в смысле R_1 , больше структурной сложности конфигураций, регулярных в смысле R_2 , если $b(R_1) \supset b(R_2)$.

Для оценки количественной сложности конфигураций будем использовать термин «количественная сложность» конфигурации c , принадлежащей заданному множеству регулярных конфигураций $b(R)$, имея в виду просто число образующих, входящих в конфигурацию c .

Состав конечной конфигурации c будем определять как

$$\text{состав}(c) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad (3)$$

где правая часть представляет собой просто некоторое множество, абсолютно неструктурированное.

Структура конфигурации представляет собой множество σ соединений, существующих между всеми или некоторыми связями образующих, входящих в ее состав. Если перенумеровать связи как β_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, \rho(c_i)$, то множество σ можно задать списком вхождений вида $(\beta, \beta') = (i, j)$, (i', j') , соответствующих соединению связей β и β' . С другой стороны, множество σ можно задать с помощью квадратной матрицы инцидентности порядка $\sum \rho(a_i)$, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определенных парах связей.

В данной работе будем рассматривать не все возможные множества соединений σ , а лишь определенный класс, например векторную структуру, древовидную структуру и т. п. Множество всех допустимых множеств соединений σ обозначим через Σ и будем называть его типом соединения конфигураций в рассматриваемом множестве регулярных конфигураций $b(R)$.

Введем формальное определение понятия типа соединения.

Определение 6. Тип соединения Σ представляет собой объединение множеств Σ_n , где всякое множество Σ_n есть множество графов, заданных на n вершинах.

Для $\sigma_1 \in \Sigma_{n_1}$ и $\sigma_2 \in \Sigma_{n_2}$ рассматриваем все графы в $\Sigma_{n_1+n_2}$, которые можно получить как объединение множеств σ_1 и σ_2 посредством добавления множества соединений σ между двумя исходными графами.

Множество всех подобных множеств σ для заданных σ_1 и σ_2 обозначим через $\Sigma(\sigma_1, \sigma_2)$, а символ σ будем использовать в качестве родового, объединяющего два подобных графа. Всякий раз, когда выражение образуется повторным применением σ -операций, будет подразумеваться, что все подвыражения принадлежат Σ .

В большинстве случаев из контекста будет ясно, что представляет собой $\Sigma(\sigma_1, \sigma_2)$, в особых же случаях вместо σ будут использоваться иные, более информативные символы.

Если Σ предусматривает все вырожденные комбинации, включающие произвольную изолированную образующую, то этот тип со-

единений Σ называется одновершинным (свернутым).

Приведем в качестве примеров несколько важных типов соединений.

Σ – «свободное» означает, что все $\sigma \in \Sigma$ – пустые. В этом случае никакие соединения не заданы и конфигурации не имеют структуры, они представляют собой просто множества образующих.

Если $\rho_{in}(a) \equiv \rho_{out}(a) \equiv 1$, то можно выбрать Σ – «линейный порядок». Это означает, что у всех образующих выходная связь образующей a_i соединена со входной связью образующей a_{i+1} , $i = 1, 2, \dots, n-1$.

Если $\rho_{in}(a) = 1$ и $\rho_{out}(a) = 0$ – произвольное, то Σ – «дерево». Это означает, что образующие должны быть объединены в деревья, причем стрелки исходят из выходных связей и входят во входные.

Σ – «частичный порядок» означает, что соединения образуют частичный порядок, если принимаются во внимание направления стрелок. Иногда мы будем сталкиваться с такими типами соединений, для которых $\sigma \in \Sigma$ означает, что соединения, относящиеся к любому подмножеству конфигурации, также входят в Σ . В таких случаях будем говорить о монотонном типе соединений Σ .

Любой заданный тип соединений Σ можно всегда превратить в монотонный, используя все подкомбинации исходной комбинации. В этом случае получаем монотонное расширение $M(\Sigma)$ заданного типа соединений Σ .

Если для конфигурации c заданы

состав (c) и структура (c) = σ , (4)

то ее регулярность определяется взаимным соответствием соединенных связей. Последнее определяется отношением согласования или отношением связи v , зависящим от двух соответствующих связей и записываемым как $\beta v \beta'$.

Отношение связи является S -инвариантным, и поэтому, если $\beta v \beta'$, то $\beta_1 v \beta_1'$, где β_1 и β_1' – преобразованные показатели связей, полученные в результате применения преобразования подобия s к соответствующим образующим.

Это отношение может принимать самую простую форму, например, являться просто равенством. В общем случае оно не должно быть симметричным, как, например, в случае, когда v – отношение включения, или транзитивным, как, например, в случае, когда v задается несколькими неравенствами с разными «направлениями».

Определение 7. Конфигурация c , имеющая структуру $\sigma \in \Sigma$, является регулярной в том и только в том случае, если $\beta v \beta'$ выполняется для любого соединения $(\beta, \beta') \in \sigma$.

Часть связей конфигурации $c \in b(R)$ участвует в соединениях, предусмотренных структурой σ ; эти связи являются внутренними связями конфигурации. Остальные связи конфигурации являются ее внешними связями. Множество внешних связей и соответствующих показателей связи обозначим через $ext(c)$.

Регулярные конфигурации будут представляться графически с помощью схемы конфигурации, на которой образующие изображаются большими окружностями (обычно с идентификаторами и признаками), а связи – малыми полуокружностями (часто с показателями связи). Если две связи соединены, то это показывается маленькой окружностью, на которой отмечен диаметр.

Распространим понятия связей образующих и преобразований подобия, введенных на множестве образующих A , на множестве регулярных конфигураций $b(R)$. Связями конфигурации c называется, как и в случае образующих, число внешних связей; оно складывается из входных связей и выходных связей.

Область определения некоторого преобразования подобия $s \in S$ распространяется на множество регулярных конфигураций $b(R)$ посредством задания для состава (c) = $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ следующих соотношений:

$$\text{состав}(sc) = \{sa_1, sa_2, \dots, sa_n\}, \quad (5)$$

$$\text{структура}(sc) = \text{структура}(c). \quad (6)$$

Утверждение (6) совместимо с утверждением (5), так как согласно определению 1 преобразования подобия не затрагивают структуру связей.

Поскольку каждое соединение включает две связи, справедливо

$$\rho(c) = \text{связность}(c) = \sum_i \rho(a_i) - 2 \#(\sigma), \quad (7)$$

а также аналогичные соотношения для входных и выходных связей.

Кроме матрицы инцидентности структуры конфигурации σ порядка $\sum \rho(a_i)$ нам потребуется также матрица инцидентности для образующих [3]. Ее порядок равен n , и число элементов вида (i, i') равно числу выходных связей образующей a_i . Эту матрицу можно вычислить на основе матрицы структуры конфигурации σ , но не наоборот.

Распространим на конфигурации понятие комбинаторной структуры. Рассмотрим две конфигурации $c_1, c_2 \in b(R)$ и множества $B(c_1)$ и $B(c_2)$, образованные внешними связями конфигураций c_1 и c_2 , соответственно. Пусть σ_{12} представляет собой список соединений связей, принадлежащих множеству $B(c_1)$, со связями, принадлежащими множеству $B(c_2)$, при условии, что устанавливаются только попарные соединения и, следовательно, групповые соединения отсутствуют. В таком случае объединенную конфигурацию можно представить как $c_1 \sigma_{12} c_2$, причем

$$\text{состав}(c_1 \sigma_{12} c_2) = \text{состав}(c_1) \cup \text{состав}(c_2), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{структура}(c_1 \sigma_{12} c_2) &= \\ &= \text{структура}(c_1) \cup \text{структура}(c_2) \cup \sigma_{12}, \quad (9) \end{aligned}$$

Отсюда следует, что $c_1 \sigma_{12} c_2 \in b(R)$ в том и только в том случае, если

$$\left. \begin{aligned} &\text{структура}(c_1 \sigma_{12} c_2) \in \Sigma \\ &\beta \nu \beta' \text{ выполняется для всех новых связей,} \\ &\text{соединенных в соответствии с } \sigma_{12}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Вместо списка σ_{12} можно воспользоваться прямоугольной матрицей инцидентности для представления соединений, предусмотренных σ_{12} .

Если для двух регулярных конфигураций c_1 и c_2 справедливы условия

$$\left. \begin{aligned} &\text{состав}(c_1) \subseteq \text{состав}(c_2), \\ &\text{структура}(c_1) \subseteq \text{структура}(c_2). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Напомним, что структура (c) есть множество, значит можно записать, что $(c_1) \subseteq (c_2)$. В этом случае будем говорить, что конфигурация c_1 является подконфигурацией конфигурации c_2 . Это вводит в $b(R)$ частичный порядок. Если $c_2 = c_1 \sigma_{12} c'$, причем $c_1, c_2 \in b(R)$, то $(c_1) \subseteq (c_2)$ и, следовательно, композиция конфигураций является монотонной операцией относительно заданного частичного порядка. Эта операция всегда приводит к увеличению информации или, точнее, никогда не приводит к ее потере.

Множество регулярных конфигураций будем записывать в виде набора из четырех элементов

$$b(R) = (A, S, \Sigma, \nu) \quad (12)$$

или, объединив Σ -структуру и отношение связи ν в правило

$$R = (\Sigma, \nu), \quad (13)$$

получаем набор из трех элементов

$$b(R) = (A, S, R). \quad (14)$$

Если рассматриваются только регулярные конфигурации заданной мощности n , то для пространства конфигураций можно записать

$$b_n(R) \subset b(R). \quad (15)$$

Иногда некоторые регулярные конфигурации встречаются в виде подконфигураций. В таком случае их удобно рассматривать в качестве неделимых элементов, т. е. образующих с заданными фиксированными внутренними связями. Будем называть такие конфигурации макрообразующими.

Приведем ряд часто встречающихся типов соединений.

Простейшим типом соединения является Σ – «свободное», при котором никакие соединения не устанавливаются, любая конфигурация регулярна и не имеет внутренней структуры, т. е. является просто множеством. Объекты такого вида будем называть свободными конфигурациями.

Поскольку свободные конфигурации – это просто множества, то для обозначения соединения σ естественно воспользоваться знаком « \cup » (такое объединение, когда две ко-

пии образующей можно различать с помощью дополнительных меток в соответствующих контекстах).

Другим часто встречающимся типом является линейный тип. Линейный тип соединений Σ состоит из линейных упорядочений, и регулярная конфигурация, включающая n образующих, имеет вид, приведенный на рисунке 2.

Теперь введем в теорию образов наблюдаемость. Две различные конфигурации c_1 и c' из $b(R)$ необязательно будут восприняты наблюдателем как различные. Последнее может зависеть или не зависеть от способа получения информации о конфигурации наблюдателем и от способа обработки этой информации. Формализуем это обстоятельство посредством правила идентификации R : записываем $c \equiv c' \pmod{R}$ или cRc' , если c и c' идентифицируются при помощи этого правила, указывающего, каким образом наблюдатель может различать конфигурации. Для того, чтобы некоторое отношение было правилом идентификации, должны выполняться следующие определения и правила.

Определение 8. Отношение R между конфигурациями из $b(R)$ называется правилом идентификации, если:

- R является отношением эквивалентности,
- если cRc' , то c и c' имеют одни и те же внешние и внутренние показатели связей,
- если cRc' , то $(sc)R(sc')$ для любого $s \in S$,
- если $c = c_1\sigma c_2$ и $c' = c'_1\sigma c'_2$ регулярны и $c_1Rc'_1, c_2Rc'_2$, то имеем cRc' .

Классы эквивалентности $b(R)$ называются изображениями и в общем случае обозначаются через I , а множество всех изображений – через Γ :

$$\Gamma = b(R)/R = (A, S, \Sigma, v)/R. \quad (16)$$

Иногда будем называть элементы из Γ идеальными изображениями в противоположность деформированным изображениям, которые будут введены ниже. Класс эквивалентности I , содержащий данную конфигурацию c , будем обозначать $I(c)$.

На множестве Γ задается алгебраическая структура.

Для данного $b(R)$ различные правила идентификации приведут к различным алгебрам изображений. Если R_1 и R_2 – два таких правила из R , точнее, чем R_2 , в том смысле, что R_1 -изображения всегда содержатся в R_2 -изображениях, но не всегда наоборот, то это пишем, как $R_1 > R_2$. В частности, иногда важно, что правило может различать конфигурации лишь с одной образующей. Более точно рассмотрим монотип связи и произвольную пару образующих a_1 и a_2 . Обе конфигурации $\{a_1\}$ и $\{a_2\}$ регулярны, и будем говорить, что R разделяет образующие, если из $\{a_1\} \equiv \{a_2\} \pmod{R}$ следует, что $a_1 = a_2$.

Заметим, что поскольку все конфигурации в изображении обладают одними и теми же внешними связями и показателями связей, то имеет смысл говорить о них для всего изображения.

Множество Γ вместе с преобразованиями подобия и комбинациями посредством σ называется алгеброй изображений, обозначается также через Γ и может быть представлено пятеркой

$$\Gamma = b(R), R = \langle A, S, \Sigma, v, R \rangle. \quad (17)$$

Вероятностная мера P на $b(R)$ индуцирует вероятностную меру на Γ при помощи соотношения

$$P(E) = P\{c / c \in b(R), I(c) \in E\} \quad (18)$$

при $E \subset \Gamma$. Для упрощения обозначения используем тот же символ P для индуцированной меры.

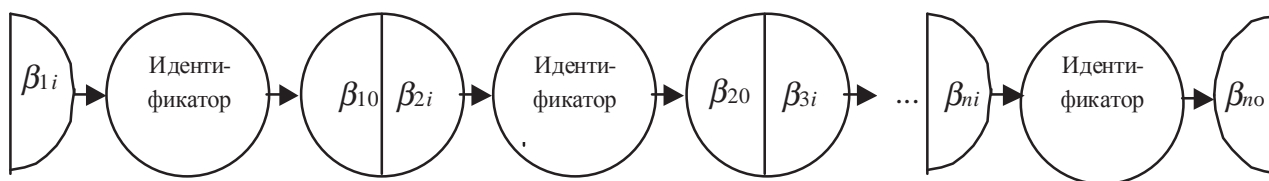


Рис. 2. Линейное соединение конфигураций

Рассмотрим типы правил идентификации и начнем с некоторых простых правил.

Тривиальное правило задается при помощи равенства между конфигурациями, а именно cRc' тогда и только тогда, когда $c = c'$. Конечно, в этом случае имеем $\Gamma = b(R)$.

Другое правило R появляется тогда, когда все регулярные конфигурации имеют нулевую связность, и мы полагаем cRc' тогда и только тогда, когда состав (c) равен составу c' (идентификация по составу).

Более интересное правило получается для образующих-соответствий. Это правило таково, что функция однозначно определена на подмножестве опорного пространства. Две конфигурации идентифицируются, если они представляют одну и ту же функцию и имеют одни и те же внешние связи (идентификация по функции). Часто будет встречаться случай, когда изображение представляет некоторую функцию на опорном пространстве.

Рассмотрим формализацию представлений в сложном пространстве, в котором действуют ЧЭС. Такие действия могут быть в случае пространств с размерностью больше чем 3, в частности, наиболее часто используемое четырехмерное пространство.

Рассмотрим в этом пространстве важный класс алгебр изображений – пространственно-временные образы.

В этом случае опорное пространство $X = R^3 \times R^1$, где R^1 – пространство времени. Эти образы играют особую роль среди многомерных образов благодаря тому, что время направлено. Это повлияет на выбор отношений связи. Здесь будут получены те пространственно-временные образы, которые описывают движения, а также рассмотрены поведенческие образы, которые могут быть представлены как движение в пространстве более общего вида, чем R^3 .

Образующие, используемые при построении конфигураций движения, будут иметь следующие свойства. Как число входящих, так и число исходящих связей образующих не ограничено, и показатели всех внутренних связей конкретной образующей равны некоторому действительному числу n_{in} . Аналогично все показатели внешних связей равны некоторому действительному числу $n_{out} \geq n_{in}$.

Роль индекса α образующей заключается в разделении движений на различные типы, и A будем называть репертуаром движений. Если два пространства образующих построены одинаково, за исключением того, что одно из них исходит из множества образующих A , а другое – из A' , причем $A \subset A'$, то будем говорить, что второе пространство обладает большей общностью. Второе пространство конфигураций будет иметь и более сложную структуру.

Преобразования подобия будут включать в себя сдвиги по времени $t \rightarrow t + h$. Воздействие на показатели связей образующих будет сводиться к тому, что они примут значения $t_{in} + h, t_{out} + h$. Иногда будут использоваться также некоторые пространственные преобразования, но они не повлияют на показатели связей. Как правило, классы образующих A^α должны быть S -инвариантными.

Когда элементарные движения комбинируются вместе, необходимо проследить, чтобы они выполнялись в правильном порядке. Это приводит нас к типу соединения Σ – «частичный порядок», и все стрелки в σ должны иметь одно направление.

По той же причине будем считать, что отношение связей $\beta_{out} \nu \beta_{in}$ истинно тогда и только тогда, когда $t_{out} \leq t_{in}$; стрелка направлена от β_{out} к β_{in} и прежде чем перейти к следующему, необходимо закончить предыдущее. Отметим, что такое отношение связей S -инвариантно.

Тем самым определяется $R = \langle \Sigma, \nu \rangle$ и вместе с A и S задается множество регулярных конфигураций $b(R)$.

Чтобы получить алгебру изображений, мы должны выбрать правило идентификации R , и в данном случае располагаем большей свободой выбора. Рассмотрим 3 правила.

Если c и c' – две регулярные пространственно-временные конфигурации, то каждая из них определяет полное движение: объект в R^3 переводится из одного состояния в другое. Отметим, что $c \equiv c' \pmod{R_1}$, если c и c' имеют одни и те же внешние связи и индуцируют одно и то же полное движение среды. Это не означает, что два таких движения идентичны, а только то, что их полные результаты одинаковы.

С другой стороны, если c и c' имеют одинаковые внешние связи и показатели связей и представляют повсюду одно и то же движение, то будем говорить, что $c \equiv c' \pmod{R_2}$.

Наконец, если c и c' , то записываем $c \equiv c' \pmod{R_3}$; R_3 – тривиальное правило идентификации по равенству конфигураций. Эти правила удовлетворяют определению (8) и задают три алгебры изображений $\Gamma_k(R) = b(R)/R_k, k = 1, 2, 3$. Очевидно, что $R_1 > R_2 > R_3$.

Для изучения более сложных и часто встречающихся пространственно-временных конфигураций удобно ввести макрообразующие.

Прежде чем рассмотреть некоторые конкретные реализации введенных выше правил, укажем, что установление способа, по которому пространственно-временные изображения при заданном начальном пространстве изображений переводятся в пространственные изображения, как правило, представляет важный вопрос.

При описании движения будем исходить из определенного репертуара движений, скомбинируем их и выявим реакцию среды. Это зависит как от свойств среды, так и от применяемых средств. Это могут быть просто руки оператора или сложные механические устройства.

Приняв в качестве образующих движения, будем строить пространственные конфигурации, причем Σ – «частичный порядок» и ν совпадает с « \leq ». Тогда регулярные конфигурации идентифицируются по модулю $R_i, i = 1, 2, 3$, что определяет алгебру изображений.

Очевидно, такие конфигурации характеризуются тем, что они являются комбинациями некоторых основных действий, соединяемых вместе в установленном порядке с соответствующими временными ограничениями. Конфигурации подобного типа встречаются и при анализе процессов управления.

Пространственно-временные образы поведения ЧЭС, порождаемые соответствующими образующими, могут быть рассмотрены с точки зрения синтеза образов действий. При этом соответствующее пространство не обязательно совпадает с R^3 .

Чтобы охарактеризовать поведение ЧЭС, группы или организации, нужно исходить из множества доступных действий. Под поведением понимается способ выбора и комбинирования действий в некоторой среде. Поэтому образы поведения имеют такую же структуру, как и образы, представленные выше, но теперь образующими служат действия и A можно рассматривать в качестве пространства действий.

Комбинируя образующие действия, можно получить конфигурации поведения. Поведение в истинном понимании возможно лишь тогда, когда конфигурации отвечают изменениям в экономической среде, которые влияют на администрацию компании при выборе действий. Однако даже это по-настоящему не «объясняет» поведение, а служит лишь его формальным описанием.

В заключение рассмотрим вопрос, как получаются изображения из образующих, представленных булевыми образами.

Эти образы комбинируются посредством исчисления высказываний, исходя из некоторого множества A (простых) признаков. Сами признаки являются двоичными переменными, принимающими два возможных истинностных значения, скажем «истина» и «ложь». В данном разделе эти признаки служат образующими, а изображения являются правильно построенными булевыми изображениями.

Произвольная булева функция φ , заданная переменными f , может быть выражена в конъюнктивной нормальной форме

$$\varphi = \bigwedge_{b \in B} \left(\bigvee_{a \in A} f^{e_{ab}} \right). \quad (19)$$

Показатели степени принимают значения 1, 0, -1, причем полагают, что $f^1 = f, f^{-1} = \sim f, f^0$ не встречается.

Это укладывается в формализм образов, если A состоит из признаков $a = a(x)$, определенных на некотором опорном пространстве X . Группа S преобразований подобия на X индуцирует изображения $s: A \rightarrow A; s$ – произвольный элемент S .

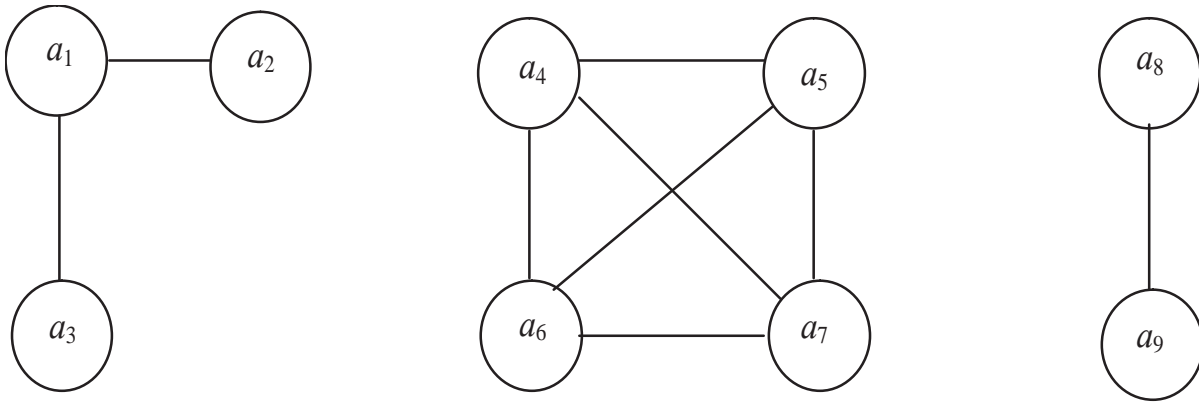


Рис. 3. Тип соединения булевых образов

Классы образующих A^α будут состоять из попарно сравниваемых признаков: если $a_1, a_2 \in A^\alpha$, то один влечет другой так, что или $a_1 \Rightarrow a_2$, или $a_2 \Rightarrow a_1$.

Тип соединения Σ показан на рисунке 3.

Любой $\sigma \in \Sigma$ будет состоять из одного или нескольких изолированных подграфов, каждый из которых имеет более p образующих и подграфов с полной графовой структурой. Связность любой a есть $(r - 1)$ двойных стрелок, все ее узлы совпадают с соответствующим индексом образующей α . Отношение согласования ν будет выбрано как «не иметь следствием», чтобы гарантировать неизбыточность задания образующей. Пусть регулярная конфигурация $c \equiv b(R)$ записана в виде $\{a_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_i\}$, где $n_i \leq p$, так, что c является комбинацией $c_i = \{a_{ij}; j = 1, 2, \dots, n_i\}$, причем каждая c_i имеет тип соединения «полный».

Пусть даны две конфигурации c (как выше) и $c' = \{a'_{ij}; i = 1, 2, \dots, m'; j = 1, 2, \dots, n'_i\}$, $n'_i \leq r$, они будут отождествляться cRc' , если

$$\bigwedge_{i=1}^m \left(\bigvee_{j=1}^{n_i} a_{ij}(x) \right) = \bigwedge_{i=1}^{m'} \left(\bigvee_{j=1}^{n'_i} a'_{ij}(x) \right), \forall \delta \in \tilde{O}. \quad (20)$$

Другими словами, конфигурации идентифицируются по их логическим функциям.

Выводы и рекомендации

Образующие, используемые в данной статье, в дальнейшем будут применяться для построения конфигурационных структур R ,

в которых эти образующие можно определить как заданные узлы или как отрезки, соединяющие пары узлов. Построенные из этих образующих конфигурации будут называться сетевыми конфигурациями.

При работе с сетевыми конфигурациями будет предполагаться, что у всех $a \rho(a) = \infty$, ν – симметрическое и любое $\sigma \in \Sigma_n$ предусматривает всевозможные попарные соединения реверсивными стрелками всех n образующих, входящих в конфигурацию. В этом случае тип соединения назовем Σ – «полный», а построенная структура будет структурой полного графа. Для описания реальных конфигураций, когда A состоит из описанных выше образующих, тип соединения Σ – «полный» и ν – различие, то это означает, что $\beta \nu \beta'$ в том и только в том случае, если $\beta \neq \beta'$. Сетевые конфигурации подобного типа являются (частично) описаниями объектов (ситуаций).

Роль системы правил R заключается в данном случае в том, чтобы предотвращать возникновение противоречий.

Список литературы

1. Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе «человек – машина». – М.: Мир, 1973.
2. Персонал. Словарь понятий и определений. – М.: «Экзамен», 2000.
3. Эпштейн В. Л. О приложении теории графов для описания анализа потоков информации в управляющих системах // Автоматика и телемеханика. - 1965. Т.26. – С. 1403 – 1409.

**FORMALIZATION OF INTERPRETATIONS AND ACTIVITIES
OF CREW AND EXPERT**

© 2006 A. N. Koptev, E. I. Surina

Samara State Aerospace University

We consider both the interpretation of airplane crew activity inside the suggested set of possible rational actions and creation from it's the desired configurations.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ

© 2006 Т. И. Михеева

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается автоматизированная информационная система сбора, обработки и анализа оперативной информации, разрабатываемая в рамках транспортной системы. Приведена модель данных, описаны инструменты проектирования базы данных оперативной информации, рассмотрены алгоритмы выявления мест концентрации объектов на карте.

Введение

Многогранность процессов, протекающих в жизни современного города, находит отражение в решениях, принятых соответствующими структурами градоуправления. Управление транспортной инфраструктурой, обеспечивающее решение не только экономических вопросов, но и вопросов, связанных с обеспечением безопасности, в настоящее время является особенно актуальным. Оперативная информация о состоянии улично-дорожной сети, обстановке (безопасности) в городе характеризуется комплексом оценок состояния множества объектов. Обеспечение сбора, накопления и обработки такой информации необходимо решать на уровне автоматизированной информационной системы для получения возможности своевременного оперативного принятия решения в условиях реального времени.

1. Автоматизированная информационная система управления потоками оперативных данных

В рамках проекта «Интеллектуальная транспортная система г. Самары» разрабатывается автоматизированная информационная система (АИС) мониторинга оперативных данных, отражающих состояние транспортной инфраструктуры города.

Основу информационного обеспечения АИС составляет совокупность распределенных данных. Сложная организация информационного обеспечения системы диктует необходимость использования *базы данных* с расширенной системой управления этими данными, выполняющей функции не только

хранения, но и поиска и манипулирования ими [1, 2].

АИС представляет собой комплекс взаимосвязанных программных модулей, каждый из которых предназначен для решения задачи обработки одного из видов оперативной информации. База данных является фундаментальным компонентом информационной системы и представляет собой поименованную совокупность данных, отображающую состояние объекта или класса объектов, их свойства и взаимоотношения [3, 4].

Модуль «Учет дорожно-транспортных происшествий (ДТП)» - подсистема, обеспечивающая сбор, хранение, фильтрацию информации, касающейся произошедших ДТП. Информация может быть отфильтрована практически по любому хранящемуся параметру: дате, времени, месту, характеру происшествия, причине его возникновения, участникам ДТП, количеству погибших или раненых. Особым видом фильтрации является формирование списка так называемых «очагов аварийности» - мест концентрации ДТП. Для этих целей разработан алгоритм, позволяющий выявлять очаги по точному или ориентировочному описанию места ДТП в пределах некоторой улицы, административного района, нескольких районов или всего города.

Модуль «Учет транспорта, находящегося в розыске» предназначен для хранения информации, касающейся транспортных средств (ТС), находящихся в угоне или совершивших какое-либо противоправное действие. Отличительной чертой данных, обрабатываемых в данном модуле, является их

возможная неполнота или даже недостоверность. Например, данные о транспортном средстве, скрывшемся с места ДТП, могут содержать неполную информацию о государственном номере ТС или искаженную информацию о марке ТС, или несколько вариантов предположительного цвета его кузова.

Модуль «Учет недостатков улично-дорожной сети» обеспечивает хранение и обработку информации о нарушениях функционирования улично-дорожной сети с позиций обслуживания инженерных сетей (вода, канализация, электричество, связь и др.) и других специальных служб (например, «Управление зеленого хозяйства»). Хранящаяся в модуле дополнительная информация о допустимых (согласно ГОСТ) временных интервалах, назначенных на устранение выявленного недостатка, и ответственных исполнителях позволяет по истечении допустимого времени и неустранении недостатка сигнализировать об этом пользователю (администратору АИС).

Модуль «Учет неисправностей технических средств организации дорожного движения» по своим функциям аналогичен модулю учета недостатков улично-дорожной сети.

Организационно-вычислительный модуль предназначен для получения новых данных из уже имеющихся в перечисленных выше модулях.

Необходимые для статистического накопления и анализа оперативные данные, собранные, обработанные и отфильтрованные соответствующим модулем, собираются в вычислительном модуле для дальнейшей работы с ними. Объем перерабатываемой информации пропорционален количеству формируемых показателей. В общей сложности в АИС за один сеанс (час, сутки и т.п.) обрабатывается более 100 показателей. Помимо накопления статистической информации в АИС производится вычисление некоторых интегральных характеристик, проводится сравнительный анализ значения какого-либо показателя со значением аналогичного показателя за прошлый период (год, месяц, сутки), отмечается динамика роста и т.п.

1.1. Динамическая структура показателей

Отличительной особенностью разработанной АИС является вполне объяснимое ограничение, накладываемое областью применения (большой объем оперативно поступающих данных и постоянно изменяющаяся структура отслеживаемых параметров) на реализацию хранения данных. Динамика изменения структуры проявляется вследствие изменений характеристик реального мира, влекущих за собой введение новых исследуемых параметров, их сбор и обработку в АИС. Невозможность организации жесткой структуры хранения данных нашла свое решение в реализации гибко настраиваемой древовидной системы показателей (параметров) с возможностью размещения узлов на любом уровне и созданием произвольной глубины вложенности.

Листья-показатели могут быть двух типов: *статистические* (невывчисляемые) и *вывчисляемые*. Статистические показатели – это потоки данных, поступающие из модулей. Например, показатель «*Кража транспортного средства*: за сутки» поступает из модуля «Учет транспорта, находящегося в розыске». Вывчисляемые показатели – это потоки данных, полученные путем каких-либо вычислений или анализа аналогичных показателей за некоторый временной период. К вычислительным параметрам относится, например, показатель «*Кража транспортного средства*: за прошедший месяц», получаемый суммированием аналогичных данных за заданный период времени.

Для каждого показателя (вывчисляемого и невывчисляемого) хранится его текущее состояние по одному значению за одни сутки. Для статистических – это вводимое значение, а для вычисляемых – это полученное вследствие применения соответствующей формулы. Формула, по которой производится вычисление показателя, задается в дереве настройки показателей. Она может содержать операнды, над которыми производится операция, знаки операции +, -, *, / и скобки - «(» и «)», обеспечивающие приоритет вычислений. Этого вполне достаточно для обработ-

ки, оценки сравнительных характеристик показателей, выявления динамики роста показателей, так как позволяет вычислять такие показатели, как «Количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП): по нарастающей с начала года за текущий месяц» или «Пострадало в ДТП: за прошлый год» = «Погибло в ДТП: за прошлый год» + «Ранено в ДТП: за прошлый год».

Вычисляемые значения образуют граф зависимостей (рис. 1), и обновление одного значения влечет за собой пересчет всех зависящих от него значений. Иногда проще отказаться от хранения вычисляемых значений, а получать их непосредственно перед отображением на экране. Такой подход оправдывает себя тогда, когда вычисляемые значения являются агрегатными функциями и могут быть получены средствами языка запросов SQL. В более сложных случаях часто оказывается выгоднее хранить вычисляемые значения в базе данных вместе с невычисляемыми и выполнять их пересчет при необходимости.

Для описываемого принципа организации данных важным является то, что все объекты (значения) сгруппированы в классы (по типам), и для каждого типа можно задать свою формулу вычисления значения. При выполнении такого условия можно выделить сущность «тип значения», характеризующую, кроме всего прочего, уникальным именем и формулой для вычисления. Формула может быть строкой, содержащей алгебраическое выражение. Например, формула вычисления количества нераскрытых преступлений на конец текущего дня ($current(quantity)$) будет записана в виде строки:

« $current(quantity_i) = previous(quantity_i) + current(credit_i) - current(debit_i)$ »,

то есть количество всех нераскрытых преступлений на конец предыдущего дня $previous(quantity)$, плюс количество нераскрытых преступлений $current(credit)$, минус количество раскрытых преступлений $current(debit)$ за текущий день. $Current$ – функция вычисления значения соответствующего параметра за текущий день (период), $previous$ – функция вычисления значения этого же параметра за предыдущий день (период). Для вычисления показателей по хранящейся формуле-строке в АИС реализован синтаксический анализатор, проверяющий структуру вводимой формулы на предмет правильности ее формирования пользователем.

Организация базы данных для хранения такой структуры при последовательном (день за днем) внесении данных в систему проблем с пересчетом не вызывает. Однако при внесении изменений «задним числом» приходится пересчитывать все вычисляемые значения, зависящие от измененных (рис. 1). При этом возникают две задачи: определить значения, требующие пересчета, и определить порядок пересчета значений.

Введем отношение зависимости между значениями. Пусть запись $A.зависит_от(B)$ означает, что значение A зависит (не обязательно напрямую) от значения B . Пусть запись $X.вычисляется_через(Y)$ означает, что в формулу для вычисления X непосредственно входит Y . Тогда можно записать условие зависимости значения A от значения B :

$A.зависит_от(B)$, когда

либо $A.вычисляется_через(B)$,

либо $A.вычисляется_через(C)$ и $C.зависит_от(B)$.

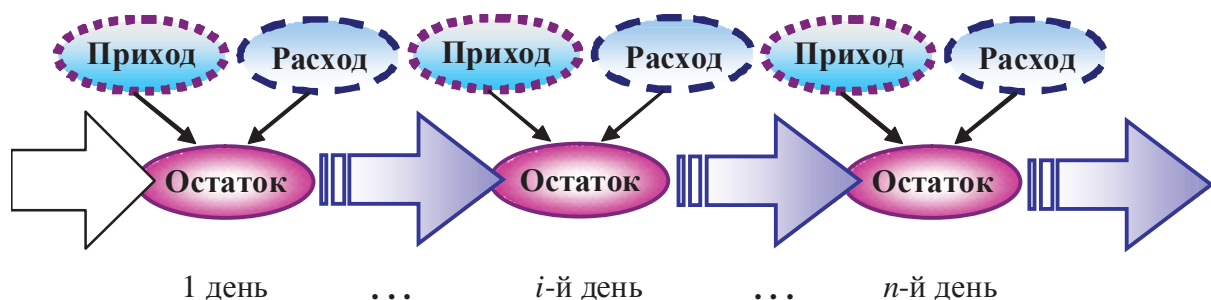


Рис. 1. Схема вычислений значений

Используя это правило, можно применить разновидность обхода графа зависимостей в ширину для определения множества значений, требующих пересчета.

Для определения порядка пересчета значений примем интуитивно понятное утверждение: никакое значение за текущий день не зависит от значений за последующие дни. Следовательно, чтобы не нарушить порядок вычисления значений, нужно отсортировать их по датам и затем вести вычисления в порядке возрастания даты. Чтобы определить последовательность вычислений значений внутри какого-либо дня, данные сортируются по признаку зависимости друг от друга в пределах этого дня.

1.2. Структура базы данных

Структура базы данных (некоторой ее части), обеспечивающей хранение оперативной информации, приведена на рисунке 2 и демонстрируется в концепции модели «сущность-связь» – ER-модели (от англ. *ER – Entity-Relationship model*), предложенной Ченом [5].

АИС оперативного учета предполагает регулярное (ежедневное) пополнение данных. Для каждого типа значения можно указать день, когда было внесено первое значение этого параметра; значения параметра до этого дня системе были неизвестны. Аналогич-

но можно указать и верхнюю границу (последний день), на который системе известно значение конкретного типа. Каждый день работы системы отодвигает эту границу, «открывая» новые дни.

Основной частью базы данных, отвечающей за реализацию гибкой древовидной структуры, является кортеж из пяти таблиц: *Param* («Имя параметра»), *ParamKind* («Тип параметра»), *ParamValue* («Значение параметра»), *Division* («Имя подразделения-клиента, приславшего данный параметр»), *ValueKind* («Значение типа параметра»). Рассмотрим их подробнее. *Param* отвечает за содержимое дерева (за исключением конечных листьев и значений, хранящихся в этих листьях). Сформировать дерево позволяет наличие полей *IParent* («Идентификатор родительского узла»), ссылающегося на узел-предок, и *VcName* («Наименование»), хранящего название узла. Дополнительный компонент *ValueKind* хранит названия возможных листьев дерева. Их комбинация *Param+ValueKind* образует гибкое, легко расширяемое дерево, которое реализуется в таблице конечных показателей *ParamKind*.

Они формируются на основании пары *Param.Id_Param:ValueKind.Id_Kind*. Вычисляемость параметра определяется наличием формулы в поле *VcFormula* («Формула»). Таб-

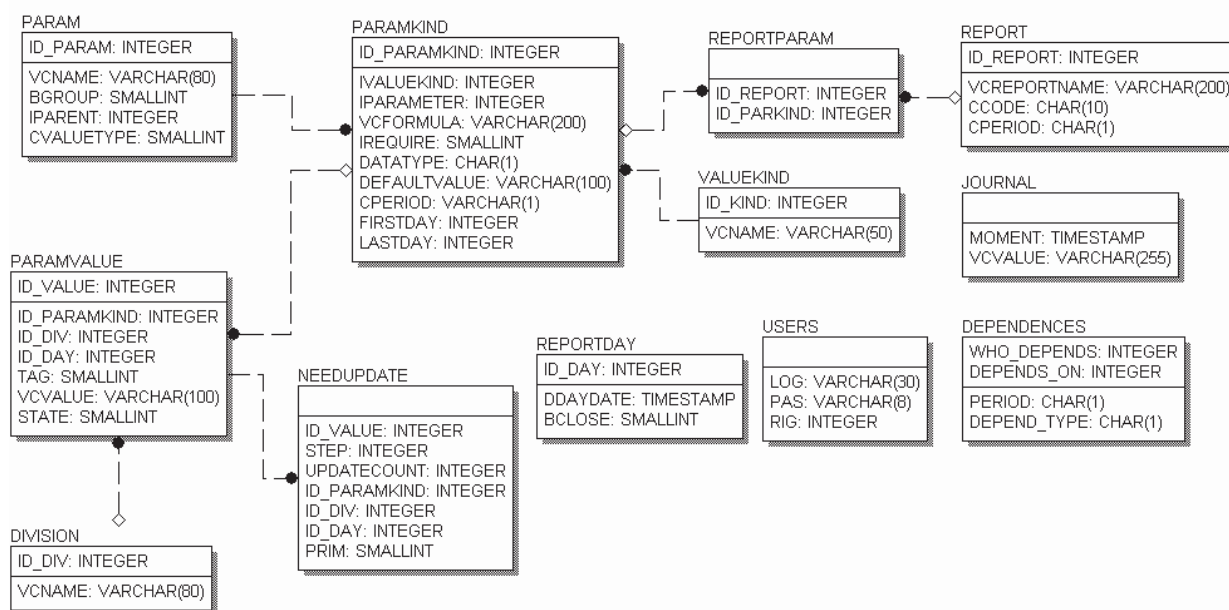


Рис. 2. ER-модель данных

лица *ParamValue* хранит данные для каждого конечного показателя на каждый день (вычисляемые или статистические). АИС поддерживает клиент-серверную технологию обработки данных, т.е. на множество хранимых значений оказывает влияние, в каком подразделении (*Division*) зафиксировано данное значение показателя. Отсюда вытекает необходимость в идентификации района города (таблица «Подразделение» *Division: ParamValue.Id_Div=Division.Id_Div*). Аналогично определяются значения подразделения, уникальное значение для какого-либо показателя за один день обеспечивает поле *Id_Day=ReportDay.Id_Day* в таблице *ReportDay* («Отчет за день»).

1.3. Формирование отчетов

Функция формирования отчетов обеспечивает такую же гибкость работы, как и работа с параметрами, т. к. основана на том же принципе организации данных. Пользователь имеет возможность формировать любые шаблоны для отчетов, составлять и сохранять запросы [6]. В АИС эта возможность реализована на двух таблицах. Первая таблица *Report* («Отчет») – собственно отчет, работает с полями: название отчета, код и периодичность формирования. Вторая – набор полей, по которым идет выборка данных для формирования данного отчета (*ReportParam*). Таким образом, пользователю для формирования нового отчета достаточно создать шаблон (рис. 3) и период, за который формируется отчет. Отчет создается в форме *Excel*-файла с определенными (заданными пользователем) заголовками, содержимое которых определяется из АИС (для этого в системе предусмотрены специальные инструменты, рис. 4).

2. Система учета и анализа дорожно-транспортных происшествий

В потоке оперативных данных среди прочей информации в АИС поступает информация о дорожно-транспортных происшествиях [7, 8]. Для описания ДТП используются его основные характеристики: место и время возникновения – и вспомогательные: вид, причина, степень тяжести, ущерб, количество пострадавших и др. Помимо вычисления «обыкновенных» аддитивных показателей для показателей ДТП «вычисляются» так называемые *очаги аварийности*. Очаг аварийности – это участок улично-дорожной сети, характеризующийся высоким уровнем аварийности: более двух ДТП в год.

Рассмотрим подробнее внутреннюю структуру модуля «Учет ДТП». Модуль предназначен для хранения информации о ДТП и местах их концентрации – «очагах аварийности». Очаг аварийности хранится в базе данных как совокупность ДТП и характеризуется моментами возникновения и исчезновения (для ликвидированных очагов). Центральной утилитой в модуле «Учет ДТП» является утилита редактирования списка ДТП (рис. 5). Данные представляются в табличном виде. Область видимости информации можно ограничить населенным пунктом, возможна фильтрация и сортировка по запросу пользователя: по месту происшествия, по дате, причине ДТП и др.

Анализ ДТП с точки зрения поиска очагов аварийности сводится к группировке ДТП по дате и месту происшествия. Для чего необходимо переработать несколько тысяч записей о ДТП. При ручном поиске такая работа достаточно трудоемка. Автоматизирован-

ДАТА	#ДАТА#		
ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ	Норма выставления постов ДПС	Фактически выставлено постов ДПС	Всего задействовано постов ДПС за сутки
#ПОДР#	>9<	>10<	>11<

Рис. 3. Структура шаблона отчета для показателя «Посты дорожно-патрульной службы (ДПС)»

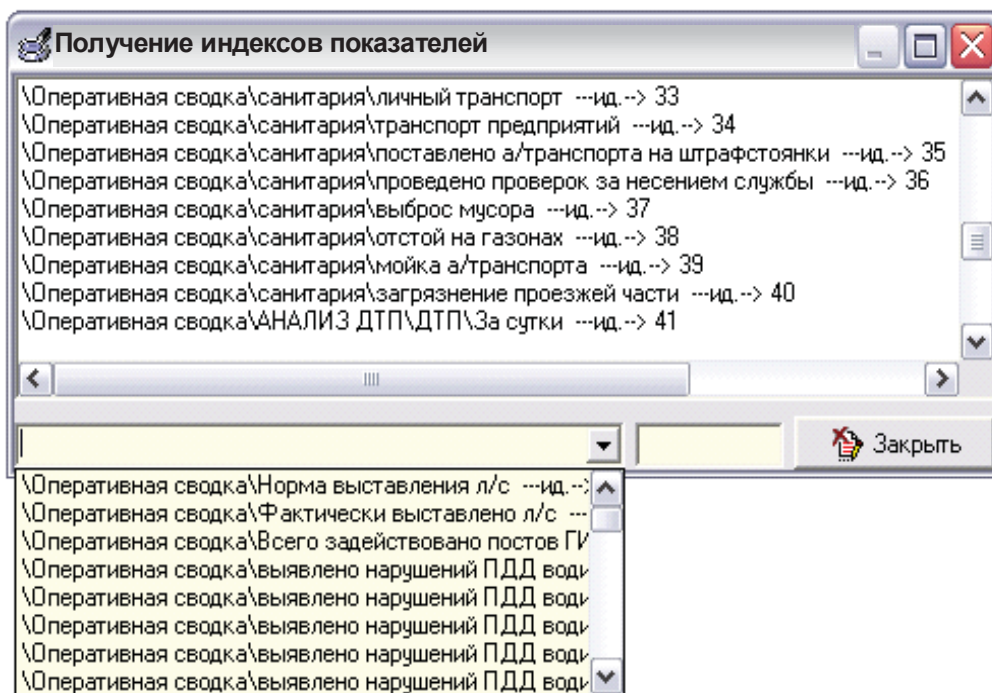


Рис. 4. Экранная копия инструмента формирования отчетов

ное выявление очагов аварийности значительно упрощает поиск, но имеет свои трудности. Каждое ДТП фиксируется по территориальной принадлежности. ДТП, произошедшее на границе районов, записывается в обоих районах. При анализе эти ДТП могут не образовывать очагов аварийности, хотя в действительности таковыми являются, т. к. топологический анализ ДТП подразумевает отсутствие границ. Еще одной проблемой является «словесное» (неформализованное) описание места ДТП. Например, перекресток, образованный пересечением улицы «А» и улицы «В», семантически однозначен перекрестку улиц «В» и «А» с точки зрения топологического

анализа, но не является одной и той же точкой города «с точки зрения компьютера». По словесному описанию места происшествия бывает довольно трудно оценить близость двух ДТП. Например, ДТП, произошедшие на разных сторонах дороги, могут оказаться «привязанными» к разным домам или даже оказаться в разных районах города.

Еще одним видом «семантического разногласия» является ситуация с распознаванием перекрестка, образованного слиянием нескольких улиц. Место возникновения ДТП можно записать, используя любое сочетание названий улиц, формирующих перекресток. Так, например, не имея дополнительных дан-

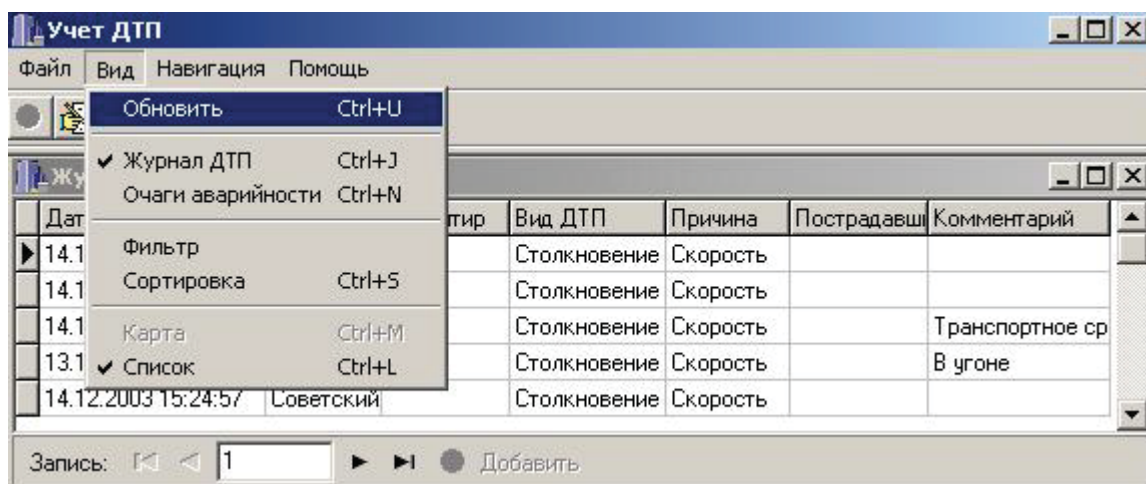


Рис. 5. Экранная копия модуля «Учет ДТП»

ных, невозможно определить, что 155-й километр трассы М-5 и 29-й километр трассы Самара-Курумоч – это одно и то же место: точка слияния двух дорог. Эти и ряд других проблем решены в АИС и не вызывают неоднозначности толкования.

Топологический анализ данных о ДТП проводится в АИС в двух видах: семантический анализ данных, хранящихся в базе данных, и географический анализ данных, визуализированных на электронной карте. В геоинформационной системе (ГИС) данные о ДТП и об очагах аварийности можно формировать по слоям (каждый слой содержит информацию за определенный год). Очаг аварийности отображается в ГИС как совокупность ДТП [9].

Для поиска мест концентрации ДТП на электронной карте используется несколько алгоритмов. Поскольку указанные пользователем координаты на карте (или координаты от GPS) считаются наиболее достоверной информацией о месте возникновения ДТП, то предпочтение отдается их группировке по координатам X:Y. Предварительно осуществляется триангуляция: разбиение плоскости карты на треугольники, в вершинах которых находятся ДТП. Затем для каждого ДТП анализируются соседние с ним ДТП на предмет возможной принадлежности к очагу аварийности (это необходимо для отсекаания ДТП, произошедших на параллельных улицах или во дворах домов).

Однако точные координаты ДТП известны не всегда, т. к. иногда место происшествия задается «текущим километром дороги» (ДТП вне города) или ориентиром (например, номером световой опоры). Для каждого типа ориентира существует оценка расстояния между ДТП, которая используется при группировке ДТП в очаги аварийности. Так, например, для ориентиров типа «№ дома» или «№ световой опоры» дополнительно можно указать расстояние до ДТП. При использовании одного ориентира расстояния до него недостаточно, необходимо еще знать направление. Однако, имея несколько ориентиров и расстояний до них, можно определить место ДТП. Если не знать точные координаты самих ориентиров, то нельзя определить коор-

динаты X:Y ДТП, но можно оценить близость двух ДТП, привязанных к этим ориентирам.

Поиск очагов осуществляется «с накоплением», т. е. при каждом поиске корректируется имеющаяся картина очагов аварийности. Поскольку на корректировку влияют лишь вновь добавленные или измененные ДТП, то можно вручную изменять привязку ДТП к очагам – при пересчете внесенные вручную изменения не теряются.

Инструмент генерации отчетов для модуля «Учет ДТП» предназначен для получения статистического анализа состояния аварийности и вывода результатов на печать или в файл-документ Microsoft Word либо Excel. В АИС предусмотрено получение сравнительных характеристик аварийности и тяжести ДТП в зависимости от времени суток, дня недели, времени года на основе указанной пользователем выборки. Кроме того, распечатку списка ДТП или очагов аварийности можно делать непосредственно из редактора списка ДТП.

3. Клиент-серверная организация АИС

Технически АИС реализована как клиент-серверная система, серверная часть которой (находясь резидентной в памяти) отвечает за пересчет и занесение в базу данных значений вычисляемых показателей за указанный период. Это увеличивает скорость работы клиентских приложений, устраняя необходимость в дополнительных запросах к серверу. Клиентское приложение работает уже с конечным набором данных, находящимся в базе данных.

Для облегчения передачи потока данных из одного подразделения в другой предусмотрена возможность экспорта/импорта и резервного копирования базы данных. Инструменты экспорта и импорта представлены отдельными исполняемыми модулями. Выделение их из основного модуля обусловлено прежде всего тем, что существуют разные способы экспорта и импорта: ручной и автоматический. При ручном способе данные экспортируются в файл, который переносится на дискете или передается по сети. При автоматическом способе клиент подключается к удаленному серверу и передает ему данные, которые импортируются в удаленную базу без

участия пользователя с серверной стороны. Автоматический режим удобен при передаче данных из удаленных (районных) подразделений в центральный (городской) отдел по DialUp-сети. Клиенту возвращается результат импорта. Поскольку объем экспортируемых данных может оказаться довольно большим, то перед передачей данные сжимаются с помощью алгоритма VZIP2.

Существует несколько вариантов экспорта данных, определяющих, какие записи подлежат экспорту: данные за указанный период (фильтрация по дате ДТП или по дате изменения базы данных), ни разу не экспортированные данные, повтор предыдущего экспорта. Аналогично существует и несколько вариантов импорта, определяющих поведение модуля импорта при конфликте версий. Например, можно оставлять более новую запись или перезаписывать все записи принудительно.

Инструмент поиска очагов аварийности выполняется на одном компьютере вместе с сервером баз данных. Он не имеет пользовательского интерфейса и представляет собой WindowsNT-сервис. Поиск очагов аварийности происходит либо по запросу пользователя, либо с заданной периодичностью.

АИС учета оперативных данных по обеспечению безопасности дорожного движения реализована с использованием Borland Delphi 5.0 и Borland C++ Builder 5.0. Данные технические средства выбраны в соответствии с требованиями скорости доступа к перечисленным базам данных, так как в них уже реализованы оптимизированные компоненты для доступа к базам данных InterBase. Для хранения используется база данных Interbase 6.5, однако все методы доступа к данным локализованы в нескольких модулях, и переход от одной СУБД к другой не вызовет осложнений.

Заключение

В настоящий момент АИС используется в отделе ГИБДД УВД г. Самары и позволяет автоматизировать процесс получения оперативной информации руководством городского отдела для принятия своевременных и обоснованных оперативной обстановкой в городе решений по обеспечению безопасности.

Список литературы

1. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных // Под ред. М. Брейера: Пер. с англ. - М.: Мир, 1979.
2. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ / Пер. с англ. - СПб.: Невский диалект, 1999.
3. Михеева Т. И., Денисенко В. С., Чугунов И. А. Автоматизированная система обработки и хранения оперативной информации. / Математика. Компьютер. Образование // Тезисы докладов XI международной конф. - М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», - 2004. - С. 53.
4. Хренов А. В., Ярцев В. С., Рудаков И. А. Учет и анализ оперативных данных по обеспечению безопасности дорожного движения // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность – многоуровневый аспект: превентивные меры и методы». - Пенза, 2003.
5. Чен П. П. Модель «сущность-связь» – шаг к единому представлению данных // СУБД. - №3, 1995.
6. Михеева Т. И., Рудаков И. А. Автоматизация мониторинга транспортной и дорожной инфраструктуры // Труды 6 международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». - С-Пб.: С-ПБАДИ. - 2004. - С. 93-96.
7. Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий / Под ред. И. А. Венгерова // Р-031121990505-00. - М.: Трансконсалтинг, 2001.
8. Михеева Т. И., Чугунов И. А. Автоматизация учета и анализ дорожно-транспортных происшествий // Труды конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». - С-Пб.: С-ПБАДИ. - 2004. - С. 267-271.
9. Михеева Т. И. Геоинформационная система наблюдения за улично-дорожной сетью города / Труды 5 международной междисциплинарной научно-практической конф. «Современные проблемы в науке и образовании». - Алушта-Харьков: Харьковский нац. ун-т им. В. Н. Каразина. - 2004. - С. 202.

COMPUTER – AIDED CONTROL OF INSTANT DATE

© 2006 T. I. Mikheeva

Samara State Aerospace University

The paper analysis a computerized information system for collecting, processing and analyzing instant data developed within the framework of a transport system. A data model is proposed, instruments for designed operative information database are described, algorithms of finding object concentration sports on a map are discussed.

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ФАКТОРА МОТИВАЦИИ

© 2006 Е. Н. Рябинова¹, Б. А. Титов²

¹Самарский государственный технический университет

²Самарский государственный аэрокосмический университет

Приводятся результаты разработки математической модели усвоения учебного материала, основанной на непрерывном мониторинге развития учебных способностей учащихся и соответствующей корректировке учебного процесса по определенным, заранее структурированным его составляющим. Модель усвоения представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений двенадцатого порядка, записанную относительно функций усвоения и так называемых мотивационных составляющих учебной информации.

Введение

Цель математического моделирования дидактических процессов состоит в том, чтобы прояснить неподдающиеся наблюдению и эксперименту явления, процессы и закономерности обучения учащихся, выявить поведение и реакции обучающихся, обусловленные множеством разнородных и противоречивых факторов, и использовать полученные результаты для разработки эффективной технологии обучения.

Проблеме математического моделирования дидактических процессов посвящено достаточно большое число работ, например, исследования Л. Б. Ительсона [1], Х. Франка [2], Р. Буша, Ф. Мостеллера [3], Р. Аткинсона, Г. Бауэра, Э. Кротерса [4], Д. Ллойда [5], Л. П. Леонтьева и О. Г. Гохмана [6], М. И. Потеева [7, 8], С. А. Пиявского [9, 10].

В монографии [1] отмечается неоднозначность протекания дидактических процессов, заключающаяся в том, что применение одинаковых объективных факторов обучения (методов, средств, организации и т.п.) дает в каждом конкретном случае отличающиеся результаты. Отсюда делается вывод о том, что изоморфным отображением дидактических процессов могут быть вероятностные модели. Однако понятно, что математические модели педагогических явлений и процессов, которые получаются вероятностными методами, не носят реального, содержательного характера. Л. Б. Ительсон отмечает, что преодолеть указанный недостаток позволяет кибернетический метод, который исходит из

того, что дидактические процессы относятся к классу управляемых, и, следовательно, подчинены объективным закономерностям, присутствующим всем процессам этого класса.

В этом же направлении проводились исследования по построению кибернетической педагогики [2], ставилась задача разработки статистических моделей обучаемости [3]. В работе [4] использовались статистические методы для моделирования процесса обучения, а в [5] анализировались коммуникационные связи обучаемых и обучающихся в дидактическом процессе и также ставилась задача разработки модели обучения.

В работе [6] разрабатывались символичные модели и рассматривалось их применение для целей оптимизации учебного процесса. Было отмечено, что начало 80-х годов прошлого столетия ознаменовалось появлением в дидактике целого ряда теоретико-множественных, функциональных, информационно-детерминированных, информационно-статистических, эвристических и других моделей. Однако анализ показывает отсутствие количественных моделей, на основе которых можно было бы решать задачи оптимизации учебного процесса.

В работах [7, 8] рассматриваются основы аналитической дидактики. Описываются теоретические положения и приводятся экспериментальные данные, на базе которых предлагается построение методов аналитического описания учебного процесса. Вводится понятие «силы дидактического воздействия», под которой понимается скорость из-

менения потока изучаемой информации и рассматриваются такие силы дидактического воздействия, как обучение, восприятие, забывание, умозаключение, заинтересованность и сопротивление. С использованием дифференциальных соотношений решается ряд практических примеров и делаются рекомендации, например, по распределению учебной нагрузки в течение заданного времени лекции или практического занятия и т.п.

Наиболее перспективными в смысле моделирования дидактических процессов являются работы [9, 10], в которых вводится в рассмотрение понятие оптимальной стратегии развития творческой личности, моделирование которой проводится в трех вариантах: путем подбора оптимальной эмпирической стратегии; путем формирования локально-оптимальной стратегии, отражающей деятельность развивающейся личности на основе ее целевой установки, и путем формирования глобально-оптимальной стратегии с использованием прогнозирования влияния текущей деятельности на весь последующий период развития. В качестве уровня мотивации, способствующего успешному приобретению квалификации, выступает время, затрачиваемое творческой личностью на приобретение своей квалификации.

В настоящей статье в отличие от выше-рассмотренных работ в качестве предмета моделирования выступает процесс усвоения заранее структурированного учебного материала, представленного в виде определенного набора учебных элементов [11]. При этом в качестве фактора, развивающего мотивацию учащихся, рассматривается так называемая мотивационная составляющая учебной информации, измеряемая числом усвоенных учебных элементов и представляющая собой ряд специально подобранных задач и примеров из данной квалификационной области.

1. Модель усвоения учебного материала

Рассмотрим один из возможных подходов к построению модели усвоения учебного материала, основанный на применении современной теории управления [12, 20, 21]. С этой целью при разработке модели будем учитывать следующие основные свойства процесса усвоения:

- определенная часть учебной информации неизбежно забывается в силу несовершенства механизма человеческой памяти [13];

- имеет место отвлечение учащихся от учебного процесса, что также приводит к утрате части учебной информации [14];

- часть утраченной учебной информации может быть восстановлена за счет формирования умозаключений и регламентированной самостоятельной работы [15];

- процесс усвоения характеризуется свойствами инерционности и насыщения, что происходит по причинам психологического и физиологического характера [14];

- учебная информация содержит так называемую мотивационную составляющую, которая инициирует у учащихся определенный интерес к овладению изучаемым предметом [16].

Введем следующие обозначения: $\Delta Y_j(t)$

- объем усвоенной нормированной учебной информации за заданный промежуток времени Δt , измеряемый от момента начала трансляции учебного материала учащимся до момента квалиметрии; $\Delta Z_j(t)$ - объем транслируемой нормированной учебной информации за промежуток времени Δt ; $\Delta M_j(t)$ - объем мотивационной составляющей нормированной учебной информации.

Под нормированным объемом учебной информации понимается отношение $\Delta Y^{\delta}_j(t)/\Delta Y^{\bar{\delta}}_j(t)$, где $\Delta Y^{\delta}_j(t)$ - реально усвоенный объем учебных элементов на момент времени t ; $\Delta Y^{\bar{\delta}}_j(t)$ - объем учебных элементов, подлежащих усвоению в соответствии со стандартом обучения по данной дисциплине на тот же момент времени t .

Перечисленные выше величины определяются для j -го уровня учебных задач ($j = \overline{1,4}$) в соответствии со структуризацией учебного материала, предложенной в [11]. С учетом введенных обозначений уравнения в конечных разностях баланса информации в дидактической системе для заданного промежутка времени Δt будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta Y_j(t) &= k_1(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij} \Delta Z_j(t) - v_{ij} Y_j(t) \Delta t + v_{ij} M_j(t) \Delta t, \\ \Delta M_j(t) &= k_2(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij} \Delta Z_j(t) - \eta_{ij} M_j(t) \Delta t, \\ k_1 + k_2 &= 1; \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, 4}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь коэффициенты α , β , γ характеризуют соответственно объем теряемой учебной информации за счет отвлечения учащихся от процесса усвоения, а также прирост объема учебной информации за счет формирования умозаключений и регламентируемой самостоятельной работы; коэффициенты v и η характеризуют потери объемов учебной информации и ее мотивационной составляющей, вызванные несовершенством механизма человеческой памяти; коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, v, \eta$ определяются для i -го момента квалиметрии и j -го уровня учебных задач; коэффициенты k_1 и k_2 определяют соотношение между объемом учебной информации, подлежащей усвоению, и объемом мотивационной составляющей учебной информации.

Таким образом, первое слагаемое в правой части первого уравнения в (1) представляет собой ту часть транслируемой учебной информации, которая может быть усвоена; второе слагаемое определяет потери информации, обусловленные забыванием, а третье слагаемое – пополнение учебной информации за счет мотивационной составляющей. В правой части второго уравнения в (1) первое слагаемое – мотивационная составляющая учебной информации, а второе слагаемое – ее потери, вызванные несовершенством механизма памяти.

Разделим левую и правую части первого уравнения из (1) на $v_{ij} \Delta t$, а второго уравнения – на $\eta_{ij} \Delta t$, перейдем к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$ и в результате получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{v_{ij}} \frac{dY_j(t)}{dt} + Y_j(t) &= k_1 \frac{(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij}}{v_{ij}} \frac{dZ_j(t)}{dt} + M_j(t), \\ \frac{1}{\eta_{ij}} \frac{dM_j(t)}{dt} + M_j(t) &= k_2 \frac{(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij}}{\eta_{ij}} \frac{dZ_j(t)}{dt}, \\ i &= \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, 4}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Введем обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{v_{ij}} &= 2T_{ij} \xi_{ij}; \quad \frac{1}{\eta_{ij}} = T_{M_{ij}}; \\ k_1 \frac{(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij}}{v_{ij}} &= k_{ij}; \\ k_2 \frac{(1 - \alpha + \beta + \gamma)_{ij}}{\eta_{ij}} &= k_{ij}^M. \end{aligned} \right\}$$

В результате (2) переписывается в виде

$$\left. \begin{aligned} 2T_{ij} \xi_{ij} \frac{dY_j(t)}{dt} + Y_j(t) &= k_{ij} \frac{dZ_j(t)}{dt} + M_j(t), \\ T_{M_{ij}} \frac{dM_j(t)}{dt} + M_j(t) &= k_{ij}^M \frac{dZ_j(t)}{dt}, \\ i &= \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, 4}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Учтем в полученной модели усвоения учебной информации важный аспект дидактического процесса, а именно, его инерционность. Для этого введем в первое уравнение (3) инерционный член, пропорциональный второй производной от функции усвоения:

$$\left. \begin{aligned} T_{ij}^2 \frac{d^2 Y_j(t)}{dt^2} + 2T_{ij} \xi_{ij} \frac{dY_j(t)}{dt} + Y_j(t) &= k_{ij} \frac{dZ_j(t)}{dt} + M_j(t), \\ T_{M_{ij}} \frac{dM_j(t)}{dt} + M_j(t) &= k_{ij}^M \frac{dZ_j(t)}{dt}, \\ i &= \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, 4}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Первое уравнение в (4) определяет нарастание объема усвоенной информации в зависимости от скорости трансляции $dZ_j(t)/dt$ учебного материала и мотивационной составляющей $M_j(t)$, а второе уравнение определяет нарастание объема усвоенной мотивационной составляющей только в зависимости от скорости трансляции. Производная $dZ_j(t)/dt$ выступает в роли управляющей переменной. Если каким-либо способом эта величина может быть задана через переменные $Y_j(t)$, $dY_j(t)/dt$, $M_j(t)$, то система (4) становится замкнутой и совместной и может

быть проинтегрирована при заданных начальных условиях.

Три потока циркулирующей информации: усваиваемая $Y_j(t)$, транслируемая $Z_j(t)$ и мотивационная $M_j(t)$ – находятся в определенном балансе и определяют суть процесса усвоения в дидактической системе.

Особо следует оговорить выделение из общего объема транслируемой учебной информации так называемой мотивационной составляющей. На основе современных представлений [17] «под мотивацией следует понимать генетическое стремление человека к самореализации в определенных видах деятельности в соответствии с его врожденными задатками - способностями». Это активное и устойчивое стремление реализуется в конкретные достижения, когда создаются необходимые условия. В этой связи будем считать, что весь объем учебной информации, транслируемой учащимся, должен содержать информацию, способствующую развитию генетического стремления человека к обучению по данной дисциплине. Например, специально подобранный лекционный материал, практические или лабораторные занятия, разработанные тестовые задачи и т.п. Важно

отметить, что мотивационная составляющая учебной информации должна быть величиной измеримой, исчисляемой количеством учебных элементов.

Систему уравнений (4) назовем феноменологической моделью учебного процесса, поскольку она описывает прежде всего психический феномен усвоения учебного материала (по Ф. Brentano [18]).

Рассмотрим собственные свойства системы (4), положив вместо управляющей функции $dZ_j(t)/dt$ функцию Хевисайда $hev(t)$. В результате система (4) может быть проинтегрирована:

$$Y_j(t) = \exp(-T_{ij}\xi_{ij}t)(C_1 + C_2t) + k_{ij} + k_{ij}^M \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{T_{ij}}{T_{M_{ij}}}\right)^2 + 2\left(\frac{T_{ij}}{T_{M_{ij}}}\right)\xi_{ij} + 1} \right] \exp(-T_{M_{ij}}t) \quad (5)$$

где C_1 и C_2 - произвольные постоянные интегрирования. Это решение может быть проиллюстрировано графиком (рисунок 1), где по оси абсцисс отложено время обучения, изме-

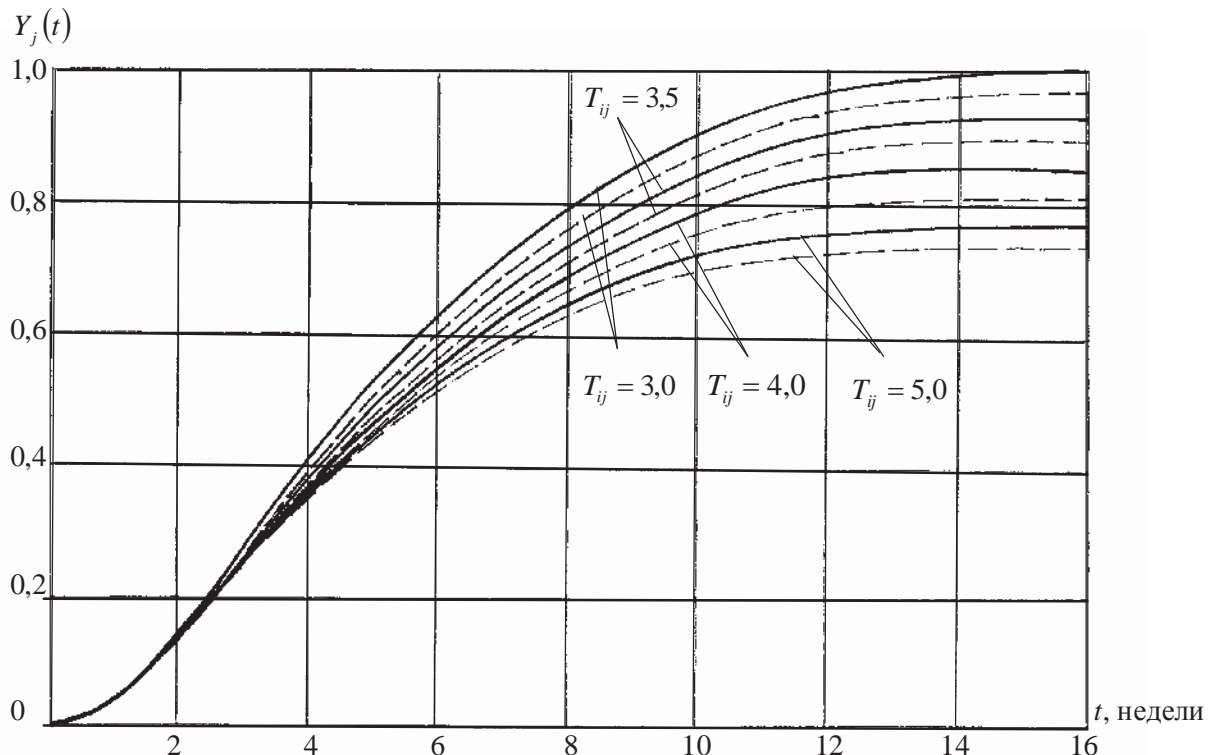


Рис. 1. Зависимость функции усвоения от времени для различных значений постоянной времени T_{ij} [ед. времени]

ряемое в условных единицах времени (в данном случае в неделях), а по оси ординат – нормированное число усвоенных учебных элементов, представленное в долях единицы. Таким образом, площадь под кривой функции усвоения представляет собой суммарное число учебных элементов, которые подлежат усвоению в течение, например, семестра в соответствии с имеющимся стандартом обучения по данной дисциплине:

$$\int_0^T Y(t) dt = J = const. \quad (6)$$

При проектировании технологии обучения, опирающейся на вышеизложенные соображения, эта величина является заданной.

На рис. 1 представлены четыре пары кривых усвоения, соответствующие разным значениям постоянной времени T_{ij} . Остальные параметры системы (4) приняты следующими: $\xi_{ij} = 1$; $k_{ij} = 1,0$ [нормированные учебные элементы]; $k_{ij}^M = 0,05$ [нормированные учебные элементы]; $T_M = 10,0$ [ед. времени].

Из множества кривых усвоения $Y_j(t)$, получаемых при различных значениях параметров системы (4), можно определить такую, которая при $t = T$ будет иметь значение, равное единице: $Y_j(T) = 1$. Будем называть ее эталонной траекторией усвоения, поскольку площадь под такой кривой, выраженная произведением числа учебных элементов на время, будет соответствовать, согласно (6), стандарту обучения.

Например, по курсу линейной алгебры в высшем учебном заведении в соответствии с существующим ныне Государственным стандартом [19] общее число учебных элементов, согласно предложенной структуризации [11], по всем четырем уровням учебных задач будет составлять 750 ... 800. Таким образом, для данного курса это число учебных элементов в соответствии с рассматриваемой моделью усвоения учебного материала должно быть равно величине площади криволиней-

ного треугольника, ограниченного снизу линией абсцисс, справа вертикальной прямой $t = T$, а сверху – кривой усвоения $Y_j(t)$ (рис. 1).

Уравнение эталонной траектории усвоения определяется соотношением (5) при следующих значениях параметров модели усвоения: $\xi_{ij} \equiv 1$ (рассматриваются только аперидические решения первого уравнения (4)); $T_{ij} = T_{ij}^*$, где постоянная времени T_{ij}^* определяется из решения трансцендентного уравнения вида:

$$(C_1 + C_2 T) \exp(-T_{ij}^* \cdot T) + k_{ij} + k_{ij}^M \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{T_{ij}^*}{T_{M_{ij}}}\right)^2 + 2\left(\frac{T_{ij}^*}{T_{M_{ij}}}\right)\xi_{ij} + 1} \right] \exp(-T_{M_{ij}} T) = 1. \quad (7)$$

2. Определение внешней поддержки познавательной деятельности

Под внешней поддержкой познавательной деятельности будем понимать дополнительную трансляцию или проработку учебного материала, которую требуется осуществить в случае, когда по результатам квалитметрии (тестирования) реальная кривая усвоения учебного материала для учащегося расположена ниже эталонной траектории. Это означает, что учащимся не усвоена определенная часть учебной информации и требуется внешняя поддержка. Она может быть реализована на лекциях, при проведении практических занятий и лабораторных работ, в ходе индивидуальных занятий, при самостоятельной работе учащегося с обучающими компьютерными программами и т. п.

В модели усвоения (4) внешняя поддержка выражается функцией трансляции $Z_j(t)$, $j = \overline{1,4}$, отвечающей j -му уровню учебных задач в соответствии с принятой структуризацией учебного материала [11]. Если кривая усвоения учащегося не отличается от эталонной траектории, то $Z_j(t) \equiv 0$.

Рассмотрим алгоритм определения внешней поддержки в виде функции трансляции $Z_j(t)$, предполагая при этом, что система (4) относится к классу управляемых динамических систем [20]. Третий порядок системы (4) позволяет выполнить преобразования аналитически. Преобразуем (4) к стандартной векторно-матричной форме, рассматривая при этом функцию $dZ_j(t)/dt$ как управление. Для простоты дальнейших рассуждений опустим в (4) индексы i и j и введем следующие обозначения:

$$a = \frac{2\xi}{T}; \quad c = \frac{1}{T^2}; \quad d = \frac{k}{T^2}; \quad e = \frac{1}{T_M};$$

$$f = \frac{k^M}{T_M}; \quad \bar{X}(t) = [Y(t), V(t), M(t)]^T.$$

Тогда система (4) может быть записана в виде

$$\dot{\bar{X}} = A\bar{X}(t) + \bar{b}U(t), \quad (8)$$

где матрица A и вектор-столбец \bar{b} равны:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -c & -a & c \\ 0 & 0 & -e \end{bmatrix}; \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ d \\ f \end{bmatrix}.$$

Скаляр $U(t)$ в данном случае равен

$$U(t) = \frac{dZ(t)}{dt}. \quad (9)$$

По терминологии [7] эта величина называется силой дидактического воздействия, а по физическому смыслу она представляет собой скорость трансляции учебного материала и измеряется числом транслируемых учебных элементов в единицу времени.

Покажем, что система (8) является управляемой, а значит может быть замкнута линейной обратной связью по состоянию вида

$$U(t) = P\bar{X}(t), \quad (10)$$

где $P = [p_1, p_2, p_3]$ - вектор-строка коэффициентов модального управления [21]. В этом случае линейная обратная связь (10) обеспечивает системе (8) требуемые динамические свойства, в частности, реализацию эталонной траектории усвоения.

Для доказательства управляемости системы (8) необходимо вычислить ранг матрицы управляемости и показать, что он равен порядку системы. Элементарные вычисления показывают, что

$$\text{Rank}[\bar{b}, A\bar{b}, A^2\bar{b}] =$$

$$= \text{Rank} \begin{bmatrix} 0 & d & cf - ad \\ d & cf - ad & (a^2 - c)d + cf(e - a) \\ f & ef & e^2 f \end{bmatrix} = 3$$

и, следовательно, система является управляемой.

Линейную обратную связь (10) по состоянию будем отыскивать из условия принадлежности спектра полюсов замкнутой системы (8, 10) требуемому спектру полюсов, определяющему в пространстве фазовых координат системы эталонную траекторию усвоения:

$$\text{Spec}_s(A - \bar{b}p) \setminus \text{Spec}_s(A_0 - \bar{b}_0 p_0) = \emptyset.$$

Здесь матрица A , вектор-столбец \bar{b} и вектор-строка p принадлежат исходной системе, а тройка A_0, \bar{b}_0, p_0 - системе, реализующей эталонную траекторию усвоения (далее такую систему будем называть эталонной).

Спектры эталонной и исходной систем определяются из соответствующих характеристических уравнений на основе предварительного использования преобразований Лапласа [20]. Характеристическое уравнение для системы (4) имеет вид:

$$T_M \dot{\Delta}^2 S^3 + (2T_M \dot{\Delta} \xi + \dot{\Delta}^2) S^2 + (T_M + 2\dot{\Delta} \xi) S + 1 = 0.$$

После почленного деления на $T_M \dot{\Delta}^2$ получим

$$S^3 + \frac{2T_M \dot{\xi} + \dot{\xi}^2}{T_M \dot{\xi}^2} S^2 + \frac{T_M + 2\dot{\xi}}{T_M \dot{\xi}^2} S + \frac{1}{T_M \dot{\xi}^2} = 0.$$

Непосредственно отсюда получают искомые коэффициенты характеристического уравнения исходной системы:

$$f_1 = \frac{2T_M \dot{\xi} + \dot{\xi}^2}{T_M \dot{\xi}^2}; f_2 = \frac{T_M + 2\dot{\xi}}{T_M \dot{\xi}^2};$$

$$f_3 = \frac{1}{T_M T^2}. \quad (11)$$

Для эталонной системы коэффициенты характеристического уравнения будут отличаться только значением постоянной времени T , которое предварительно вычисляется из решения трансцендентного уравнения (7). Таким образом, окончательно будем иметь

$$h_1 = \frac{2T_M \dot{\xi}^* + \dot{\xi}^{*2}}{T_M \dot{\xi}^{*2}}; h_2 = \frac{T_M + 2T^* \dot{\xi}}{T_M T^{*2}};$$

$$h_3 = \frac{1}{T_M T^{*2}}. \quad (12)$$

В соответствии с основными положениями модального управления [12, 21] внешнюю поддержку в системе (4) будем искать вначале в каноническом базисе, в котором пары $\{A, \bar{b}\}$ и $\{A_0, \bar{b}_0\}$ записываются в форме Фрабениуса. При этом соотношение для определения модального управления в каноническом базисе приобретает вид:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -f_3 & -f_2 & -f_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p}_1 & \bar{p}_2 & \bar{p}_3 \end{bmatrix} =$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -h_3 & -h_2 & -h_1 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где $\bar{p}_k, k = \overline{1,3}$ - коэффициенты модального управления в каноническом базисе, а элементы f_k и $h_k, k = \overline{1,3}$ фрабениусовых матриц определяются соотношениями (11) и (12).

Непосредственно из (13) получаем

$$\left. \begin{aligned} \bar{p}_1 &= h_3 - f_3 \\ \bar{p}_2 &= h_2 - f_2 \\ \bar{p}_3 &= h_1 - f_1 \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Для перехода из канонического базиса к исходному при определении модального управления необходимо использовать соотношение

$$P = \dot{P}T, \quad (15)$$

где T - канонизирующая матрица, определяемая формулой

$$\dot{O} = \begin{bmatrix} \dot{b} & \dot{A}\dot{b} & \dot{A}^2\dot{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{b} & A\bar{b} & A^2\bar{b} \end{bmatrix}^{-1}. \quad (16)$$

Здесь матрица \dot{A} и вектор-столбец \dot{b} записаны в форме Фрабениуса, а матрица A и вектор-столбец \bar{b} - в исходном виде.

Вычисление канонизирующей матрицы T приводит к следующему выражению:

$$T = \frac{1}{\det U} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -f_1 \\ 1 & -f_1 & f_1^2 - f_2 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} (cf-ad)^2 f - e f [(a-c)d + cf(e-a)] & e f (cf-ad) - d \dot{e} f & d [(a-c)d + cf(e-a)] - (cf-ad)^2 \\ f [(a-c)d + cf(e-a)] - d \dot{e} f & -f (cf-ad) & d cf - ad \\ d e f - f (cf-ad) & d f & d^2 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

где

$$\det U = d f [(a^2 - c)d - c f (e + a)] -$$

$$- d e f (c f - a d) - f (c f - a d)^2 - d^2 e^2 f^2.$$

Полагая, что в конечном виде матрица T будет иметь вид

$$\dot{O} = \begin{bmatrix} \dot{O}_{11} & \dot{O}_{12} & \dot{O}_{13} \\ \dot{O}_{21} & \dot{O}_{22} & \dot{O}_{23} \\ \dot{O}_{31} & \dot{O}_{32} & \dot{O}_{33} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

и ее элементы вычисляются на основе матричных умножений в (17), запишем модальное управление для системы (8) в исходном базисе. Для этого выполним матричное ум-

ножение (15), используя (14) и (18). В результате будем иметь

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= (h_3 - f_3)T_{11} + (h_2 - f_2)T_{21} + (h_1 - f_1)T_{31}, \\ P_2 &= (h_3 - f_3)T_{12} + (h_2 - f_2)T_{22} + (h_1 - f_1)T_{32}, \\ P_3 &= (h_3 - f_3)T_{13} + (h_2 - f_2)T_{23} + (h_1 - f_1)T_{33}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Полученное модальное управление в исходном базисе позволяет отыскать собственно внешнюю поддержку в системе (8) или, что то же самое, в системе (4) путем вычисления функции скорости трансляции:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = P_1Y(t) + P_2V(t) + P_3M(t). \quad (20)$$

Интегрируя (20) в пределах от нуля до T - конечного времени процесса усвоения, получим

$$Z(t) = P_1 \int_0^t Y(t)dt + P_2Y(t) + P_3 \int_0^t M(t)dt. \quad (21)$$

Полученное выражение определяет функцию внешней поддержки на интервале усвоения $[0, T]$ и показывает, какое число учебных элементов на данном интервале должно быть проработано с результатом усвоения, чтобы реальная траектория усвоения учащегося совпадала с эталонной.

Приведем пример определения внешней поддержки. Пусть эталонная траектория усвоения определяется следующими параметрами: $T = 3,0$ ед. времени; $\xi = 1,0$, $k = 1,0$, $k^M = 0,05$ – нормированные учебные элементы; $T_M = 10,0$ ед. времени.

В таблице 1 представлены расчеты коэффициентов характеристического уравнения системы (4) для эталонной траектории усвоения. В таблице 2 представлены коэффициенты характеристических уравнений системы для трех значений постоянной времени $T = 3,5; 4,0; 5,0$, которые соответствуют процессу усвоения, отличному от эталонного, и коэффициенты модального управления.

Результаты расчета функции внешней поддержки $Z(t)$ для соответствующих кривых усвоения, отличных от эталонной траектории, представлены на рисунке 2.

Проанализируем полученные результаты с точки зрения «затрат» внешней поддержки учебного процесса. Для этой цели сравним ординаты кривых усвоения (рис. 1) и кривых функции внешней поддержки (рис. 2) для одного и того же момента времени. Возьмем в качестве примера шестую неделю обучения. Результаты квалиметрии для этого момента времени показывают, что если учащийся находится на кривой усвоения с постоянной времени $T = 3,5$ ед. времени, то его

Таблица 1

$T = 3,0$		
h_1	h_2	h_3
0,767	0,178	0,011

Таблица 2

$T = 3.5$			$T = 4.0$			$T = 5.0$		
f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
0,671	0,139	0,008	0,600	0,113	0,006	0,500	0,080	0,004
P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3
0,375	1,253	0,015	0,744	2,683	0,076	1,753	6,754	0,131

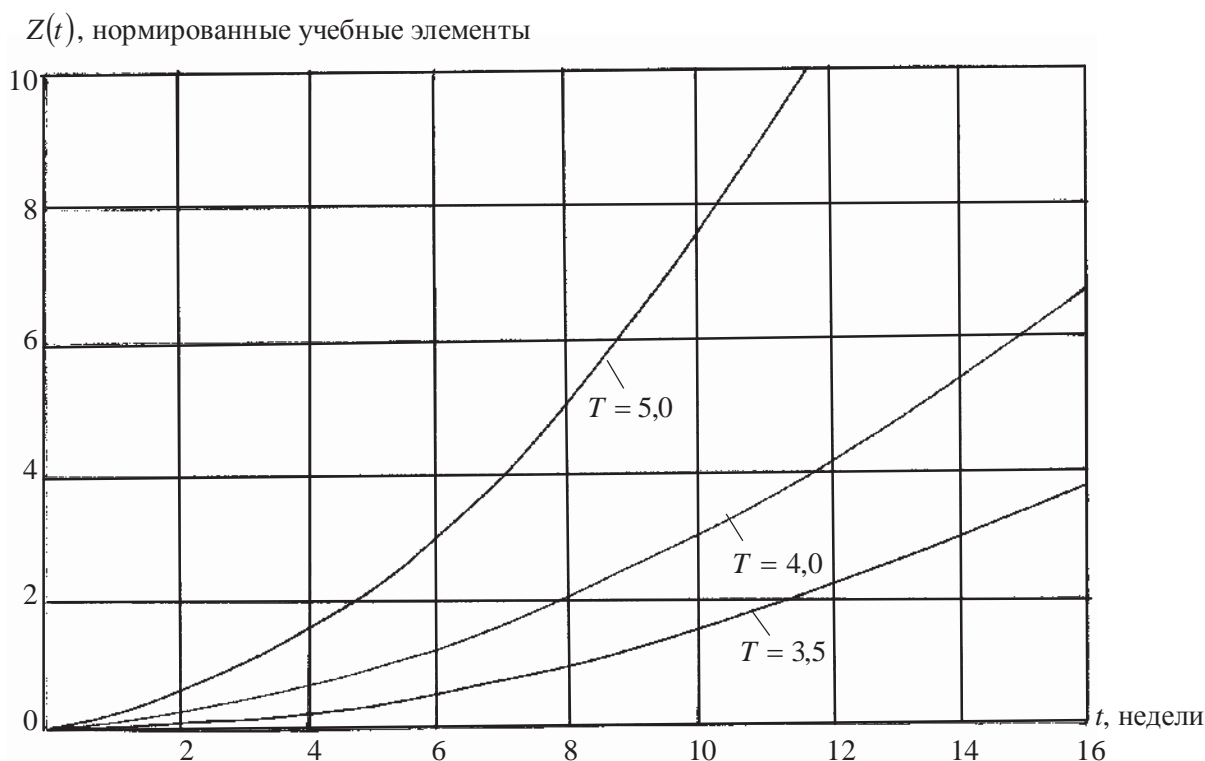


Рис. 2. Зависимость функции внешней поддержки учебного процесса от времени для трех кривых усвоения, отличных от эталонной траектории усвоения

отставание в нормированных учебных элементах составляет (рис. 1):

$$\Delta Y(t = 6 \text{ ää.}) = Y(t = 6 \text{ ää.}, \dot{O} = 3,0 \text{ ää.äð.}) - Y(t = 6 \text{ ää.}, \dot{O} = 3,5 \text{ ää.äð.}) = 0,05.$$

Этой величине отставания соответствует внешняя поддержка (рис. 2):

$$Z(t = 6 \text{ ää.}, \dot{O} = 3,5 \text{ ää.äð.}) = 0,40.$$

Отсюда следует, что если, например, не усвоено пять задач из шестидесяти, предъявленных на тестирование (~8 %), то объем дополнительной проработки неувоенного материала должен составить в восемь раз большую величину, то есть 0,4 нормированных учебных элементов. Полученный результат подчеркивает в принципе всю сложность задачи по успешному усвоению учебного материала.

В частности, наложение графиков рисунков 1 и 2, например, для $T = 3,5$ ед. времени показывает (рисунок 3), что эффективная внешняя поддержка учебного процесса целесообразна именно в первой половине учебного периода (семестра), поскольку далее в рассматриваемом случае после восьмой не-

дели внешняя поддержка по своему объему становится чрезмерной и практически невыполнимой.

3. Технология обучения, ориентированная на персонализацию учебного процесса

Модель усвоения учебного материала в форме (4), (8) и процедура определения внешней поддержки познавательной деятельности (10) – (21) позволяют очертить круг вопросов технологии обучения, ориентированной на персонализацию учебного процесса.

Первый вопрос, который должен быть решен в рамках этой технологии, это формирование персональной (индивидуальной) модели усвоения каждого учащегося путем определения коэффициентов α , β , γ и ν , отвечающих за потери учебной информации и за ее частичное восстановление.

Определение этих коэффициентов должно быть выполнено в результате использования специальных психологических компьютерных тестов перед началом учебного процесса по данной дисциплине. К подобным тестам можно отнести хорошо известные тесты Раша Г. [22, 23]. Вторым вопросом – это оп-

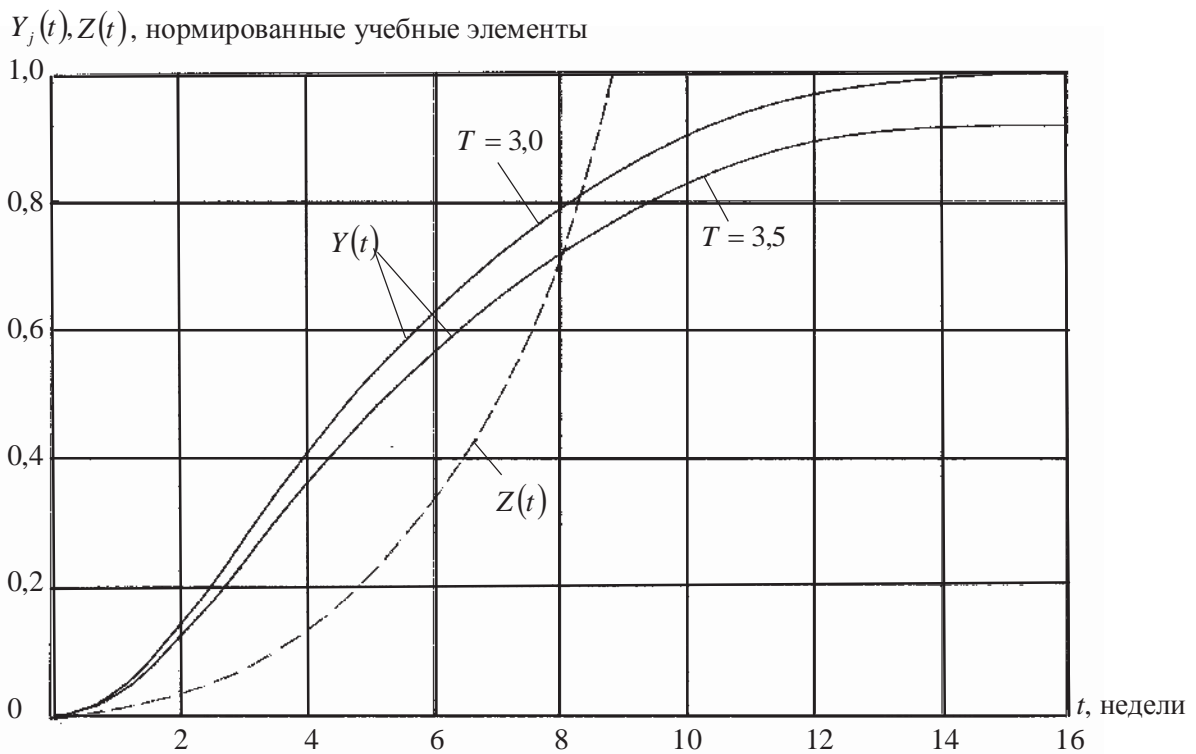


Рис. 3. Иллюстрация внешней поддержки в учебном процессе

ределение соотношения между объемом основного учебного материала дисциплины и объемом его мотивационной составляющей (коэффициенты k_1 и k_2 в (1)). Практика показывает, что для дисциплин математического цикла соотношение между этими объемами составляет приблизительно величину $\frac{k_2}{k_1} = 0,10 \dots 0,25$. Наоборот, для дисциплин об-

щепрофессионального и специального циклов это соотношение может быть существенно иным: $\frac{k_2}{k_1} = 0,65 \dots 1,00$.

Следующий важный вопрос рассматриваемой технологии состоит в определении фактической траектории усвоения, персонализированной по каждому учащемуся. Предлагается проведение тестирования текущей успеваемости учащихся по структурированным заранее уровням учебных задач в соответствии с предложенной в [11] познавательно-деятельностной матрицей учебного процесса. При этом схема усвоения задач для каждого j -го уровня ($j = \overline{1,4}$) будет различной. Для наиболее простых задач 1-го уровня схе-

ма усвоения определится следующей формулой: $Y_{11} \rightarrow Y_{21} \rightarrow Y_{31} \rightarrow Y_{41}$ (рис. 4).

Таким образом, при решении тестовых задач этого уровня учащийся последовательно должен проходить по элементам ψd -матрицы следующие этапы: отражение \rightarrow осмысление \rightarrow алгоритмирование \rightarrow контролирование.

Схема усвоения тестовых задач 2-го уровня будет определяться формулой $Y_{11} \rightarrow Y_{12} \rightarrow Y_{21} \rightarrow Y_{22} \rightarrow Y_{31} \rightarrow Y_{32} \rightarrow Y_{41} \rightarrow Y_{42}$. Этапы, которые будет проходить учащийся по элементам ψd -матрицы: отражение на уровне узнавания \rightarrow отражение на уровне воспроизведения \rightarrow осмысление на уровне узнавания \rightarrow осмысление на уровне воспроизведения \rightarrow алгоритмирование на уровне узнавания \rightarrow алгоритмирование на уровне воспроизведения \rightarrow контролирование на уровне узнавания \rightarrow контролирование на уровне воспроизведения.

Схемы усвоения более сложных задач 3-го и 4-го уровней являются аналогичными. Для 3-го уровня: $Y_{11} \rightarrow Y_{12} \rightarrow Y_{13} \rightarrow Y_{21} \rightarrow Y_{22} \rightarrow Y_{23} \rightarrow \dots$; а для 4-го уровня: $Y_{11} \rightarrow Y_{12} \rightarrow Y_{13} \rightarrow Y_{14} \rightarrow Y_{21} \rightarrow Y_{22} \rightarrow Y_{23} \rightarrow Y_{24} \rightarrow Y_{31} \dots$

	Узнавание	Воспроизведение	Применение	Творчество
Отражение	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}
Осмысление	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}
Алгоритмирование	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}
Контролирование	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}

Рис. 4. Решение тестовых задач 1-го и 2-го уровней

Тестирование текущей успеваемости учащихся предлагается проводить в моменты t_i , $i = \overline{1, N}$, которые назовем моментами квалиметрии. Для приближенного определения фактической траектории усвоения в принципе достаточно двух моментов t_i , t_{i+1} .

Для этих моментов определяется фактически усвоенное число нормированных учебных элементов $Y_{ij}(t)$ и соответствующее число усвоенных нормированных учебных элементов мотивационной составляющей $M_{ij}(t)$. Важно отметить, что эти величины определяются для j -го уровня задач, предъявленных в виде тестов. В результате для t_1 и t_2 будем иметь следующие значения переменных состояния системы (4):

$$Y_{1j}(t_1), Y_{2j}(t_2), M_{1j}(t_1), M_{2j}(t_2),$$

$$\Delta Y_{1j}(t_1) = Y_{1j}(t_1); \quad \Delta Y_{2j}(t_2) = Y_{2j}(t_2) - Y_{1j}(t_1);$$

$$\frac{\Delta Y_{1j}(t_1)}{\Delta t} \cong \frac{dY_{1j}(t_1)}{dt}; \quad \frac{\Delta Y_{2j}(t_2)}{\Delta t} \cong \frac{dY_{2j}(t_2)}{dt}.$$

Полученные величины $Y_{1j}(t_1), Y_{2j}(t_2), M_{1j}(t_1), M_{2j}(t_2)$ используются в компьютерной программе аппроксимации по методу наименьших квадратов на заданном классе функции для определения фактической тра-

ектории усвоения. Для аппроксимации кривой усвоения $Y_{ij}(t)$ используется решение (5), а для аппроксимации $M_{ij}(t)$ используется возрастающая экспонента. Варьируемыми параметрами аппроксимации выступают постоянные времени \dot{O}_{ij} и \dot{O}_i (рис. 5).

Необходимо отметить, что в результате квалиметрии выявляется как количественная сторона процесса усвоения, так и качественная, поскольку по результатам решения задач j -го уровня, предъявленных в виде тестов, ясно, какие учебные элементы из ψd -матрицы не усвоены.

Процедура определения внешней поддержки познавательной деятельности (10) – (21), используя величины $Y_{2j}(t_2), \frac{dY_{2j}(t_2)}{dt}, M_{2j}(t_2)$, позволяет установить требуемый уровень поддержки $Z(t)$, который должен действовать на интервале $[t_2, t_3]$, то есть до момента t_3 новой квалиметрии. Далее процесс повторяется.

Таким образом, предлагаемая технология обучения представляет собой многошаговую процедуру периодической квалиметрии текущей успеваемости учащихся и соответствующей измеренному отставанию оперативной корректировке учебного процесса путем вычисления внешней поддержки, не-

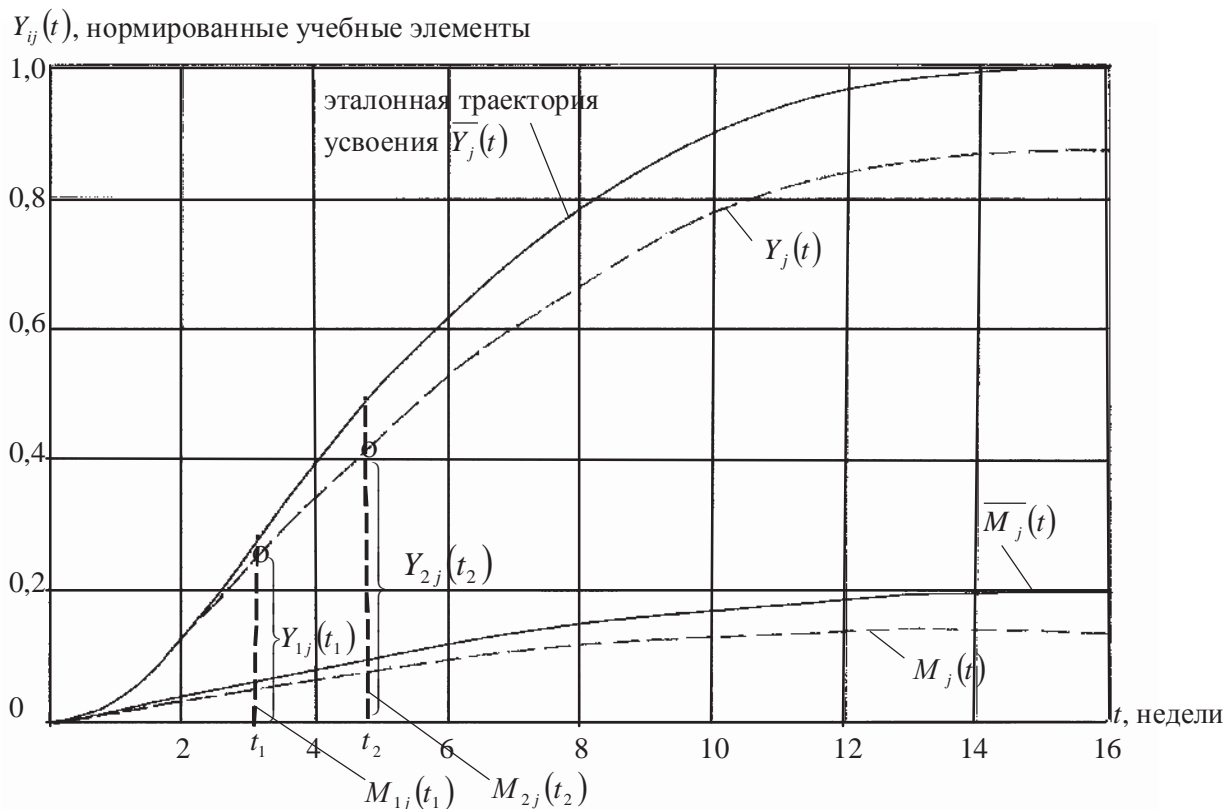


Рис. 5. Аппроксимация кривых $Y_{ij}(t)$ и $M_{ij}(t)$: $\bar{Y}_j(t)$, $\bar{M}_j(t)$ — эталонная траектория усвоения;
 t_1 и t_2 — моменты квалиметрии; $Y_j(t)$, $M_j(t)$ — фактическая траектория усвоения

обходимого для дополнительного изучения числа учебных элементов с тем, чтобы фактическая траектория усвоения учащегося стремилась бы к эталонной.

Список литературы

- Ительсон Л. Б. Математические и кибернетические методы в педагогике. — М.: Педагогика, 1964. — 248 с.
- Frank H. Die Kibernetische Grundlagen der Padagogik. — Berlin: Padagogik, 1963.
- Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. — М.: Физматгиз, 1962. — 483 с.
- Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения. — М.: Мир, 1969. — 487 с.
- Lloyd D. Communication in the University Lecture / Univ. Reading Staff J. 1967. Vol. 1. p.14-22.
- Леонтьев Л. П., Гохман О. Г. Проблемы управления учебным процессом: математические модели. — Рига: Изд-во РГУ, 1984. — 239 с.
- Потеев М. И. Основы аналитической дидактики: учебное пособие. — Санкт-Петербург: Изд-во ИТМО, 1992. — 167 с.
- Потев М. И. Практикум по методике обучения во втузах. — М.: Высшая школа, 1990. — 94 с.
- Пиявский С. А. Математическое моделирование управляемого развития научных способностей // Известия РАН, серия «Теория и системы управления». — 2000, №3. — С.100-106.
- Пиявский С. А. Оптимальное управление развитием научных способностей школьников и студентов. — Самара: Изд-во СамГАСА, 1998. — 164 с.
- Рябинова Е. Н., Титов Б. А. Построение познавательной-деятельностной матрицы учебного процесса // Вестник СГАУ. — Самара: Изд-во ИПУ СГАУ, 2004. № 1 (5). — С. 153-158.
- Андреев Ю. Н. Управление конечными линейными объектами. — М.: Наука, 1976. — 424 с.

13. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения. – М.: Прогресс, 1980. – 528 с.

14. Рябинова Е. Н., Титов Б. А. Формирование учебной нагрузки в процессе обучения // Сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции «Системный подход к обеспечению качества высшего образования». – Тольятти: Изд-во ТолПИ, 2000. – С.130-137.

15. Рябинова Е. Н., Титов Б. А. К построению модели обучения с повторением изучаемого материала // Межвузовский сборник научных трудов «Наука, техника, образование г. Тольятти и Волжского региона». Ч. 1. – Тольятти: Изд-во ТолПИ, 2000. – С.73-75.

16. Рябинова Е. Н., Титов Б. А. О мотивации учебной деятельности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством образования в вузах». – Самара, СамГТУ. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2003. – С.128-130.

17. Беспалько В. П. Образование и обу-

чение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2002. – 352 с.

18. Словарь иностранных слов и выражений / Авт.-сост. Е. С. Зенович. – М.: ООО «Агентство «КРПА «Олимп»: ООО «Издательство АСТ», 2002. – 778 [6] с.

19. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования www.edu.ru/db/portal/spe/index.htm.

20. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977. – 560 с.

21. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.

22. Rash G. On Specific Objectivity. In: Danish Year-Book of Philosophy. 1977. v 14. P.58-94.

23. Rash G. Probabilistic Model for Some Intelligence and Attainment Tests. Chicago. 1980. – 199 p.

PHENOMENOLOGICAL MODEL OF MASTERING EDUCATIONAL MATERIAL WITH REGARD TO THE FACTOR OF MOTIVATION

© 2006 E. N. Ryabinova¹, B. A. Titov²

¹Samara State Technical University

²Samara State Aerospace University

The paper presents the results of the developed of a mathematical model of educational material mastering. The model is based on continuous monitoring of the development of students' academic abilities and on the proper correction of the academic process by certain components of the process which were structured in advance. The model is a system of ordinary differential equations of the twelfth order written with reference to assimilation functions and the so – called motivation constituents of educational information.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

© 2006 А. К. Скуратов

Государственный научно-исследовательский институт
информационных технологий и телекоммуникаций, г. Москва

В целях статистического анализа телекоммуникационных сетей рассматриваются марковская модель системы, моделирование сетевого трафика фрактальным броуновским движением, моделирование временных рядов. Приведены модели временных рядов, разработанные для статистической системы мониторинга телекоммуникационных сетей.

Учитывая объективно сложившуюся неоднородность как телекоммуникационных сетей, сетевых информационных ресурсов, так и аудитории, которой данная информация адресована, необходимо создание и надежное функционирование достаточно большого набора инфокоммуникационных сервисов, обеспечивающих эффективную работу пользователя с разнородной информацией в гетерогенной телекоммуникационной сети. Практика использования и эксплуатации гетерогенных телекоммуникационных сетей, связанная с недостаточной их прозрачностью, сложностью, организационными ограничениями и спецификой, определяет необходимость использования статистических методов их анализа и мониторинга на основе открытой потоковой информации, которую можно легко получить, используя доступные методы и средства.

В результате обработки статистической информации о функционировании телекоммуникационной сети можно определить нормальный профиль сети (этап анализа). Выявление и предсказание отклонений от нормального профиля сети (этап мониторинга) проводится системным администратором с целью определения возникновения нештатной ситуации и принятия соответствующего решения об изменении конфигурации сети.

Таким образом, является актуальной разработка методов сбора первичной статистической информации о функционировании телекоммуникационной сети, обработки первичной информации с использованием выб-

ранных статистических методов анализа и выработка рекомендаций по реконфигурации сети.

Работы выполняются при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 05-07-90360.

Исследование и анализ информационных потоков, циркулирующих в телекоммуникационных сетях с целью выбора математической модели

С целью выбора наиболее адекватной модели для анализа и мониторинга телекоммуникационных сетей рассмотрим наиболее распространенные модели системы.

Марковская модель системы. В качестве исходной информации для построения марковской модели рассматриваются так называемые события, например, все действия пользователя, связанные с безопасностью: локальная авторизация, запросы на удаленный доступ и т. п.

Пусть событие – это одно из возможных случайных значений состояния системы $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_k, \dots, \vartheta_K$. Тогда система описывается дискретным во времени случайным процессом с множеством значений $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_k, \dots, \vartheta_K$, каждое из которых является определенным событием, фиксируемым операционной системой. Интервалы между различными событиями определяются отдельными действиями пользователя, вызвавшими то или иное событие, и, следовательно, могут быть неодинаковыми. Однако это не имеет существенного значения для построения марковской

модели, так как в ней важна последовательность действий, а не интервал между ними. Тогда $\theta_n = \theta(t_n)$ - случайная величина, характеризующая состояние системы через n шагов, а $\theta_0 = \theta(t_0)$ - случайное начальное состояние системы.

Полное вероятностное описание поведения рассматриваемой системы задается совместными конечномерными вероятностями $P(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$ при всех n .

Для упрощения предполагается, что система описывается моделью простой цепи Маркова, и тогда вероятности $P(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$ определяются известным выражением

$$P(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n) = P_0(\theta_0) \prod_{\mu=1}^n \pi_{\mu}(\theta_{\mu} / \theta_{\mu-1}).$$

Далее делается допущение, что вероятности одношаговых переходов $\pi_{\mu}(\theta_{\mu} / \theta_{\mu-1})$ не зависят от времени, т. е. $\theta(t)$ рассматривается как простая стационарная цепь Маркова. Предположение о стационарности цепи Маркова вносит еще большие упрощения в модель, а также в вычислительный алгоритм, делая тем самым использование подобной модели удобным на начальных этапах исследования системы. Естественно, что в этом случае ставится вопрос об адекватности модели.

Моделирование сетевого трафика фрактальным броуновским движением [1].

При построении таких моделей сетевого трафика постулируется или доказывается фрактальность происходящих в сетях процессов на базе исследования свойства самоподобия.

В основе экспериментальной проверки фрактальных свойств трафика сети лежат методы, позволяющие по выборочным значениям числа событий на интервалах заданной длительности сформировать и оценить некоторые статистики, которые можно затем использовать для проверки гипотезы о протяженной зависимости трафика.

К числу процессов, аппроксимируемых фрактальным броуновским движением, можно отнести RTT-задержку (round-trip time задержка) [2, 3].

Для стационарного процесса RTT-задержку (обозначим ее T_i) можно записать в виде

$$T_i = T_{1i} + T_{2i} + T_{np},$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$ – номера задержек (циклов); T_{1i}, T_{2i} – интервалы, соответствующие времени пересылки пакета от источника к приемнику и обратно, T_{np} – время обработки информации в приемнике. Для известного маршрута движения пакета величина задержки равна

$$T_i = T_0 + \Delta T_i,$$

где T_0 – постоянная составляющая при отсутствии очередей; ΔT_i – случайная составляющая, связанная с задержками в сети. Пусть ΔT_{cp} – среднее значение приращения RTT-задержки. Модель фрактального броуновского процесса для момента t_n имеет вид:

$$B_H(t_n) = \sum_{i=1}^n [T_i - (T_0 + \Delta T_{i\delta})].$$

Это позволяет записать выражение для корреляционной функции процесса и перейти к ее исследованию.

Моделирование временных рядов. Моделирование различных составляющих, характеризующих работу сети, таких, как объем трафика, количество потерянных пакетов и др. [4], в виде временных рядов имеет ряд очевидных преимуществ по сравнению с вышеописанными способами. При построении модели временных рядов используется экспериментальная информация (полученная в реально функционирующей сети), требуется меньше допущений и, следовательно, более адекватно отражается реальный объект, т. е. телекоммуникационная сеть. Математическая модель описывает поток информации в зависимости от момента t . При статистическом анализе временных потоков информации необходимо осуществить выделение тренда, выделение периодических составляющих - колебаний относительно тренда с некоторой регулярностью, анализ случайного компонента.

Математическое описание обычно включает в себя одну из подобных составляющих или сумму нескольких из них.

Для такого показателя работы сети, как загрузка каналов, в [5] предложена модель, включающая три составляющие:

$$Y(t) = f(t) + g(T) + \varepsilon(t),$$

где $f(t)$ - тренд, медленно меняющаяся во времени функция, описывающая изменения среднесуточных (среднедневных) загрузок за интервалы времени большие, чем суточная периодичность; $g(T)$ - периодическая составляющая, которая может быть описана конечным рядом Фурье, построенным по экспериментальным данным величин загрузок телекоммуникационного канала; $\varepsilon(t)$ - случайная последовательность, относительно которой делается предположение о равенстве нулю ее математического ожидания $M[\varepsilon(t)] = 0$.

Предлагаются следующие методы исследования данной модели. Моделирование тренда может проводиться с помощью хорошо разработанных методов регрессионного анализа. Для построения ряда Фурье следует применять методы анализа периодограмм и спектрального анализа случайных процессов. Свойства и характеристики случайной последовательности $\varepsilon(t)$ изучаются с помощью классических методов математической статистики и методов анализа случайных последовательностей.

Модели, построенные на современных частично эвристических методах и предложенные в данной работе для исследования и анализа функционирования телекоммуникационных сетей, будут рассмотрены ниже.

Таким образом, статистические модели телекоммуникационных сетей в виде временных рядов наиболее достоверны, так как основаны на большом числе экспериментальных данных и, следовательно, являются и наиболее информативными для прогноза состояния сети.

Временные ряды и их характеристики для целей статистического мониторинга телекоммуникационных сетей

В случае статистического мониторинга телекоммуникационных сетей при анализе временных рядов наибольший интерес представляет прогнозирование будущих значений ряда. Процедуры предсказания, как правило,

основываются на моделировании структуры рядов. Если моделирование осуществляется только с использованием значений самого моделируемого ряда без применения какой-либо дополнительной наблюдаемой переменной (ряда), то говорят об анализе одномерных рядов. Примерами моделей одномерных временных рядов могут служить модель тренда или авторегрессионная модель.

В статистической системе мониторинга телекоммуникационных сетей реализуется процедура автоматического обнаружения подозрительных (т. е. аномально отклоняющихся от тренда) значений. В основе этой процедуры лежит представление о ряде как о сумме тренда и случайной составляющей. Соответственно, выброс – это точка, отстоящая слишком далеко от предполагаемой линии тренда. Для поиска выбросов сначала к ряду применяется процедура медианного сглаживания, состоящая из применения k -точечной скользящей медианы. Затем строится ряд остатков и находится устойчивая оценка его стандартного отклонения (медиана абсолютных отклонений (MAD), деленная на 0,6745 для устранения смещения в случае нормального распределения. В качестве выбросов в исходном ряду рассматриваются точки ряда остатков, превысившие по модулю приблизительно t стандартных отклонений (величина t называется *уровнем детектирования*). Значения параметров k и t задаются пользователем в процессе диалога. Обычно величина t выбирается равной 4. Значения исходного ряда в точках выброса заменяются значениями, полученными при медианном сглаживании.

Под разрывом понимается скачкообразное изменение уровня временного ряда. С данной точки зрения, разрыв – это выброс в ряду значений первых последовательных разностей исходного ряда. Предлагаемая в статистической системе мониторинга телекоммуникационных сетей процедура поиска разрывов (дополнительно к визуальному анализу) устроена следующим образом: сначала к ряду применяется k -точечная скользящая медиана, чтобы отфильтровать возможные выбросы. Затем формируется ряд последовательных разностей сглаженного ряда и получен-

ный ряд обрабатывается с помощью процедуры поиска выбросов.

**Модели для временных рядов,
разработанные для статистической
системы мониторинга
телекоммуникационных сетей**

Модель авторегрессии. Модель авторегрессии предназначена для описания стационарных временных рядов. Под процессом авторегрессии порядка p (обозначение – $AR(p)$, в английской нотации $AR(p)$) понимают процесс $X(t)$, удовлетворяющий для некоторой константы c соотношению

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + e_t,$$

где $y_t = x_t - c$, а e_t – “белый шум” с нулевым средним.

Приведенное уравнение может описывать и нестационарные процессы.

Процесс $X(t)$ стационарен, если все корни полинома $\Phi(z) = 1 - \varphi_1 z - \dots - \varphi_p z^p$ лежат вне единичного круга $|z| > 1$.

При слабых дополнительных предположениях стационарный процесс удовлетворяет уравнению авторегрессии бесконечного порядка с убывающими коэффициентами. Поэтому авторегрессионная модель достаточно высокого порядка может хорошо аппроксимировать почти любой стационарный процесс, часто применяется для моделирования остатков в той или иной параметрической модели, например, регрессии или тренда.

Моделью $AR(2)$ хорошо описывается процесс колебаний маятника под действием случайных возмущений.

Для процесса $AR(p)$ теоретические значения частной автокорреляционной функции для лагов, больших p , равны нулю. На основании этого свойства можно выбирать порядок модели авторегрессии для описания выборочных данных. Модель авторегрессии является частным случаем более общей модели АРИСС (ARIMA Бокса – Дженкинса), пригодной и для описания нестационарных рядов.

Модель скользящего среднего. Модель скользящего среднего $CC(q)$ (в английской нотации $MA(q)$) описывает стационарные

временные ряды и является частным случаем модели Бокса – Дженкинса (АРИСС). Модель записывается в виде

$$x_t = c + e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \dots - \Theta_q e_{t-q},$$

где e_t – “белый шум”, c – константа (среднее значение ряда), а Θ_i – коэффициенты модели.

Модель всегда описывает стационарный ряд, но для анализа пригодна лишь такая форма модели, для которой выполняется условие обратимости: все корни полинома

$$\Theta(z) = z^q - \Theta_1 z^{q-1} - \dots - \Theta_q$$

лежат внутри единичного круга $|z| < 1$. В этом случае процесс e_t имеет смысл ошибок прогноза на один шаг вперед.

Для процесса $CC(q)$ все значения автокорреляционной функции для лагов, больших q , равны 0. Это свойство является характеристическим.

Важное практическое значение имеют процессы, первая (или более высокая) разность которых стационарна и является процессом $CC(q)$. Подобные процессы устроены как случайные колебания с непостоянным средним уровнем или (для второй разности) непостоянным углом наклона. Для прогнозирования таких процессов часто используется метод экспоненциального сглаживания.

Модель авторегрессии скользящего среднего. Моделями $CC(q)$ и $AR(p)$ за счет выбора их порядков q и p можно удовлетворительно описывать многие реальные процессы. Однако на практике для достижения большей гибкости в подгонке моделей к наблюдаемым временным рядам иногда бывает целесообразным объединить в одной модели и авторегрессию, и скользящее среднее. При этом цель должна состоять в построении моделей наиболее экономных (простых), дающих хорошую аппроксимацию с помощью небольшого числа параметров. Достижению этого помогает рассмотрение *смешанных моделей авторегрессии-скользящего среднего* или *моделей $ARCC(p,q)$* :

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \dots - \Theta_q e_{t-q}$$

или

$$\varphi(B)x_t = \Theta(B)e_t,$$

где $\Theta(B)$ и $\varphi(B)$ – операторы, определенные, соответственно, для моделей $CC(q)$ и $AR(p)$ и удовлетворяющие сформулированным ранее условиям стационарности и обратимости; e_t – такие же, как и раньше. Подобная модель может оказаться подходящей, например, в том случае, когда наблюдаемый временной ряд является суммой двух или более независимых составляющих, каждая из которых описывается либо моделью AR , либо моделью CC , но которые непосредственно не наблюдаются.

Сезонность. Под сезонностью понимают влияние внешних факторов, действующих циклически с заранее известной периодичностью. Типичными примерами являются эффекты, связанные либо с астрономическими, либо с календарными причинами. Так, в рядах ежемесячных данных часто встречаются сезонные эффекты с периодом 12, в квартальных рядах – с периодом 4. В свою очередь, в информации, собираемой с интервалом 1 ч, могут присутствовать “сезонные эффекты” с периодом 24, а собираемой с интервалом 5 мин – сезонные колебания с периодом 12 (час) и 288 (сутки).

Одна из наиболее простых моделей учета сезонности – модель сезонных эффектов. В аддитивной форме этой модели ряд представляется в виде

$$Y(t) = T(t) + S(t) + e_t,$$

где $T(t)$ – тренд; e_t – ошибка; а $S(t)$ – сезонная составляющая, которая предполагается периодической с периодом L : $S(t) = S(t+L)$.

Фактически функция S определяется своими значениями на периоде длины L , например, $S(1), \dots, S(L)$. Для однозначности параметризации модели обычно предполагают, что $S(1) + \dots + S(L) = 0$. Значения $S(1), \dots, S(L)$ называют индексами сезонности. Поясним их смысл на примере. Пусть $Y(t)$ – ряд суточных данных, а период сезонности – неделя. Соответственно, $L = 7$. Для определенности положим, что момент $k = 1$ соответствует поне-

дельнику. Тогда коэффициент $S(1)$ выражает среднестатистическое отличие понедельников от среднего по всем дням недели. В свою очередь, $S(2)$ – аналогичная характеристика вторников и т. д.

Для рядов, содержащих явно выраженный тренд, часто более естественна мультипликативная форма модели. В этом случае в качестве условия нормировки используется условие $S(1) \times \dots \times S(L) = 1$.

Индексы сезонности рассматриваются в статистической системе мониторинга телекоммуникационных сетей как периодические функции с бесконечной областью определения и в таком качестве могут участвовать в любых арифметических операциях над временными рядами. Наличие сезонных эффектов проявляется в виде острых узких пиков в периодограмме на соответствующей частоте (при несимметричной форме сезонной волны – и на кратных частотах). В выборочной автокорреляционной функции также присутствуют выбросы для лагов (запаздываний), кратных периоду сезонности, но эти выбросы могут быть завуалированы присутствием тренда или большой дисперсией случайного компонента.

В статистической системе мониторинга телекоммуникационных сетей для прогнозирования при использовании нескольких временных рядов будем применять либо линейную авторегрессионную модель

$$u_t = a_1 u_{t-1} + q_2 u_{t-2} + \dots + b_1 y_{t-1} + b_2 y_{t-2} + \dots + c_1 z_{t-1} + c_2 z_{t-2} + \dots,$$

либо нейронную сеть с несколькими промежуточными слоями (линейная авторегрессионная модель может рассматриваться как крайний случай нейронной сети без промежуточных слоев). Для оценки коэффициентов авторегрессионной модели и нейронных сетей сначала выбираются ряды y, z, \dots , которые будут участвовать в предсказании, и формируется матрица данных X со строками вида

$$u_t u_{t-1}, \dots, u_{t-k_1}, \dots, y_{t-1}, \dots, y_{t-k_2}, z_{t-1}, \dots, z_{t-k_3}, \dots$$

Таких строк (объектов) в матрице данных будет $n - k + 1$, где $k = \max(k_1, \dots, k_q)$ и $q -$

число используемых рядов. Величина лагов k_i , как и состав предсказывающих рядов, специфицируется пользователем. В полученной матрице данных X имеется $\sum_{i=1}^q k_i + 1$ переменных. Первая переменная $x = u_t$ является прогнозируемой, а остальные – предсказывающими.

Теперь для оценки коэффициентов выбранной модели могут использоваться все методы регрессионного анализа.

Список литературы

1. Городецкий А. Я., Заболоцкий В. С. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб, Издательство СПбГТУ, 2000.

2. Mandelblot B. B., Van Ness J. W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications// SIAM Review, № 10, 1968, p 422-437.

3. Qiong Li, David L.Mills. On the long-range dependence of packet round-trip delays in Internet// Processings of IEEE ICC'98, v. 2, 1998.

4. Айвазян С. А. и др. Прикладная статистика. Классификация и сокращение размерностей/С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989.

5. Статистический анализ и мониторинг научно-образовательных интернет-сетей/ И. С. Енюков, И. В. Ретинская, А. К. Скуратов; Под. ред. А. Н. Тихонова. - М.: Финансы и статистика, 2004.

STATISTICAL ANALYSIS OF TELECOMMUNICATION SYSTEM ON THE BASIS OF STUDYING INFORMATION FLOWS PRESENTED AS TIME SERIES

© 2006 A.K. Skuratov

State research institute of information technologies and telecommunications, Moscow

In an effort to analyse telecommunication systems statistically the author considers markov's system model, net traffic simulation by fractal Brownial motion, simulation of time series. Time series models developed for the statistical system of telecommunication system' monitoring are given.

ЛИНГВОКУЛЬТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТИПОВЫХ ПИСЕМ

© 2006 Н. Ю. Бусоргина

Самарский государственный педагогический университет

С точки зрения ритуала и этикета анализируются типовые личные и деловые письма, принятые в англоязычной культуре. Дается классификация писем по таким параметрам, как базовые ценности, лежащие в их основе, цели, участники, и проводится сопоставление с аналогичными типовыми письмами в русской культуре, выделяются сходства и различия.

Письма являются неотъемлемой частью человеческого общения, причем не только личного, но и институционального. Под институциональным общением понимается специализированная клишированная разновидность общения между людьми, которые могут не знать друг друга, но должны общаться в соответствии с нормами данного социума [1]. Письма можно рассматривать как статичные письменные речевые произведения, построенные по законам речевого жанра. Существует жанр делового письма, письма-поздравления, письма-соболезнования и т. п. Как проявления монологической письменной речи письма могут анализироваться по следующим параметрам: структурно-формулярному, языковому, экстралингвистическому. Объектом исследования писем как жанра и типа текста традиционно являлись реальные личные письма выдающихся людей, преимущественно с точки зрения литературоведения и культурного контекста [2]. Не меньший интерес для изучения представляют типовые письма, в которых отражаются личные и общественные ценности общества на определенном этапе его развития.

Для соблюдения норм социума, как при устном, так и при письменном общении, существуют специальные пособия (*guides*) – руководства по составлению типовых устных речей и написанию типовых писем. Для англоязычной лингвокультуры, под которой понимается как британская, так и американская, характерно моделирование речевых жанров, позволяющее носителям этой лингвокультуры успешно общаться. Примером могут служить пособия по практической риторике типа

“*How to Say It Best*” (Как сказать наилучшим образом) с характерным подзаголовком: «Слова, выражения и образцы речей на все случаи жизни» [3]. Эти «случаи жизни» включают дни рождения, свадьбы, юбилеи (людей и организаций), поздравления, вручение и получение наград и почестей, деловые встречи, благотворительные мероприятия, похороны, торжественные открытия, уход на пенсию, встречи выпускников, кризисные ситуации. Характерно, что частично эти поводы для произнесения речей пересекаются с поводами для написания писем – писем-поздравлений, писем-соболезнований, писем-благодарностей (*thank-you letters*). Руководства по написанию писем (*letter-writers*) или письмовники – весьма популярный жанр и в Англии, и в США [4]. В письмовниках даются образцы (модели) названных выше типовых писем и советы по их написанию и оформлению.

Цель статьи – анализ лингвопрагматических характеристик английских типовых писем, который дает возможность выявить наиболее значимые личные и общественные ценности и описать те языковые средства, которые делают эти письма универсальными и применимыми для любого человека, независимо от его личных качеств, а лишь в соответствии с его статусными параметрами.

Культура письма гораздо более развита в англоговорящих странах, чем в России. Прежде всего, в Англии и Америке письма принято писать по гораздо большему количеству поводов. Существует мнение, что это различие в культуре письма связано с тем, что Англия и США относятся к так называемым

странам с низко-контекстной (НК) культурой, в то время как Россию можно причислить к странам с культурой высоко-контекстной (ВК). «ВК-культуры, как правило, коллективистские, тогда как НК-культуры – индивидуалистические. В первых (в соответствии с принятыми в них межличностными отношениями) придается большое значение устным формам общения – например, договоренности, а во вторых – письменным, например, подробным объяснениям, контрактам» [5]. В свете этого становится понятным отсутствие в русской культуре ярко выраженной традиции написания «благодарственных» писем (*thank-you-letters*) и поздравительных открыток (строго соблюдаемой британцами и американцами).

Значение и ценность письма-благодарности, даже если это будет короткая записка, трудно переоценить, говорим ли мы о жизни вообще или о мире бизнеса в частности. Харли Хан, успешный профессиональный писатель, автор многих интернет-книг, поместил на своем персональном сайте специальную главу, которая называется *The Secret of My Success* (Секрет моего успеха). Она начинается так: «Все мы знаем, что успех приходит не сразу и зависит от многих факторов – ума, природных способностей, знаний, умений, трудолюбия, настойчивости и удачи. Хотя не существует кратчайшего пути к успеху, секрет все же есть: он помогает открыть любые двери и заставить людей неоднократно помогать вам. Секрет простой – пишите благодарственные письма» (*перевод здесь и далее наш – Н.Б.*) [6]. В понимании россиян этот вид письма является излишним (так как дублирует устный обмен любезностями при личной встрече или по телефону); для русской культуры более предпочтительными являются письма содержательные, а не формальные.

В последние десятилетия появляется все большее количество и разнообразие типовых поздравительных писем: к дню рождения, Новому году, Рождеству, свадьбе, рождению ребенка, окончанию школы и др. В европейских лингвокультурах (английской, немецкой, французской), а также в американской принято посылать письма с напечатанным текстом, где отправителю остается толь-

ко подписаться. В отечественной лингвокультуре это явление последнего десятилетия, во многом копирующее западные образцы и иногда представляющее собой перевод с английского. (В скобках заметим, что не всем нравится то обстоятельство, что становится все труднее найти поздравительные открытки без готового текста. С одной стороны, задача пишущего облегчается – не надо думать над текстом, с другой стороны, отправитель лишен возможности придать письму личный характер).

Шаблонные письма широко используются в процессе межкультурной коммуникации, чему немало способствует развитие компьютерной сети, где всегда можно найти разнообразные модели поздравительных писем и открыток на все случаи жизни.

Перечислим случаи, в которых пишутся поздравительные письма в англоязычной культуре, и рассмотрим основные дискурсивные формулы типовых поздравительных писем. Тексты, напечатанные на открытках, подходят практически всем, они клишированы и универсальны.

Новый Год, Рождество: *Наилучшие пожелания в Новом году!*

День Святого Валентина: *Желаю Вам всех радостей жизни в Валентинов день и во все остальные дни.*

День рождения: *С днем рождения! Не огорчайтесь, Вам столько лет, на сколько Вы себя чувствуете.*

Вам интересны и симпатичны люди, Вы всегда готовы протянуть руку помощи и сказать доброе слово, Вы всегда приносите радость окружающим. Так будьте же счастливы в этот день, день Вашего рождения! В этом тексте клише содержится только в последней фразе. Тем не менее, каждый человек, получивший такое поздравление, не усомнится в том, что оно написано лично про него и для него.

Помолвка: *Поздравляем! Какого числа великий день?*

Свадьба: *Поздравляем! Надеюсь, что вы будете счастливы навсегда.*

Сдача экзамена на права: *Молодец! На третий раз повезло.*

Поезд: *В добрый час! Когда новоселье?*

Рождение ребенка: *Поздравляем! Надеемся, что ребенок будет красив, как его мать, и успешен, как его отец.*

Достижение: *Мы ждали вашего УСПЕХА! Вы достигли этой высоты упорным трудом. Мы радуемся вместе с Вами и желаем дальнейших удач. Поздравляем.*

Поздравления приняты и в русской эпистолярной культуре, но традиция эта не является ярко выраженной. В России поводов, по которым пишут такие письма, гораздо меньше. Это обычно поздравление с Новым Годом и 8 Марта. В последнее время, благодаря влиянию английского языка и западной культуры, россияне стали поздравлять друг друга с Рождеством, Пасхой и днем Святого Валентина.

Сравнительный анализ англоязычных и русских поздравительных писем показывает, что отличаются не только поводы, по которым англоговорящие и русские люди поздравляют друг друга, но и типичные пожелания. Например, для русскоязычных поздравлений характерно частотное упоминание такой базовой ценности, как «здоровье», которая практически отсутствует в англоязычных письмах. Возможно, это связано с тем, что в русской культуре здоровье во многом расценивается как дар природы и везение, а в англоязычных культурах – как последовательно создаваемая самим человеком ценность (то есть то, чего не требуется желать, так как человек сам постоянно занимается поддержанием здоровья на должном уровне).

Второе существенное отличие, характерное для типовых личных поздравлений, это отсутствие в других лингвокультурах такого широко распространенного в России пожелания, как «успехов в труде». Причина здесь, вероятно та же, что и в первом случае: карьера находится в руках самого человека, это не плод удачи или молитв и, следовательно, желать этого бессмысленно, человек либо добивается успехов, либо не добивается. В русских же поздравительных письмах отсутствует такая ценность, как спокойствие (вероятно, потому, что в России пока это недостижимо). В английских клишированных формулах на поздравительных открытках часто встречается упоминание мира и спокой-

ствия: *Желаем мира и процветания в новом году!*

Что касается соболезнований, то в России поводом для написания такого письма служит только смерть родных и близких. Англичане и американцы считают нужным выразить сочувствие и по менее трагичным поводам: болезнь, потеря работы, причиненный бизнесу или имуществу ущерб.

Тем не менее, сами представители англоязычной, в частности американской, культуры считают, что современные люди пишут письма с соболезнованиями реже, чем в былые времена, и что культура написания таких писем «уже не та». Это касается, например, тех случаев, когда покойный являлся пациентом врача. Русские люди в такой ситуации даже не ждут, что лечащий врач выразит им свои соболезнования в письменном и даже устном виде. Американцы же сетуют, что их врачи пишут такие письма гораздо меньше, чем раньше, и считают, что необходимо возродить эту традицию.

Как видим, поводом для написания поздравительного или соболезнующего письма в Англии или Америке может быть практически любое приятное или, наоборот, скорбное событие, в отличие от России, где принято скорее поздравлять или выражать соболезнование при личной встрече или по телефону. Тем не менее, письма-поздравления и соболезнования присутствуют в нашей стране, хотя и в гораздо меньшем объеме, чем в Великобритании и США.

Еще более интересно рассмотреть типовые письма, которые типичны для англоязычной культуры, но совсем не встречаются в России. Во-первых, это рождественское письмо. Семья пишет одинаковое письмо всем друзьям и знакомым, в котором рассказывает, что произошло с ними за прошедший год, какие у них были успехи и неудачи, подводят итоги уходящего года.

Во-вторых, это письмо, написанное по окончании университета, колледжа, после защиты диссертации и т. д. Человек подробно описывает годы учебы, рассказывает о событиях, произошедших с ним за этот период, и говорит о планах на будущее. Как правило, такие письма не имеют конкретного

адресата, письмо адресовано *Dear Friends (Дорогие друзья)*. В русской культуре не принято рассылать одинаковые письма многим людям, в частности, письма, повествующие о годах учебы в университете или процессе написания и защиты диссертации. В качестве примера приведем (в сокращенном виде) письмо, написанное англичанином после присуждения ему степени PhD: *Сегодня я сдавал устную часть экзамена, оценка – «сдано, в текст диссертации внести небольшие изменения»*. Автор письма очень подробно описывает свое исследование, и письмо изобилует техническими деталями, непонятными непосвященному читателю. Например: *Четвертым вопросом было: доказать экспериментально предложенное (но не доказанное) Рэем Вентон-Уолтерсом соотношение кривых О-А для самолетов с надувными парашютирующими крыльями Рогалло*. Или: *Несколько интересных вопросов о методах проверки безопасности полета – метод GPS/скоростного слежения для калибровки индикатора скорости и метод оценки взлета и посадки, который я разработал и апробировал для легких самолетов*.

Адресату, не занятому в данной отрасли, может быть понятен только основной смысл письма - то, что авиационный инженер-исследователь, специалист по безопасности полетов после семи с половиной лет упорной работы защитил диссертацию. Вероятно, автор понимает, что большая часть информации является для многих его адресатов непонятной. Тем не менее, он посчитал нужным подробнейшим образом описать все технические детали защиты.

Еще одним видом типовых писем, характерных для англоязычной лингвокультуры, являются ритуальные и этикетные письма как часть деловой корреспонденции. Существует область деловой корреспонденции, которая является как бы «бесполезной», так как непосредственно коммерческой цели автор перед собой не ставит. Это письма, относящиеся к области ритуала (поздравительные, соболезнования) и этикета (приглашения, извинения, благодарности), целью которых является поддержание доброжелательных отношений между адресатом и адресантом,

так называемые *goodwill letters*. Ритуал – «это закрепленная традицией последовательность символически значимых действий. Ритуал закрепляет постоянные характеристики представителей определенной группы» - в нашем случае англоязычных людей, - «осознающей свою групповую идентичность» [1].

В основу деления писем на ритуальные и этикетные мы положили критерий присутствия в нем момента *инициации*. Инициация, т. е. переход из одного состояния в другое, является важнейшим признаком ритуала, его сутью [7]. С этой точки зрения к ритуальным письмам будут относиться только поздравления, приглашения и соболезнования, ибо только в них мы видим момент инициации, переход человека или предприятия из одного состояния в другое, из старого в новое. Действительно, мы поздравляем именно с этим. День рождения человека или компании – это переход в новый жизненный цикл, основание новой компании – по сути, переход из состояния небытия в бытие, такие праздники, как Новый Год, Рождество и Пасха тоже символизируют обновление (известно выражение «Начать новую жизнь с нового года»), т. е. тоже переход в иное, лучшее качество. Письма-приглашения очень тесно связаны с поздравительными письмами, потому что деловые люди в основном приглашают принять участие в таких ритуальных событиях, как открытие чего-либо, например, филиала компании, или годовщина фирмы. Что касается письма-соболезнования, то смерть, что общеизвестно, - это переход в мир иной, т. е. тоже в новое состояние. Итак, мы будем считать письма-поздравления, приглашения и соболезнования ритуальными, а остальные *goodwill letters*, а именно письмо-благодарность и извинение, а также письма, связанные с приемом на работу, отнесем к области этикета.

Ритуальные и этикетные письма, как и любое ритуальное действие, можно проанализировать по следующим параметрам: ценности, цели, участники, хронос.

Главной ценностью написания всех этих писем является поддержание имиджа компании (*public relations*), что необходимо для ее успешного функционирования и полу-

чения и приумножения прибыли. Другая ценность - значимость принадлежности к своей группе, в данном случае трудовому коллективу. Если начальство не поздравило сотрудника с днем рождения или с праздником или не выразило ему свою благодарность за его труд при переходе на другую работу, он будет себя чувствовать так, как будто его исключили из круга сотрудников.

Вторичной ценностью, безусловно, является вежливость. Понятие «вежливость» связано в первую очередь с областью этикета, но и ритуальное письмо должно обязательно быть вежливым. Ценности определяют цели письма, которые, в свою очередь, зависят от участников.

Типовыми участниками деловой коммуникации могут быть следующие пары: партнер-партнер; производитель-клиент (частный случай, продавец-покупатель); начальник-подчиненный. В последнем случае письмо может не быть адресовано конкретному человеку, например, когда глава компании поздравляет всех клиентов или сотрудников с рождением.

Цели, с которыми пишутся деловые письма, определяются тем фактом, что адресат и адресант связаны официальными узами. Следовательно, целью написания ритуального или этикетного письма является соблюдение приличий и сохранение статусных отношений.

С точки зрения хроноса все ритуальные письма можно разделить на циклические и спорадические. К циклическим относятся все праздники: Рождество, Новый год, Пасха. К спорадическим, т. е. разовым, можно отнести следующие события: любое достижение, переезд, рождение ребенка, смерть.

Рассмотрим более подробно случаи, требующие написания ритуального письма. Самый распространенный повод написать такое письмо – это **поздравление**. Кроме очевидных Рождества, Нового Года и Пасхи, деловые люди могут поздравить друг друга или своих клиентов с Днем благодарения, Днем Независимости, Днем Матери и Днем Отца, а также Днем рождения Линкольна или Вашингтона. Для различных компаний некоторые праздники имеют особое значение, и письмо может быть написано не только для

поддержания доброжелательных отношений с клиентами, но и для предложения своих услуг. Предприятие, торгующее цветами, воспользуется наступающим Днем Матери, а для продавца спортивных товаров 4 июля является одним из периодов самой оживленной торговли. Страховая компания имени Линкольна обязательно поздравит клиентов с Днем Рождения Линкольна. Иногда поздравление может сопровождаться небольшим подарком, например, издательство прилагает к письму расписание футбольных матчей в данном штате.

Несмотря на то, что деловой мир предполагает, прежде всего, официальные, формальные отношения, поводы, по которым пишутся поздравительные письма, не сводятся лишь к государственным праздникам. Считается хорошим тоном поздравить партнера или клиента в связи с каким-нибудь из личных событий, например, продвижением по службе, участием в благотворительной деятельности, годовщинами: днем рождения адресата; днем рождения компании; юбилеем пребывания в должности.

Как видно из приведенного списка, деловое письмо по сути не отличается здесь от личного, разница может быть лишь в том, что адресат и адресант занимают официальную статусную позицию, что находит выражение в более формальном стиле изложения:

Для нас большая честь, что Вы уже 30 лет являетесь нашим клиентом. Мы Вас ценим и уважаем. Поздравляем с наступающим днем рождения, желаем вам долгих лет.

Выше мы уже говорили о письме-приглашении и о его связи с ритуалом. Такие письма, в которых сообщается, например, о переезде офиса или выражается благодарность клиенту, прекращающему сотрудничество с компанией, тоже можно отнести, на наш взгляд, к ритуальным, потому что в них присутствует момент инициации (перемещение офиса в новое место и переход клиента в новый статус «не-клиента»).

Еще одна разновидность - письма, которые, на первый взгляд, написаны просто так, без причины. Точнее, причина присутствует – это благодарность клиентам за их преданность: *'thank you for letting us serving you'*, но без повода. Однако повод имеется и

является, по сути, инициацией, например, присуждения магазину титула «Первый в Сент-Луисе ... пятый в Америке»: ...*Наш университет стал первым в Сент-Луисе, пятым в Америке, и мы благодарим вас за ту роль, которую вы сыграли в нашем высоком достижении.*

Рассмотрим письма, требующие написания с точки зрения этикета. Что касается письменного выражения благодарности, о котором говорилось выше, иногда его можно отнести и к сфере ритуала, и к сфере этикета, если повод, по которому адресант благодарит адресата, связан с переходом из одного состояния в другое (например, если начальник благодарит подчиненного за хорошую работу в связи с выходом сотрудника на пенсию).

Этикетным можно считать письмо, написанное человеком при уходе его с занимаемой должности и при переходе на другую работу:

Уважаемые ...

Я сообщаю вам о своем решении уйти с должности _____ (название должности) _____ (название организации). Хочу выразить благодарность всем, с кем мне так хорошо работалось. Вы все можете гордиться успешной работой фирмы. Я искренне желаю _____ (название организации) и каждому из вас успеха и процветания на многие годы.

Письмо-извинение тоже является неотъемлемой частью этикета. В деловой корреспонденции оно часто является ответом на письмо-жалобу. Типовой моделью такого письма будет следующая: адресант помимо принесения извинений сообщает о конкретном действии, которое будет выполнено для исправления ситуации, например: *Товар вам отгрузят сегодня же вечером; прилагаем чек на стоимость того изделия, которое Вы не получили.*

Как личное, так и деловое общение на-

ходит свое выражение в ритуальных и этикетных письмах. Ритуальные деловые письма в отличие от ритуальных писем, существующих в сфере личного общения, несмотря на свою кажущуюся «бесполезность», имеют своей конечной целью дальнейшее успешное деловое сотрудничество.

Итак, особенности и правила построения типовых писем отражают нормы и идеологию речевого сообщества (англоязычной лингвокультуры). Знание ценностей, лежащих в основе написания ритуальных и этикетных писем, может помочь успешному деловому и личному общению с представителями иноязычной культуры.

Список литературы

1. Карасик В. И. Языковой круг: личность, концепты, дискурс. - Волгоград: «Перемена», 2002.
2. Ивушкина Т. А. Язык английской аристократии: социально-исторический аспект. - Волгоград, 1998.
3. Griffin, J. How to Say It Best. Choice words, phrases and model speeches for every occasion. Prentice hall, 1994.
4. Frailey L. E. Handbook of Business Letters, third edition. Prentice Hall: Paramus, New Jersey, 1989; Merriam Webster Guide to Business correspondence – Merriam-Webster Inc. Massachusetts, 1988; Natterop, B. J., Weis E., Haberfelner E. Business letters for all. Oxford University Press, 1997.
5. Кузьменкова Ю. Б. От традиций культуры к нормам речевого поведения британцев, американцев и россиян. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2004.
6. <http://www.harley.com/index.shtml>
7. Агранович С. З., Стефанский Е. Е. Миф в слове: продолжение жизни. Очерки по мифолингвистике. - Самара: Изд-во Самарской гуманитарной академии, 2003.

LINGUOCULTURAL PECULIARITIES OF ENGLISH LANGUAGE STANDARD LETTERS

© 2006 N. Yu. Busorgina

Samara State Pedagogical University

Standard personal and business letters accepted in the English language culture are analyzed from the point of view of ritual and etiquette. Letters are classified according to such parameters as the basic values underlying them, the aims and the participants. Letters in Russian culture, their similarities and differences are shown.

УДК: 711.03

КЛАСТЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ И ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНОМ

© 2006 Л. В. Иваненко

Самарский муниципальный институт управления

Рассматриваются вопросы управления регионом как мегакластером.

В данной работе регион определяется как территория в административных границах субъекта федерации, характеризующаяся целостностью, комплексностью, специализацией и управляемостью (наличием политико-административных органов управления).

Целостность региона предполагает рациональное использование природно-ресурсного потенциала данной территории, соответствующее пропорциональное сочетание различных отраслей, формирование устойчивых внутрирегиональных и межрегиональных производственных и технологических связей, наличие особого сообщества людей с определенными традициями и образом жизни.

Экономическая целостность реализуется как комплексность регионального хозяйства.

Комплексность хозяйства региона означает сбалансированность развития производственных сил региона. Это такая взаимосвязь между элементами хозяйства, когда эффективно выполняются функции по специализации региона, отсутствуют внутрирегиональные диспропорции, сохраняется способность региона осуществлять в своих границах расширенное воспроизводство на основе имеющихся ресурсов. При этом часть воспроизводственных связей ограничивается данной территорией, таким образом, появляется некоторая самостоятельность.

Важнейшим признаком региона является управляемость, которая обусловлена целостностью региона и тесно связана с административно-территориальным делением, т. е. каждый регион имеет институты государственной власти и управления региональными процессами: систему региональных органов государственной власти.

Выделение региона по административному признаку представляется важным не только для развития экономики, территориального разделения труда, функционирования рынков товаров и услуг и т. д., но и для целесообразной организации управления территорией.

Управление регионом использует в своей практической деятельности множество различных научных подходов: комплексный, функциональный, воспроизводственный, нормативный, системный, ситуационный, динамический, количественный, поведенческий, маркетинговый, процессный, административный, программно-целевой и др.

Необходимо отметить, что программно-целевой подход реализуется для прогнозирования и планирования, позволяет применение системного подхода и формирует цели социально-экономического развития. Данный подход используется для эффективного управления социально-экономическими системами, к которым относятся и регионы.

Анализ всех исторически сложившихся научных направлений, созданных в сфере управления регионом, показывает, что теория эффективного управления регионом окончательно еще не сформировалась. Можно сделать предположение, что теория эффективного управления регионом (а это сложная социально-экономическая система) должна вмещать в себя все множество направлений, научных школ и подходов к управлению. Кроме того, требуется отметить, что регионы в своем развитии сильно отличаются друг от друга.

Оценка содержательности научных подходов, широко используемых теорией и практикой управления регионом, свидетельствует, что до сих пор отсутствует полная класси-

фикация научных подходов в сфере управления регионом [2].

Концептуально основанием назначения социально-экономического подхода к формированию эффективного управления регионом будет являться то, что по своей природе и экономической деятельности регионы уже являются социально-экономическими системами.

Концепция социально-экономического подхода к управлению регионом направлена на выполнение базовой целевой установки – создание условий устойчивого функционирования и социально-экономического развития региона, а также повышение уровня жизни населения. При этом она основана на принципе социальной ответственности и реализации экономического механизма социальной ответственности в управленческой деятельности.

С методологических позиций усиление социально-экономического подхода в создании условий эффективного управления регионом следует рассматривать в процессе реализации социально ориентированной целевой политики на уровне регионов и всей страны.

Необходимо отметить, что социально-экономическое развитие региона существенно зависит от реализации государственной социально-экономической политики.

Каждый регион выбирает или формирует свою модель управления экономикой, наиболее соответствующую местным условиям, историческим особенностям и национальным интересам региона.

Важнейшим вопросом является формирование системы эффективного управления регионом. Модель новой системы управления должна отвечать развитию общественного производства и предоставлять возможность достижения целей развития управляемой региональной экономической системы.

Представляет интерес еще один подход к управлению регионом – синергетический, который способствует увеличению совместного эффекта деятельности хозяйствующих субъектов экономики в регионе благодаря их объединению. Синергетический эффект имеет большее значение, чем общая сумма эффектов деятельности этих организаций, работающих самостоятельно.

В кибернетике и в общей теории систем понятия «синергетическая связь», «синергетический эффект» получили большое распространение. К. Маркс в «Капитале» оценивал «эффект синергизма» в качестве «новой силы, которая возникает из слияния многих сил в одну общую...». Зарубежные исследователи принимают синергетический эффект как один из важнейших факторов создания эффективного управления. Особенно ярко это проявляется в процессе функционирования кластеров. Вероятно, при активном появлении кластеров в стране синергетический эффект приобретет и в России должное значение.

Действительно, в последнее время и в нашей стране процесс выделения, определения, выявления, формирования и организации кластеров приобретает положительную динамику, особенно на региональном уровне.

Управление регионом может быть представлено как управление сложной социально-экономической системой, с одной стороны, и, с другой стороны, как управление мегакластером, т. е. совокупностью кластеров, функционирующих в данном регионе [3, 4].

Кластер – это сочетание постоянно взаимодействующих между собой независимых фирм, работающих в одной сфере или отрасли, и группа предприятий, которые оказывают основным фирмам сервисные услуги. В состав кластера в качестве равноправного члена могут войти представители регионального местного правительства, что позволит осуществлять эффективную государственную поддержку и решать социальные проблемы территории. Также в состав кластера могут войти финансовые (инвестиционные), образовательные, научно-исследовательские организации и специально созданные структуры, способствующие развитию кластера.

На начальном этапе формирования кластера создается комиссия, которая помогает укрепить позиции кластера и разделить роли и функции членов - участников кластера.

Региональное правительство выделяет средства из федерального и регионального бюджетов для первоначального финансирования деятельности кластера, а затем члены

или участники кластера – предприятия и организации – предоставляют собственные средства.

Кластером управляет специально созданная структура, в которую входят представители местной власти, промышленности (бизнеса) и науки. Это новый «прозрачный» подход к управлению (качество, логистика, консалтинг, инвестиции, технологии и др.).

Практика свидетельствует, что в г. Самаре и Самарском регионе уже успешно функционируют два кластера – авиационно-космический (рис. 1) и автомобилестроительный.

Открытие в Самарском регионе автомобильного кластера было поддержано бизнесом – ОАО «Автовазом» - в лице председателя Совета директоров и властью – губернатором Самарской области. В настоящий момент в Самарском регионе это один из самых сильных и развитых кластеров.

В Самарском регионе имеются все предпосылки для создания нефтехимического и агропищевого кластеров.

Одним из главных исходных условий в организации процесса эффективного управления регионом является наличие или разработка стратегии развития региона в зависи-

мости от организационных форм экономики на данной территории.

Регион, который имеет кластерную форму организации экономики, представляет собой совокупность кластеров, т. е. мегакластер. Таким образом, стратегия развития региона будет предполагать, соответственно, развитие всех кластеров.

Выбор направления развития региона определяет обоснование организационной системы и структуры управления, а также содержание управленческой деятельности.

Под организационной структурой управления регионом понимается соотношение всех полномочий, функций, прав, обязанностей, ответственности между управленческой структурой и мегакластером в процессе производства и реализации продукции, воздействующих на результаты деятельности мегакластера.

Регион как объект управления характеризуется перечнем кластеров (название, объем и характер выпускаемой продукции, ее стоимость, уровень рентабельности, а также стоимость производственных фондов, численность работающих, технико-экономические показатели работы кластеров и др.).

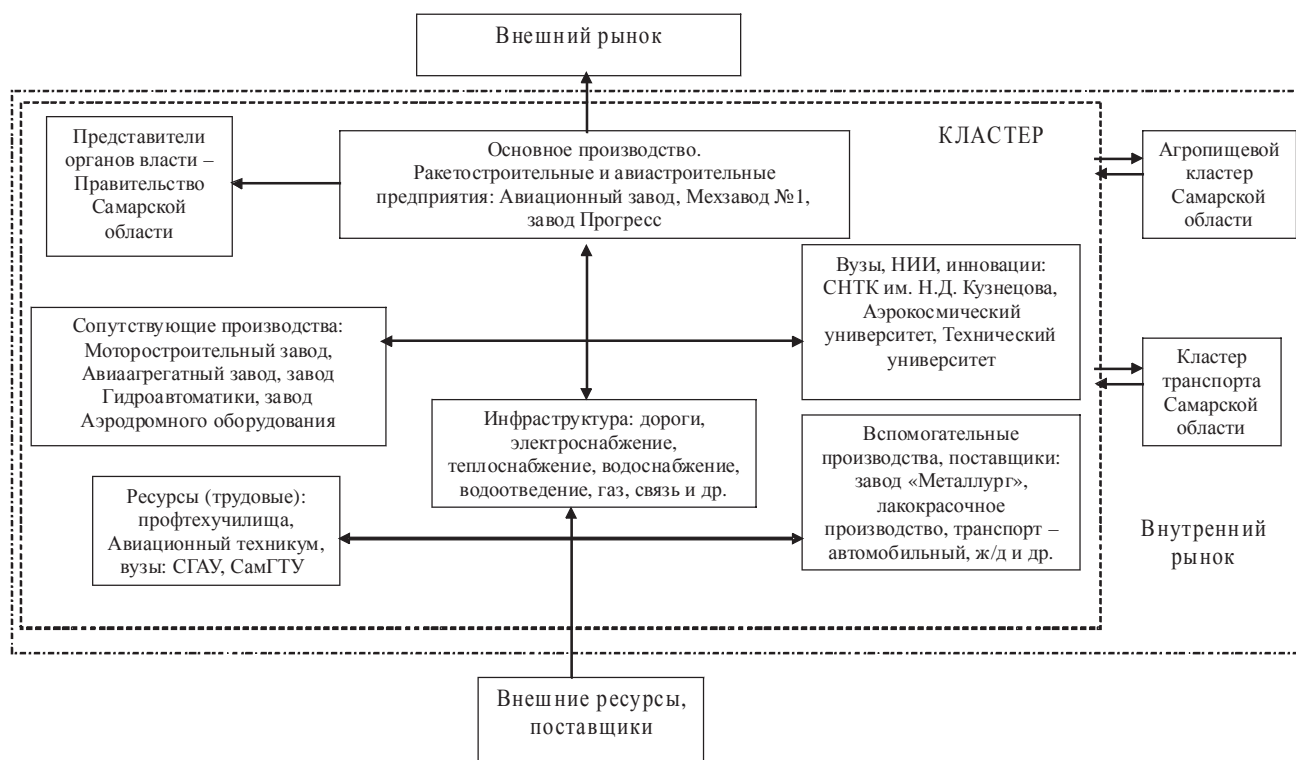


Рис. 1. Схема авиационно-космического кластера Самарского региона

Совокупность органов субъекта управления, их взаимосвязи образуют аппарат управления регионом [5, 6].

Отметим, что именно кластерная форма организации экономики предназначена для повышения конкурентоспособности. Таким образом, управление регионом как мегакластером приведет к повышению конкурентоспособности, что позволит определить управление регионом как эффективное.

Список литературы

1. Ветлугин С. Ю. Обеспечение устойчивого социально-экономического развития региона на основе регулирования инвестиционной деятельности. – СПб.: СПб ГИЭУ, 2005.

2. Гаврилов А. И. Региональная эконо-

мика и управление. - М., 2002.

3. Бутов В. И., Игнатов В. Г., Кетова Н. П. Основы региональной экономики. - М.: Книжный дом «Университет», Ростов-на-Дону: «Март», 2000.

4. Астафьев А. К., Бранский В. П., Оганян К. М. Социальная синергетика: Учебное пособие / Под ред. К. М. Оганяна. – СПб.: СПбГИЭУ, 2004. – 100с.

5. Кластерная теория экономического развития / Цихан Т. В. Теория и практика управления, №5. 2003.

6. Хасаев Г. Р., Михеев Ю. В. Кластеры – современные инструменты повышения конкурентоспособности региона или через партнерство к будущему // Инженер Поволжья. Специальный выпуск, 2003.

CLUSTER ORGANIZATION OF ECONOMY AND EFFICIENT REGION MANAGEMENT

© 2006 L. V. Ivanenko

Samara Municipal Institute of Management

The paper deals with the issues of managing a region as a megacluster.

РЕГИОНАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ И КЛАСТЕРЫ

© 2006 О. А. Кузьмичева, Л. В. Иваненко

Самарский муниципальный институт управления

Рассматриваются влияние кластеров на развитие региона, проблемы стратегического планирования на основе кластерного подхода и их роль как точек роста внутреннего рынка.

Стратегическое управление – это такое управление объектом, которое опирается на человеческий потенциал как основу объекта управления, ориентирует деятельность на удовлетворение потребностей, осуществляет гибкое регулирование и своевременные изменения, отвечающие вызову со стороны окружения и позволяющие добиваться намеченных преимуществ, что в результате позволяет выживать и достигать своей цели в долгосрочной перспективе [1].

Если в качестве объекта управления рассматривается регион, то стратегическое управление в каждый данный момент фиксирует, чем региону надлежит заниматься в настоящем, как он должен развиваться, чтобы достичь желаемых целей в будущем, исходя при этом из того, что условия жизни региона будут положительно изменяться.

В основе кластерного механизма лежит понятие «кластер» - это совокупность наиболее эффективных и взаимосвязанных видов и организаций экономической деятельности, т. е. группа взаимосвязанных и успешно конкурирующих фирм, предприятий, которые обеспечивают конкурентные позиции на отраслевом, региональном и национальном рынках. Экономическая литература определяет кластер как индустриальный комплекс, сформированный на основе территориальной концентрации предприятий: главных производителей продукции, вспомогательных поставщиков и потребителей, связанных технологической цепочкой [6].

Анализ показывает, что конкурентоспособность кластеров обеспечивается обязательным наличием в их составе трех главных элементов, тесно взаимосвязанных в своей деятельности. Первый элемент - это ключе-

вые фирмы – лидеры, которые обеспечивают экономический успех всего кластера.

Второй элемент - это поставщики, которые поставляют исходное сырье, комплектующие детали и запчасти, предоставляют разнообразные услуги и от качества работы которых зависит благополучие кластера.

Третьим элементом является бизнес-климат (экономическая ситуация), который характеризуется большим количеством факторов и который в значительной степени определяет конкурентоспособность кластера.

Таким образом, кластер – это объединение или сочетание лидирующих фирм, производящих продукты и услуги; поставщиков, которые существуют на территории региона и максимально обеспечивают деятельность этих фирм; бизнес-климата или экономической ситуации.

Совместная деятельность этих элементов, принятие решений для повышения общей конкурентоспособности региона способствует и росту конкурентоспособности кластера. В результате этого в регионе остается большая доля средств и прибыли (от лидирующих фирм, поставщиков и др.)

Чтобы определить качественное и даже количественное влияние кластеров на развитие регионов, необходимо провести анализ внешней среды кластера.

Анализ внешних факторов (социальных, политических, технологических и экономических) сложно провести только с помощью составления профиля макроокружения, который позволит оценить относительную значимость факторов среды для кластера в целом и его отдельных компонентов [3].

Поэтому для анализа внешних факторов может быть использован экспертный метод.

Таблица 1. Значения экспертных оценок

Значимость фактора	Обозначение	Экспертные оценки							
		Важность для кластера	А	Значительная	3 балла	Умеренная	2 балла	Незначительная	1 балл
Влияние на кластер	В	Сильное	3 балла	Умеренное	2 балла	Слабое	1 балл	Отсутствует	0
Направленность влияния	С	Позитивная	+1	Негативная	-1	—	—	—	—

Предлагается шкала, по которой оценивается каждый фактор внешних воздействий (табл. 1).

В зависимости от количества работающих экспертов определяется некоторая средняя оценка каждого фактора.

Далее все три оценки перемножаются, и получается интегральная оценка, показывающая степень значимости фактора для развития кластера и, соответственно, региона:
 $D = A \cdot B \cdot C$.

Проанализировать внутреннее состояние кластера можно методом «анализа делового портфеля», который наглядно показывает, что отдельные компоненты кластера взаимосвязаны и что портфель, как целое, существенно отличается от простой суммы его частей [4].

Анализ проводится в шесть этапов:

1) выбор уровней компонентов кластера для проведения анализа;

2) фиксация единиц показателей анализа для использования их при позиционировании с помощью матричного анализа;

3) определение параметров матриц, что необходимо для внесения ясности в отношении исходной информации и выбора переменных, по которым проводится анализ портфеля;

4) сбор и анализ данных, который может проводиться по многим направлениям, наиболее важными из которых являются привлекательность кластера, его возможности и ресурсы;

5) построение и анализ матриц портфеля, дающих представление о текущем и перспективном его состоянии;

б) определение состава желаемого портфеля, в наибольшей степени соответствующего достижению целей с использованием данного кластера.

Матрица хозяйственного портфеля – двухмерная модель, построенная в координатах любой пары показателей, так или иначе отражающих стратегические позиции кластера: темпы роста кластера, доля рынка, долгосрочная привлекательность кластера, конкурентоспособность, стадия жизненного цикла кластера. Чаще всего используются три типа матриц хозяйственного портфеля: матрица «рост – доля» (матрица Бостонской консалтинговой группы (БКГ)), матрица «привлекательности кластера – положение в конкуренции», матрица жизненного цикла кластера.

Матрица «рост – доля» позволяет сравнить позиции хозяйственных подразделений (компонентов) кластера по темпам роста кластера и относительной доли рынка.

По осям откладываются темпы роста кластера и относительная доля рынка. Каждый компонент обозначается точкой или кружочком, размер которого устанавливается в зависимости от доли прибыли компонента в общей прибыли кластера (рис. 1).

Под относительной долей рынка подразумевается отношение доли рынка данного компонента кластера к доле рынка, контролируемой основным конкурентом, выраженное в долях единицы. Таким образом, этот показатель больше единицы у тех компонентов кластера, которые являются лидерами в соответствующих направлениях, и меньше

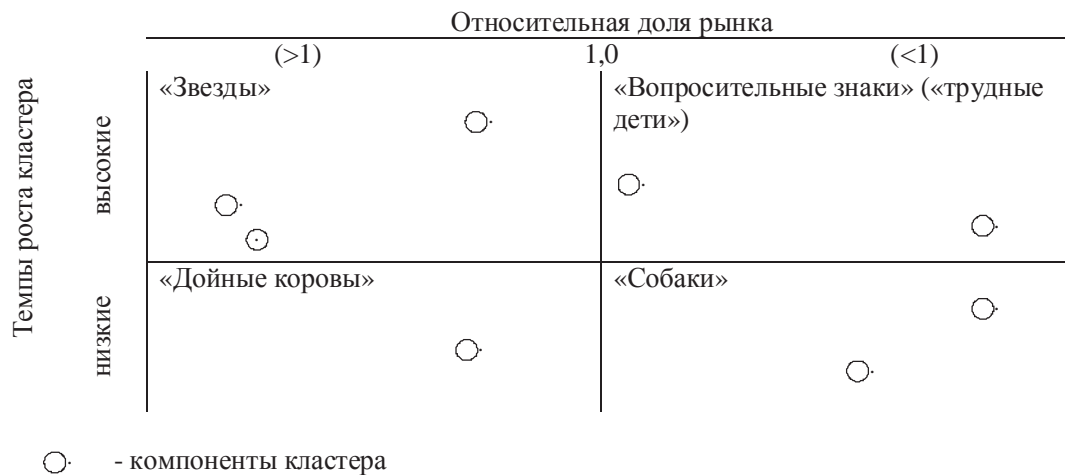


Рис. 1. Матрица «рост-доля» хозяйственного портфеля кластера

единицы у компонентов, имеющих конкурентов, превосходящих их на этом рынке.

Граница между «высокой» и «низкой» относительными долями рынка проходит на уровне единицы.

Следует отметить, что координаты этой матрицы выбраны не случайно, так как, в частности, доля рынка с достаточно высокой степенью вероятности и отражает уровень издержек, обусловленный накопленным опытом, достигнутыми масштабами (а значит, и экономией на масштабах) [5].

Взаимосвязь между накопленным опытом и уровнем издержек производства в кластере выражается с помощью кривой опыта (рис. 2).

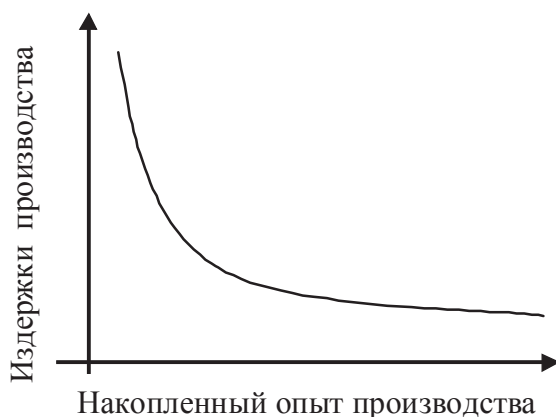


Рис. 2. Кривая опыта

Эффект кривой опыта приносит стратегический выигрыш в виде возрастания доли рынка. Стремясь реализовать имеющиеся преимущества (низкие издержки), кластер может снизить цены, завоевав тем самым клиентов и увеличив долю рынка, и получить дополнительную прибыль.

Матрица «рост-доля» позволяет рассмотреть характеристики направлений деятельности, имеющих в портфеле кластера в каждом из четырех квадратов матрицы (рис. 3).

Достоинством матрицы «рост - доля» является то, что она позволяет проследить последовательное движение компонентов кластера по пути жизненного цикла. Кроме того, матрица позволяет обратить внимание на распределение финансовых ресурсов внутри кластера с целью оптимизации портфеля деловой активности.

Аналогичную матрицу можно построить для определения доли рынка и роста различных кластеров с тем, чтобы выявить значимый кластер для стратегического планирования и управления развитием региона [5].

Матрица привлекательности кластера (рис. 4) позволит сравнивать компоненты кластера, используя оценки долгосрочной привлекательности всего кластера и позиции всех его компонентов. Координаты каждого компонента определяются комплексом величин.

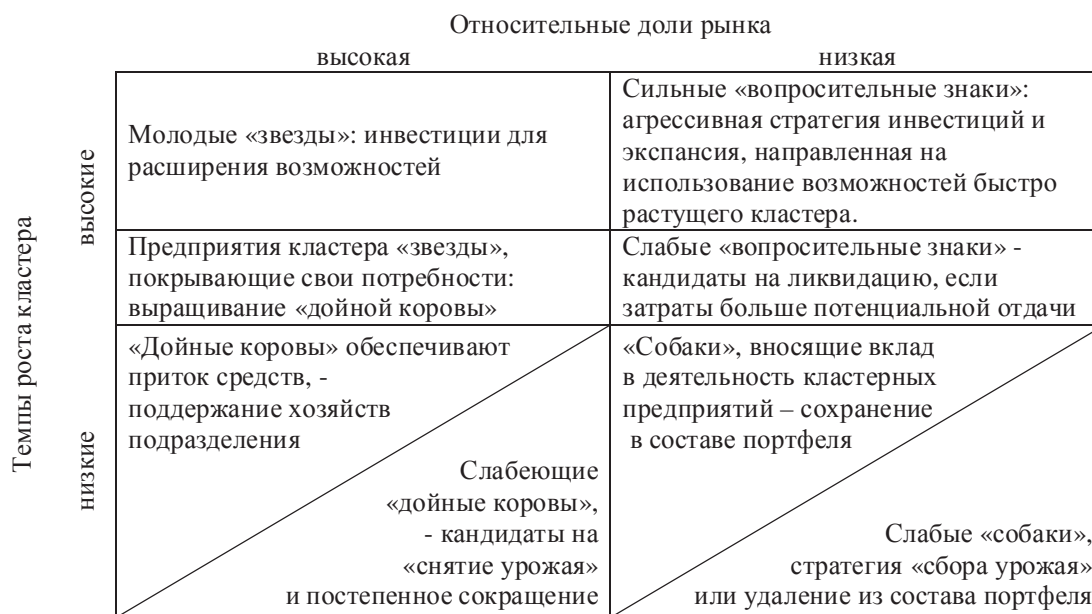


Рис. 3. Стратегические возможности хозяйствующих подразделений

К числу факторов долгосрочной привлекательности кластера можно отнести: емкость рынка и темпы его роста, технологические требования, напряженность концепции, входные и выходные барьеры, сезонные и циклические колебания, потребности в капиталовложениях, угрозы и возможности развивающихся кластеров, факторы социального, экологического порядка, государственное регулирование.

Для получения формальной оценки долгосрочной привлекательности кластера, а следовательно, и его количественного влияния на развитие региона каждому показателю должен быть присвоен вес, соответствующий важности роли этого показателя в стратегическом выборе. Сумма весов составляет 1,0. Взвешенные оценки привлекательности рассчитываются как сумма произведений оценок по каждому показателю (используя шкалу от 1 до 5 или от 1 до 10) на веса показателей.

Таким образом, в процессе стратегического планирования и управления необходимо выбрать как точку опоры наиболее привлекательные кластеры, поскольку они имеют возможность повышать производительность труда входящих в него компонентов, повышают способность к инновациям, стимулируют взаимное развитие внутренних компонентов и, следовательно, активно участвуют в развитии региона.

Однако при этом необходимо учитывать жизненный цикл кластера и входящих в него компонентов, а также постоянно проводить анализ стратегического соответствия отдельных элементов кластера, т. е. того, как они вписываются в общую деятельность кластера.

Итак, качественная оценка влияния кластера на развитие региона – это логическое обоснование стратегического развития и соответствие ситуации. Количественные показатели позволяют оценить стратегическое и финансовое положение кластера и его привлекательность (динамика прибыли, динамика отдачи инвестиций, размер кредитов, репутация и лидерство в технологиях, качество и т. д.).

Определение составных частей кластера на сегодняшний день – одна из главных проблем, поскольку фиксирование границ кластера достаточно сложная задача, требующая творческого процесса на базе понимания наиболее важных связей и взаимного дополнения для разных отраслей и организаций. Границы кластеров достаточно редко подчиняются стандартным системам отраслевой классификации, неспособным охватить многие важные участки взаимовлияния.

Другой проблемой выделения кластеров и их использования в стратегическом планировании являются различные географические

Привлекательность кластера		Влияние кластера на развитие региона		
		сильное	среднее	слабое
Долгосрочная привлекательность	высокая			
	средняя			
	низкая			

	- высокий приоритет инвестирования
	- средний приоритет инвестирования
	- низкий приоритет инвестирования

Рис. 4. Матрица привлекательности кластера

размеры, широта охвата и уровень развития. Поэтому для эффективного стратегического планирования и управления развитием региона необходимо выявлять наиболее развитые кластеры с глубокими специализированными связями, с большим массивом связанных предприятий и организаций.

Следующей сложностью использования кластеров в стратегическом планировании и управлении является наличие межличностных взаимоотношений, личных контактов и взаимодействия отдельных давно функционирующих обособленных предприятий. Несмотря на то, что образование кластера облегчит развитие таких взаимоотношений и может повысить их эффективность, тем не менее этот процесс далеко не является автоматическим. Формальные и неформальные организационные механизмы и нормы культуры часто имеют большое значение в развитии и функционировании кластеров.

Разный уровень развития факторов производства, и в том числе рабочие силы, могут создать положение неравенства компонентов внутри кластера. Однако кластер представляет собой пространственную организационную форму, которая по своей внутренней сущности может быть более эффективной в отношении компоновки факторов производства.

Рассогласование стимулов, которое достаточно сложно разрешить в условиях реальных контрактов, может исправить ситуацию

в результате сильного влияния повторяющихся взаимодействий и других аспектов, связанных с локализацией предприятий и кластерами.

В развивающейся экономике создание кластеров тормозится недостаточным уровнем образования, низкой квалификацией рабочей силы, неразвитостью технологий, нехваткой доступного капитала, а также слабым развитием общественных институтов и отсутствием внимания со стороны местных властно-управленческих структур.

На региональные администрации – местные правительства – возлагаются большие и сложные задачи по управлению вверенными им территориями. Региональная стратегия должна быть результатом совместных усилий администрации (местного правительства) и бизнеса (в виде кластеров). Региональная стратегия должна способствовать повышению конкурентоспособности региона в будущем, что в свою очередь приведет регион к социально-экономическому процветанию (увеличится доход жителей, уровень жизни, ее продолжительность и т. д.).

В составе региональной стратегии можно выделить три основных блока.

Блок «А». Конкурентоспособность регионального бизнеса или бизнес-портфель территории региона:

- какие есть в регионе кластеры или группы предприятий;

- какие из них конкурентоспособны;
- какие перспективы имеются у этих групп предприятий;

- какие отрасли при условии некоторой поддержки могут превратиться в конкурентоспособные кластеры;

- какие предприятия или кластеры нуждаются в инвестициях.

Блок «Б». В этом блоке отражается качество бизнес-климата или экономической ситуации. Качество бизнес-климата оценивается набором факторов, связанных с инфраструктурой и др. На этот блок большое влияние оказывает администрация региона.

Блок «В». Наиболее важный блок, с которого должна начинаться работа по стратегическому развитию региона. Необходимо, чтобы местная администрация – правительство было:

- стратегически ориентированным;
- способным к эффективной деятельности.

На территории какого-либо региона может существовать несколько кластеров и какое-то количество муниципальных образований, которые имеют свое направление развития, задачи, цели и стратегию.

Разработка стратегического плана каждого муниципального образования зависит от множества факторов: географического положения, численности населения, исторических особенностей, местных проблем. Удачным вариантом было бы совместное планирование развития региональных кластеров и муниципальных образований. Администрация

и местное правительство должны разработать стратегию развития региона, которая в значительной степени основывается на стратегии развития на данной территории существующих и потенциальных кластеров. С учетом этой стратегии должны быть скорректированы и стратегии муниципальных образований.

В процессе разработки региональной стратегии необходимо определить, какие имеются в регионе точки роста и развития и что возможно сделать представителям бизнеса и местной администрации для их интенсификации [6].

Список литературы

1. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. - СПб.: «Питер», 2003.
2. Гибсон Дж. Л. Организации: поведение, структура, процессы. - М.: ИНФРА – М., 2000.
3. Мехонцин К. Л. Конкурентная сфера. - Иркутск, 2002.
4. Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы/ Под ред. Колобова А. А., Омельченко И. Н. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
5. Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии/ Пер. с англ. / Под ред. Л. Г. Зайцева, М. И. Соколовой. – М.: Банки и биржи, ЮНАТИ, 2001.
6. Иваненко Л. В. Формирование кластеров для управления развитием территорий города и региона. - Самара: СМИУ, 2005.

REGIONAL STRATEGY AND CLUSTERS

© 2006 O. A. Kuzmitchyove, L. V. Ivanenko

Samara Municipal Institute of Management

The paper deals with the influence of clusters on the region development, the problems of strategic planning on the basis of cluster approach and their role as points of grows of internal market.

ПОТЕНЦИАЛ САМОРЕАЛИЗАЦИИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

© 2006 О. Н. Мартынова

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается актуальность, структура и механизм формирования потенциала самореализации будущих инженеров.

Актуальность проблемы формирования потенциала самореализации будущих инженеров определяется современной экономической, экологической, социальной ситуацией в России. В 90-х годах XX века произошел резкий спад в развитии отечественной промышленности, обусловленный кризисом административной системы управления и повлекший за собой прекращение работы многих промышленных предприятий, изменение характера производства, переход к рыночным отношениям, что вызвало понижение занятости выпускников технических вузов, создало для них проблему трудоустройства. Однако количество подготавливаемых специалистов оставалось приблизительно на том же уровне, что в результате привело к так называемому перепроизводству инженерных кадров. В настоящее время, несмотря на некоторый подъем экономики, для них представляет трудность найти хорошо оплачиваемую работу по специальности. В поиске работы важную роль играет их способность самореализации, умение и готовность ориентироваться на требования и условия деятельности, активность и целенаправленность в решении поставленных задач. Следовательно, формирование этих качеств становится объектом внимания профессиональной педагогики.

Необходимость соответствия усложняющимся требованиям современного производства, решения связанных с состоянием техники проблем ставит перед техническими вузами задачу подготовки кадров, способных самореализоваться в динамичных условиях. В связи с этим одна из главных целей инженерного образования сегодня заключается в том, чтобы готовить кадры в соответ-

ствии с требованиями научно-технического прогресса, способные к самореализации в различных сферах профессиональной деятельности.

Профессиональная деятельность определяется как “род трудовой деятельности человека, владеющего комплексом специальных теоретических и практических навыков, приобретенных в результате специальной подготовки, опыта работы” [1]. В результате анализа научных работ выделены цель, признаки, функции и основные этапы профессиональной деятельности инженеров (таблица 1).

В связи со сложностью инженерной деятельности в государственном образовательном стандарте выделяют пять ее видов: проектно-конструкторскую, организационно-управленческую, научно-исследовательскую, производственно-технологическую, сервисно-эксплуатационную, которые являются ориентиром при составлении квалификационных требований к специалисту. В связи с отсутствием социального заказа на инженеров определенной специализации отмечается необходимость расширения профиля инженеров. Расширение профиля, вызвавшее тенденцию фундаментализации профессионального образования, призвано обеспечить готовность инженеров к деятельности при расширяющемся выборе, определяет потребность в постоянном повышении квалификации, формирует современное мышление и развивает антропоцентричную систему ценностей, умения и навыки ориентации в информационной среде, что влияет на самореализацию инженеров.

Проблема самореализации личности нашла отражение в философских (К. Митчем, С. С. Хоружий, Г. К. Чернявская), педагоги-

Таблица 1
Структура инженерной деятельности

Цель	Производство искусственной среды обитания человека	
Признаки	<ul style="list-style-type: none"> - Принадлежность к материальному производству - Направленность на предмет - Творческий характер - Связь с наукой - Инновационная активность - Высокая ответственность за результаты 	
Функции	Классические: <ul style="list-style-type: none"> - Гностическая - Проектировочная - Организационная - Прогностическая - Коммуникативная 	Новые: <ul style="list-style-type: none"> - Информационно-аналитическая - Диагностическая - Контролирующая
Основные этапы	<ul style="list-style-type: none"> - Проектирование - Разработка технологий - Организация и управление производством - Контроль качества продукции - Техническое обслуживание объектов 	

ческих (Л. В. Ведерникова, Б. С. Гершунский, Э. Н. Гусинский, Г. А. Левова, И. Г. Шендрик), психологических (Е. И. Исаев, И. П. Маноха, А. В. Петровский, А. А. Реан, В. И. Слободчиков, В. А. Ядов), социологических (С. Н. Еременко, Н. Смелзер) исследованиях. В трактовках ученых самореализация представляется внутренней деятельностью личности, направленной на самосовершенствование, достижение поставленной цели, эффективное освоение среды жизнедеятельности.

Выделяются три этапа самореализации: самопознание, самоактуализация и саморефлексия. Самопознание обеспечивает выявление внутренних ресурсов и потребностей личности, и тем самым основу для самопреобразования. Самоактуализация представляет собой материальное проявление внутренних возможностей человека в результате практической деятельности. Саморефлексия способствует критическому осмыслению и анализу действий и влечет за собой необходимые коррективы выполняемой деятельности, саморазвитие.

Выявлено соответствие этапов самореализации познавательной, преобразовательной и коммуникативной деятельности (концепция М. С. Кагана). В связи с тем, что основой любой деятельности выступает ценно-

стная ориентация, внутри этапа самопознания выделяется мотивация, основанная на потребностях, интересах и ценностном отношении к исполняемой деятельности. Таким образом, самореализация является внутренним развитием личности, средством выражения накопленных возможностей человека, которые представляют собой потенциал самореализации.

Ученые отмечают важность развития потенциала личности для успешной самореализации. Анализ научной литературы и результатов исследований выявил, что выделяется ряд личностных потенциалов, значимых для профессиональной деятельности, среди которых трудовой, квалификационный, эвристический, аксиологический, творческий, профессиональный. Чтобы отразить в полной мере специфику самореализации инженеров, было введено понятие потенциала самореализации инженеров, который представляет собой совокупность личностных качеств, знаний, умений и способностей, позволяющих совершать оптимальные действия по преобразованию техносферы в соответствии с требованиями профессиональной ситуации, что обеспечивает личностный и профессиональный рост. Функция потенциала самореализации инженеров заключается в обеспечении

направляющей роли деятельности личности, в результате которой происходит ее самореализация. В силу комплексности рассматриваемого понятия требуется его формирование уже в процессе профессиональной подготовки будущих инженеров в технических вузах, поэтому потенциал самореализации инженеров и потенциал самореализации будущих инженеров являются синонимами.

В соответствии с системным подходом в структуре потенциала самореализации будущих инженеров выделены четыре компонента, обеспечивающие функционирование этапов самореализации:

- ценностно-мотивационный (профессиональная направленность, система ценностей профессиональной деятельности), формирующийся в определенной культурной среде и определяющий психологическую готовность личности к самореализации;

- когнитивный (профессиональные знания, удовлетворенность их получением), обеспечивающий формирование целостной картины профессиональной деятельности и отвечающий за теоретическую готовность личности к самореализации;

- деятельностный (профессиональные умения и навыки), позволяющий использовать знания в деятельности и обеспечивающий практическую готовность к самореализации;

- рефлексивно-регулятивный (самоанализ, самооценка, саморегуляция), основанный на коммуникативных умениях, общении личности с окружающим миром и людьми, направленный на определение своей роли в профессиональной ситуации.

Таким образом, потенциал самореализации инженеров представляет собой интегративное явление, включает как природные свойства личности, так и свойства, формирующиеся в процессе образования и профессиональной деятельности.

Поскольку структура потенциала самореализации будущих инженеров включает четыре компонента, каждый из которых интегрирует комплекс показателей, его существенной характеристикой выступает системность, что предполагает для осуществления взаимосвязи частей диалогичность, которая

обеспечивает формирование и гармоничное развитие компонентов потенциала самореализации инженеров, а также способствует выработке индивидуальной позиции по его развитию, так как “диалог составляет решающий интеллектуальный центр саморегуляции личности” [2]. Характеристиками потенциала самореализации инженера выступают также избыточность как запас нереализованных возможностей, обеспечивающих выбор вариантов действий, направленных на самореализацию; динамичность и изменчивость, обеспечивающие возможность переключать потенциал самореализации инженеров на решение конкретной актуальной профессиональной задачи. Указанные характеристики обеспечивают формирование и развитие потенциала самореализации инженеров, определяют его эффективность для становления личности и профессионального роста инженера.

Структурная сложность и значимость рассматриваемого понятия потребовала определения механизма его формирования. Ценностно-мотивационный компонент потенциала самореализации будущих инженеров включает профессиональную направленность, состоящую из потребностей, мотивов и интереса к профессиональной деятельности. Их возникновение определяется положительными эмоциями в отношении будущей профессии и информированностью о возможностях и перспективах самореализации. Мотив выбора профессии инженера влияет на развитие потенциала самореализации, поскольку “повышенная мотивация стимулирует потенциальные возможности, развивает потребность в определенном виде деятельности, способствует совершенствованию профессиональных качеств личности” [3]. Таким образом, в мотивационном компоненте потенциала самореализации будущего инженера важную роль играет тип мотивации, обусловившей выбор места учебы.

Результаты опроса, проведенного среди студентов первого курса СГАУ (выборка составила 87 человек), показывают преобладание ситуативного и конформистского мотивов выбора учебного заведения (57,5 %), что выявляет необходимость продолжения про-

форIENTATIONНЫХ мероприятий в рамках дисциплин, изучаемых на младших курсах. Формирование профессиональной направленности опирается на идею формирования ориентировочной основы действия (В. А. Скакун), включающей представления о цели и мотиве деятельности, о средствах и способах деятельности, предъявляемых к ней требованиях, способах контроля и самоконтроля, определения соответствия деятельности поставленной цели [4]. Таким образом, формирование ориентировочной основы действий позволит предотвратить возможное разочарование в будущей деятельности, если вуз выбран не в соответствии с профессиональными мотивами, создать положительную мотивацию овладения выбранной специальностью.

Функционирование когнитивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров определяется уровнем развития инженерного мышления, поскольку инженерная деятельность требует знаний фундаментальных, специальных и смежных наук, экологии, экономики и других областей, а высшим познавательным процессом является мышление. Инженерное мышление – это “системное творческое техническое мышление, позволяющее видеть проблему целиком с различных сторон, связи между ее частями” [4]. Оно отражает специфику инженерной деятельности (опора на науку и ориентация на предмет) и требует развития теоретического и практического мышления. Поскольку мышление есть элемент взаимодействия человека с миром, а основной формой взаимодействия является деятельность, логика инженерного мышления соответствует этапам познавательного и преобразующего воздействия на мир: теоретическое мышление отвечает за познание мира и фундаментальные исследования; практическое мышление отвечает за преобразование действительности, участвует в проведении прикладных исследований и разработке опытных образцов новых видов техники [5].

В научной литературе отмечается асимметрия познавательной и преобразующей деятельности, проявляющаяся в направленности основной активности на внешний мир без достаточного учета результатов познания,

что проявляется в возникновении глобальных проблем человечества (антропологических, экологических, экономических) [6]. Значимость когнитивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров определяется высоким уровнем развития современной науки и техники и состоит в обеспечении базиса для последующей деятельности по преобразованию техносферы. Таким образом, развитие инженерного мышления обеспечивает формирование когнитивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров.

Инженерное мышление тесно связано с проектной деятельностью, направленной на осуществление действий по достижению определенного образа, сформированного под влиянием потребностей и ценностей. Поскольку техника не существует вне человеческой жизни и оказывает на нее огромное влияние, в настоящее время инженерное проектирование вышло за рамки создания конкретных технических объектов и предполагает создание сложных технических и социотехнических систем. Отмечается смена мест инженерной деятельности и проектирования: если раньше проектирование осуществлялось в рамках инженерной деятельности, то теперь инженерная деятельность проходит в рамках проектирования [7].

Проектирование является сложным процессом, состоящим из нескольких этапов, это: определение потребности и цели (соответствие ценностно-мотивационному компоненту потенциала самореализации будущих инженеров), научные исследования и формулировка заданий и идей (соответствие когнитивному компоненту потенциала самореализации будущих инженеров), выработка концепций и анализ их осуществимости (соответствие деятельностному компоненту потенциала самореализации будущих инженеров), принятие решения о целесообразности осуществления проекта (соответствие рефлексивно-регулятивному компоненту потенциала самореализации будущих инженеров). Учитывая проведенные аналогии этапов проектирования компонентам потенциала самореализации будущих инженеров, а также тот факт, что проектирование более чем на 70 %

определяет качество и надежность функционирования внедряемых систем [8], приходим к выводу, что развитие умений проектирования приводит к практической готовности будущих инженеров к самореализации в профессиональной деятельности и, следовательно, является механизмом формирования деятельностного компонента потенциала самореализации будущих инженеров.

Рефлексивно-регулятивный компонент потенциала самореализации будущих инженеров основан на рефлексии, возникающей при неудовлетворенности своей деятельностью или ее результатами. Он влияет на определение целей деятельности, обеспечиваемое ценностно-мотивационным компонентом потенциала самореализации инженера; регулирует процесс теоретического познания, проходящий в рамках когнитивного компонента потенциала самореализации инженера; способствует выбору концепции проектирования, реализуемому в деятельностном компоненте потенциала самореализации инженера. Иными словами, он обеспечивает функционирование всех компонентов и тем самым целостность проявления потенциала самореализации будущих инженеров.

В психологии выделяют две стороны рефлексии – ретроспективную и перспективную. Ретроспективная рефлексия обеспечивает оценку и построение образа условий, приведших к цели, а перспективная позволяет освоить новые возможности действий. На перспективной рефлексии базируется “целесообразное управление поведением личности”, саморегуляция субъекта [9]. В связи с тем, что средством регуляции профессиональной деятельности, позволяющим достичь цели, выступают, наряду со знаниями и умениями, способности субъекта деятельности, формирование рефлексивно-регулятивного компонента потенциала самореализации способствует развитию способностей к инженерной деятельности.

Творческий характер инженерной деятельности обуславливает необходимость развития творческих способностей для формирования рефлексивно-регулятивного компонента потенциала самореализации инженера. Наряду со способностью к генерированию

идей, гибкостью, беглостью и оригинальностью мысли, способностью к анализу и синтезу наиболее релевантной представляется способность самостоятельно увидеть противоречия в заданной ситуации и сформулировать проблему. Возможность формирования рефлексивно-регулятивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров через развитие творческих способностей обусловлена тем, что творчество, как и саморегуляция, возникает в условиях рассогласования цели и результата [10], а также тем, что творчество невозможно без опоры на самоуправление личности [11].

Таким образом, потенциал самореализации инженера обеспечивает выход за пределы узкотехнического понимания инженерной деятельности в социальную, психологическую, эмоциональную сферы. Формирование ориентировочной основы действий, инженерного мышления, умений проектирования и творческих способностей студентов технического вуза является механизмом формирования потенциала самореализации будущих инженеров.

Пространственный подход к моделированию потенциала самореализации инженеров выявляет возможности его формирования в пространстве культуры, на пересечении сфер науки, прикладной деятельности и духовных ценностей (рис. 1). Под культурой понимается “система ценностей, представлений о жизни и поведенческих кодов, общая для людей, связанных одним определенным образом жизни” [12]. Формирование потенциала самореализации инженеров в пространстве культуры представляется необходимым в силу того, что культура является способом регулирования и реализации человеческой деятельности, в результате чего происходит развитие личности. Кроме того, по мнению В. А. Конева, современный инженер должен проектировать не отдельный предмет, а учитывать необходимость создания целостной культурной среды [13].

Инженер, создавая практические предметы – технические объекты (или проводя их техническое обслуживание) на основе новейших научных достижений, учитывает при этом духовные ценности и приоритеты обще-

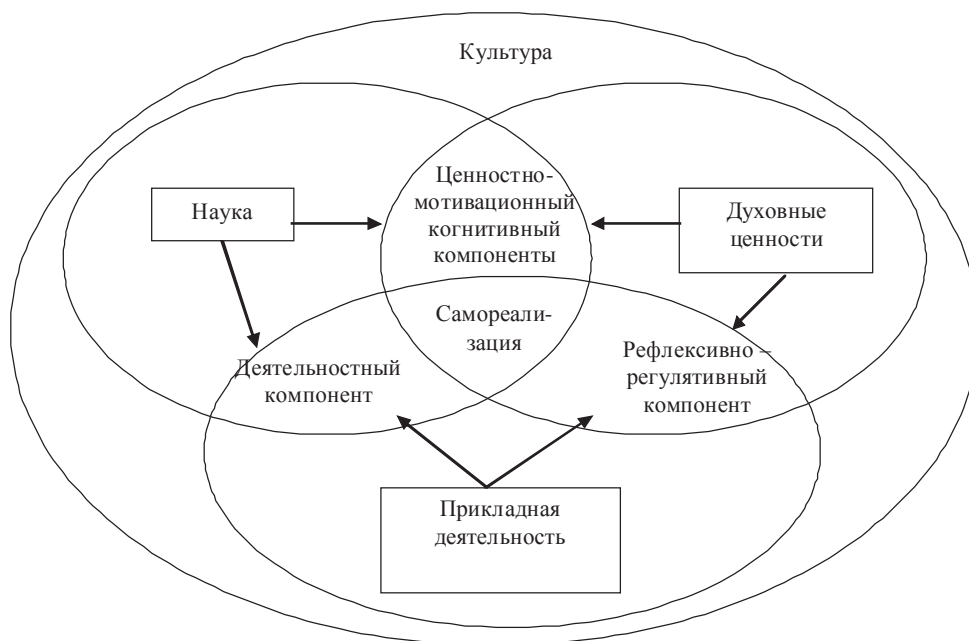


Рис. 1. Формирование потенциала самореализации будущих инженеров в культурном пространстве

ства, в котором происходит его деятельность. На пересечении науки и духовных ценностей образуется пространство, обеспечивающее возможности для формирования ценностно-мотивационного и когнитивного компонентов потенциала самореализации будущих инженеров, которые обуславливают определение целей, планирование деятельности на основе ценностных ориентаций и приоритетов. На пересечении науки и прикладной деятельности создается пространство, способствующее формированию деятельностного компонента потенциала самореализации будущих инженеров как совокупности умений и навыков, необходимых для осуществления деятельности проектирования. На пересечении прикладной деятельности и духовных ценностей - пространство, в котором происходит формирование рефлексивно-регулятивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров, обеспечивающего внесение необходимых корректив в деятельность.

Поскольку культурное пространство отражается в языке, представляется возможным формировать потенциал самореализации будущих инженеров в рамках изучения в технических вузах иностранного языка. Язык является важнейшим видом социокода, транслирующего социальный опыт человечества. Он отражает ценностно-эмоциональное отно-

шение к миру, разделяемое носителями языка, участвует в развитии человеческого мышления (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев, Л. В. Щерба). Будучи системой знаков, язык приобретает все большее значение, поскольку современная цивилизация пропитана знаково-символической информацией (Е. А. Климов).

Знания иностранного языка формируют в сознании поликультурное пространство, то есть расширяют возможности самореализации. Они обеспечивают внешнюю мотивацию самореализации, поскольку в условиях расширения международных контактов повышают конкурентоспособность специалистов. Внутренняя мотивация зависит от индивидуальной системы ценностей, которая формируется под воздействием системы общественных ценностей, отражающихся в общественном сознании и в языке, поскольку в языке находят выражение социальные, культурно-исторические, этнические особенности его носителей. В соответствии с концепциями Л. С. Выготского и Дж. Мида язык является интерактивной системой, связанной с культурно обусловленным сознанием. Общественная природа сознания обеспечивает возможность его развития только в совместной деятельности людей, в процессе их труда и общения, осуществляемого с помощью язы-

ка [14]. Путем присвоения культуры через основные функции языка – познания и общения – происходит социализация человека, а особенности познания мира зависят от специфических особенностей языковых явлений.

В соответствии с требованиями типовой программы приобщение к иноязычной культуре на занятиях иностранного языка происходит на материале текстов профессиональной тематики. Полевой подход к языковой системе (Г. К. Борозенец) позволяет представить терминологическую структуру языка специальности в виде динамического сверхзнакового поля, которое рассматривается как абстрактная модель процесса взаимодействия отдельных языковых единиц. Целесообразно формировать ценностно-мотивационный компонент потенциала самореализации будущих инженеров, организовав обучение иностранному языку с позиций полевого подхода, поскольку значения грамматических форм и структур языка зависят от наполняющей их лексики, контекста, которые, в свою очередь, обуславливают изменение значений и функций языковых форм. Овладение динамическим сверхзнаковым полем обеспечивает усвоение языка специальности, тезауруса как способа формирования языкового сознания определенной профессиональной общности, способствует формированию образа профессиональной деятельности, ее средств и способов, и, следовательно, формирует ценностно-мотивационный компонент потенциала самореализации будущих инженеров.

Формирование когнитивного, деятельностного и рефлексивно-регулятивного компонентов потенциала самореализации будущих инженеров находится под влиянием коммуникативной компетенции, которая является целью изучения иностранного языка в технических вузах. Коммуникативная компетенция базируется на коммуникативной функции языка, которая в информационном обществе играет настолько важную роль, что Ю. А. Глущенко, ссылаясь на зарубежных ученых, назвал информационное общество коммуникативным [15].

Коммуникативная компетенция рассматривается как интегративное понятие, в структуре которого выделены три вида ком-

петенций (Л. С. Каменская) – лингвистическая, прагматическая и социокультурная, поскольку они соответствуют сферам культурного пространства, обеспечивающим формирование компонентов потенциала самореализации будущих инженеров [16]. Представляется возможной замена социокультурной компетенции межкультурной, поскольку они часто используются в качестве синонимов, способствуют лучшему пониманию носителей иностранного языка, их мировоззрения. Однако межкультурная компетенция обеспечивает не просто понимание иной культуры, но и восприятие действительности через несколько культур одновременно, что стимулирует творческую активность.

Овладение лингвистической компетенцией в процессе изучения иностранного языка в техническом вузе, то есть изучение лингвистических особенностей языка при обучении грамматике, лексике, фонетике влияет на формирование когнитивного компонента потенциала самореализации будущих инженеров. В связи с тем, что язык функционирует по определенным законам, их усвоение способствует развитию логичности мышления; при выполнении языковых и условно-речевых упражнений развивается критичность и аналитичность инженерного мышления, так как существует необходимость выбирать единственно правильное решение из ряда возможных.

Система языка действует в любых коммуникативных и познавательных ситуациях, и поэтому является основой для развития речевых умений и навыков, направленных на достижение поставленной цели. Культурологический подход к формированию речевой деятельности (В. Н. Комиссаров) позволяет связать речевую деятельность с профессиональной деятельностью инженера, а именно с деятельностью проектирования.

Структура речевой деятельности совпадает со структурой деятельности проектирования и включает фазы ориентировки, планирования, реализации и контроля [17]. Речевая деятельность, как и деятельность проектирования, носит творческий характер, так как условия и ситуации общения никогда не повторяются полностью. Человеку приходится каждый раз подбирать нужные языковые

средства и речевые навыки, чтобы решить коммуникативную задачу. Обучение иностранному языку, направленное на формирование коммуникативной и, в частности, прагматической компетенции, способствует созданию условий для выбора цели речевого акта, оценки ситуации общения и соответствующей ей коммуникативной стратегии, обеспечивающей своевременное решение коммуникативной задачи. Таким образом, развитию деятельностного компонента потенциала самореализации будущих инженеров в техническом вузе способствует прагматическая компетенция, обеспечивающая достижение конкретного результата.

Для осуществления рефлексивной самооценки, определения целей деятельности, своей роли в определенной ситуации важен процесс сравнения с определенным эталоном, с аналогичным явлением или действием. Базу для сравнения при изучении иностранного языка обеспечивает межкультурная компетенция, которая способствует пониманию поведения носителей языка, развивает понимание культурных и исторических эпизодов и реалий, обеспечивает эффективное взаимодействие с представителями иной культуры.

Межкультурная компетенция подразумевает знакомство с обычаями и традициями, мировоззрением, национальным искусством носителей иностранного языка и влияет на понимание другого менталитета, открытость иноязычной культуре, готовность к общению с представителями другой национальности. Она обеспечивает “видение своей культуры через призму другой, образование определенной дистанции между собственной культурой и другой через микродиалог в сознании” [18] и характеризуется новым взглядом на свое существование, свою личность и промежуточным положением между родной и иностранной культурой (рис. 2).

Важность межкультурной компетенции обусловлена ее возможностями в формировании творческих способностей будущих инженеров, что объясняется влиянием общественного сознания и отражаемой в нем культуры языковой общности на индивидуальное сознание и мировоззрение человека, творческой стороной которого являются размышление, анализ, обобщение (К. А. Абульханова-Славская).

Ученые выявили, что развитие творческих способностей обусловлено сферой культуры, в которой реализуется творческая дея-

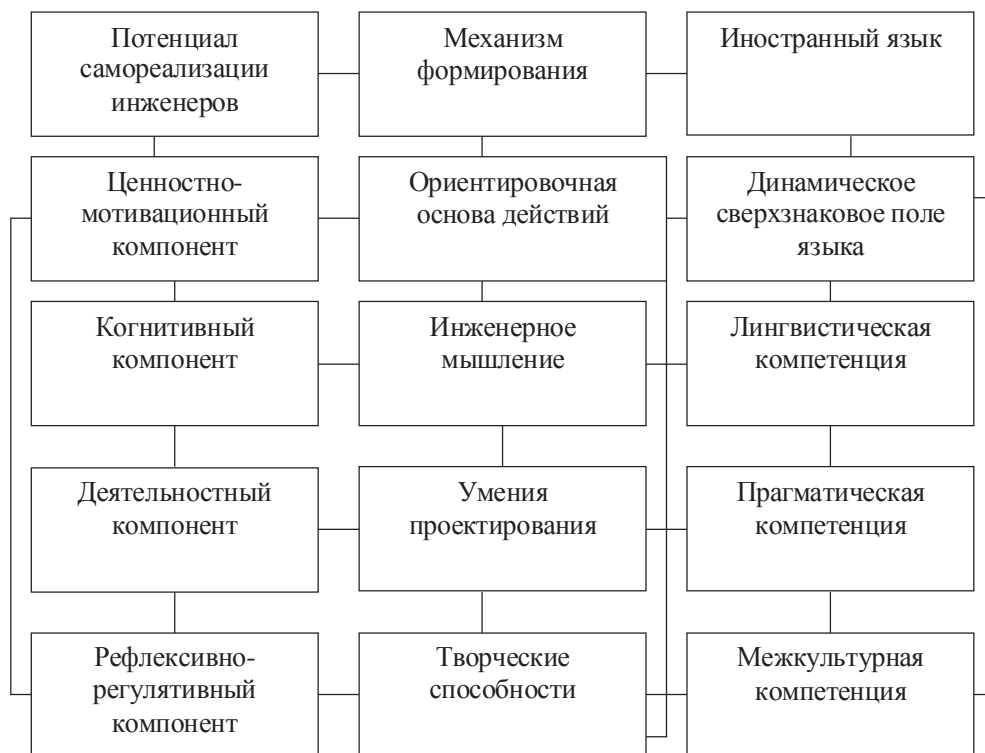


Рис. 2. Влияние иностранного языка на формирование потенциала самореализации будущих инженеров

тельность [19], что в творческом акте преодолевается узость области своего существования [20], что для творчества важна способность выходить в деятельности за пределы заданной ситуации [21]. Межкультурная компетенция позволяет найти больше аспектов видения себя для формирования проблемного отношения к себе, что является проявлением творческих способностей и, следовательно, формирует рефлексивно-регулятивный компонент потенциала самореализации будущих инженеров. Таким образом, обучение коммуникативной компетенции в соответствии с полевым подходом на занятиях иностранного языка в технических вузах позволит сформировать профессиональную направленность, инженерное мышление, умения проектирования и творческие способности, а, следовательно, задачей преподавателей является обеспечение условий для эффективного изучения иностранного языка.

В настоящее время ведется поиск наиболее приемлемых форм и методов обучения иностранному языку в технических вузах. Целесообразно для развития потенциала самореализации будущих инженеров применять формы активного обучения. По сравнению с традиционными они обеспечивают более высокую степень активизации мышления и поведения обучаемых, вовлеченность в процесс обучения и обязательность взаимодействия обучаемых между собой, высокий уровень мотивации, эмоциональности и творчества в обучении; эффективность развития профессиональных навыков и умений. Наиболее продуктивными представляются личностно-ориентированные методы, которые позволяют организовать учебный процесс с учетом особенностей личности обучаемого, его интересов, склонностей и способностей, что соответствует тенденции гуманизации высшего технического образования. Поскольку проектирование является одним из ведущих видов инженерной деятельности, метод проектов позволяет создать профессиональной контекст обучения. Различные этапы выполнения учебных проектов (намерение, планирование, исполнение, суждение) соответствуют этапам инженерного проектирования и компонентам потенциала самореализации

будущих инженеров и, следовательно, способствуют его формированию. Таким образом, метод проектов при обучении иностранному языку в технических вузах является перспективным для формирования потенциала самореализации будущих инженеров.

Список литературы

1. Габдреев Р. В. Методология, теория, психологические резервы инженерной подготовки. – М.: Наука, 2001. – 167 с.
2. Долгушина Т. Н. Развитие иноязычного потенциала студентов технического университета: Дисс. канд. пед. наук. – Магнитогорск. 2003. – 186 с.
3. Чугунова Э. С. Психология инженерного творчества. – Л.: Знание, 1990. – 32 с.
4. Энциклопедия профессионального образования: В 3-х т. /Под ред. С. Я. Батышева. – М.: АПО, 1998. – Т.1. – 568 с.
5. Котенко В. П. Философские проблемы инженерной деятельности // История науки и техники. – 2004. № 4. – С. 63-73.
6. Дубровский Д. И. Проблема духа и тела: возможности решения // Вопросы философии. – 2002. № 10. - С. 92-108.
7. Стёпин В. С., Горохов В. Г., Розов М. А. Философия науки и техники: Учеб. пособие / М.: Гардарика, 1996. – 400 с.
8. Дворецкий С., Пучков Н., Муратова Е. Формирование проектной культуры // Высшее образование в России. - 2003, №4. - С. 15-22.
9. Саморегуляция и прогнозирование социального поведения личности /Под ред. В. А. Ядова. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1979. – 264с.
10. Психология. Учебник для технических вузов / Под общ. ред. В. Н. Дружинина. – СПб.: Питер, 2000. – 608 с.
11. Андреев В. И. Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности. - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1988. – 240 с.
12. Смелзер Н. Социология / Пер. с англ. – М.: Феникс, 1994. – 688 с.
13. Конев В. А. Культура, человек, образование. - Самара, 1999. – 108 с.
14. Фролов И. Т. Введение в философию: Учеб. для вузов: В 2-х ч. / М., 1989, ч.2. – 639с.

15. Глущенко Ю. А. Личностные модели и институт образования в информационном обществе // Инновационное образование в техническом университете: Международная научно-методическая конференция. - Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2004. - С. 136-139.

16. Каменская Л. С. Коммуникативно-ориентированное обучение. Основные характеристики и актуальные проблемы // Коммуникативная ориентированность обучения иностранным языкам в неязыковом вузе. – М.: МГЛУ, 1998. – С. 7-22.

17. Психология. Словарь/ Под общ. ред. А. В. Петровского, М. Г. Ярошевского. – 2-е изд. – М.: Политиздат, 1990. – 494 с.

18. Бердичевский А. Л. Содержание обучения иностранного языка на основе базовой культуры личности // Иностранные языки в школе. 2004. № 2. - С. 17-20.

19. Психология. Словарь/ Под общ. ред. А. В. Петровского, М. Г. Ярошевского. – 2-е изд. – М.: Политиздат, 1990. – 494 с.

20. Маноха И. П. Человек и потенциал его бытия. - Киев: Стимул К, 1995. – 256 с.

21. Научно-технический прогресс и творческий потенциал человека /Л. В. Сохань, В. А. Тихонович, Р. А. Ануфриева и др. Отв. ред. Л. В. Сохань, Р. А. Ануфриева: АН УССР. Ин-т философии. – Киев: Наук. думка, 1988. – 304 с.

POTENTIAL OF FUTURE ENGINEERS' SELF – REALIZATION AS A PEDAGOGICAL PROBLEM

© 2006 O. N. Martynova

Samara State Aerospace University

The paper deals with the topicality, structure and mechanism of forming the potential of future engineers' self – realization.

ОСЦИЛЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ВОЕННО-УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ВУЗА

© 2006 А. И. Матвеев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается решение вопроса организации управления материально-техническим обеспечением военно-учебного центра вуза посредством создания осцилляционной модели и последующего ее использования при имитационном моделировании учебного процесса.

Управление материально-техническим обеспечением (МТО) военно-учебного центра является достаточно сложным процессом, связанным с необходимостью учета нескольких факторов. Военно-учебный центр можно рассматривать как сложную систему, управление которой возможно с использованием административных, технических, методических и информационных ресурсов.

Полностью формализовать учебный процесс достаточно сложно. Связано это с изменениями требований к подготовке студентов, высокой загрузкой и сложностью эксплуатации материально-технического обеспечения, большим количеством альтернативных методик обучения и нехваткой преподавательского состава.

Административное управление, нацеленное на жесткое определение алгоритмов ведения и обеспечения учебного процесса, в данном случае бывает неэффективно. Вместо него представляется целесообразным использование принципов самоорганизации деятельности военно-учебного центра, которая включает в себя учебный процесс и его материально-техническое обеспечение. Такой подход возможен при построении модели материально-технического обеспечения, основанной на использовании знаний об имеющихся в наличии ресурсах и требованиях к получаемым студентами навыкам. Использование такой модели основано на моделировании развития военно-учебного центра с целью определения наиболее эффективного управления.

При этом под управлением понимается не централизованная реорганизация, а тактические и стратегические управляющие воздействия периодического характера, которые

позволяют сохранить стабильность материально-технического обеспечения и избежать хаотических состояний. В данном случае необходимо рассматривать колебательный характер развития военно-учебного центра, выражающийся в осцилляциях оснащенности учебного процесса. Под оснащенностью в данном случае будем понимать отношение количества имеющихся в наличии единиц материально-технического обеспечения к количеству требуемых единиц МТО в соответствии с учебным планом с учетом возможности использования различных альтернативных средств обеспечения учебного процесса (и разной их эффективности).

Действительно, при решении этой задачи нужно учитывать количественное и качественное состояние средств обучения, необходимых для успешного приобретения курсантами теоретических знаний и практических навыков. Следовательно, материально-техническое обеспечение должно находиться как минимум на уровне достаточности, расчетного числа, рекомендованного методическими руководствами. Также следует учесть, что в процессе обучения происходит расход и естественный износ имущества и ресурса учебных средств. Противоположностью этому расходу является работа преподавательского состава, а также структурных подразделений военно-учебного центра, обеспечивающих содержание МТО на уровне достаточности, что приводит к колебаниям оснащенности учебного процесса.

Допустим, что значение оснащенности находится в некотором рекомендуемом интервале и существуют ограничения по минимальной и максимальной оснащенности, превышение которых недопустимо. Введем в рас-

смастриваемой колебательной системе две сдерживающие составляющие, которые противодействуют изменениям оснащенности и сохраняют ее значение в допустимых пределах:

- организационные действия преподавательского состава, нацеленные на восполнение имеющегося в наличии материально-технического обеспечения;

- методическую работу, нацеленную на освоение новых технологий материально-технического обеспечения.

Фактически решение задачи поиска наиболее эффективной организации учебного процесса с точки зрения материально-технического обеспечения заключается в определении оптимальной оснащенности учебного процесса, являющегося результатом баланса указанных видов деятельности.

Работу студентов при этом можно рассматривать как некоторые периодические воздействия, нарушающие это равновесие и компенсирующиеся методической или организационной работой.

Введем следующие обозначения:

- k и k' – жесткость/гибкость компенсирующих воздействий, обусловленных методической и организационной работой преподавателей, направленной на восстановление материально-технической базы соответственно;

- S – оснащенность учебного процесса на военно-учебном центре.

Отметим, что k и k' характеризуют сопротивление действиям учебного процесса, направленным на изменение потребной оснащенности. Фактически эти усилия представимы в виде воздействий, а именно: износа материально-технической базы, расхода ресурса, изменения количества студентов (увеличение, уменьшение, перепрофилирование), освоения новых средств обучения и т. д.

Рассмотрим основные свойства осцилляционной модели. Объем востребованного материально-технического обеспечения характеризует инертность изменения оснащенности. Действительно, более эффективное тактическое планирование возможно в случае большого объема материально-технического обеспечения, что позволяет компенсировать незначительные изменения оснащенности.

Учебный процесс приводит к изменению оснащенности $S(t)$:

- в сторону увеличения, в случае освоения нового материально-технического обеспечения;

- в сторону уменьшения, в случае выхода из строя единиц материально-технического обеспечения.

Рекомендуемый диапазон оснащенности $[S_{min}, S_{max}]$ определяет значения оснащенности, при которых обеспечение учебного процесса происходит эффективно. А именно, материально-техническое обеспечение используется по назначению, с удовлетворением требований по эксплуатации и технике безопасности, с целью обеспечения требуемых навыков студентов в соответствии с учебным планом.

Допустимый диапазон оснащенности $[S_{min}, S_{max}]$ характеризует границы интервала возможных значений оснащенности, пересечение которых приводит к разрушению системы. Например, в случае уменьшения оснащенности ниже допустимого предела проводить занятия по определенной тематике невозможно.

Выход оснащенности за допустимый диапазон приводит к невозможности обеспечения учебного процесса на должном уровне, повышенному износу материально-технического обеспечения.

Изменения оснащенности носят колебательный характер как при увеличении, ввиду инертности освоения средств материально-технического обеспечения в учебном процессе, так и при уменьшении, ввиду распределения нагрузки среди имеющихся средств МТО.

Компенсировать описанные выше изменения оснащенности с учетом их колебательного характера возможно путем совершенствования методической и организационной работы. Таким образом, цель объединения методической и организационной работы в плане материально-технического обеспечения учебного процесса видится в сохранении требуемого уровня оснащенности путем объединения стратегического и тактического управления учебным процессом, более точного планирования использования средств МТО.

Жесткость такого противодействия определяет адаптивность учебного процесса и зависит от объема задействованных средств материально-технического обеспечения. Высокая жесткость свойственна устоявшимся образовательным системам при малом количестве инноваций и невысоких требованиях к материально-техническому обеспечению (в смысле простоты замены вышедших из строя средств обеспечения). Низкая жесткость характерна для инновационных систем, систем в состоянии реформирования учебного процесса, при изменении характера материально-технического обеспечения или его повышенном износе. В этом случае необходимо обеспечить высокую «упругость» методической и организационной работы, которая позволит своевременно и эффективно реагировать на существенные изменения оснащенности учебного процесса.

Очень высокая или низкая адаптивность является недостатком образовательной системы. Особенность военно-учебного центра состоит в необходимости использования высокотехнологичного, сложного в эксплуатации материально-технического обеспечения, поэтому как жесткое, так и слабое сопротивление изменению характера оснащенности является недопустимым.

При высокой жесткости методик обучения и пониженной адаптивности материально-технического обеспечения образовательная система не может реагировать на изменения учебного процесса. При этом возможно обеспечение устойчивости к незначительным воздействиям, однако высокие импульсы оснащенности приводят к катастрофе.

Таким образом, при должном уровне компенсирующего сопротивления изменению состояния материально-технического обеспе-

чения, соответствующего износу и восстановлению материально-технической базы, возможно придание изменению оснащенности характера затухающих колебаний. Изменение методической направленности учебного процесса, износ материально-технического обеспечения приводит к снижению оснащенности, а методическая и организационная работа компенсирует это снижение, обеспечивает колебания оснащенности в допустимой зоне и возвращение ее к рекомендуемым значениям.

При исследовании осциллирующего характера модели управления материально-техническим обеспечением военно-учебного центра следует учитывать разнородность материально-технического обеспечения, а именно: различие типов изучаемого материала, форм его представления и качества восприятия курсантами (наглядность, доступность для восприятия и т. д.)

Отметим, что материальные средства по своей значимости вносят свой различный вклад в процесс получения знаний. Например, при изучении авиационной пушки возможно использование учебно-тренировочных, учебно-разрезных изделий, компьютерных обучающих систем, учебных пособий и т. д. Различное их сочетание позволяет обеспечить навыки курсанта по освоению авиационной пушки с различной эффективностью и, следовательно, требует большего количества занятий для достижения требуемого уровня.

Таким образом, среди оснащенности, необходимой для обеспечения одной совокупности, можно выделить внутренние колебания оснащенности, определяемые использованием альтернативного материально-технического обеспечения.

OSCILLATORY MODEL OF CONTROL OVER MILITARY TRAINING CENTER MATERIAL AND TECHNICAL SUPPLY

© 2006 A. I. Matveev

Samara State Aerospace University

This paper describes the solution for management of University military training center material and technical supply control by means of oscillatory model creation. This model is used during the training process simulation.

КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-МОБИЛЬНОГО СПЕЦИАЛИСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

© 2006 Л. П. Меркулова

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается структура профессиональной мобильности. Предложена компетентностная модель профессионально-мобильного специалиста технического профиля.

Тенденция развития образования в экономически развитых странах направлена на создание систем подготовки конкурентоспособных специалистов, востребованных жизнью. В России в некоторых документах «качество» и «конкурентоспособность» употребляются как синонимы. Методологически такой подход ошибочен, так как конкурентоспособность - интегральный показатель нулевого уровня и определяется четырьмя показателями первого уровня: качеством продукции, ценой, качеством сервиса, затратами потребителя [1].

Таким образом, понятие «качество продукции» является определяющим в структуре понятия «конкурентоспособность». Данное определение относится как к производимой технической или интеллектуальной продукции, так и к качеству подготовки специалистов.

Не отрицая важности других составляющих структуры конкурентоспособности, сосредоточим внимание на главном компоненте – «качестве продукции», понимая в данном случае качество подготовки специалистов.

Качество образования есть адекватность (соответствие) состояния образовательной системы требованиям, предъявляемым к ней со стороны общества, государства, личности. Эти требования (социальные нормы) отражаются в стандартах образования. Иерархия образовательных систем по рангу и ступеням непрерывного образования определяет иерархию требований к качеству образовательных систем и соответствующие этим требованиям социальные нормы качества.

Качество образования связано с качеством «Доктрины образования». В свою оче-

редь, качество «Доктрины образования» обусловлено степенью соответствия (адекватностью) тенденциям развития общества, личности. основополагающее положение «Доктрины образования» - необходимость непрерывного образования личности на протяжении всей жизни как условие ее существования в мире социально-экономической и профессиональной обновляемости.

Однако до настоящего времени не разработана единая научно обоснованная система показателей качества подготовки обучаемых, нет и единой общепринятой и утвержденной системы оценки качества образования.

Важнейшей задачей вузов является совершенствование учебного процесса, направленное на повышение качества профессиональной подготовки специалистов. В докладе ЮНЕСКО, посвященном стратегии изменений и развития в сфере высшего образования, заявлено: «Возрастание роли высшего образования идет параллельно с ростом требований к его качеству» [2].

Сегодня еще распространен взгляд на образование как на способ и процесс передачи знаний, умений и навыков. С позиции такого понимания образования его цели определяются исходя из так или иначе понятого социального заказа, а качество профессионального образования признается высоким, если его результаты соответствуют требованиям, которые в данное время предъявляются практикой. Этот «знаниевый» подход к качеству образования один из самых распространенных.

В последнее время в сфере высшего образования для повышения качества профессиональной подготовки специалистов начи-

нает широко распространяться идея лично-ориентированного подхода, суть которого состоит в том, что образование рассматривается не как способ передачи знаний, умений и навыков, а как способ развития личности, субъекта свободной творческой деятельности, что предполагает отношение человека к собственному развитию как к ценности, а процесс формирования человека как субъекта творческой деятельности составляет главную линию его развития. Данный подход нашел свое развитие в позиции деятельного подхода (В. С. Лазарев), в котором качество профессионального образования оценивается как «...мера соответствия результатов развития личности обучающегося в конце какого-либо возрастного периода возможностям для развития, объективно содержащимся в культуре данного временного лага» [3].

Требования к выпускникам вузов и критерии оценки качества подготовки специалистов должны содержаться в государственных образовательных стандартах (ГОС). Однако если минимальные требования (набор дисциплин и примерное их содержание) в какой-то степени в них сформулированы, то критериев оценки соответствия выпускников этим требованиям нет. В этих условиях система управления качеством образовательных единиц, построенная в соответствии с ISO 9000 и сертифицированная во всем мире, позволит повысить интерес к российским вузам как возможным контрагентам или объектам инвестиций.

Разработка и совершенствование критериев качества образования позволит перейти к управлению качеством подготовки специалистов. Оценка качества системы управления образованием должна проводиться на основе представлений об эталоне качества профессиональной подготовки специалиста.

Для формирования эталона качества обратимся к разрабатываемому в Европе компетентностному подходу, который связан с расширением образовательного пространства за пределы формального образования в параллельные структуры системы непрерывного образования и необходимостью подготовки специалистов для деятельности в проблемных ситуациях [4].

Конкурентоспособность человека на рынке труда во многом зависит от его способности овладевать новыми технологиями, адаптироваться к изменяющимся условиям труда. В ситуации динамичного социально-экономического развития страны анализ запросов учащегося и изменившегося заказа государства позволяет определить направления совершенствования высшего образования. Одним из ответов системы образования на запрос работодателей и является идея компетентностно-ориентированного образования. Компетентность можно представить как комплекс компетенций, то есть наблюдаемых проявлений успешной продуктивной деятельности.

В соответствии с формулировкой ЮНЕСКО образование представляет четыре основные компетенции:

- профессионально-методическую – учиться знать;
- компетентность в плане деятельности – учиться делать, претворять задуманное в жизнь;
- социально-коммуникативную – учиться жить вместе;
- компетентность в плане личности – учиться быть.

Компетентностный подход широко распространен в странах Европы, о чем свидетельствуют требования построения учебных планов и программ общего образования на основе «ключевых компетенций» - познавательных, деловых, информационных и социальных.

Основным результатом деятельности учреждений профессионального образования должна стать не система знаний, умений и навыков самих по себе, а набор ключевых компетенций в интеллектуальной, гражданско-правовой, коммуникационной и информационной сферах, позволяющих использовать усвоенное содержание образовательных стандартов для решения практически-познавательных, ценностно-ориентированных и коммуникативных задач.

В связи с этим значительное внимание уделяется вопросам профессиональной готовности и мобильности специалистов. Профессиональная «готовность» является субъектив-

ным состоянием личности, результатом профессиональной подготовки, качеством личности и выступает регулятором успешности профессиональной деятельности, разнообразием установок. Понятие «мобильность» неразрывно связано с необходимостью выполнения определенного вида деятельности. Поэтому логично говорить о «профессиональной мобильности», способности в рамках определенной профессии оперативно выполнять работу.

В понятии профессиональной мобильности различают объективную, субъективную и характерологическую стороны. С характерологической точки зрения профессиональная мобильность рассматривается как устойчивое свойство личности, подготовленность к перемене вида профессиональной деятельности.

Характерологический (содержательный) компонент профессиональной мобильности следует рассматривать в виде нескольких компонентов – вертикального, горизонтального и внутреннего (мотивационного, центрированного, ускоряющего). Вертикальный компонент может быть представлен в виде набора уровней подготовленности специалиста; горизонтальный компонент – в виде способности специалиста выполнять различные виды работ, требующих примерно одного уровня подготовленности; внутренний компонент отражает мотивационно-целевую сферу специалиста.

Содержание вертикального и горизонтального компонентов профессиональной мобильности представлено в табл.1. Так как понятия «мобильность» и «профессиональная мобильность» отражают способность специалистов оперативно решать возникающие профессиональные задачи, категория «профессиональная мобильность» может рассматриваться как обобщающий, интегративный показатель качества профессиональной подготовки (подготовленности) специалистов.

Готовность (подготовленность) – важнейший компонент профессиональной мобильности, но не единственный, - специалист должен обладать способностью в любых условиях деятельности быстро приспособиться к создавшейся ситуации. Психологической основой приспособления является процесс адаптации, нахождение соответствия между человеком и средой. Следовательно, вторым важным компонентом профессиональной мобильности является адаптивность - способность организма и психики человека изменяться в соответствии с воздействующими на них факторами внешней среды (рис. 1).

Адаптивность, в свою очередь, обусловлена наличием у индивида адаптивно-важных личностных качеств, которые правомерно называть профессионально-важными. Определив и изучив эти качества, можно ставить вопрос о направленном воздействии на них с целью управления процессом подготовки спе-

Таблица 1.
«Знаниевая» модель специалиста технического профиля

Уровень знаний - вертикальный компонент	Объем (количество) знаний - горизонтальный компонент
<ul style="list-style-type: none"> - Знание. - Понимание (умение). - Применение (навыки). - Анализ. - Синтез (творчество, новаторство, реализация). - Оценка. - Развитие. - Видение. - Предвидение. 	<p>Стандарты компетентности - компетенции: разделы; модули знаний, умений, навыков; способности выполнять определенные виды работ</p>

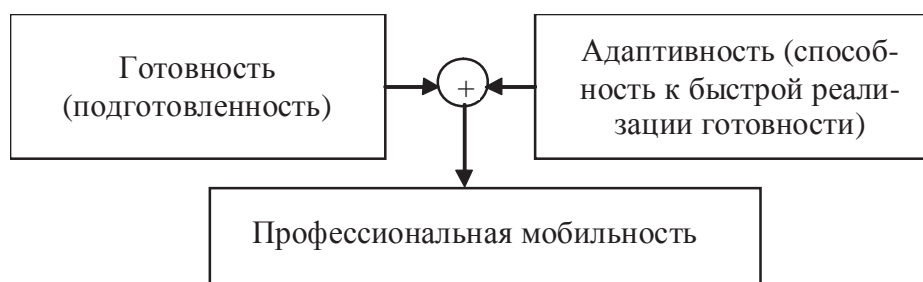


Рис. 1. Компоненты профессиональной мобильности

циалистов. Таким образом, взаимосвязь между компонентами профессиональной мобильности, готовности и адаптированности можно представить в следующем виде (табл. 2).

Предложенная трехкомпонентная модель профессиональной мобильности разработана на основе компетентного подхода к оценке качества специалистов.

Анализ качества любой системы, в том числе и системы подготовки специалиста технического профиля, невозможен без ее модели. По определению модель специалиста - отражение объема и структуры профессиональных и социально-психологических качеств, знаний, умений специалиста, в совокупности представляющих его обобщен-

ную характеристику как члена общества. Н. Ф. Талызина под моделью специалиста понимает «Совокупность финальных целей - перечень задач, которые должен уметь решать специалист по завершении обучения».

Модели позволяют отличать одного специалиста от другого, а также уровни (качества) подготовки специалистов одного и того же типа. Модель выступает системообразующим фактором для отбора содержания образования и форм его реализации в учебном процессе.

С позиций системного подхода, ведущего методологического инструмента педагогических исследований, системообразующим фактором в построении модели специалиста

Таблица 2.

Связь между компонентами готовности, профессиональной мобильности и адаптивности

Готовность (подготовленность)	Профессиональная мобильность	Адаптивность (способность к изменениям)
Горизонтальная (набор компетенций)	Горизонтальная (способность к выполнению различных функций одного уровня сложности)	Функциональным
Вертикальная (уровень компетенций)	Вертикальная (способность к продвижению вверх, выполнению более сложных задач)	Поведенческим (акмеологическим)
Внутренняя (мотивационная, рефлексивная)	Внутренняя (центростремительная, рефлексивная)	Морфологическим (изменение личностных качеств)

должен выступать результат процесса обучения (П. К. Анохин, В. Д. Шадриков и др.), тесно связанный с качеством образования.

Модель специалиста любого профиля служит ориентиром при решении комплекса вопросов по подбору, обучению, расстановке, аттестации кадров, повышению эффективности использования, подготовке и переподготовке специалистов. Основой модели специалиста технического профиля являются квалификационные требования, личностные характеристики и особенности самой профессии.

Структура модели специалиста отражает структуру модели личности в профессиональной деятельности. Раскрывая диалектику конкретного и абстрактного в деятельности специалистов разного уровня и профиля, можно построить общую модель специалиста. Процесс моделирования базируется на компетентном подходе к профессиональной подготовке специалистов технического профиля. Переход к использованию понятия «компетентность» при описании желательного образа (модели, портрета) специалиста с высшим образованием в образовательных стандартах может быть обоснован следующими обстоятельствами [5]:

1. Понятие «компетентность» по отношению к используемым сегодня в образовательных стандартах терминам «знания», «умения», «владение» носит обобщенный, интегральный характер. Компетентностный подход обеспечит формирование обобщенной модели качества, абстрагированной от конкретных дисциплин и объектов труда, что позволит, в свою очередь, говорить о более широко, чем сегодня, возможном поле деятельности специалиста, мобильности специалистов на рынке труда.

2. Модель выпускника вуза, основанная на компетентном подходе, будет иметь значительно меньшее число составляющих ее элементов, чем при ее описании через знания, умения и навыки, что позволит, во-первых, более четко и обоснованно, на междисциплинарной основе выделять крупные блоки (модули) в образовательной программе подготовки специалистов; во-вторых, вести сравнение различных образовательных про-

грамм, что будет способствовать мобильности специалистов.

3. Использование компетентностного подхода для описания результатов образовательного процесса как в европейских государствах, так и в России, позволяет сравнивать дипломы и степени, выдаваемые отечественными и зарубежными вузами.

В модели специалиста технического профиля должны быть отражены компоненты структуры личности и виды деятельности. Структура личности содержит три компонента: индивидуально-психологический, мировоззренческий и социально-психологический. Индивидуально-психологический компонент отражает: психические процессы (ощущения, восприятия, представления, внимание, память, воображение, мышление); свойства (направленность, темперамент, характер, способности); состояния (чувства, эмоции, волю); результаты образования (знания, умения, навыки). Мировоззренческий компонент отражает моральный облик, мировоззрение, нравственный облик. Социально-психологический – отношение к другим людям, социальные роли, социальные позиции, социальные установки. Структура деятельности отражает возможности специалиста в профессиональной, коммуникативной, творческой, теоретической, практической и других видах деятельности.

По мнению В. Д. Шадрикова, обобщенная модель специалиста должна включать [6]: представления о целях деятельности специалиста; представления о тех функциях, к выполнению которых он должен быть подготовлен, о результатах подготовки компетентного специалиста и его индивидуальных качествах, которые должны быть сформированы как профессионально-важные; представления о нормативных условиях, в которых эта деятельность должна протекать; навыки принятия решений, связанных с деятельностью; навыки работы с информацией, обеспечивающей успешность деятельности; представления о личностном смысле деятельности. Существенные различия могут наблюдаться в моделях одного и того же специалиста, отнесенных к разным уровням образования (бакалавр, магистр), что выражается в наборе

параметров специалиста и в критериальных значениях по отдельным параметрам (разные требования к теоретической и практической подготовке). В предлагаемой системной модели выпускник, освоивший образовательную программу бакалавра/магистра, характеризуется: компетенциями социально-личностными; общепрофессиональными; специальными или профессионально-функциональными. Акцент в подготовке специалиста смещается на социально-личностные и общепрофессиональные компетенции, которые служат фундаментом, позволяющим выпускнику гибко ориентироваться на рынке труда и в сфере дополнительного и послевузовского образования. Задачи объектной и предметной подготовки решает блок специальных компетенций.

О. Мельничук, Р. В. Габдреев и др. отмечают, что образовательные модели должны содержать следующие профессионально значимые качества специалистов: быструю и качественную обучаемость; мобильность и способность работать виртуально; высокий уровень образования и умственных способностей; навыки, необходимые для процесса трансформации знаний; стратегическое мышление, целеполагание и целеустремленность; базовые управленческие знания, информированность; умение работать и сотрудничать в коллективе; понимание собственного значения и ценности и способность превращать эти свойства в материальную выгоду.

Специалисты Самарского государственного аэрокосмического университета, анализируя совместно с заинтересованными представителями предприятий требования к «элитным» инженерам, пришли к выводу, что они должны обладать следующими свойствами [7]:

- способностью создавать новые конструкции, новые технологии;
- умением понятно излагать свои технологические решения, доказывать их целесообразность, доводить до реализации;
- умением работать в коллективе и руководить коллективной работой;
- иметь достаточный кругозор и запас знаний не только для синтеза полезных технических решений, но и решений, которые

не противоречат устойчивому развитию общества (не портят окружающую среду, не вызывают необратимых последствий и т. п.);

- иметь высокую общую культуру.

В результате исследования ими выделены и оценены следующие качества «инженеров-лидеров», их важность в различных направлениях подготовки: энциклопедичность знаний; быстрая адаптация к выполняемым обязанностям; профессиональная мобильность; готовность к постоянному самообразованию; исполнительность, точность в работе; самостоятельность; ответственность; инициатива и предприимчивость; склонность к новаторству, творчеству; коммуникабельность; стремление к личному профессиональному росту.

Модель специалиста по конкретной специальности будет отличаться целями, функциями, компетенциями, качествами, знаниями, решающими правилами и критериями достижения цели, информационным обеспечением. Ориентиром для создания модели специалиста технического профиля являются требования современного производства к решению практических задач с учетом постоянно меняющихся условий профессиональной деятельности.

Модель специалиста технического профиля должна носить системный характер, ассимилируя преимущества квалификационной и компетентностной моделей. Реализация системной модели специалиста технического профиля требует выстраивания результатов обучения в двух измерениях: квалификационно-профессиональном и междисциплинарно-компетентностном. Помимо квалификационных требований, детально разработанных в государственных стандартах, модель специалиста должна содержать такие характеристики, как интеллектуальная компетентность, интеллектуальная инициатива, самоорганизация, саморегуляция, самокоррекция. В работе Ж. Делора [2] указывается на готовность к творческой деятельности: наличию способности генерировать новые, нестандартные идеи, имеющие общечеловеческую ценность и не наносящие вреда природе; потребности в творческом образе жизни, обусловленном проблемным типом про-

фессиональных задач.

Специалист технического профиля должен: осуществлять системный анализ проблемной ситуации; выявлять из неопределенной проблемной ситуации задачу и корректно ее формулировать; видеть, точно оценивать противоречия и целенаправленно разрешать их, принимая нестандартные решения; генерировать оригинальные идеи и решения; выдвигать гипотезы; адекватно формулировать «идеальный конечный результат»; искать и взвешивать многовариантные решения творческой задачи или проблемы; сознательно преодолевать собственную инерцию мышления; вести целенаправленный поиск необходимой научно-технической информации по проблеме (Ю. В. Фролов, Д. А. Махотин). Сходство выделенных концепций в модели специалиста отмечается в работах И. А. Зимней, В. Д. Щадрикова, Н. В. Кузьминой, В. С. Лазарева, Ю. Г. Татур и др.

Наиболее сложным и труднопрогнозируемым является личностный компонент модели специалиста. Если в части функциональных и предметно-профессиональных составляющих модели особых расхождений у исследователей нет, то о личностной стороне имеются разнообразные представления. Психологические параметры личности отражают ее мировоззренческие характеристики, направленность, целеустремленность.

При проектировании компетентностной модели специалиста следует выделять горизонтальную и вертикальную составляющие компетенции. По уровню (вертикальная составляющая – глубина знаний) компетенции можно характеризовать согласно ГОСам и моделям специалистов различного уровня подготовки (бакалавры, инженеры, магистры). В моделях бакалавров при описании уровня профессиональной подготовки можно использовать термины «знать» или «уметь». В моделях инженеров – термины «уметь» или «иметь навыки». В моделях магистров – термины «иметь навыки», «анализировать», «синтезировать», «оценивать», «видеть», «предвидеть».

По составу (горизонтальная составляющая – широта знаний) компетенции отражают набор, содержание знаний как узкопро-

фессиональных, так и «ключевых», инвариантных. «Анализ работ исследователей категории «компетентность» показывает, что компетентность определенного вида характеризуют от 5 до 15 выражений, называемых компетенциями. Среди них наиболее часто встречаются те, которые описывают: знание или способность, или умение, или понимание, или навыки, реже - приверженность, ответственность или привычку и др. По мнению Ю. Г. Татур «...ни одно из названных выражений компетентностью в отдельности не является, а лишь представляет ее составную часть (компонент)» [5].

Наиболее наглядно можно сформулировать компетентности в профессиональном компоненте деятельности. Например: «знать современные технологии в конкретных областях деятельности», «уметь проектировать технологические процессы изготовления деталей самолета», «иметь навыки организации личного труда», «видеть возможные трудности при изготовлении какого-либо изделия», «предвидеть возможные параметры изделия». В каждой такой компетенции имеется и «вертикальный», и «горизонтальный» компонент компетентности.

В коммуникативном компоненте структуры компетентности состав конкретной компетентности может выглядеть следующим образом: «знание основ общения в коллективе», «умение выслушивать, анализировать и адекватно реагировать на замечания руководителя», «наличие навыков работы в команде», «предвидение возможных действий конкурентов». И здесь компетенции состоят из двух компонентов.

Показатели личностного компонента компетентности определяются отдельно для эмоционально-волевой сферы (работоспособность, эмоциональная устойчивость, организованность, уверенность в себе, реализм, целеустремленность, самоконтроль, решительность, склонность к риску); для коммуникативной сферы (общительность, активность, оптимизм, независимость, склонность к лидерству, инициативность); для интеллектуальной сферы (обучаемость, комбинаторное мышление, способность к концентрации, распределению или переключению внимания,

хорошая память, способность к творчеству); для сферы этики (верность слову, наличие четких нравственных принципов, патриотизм по отношению к своему предприятию).

В модели специалиста следует выделять компонент, отражающий мотивационно-целевую сферу специалиста, напрямую не связанный с уровнем и количеством знаний. Но чем выше мотивация (внутренняя или внешняя), тем продуктивнее реализуются как вертикальный, так и горизонтальный компоненты компетентностей. Мотивация увеличивает «реактивность» мышления, продуктивность деятельности. Доказано, что наиболее важной является внутренняя мотивация, связанная с личными целями, установками, убеждениями. Показателями положительной мотивации, элементами мотивационной компетентности могут служить интересы, идеалы, убеждения.

Обобщая, можно отметить следующее. Основную группу показателей качества современного специалиста составляют профессионально-важные качества, отражающие основные компоненты структуры модели специалиста – глубину и широту профессиональных знаний.

Вторую группу показателей составляют качества, которые характеризуют специалиста как творческого работника, инноватора, стремящегося к разработке и изготовлению конкурентоспособной продукции.

Третью группу составляют показатели, характеризующие скорость выполнения основной (проектной, конструкторской, технологической) работы и скорость внедрения результатов работы.

Рассматривая в совокупности содержание первых двух групп качеств, можно констатировать, что это профессиональные качества. Третья группа качеств может быть определена как мобильность специалиста.

Разработана укрупненная компетентностная модель профессионально-мобильного специалиста технического профиля (рис. 2). В ней учтены функции специалиста техни-

ческого профиля (проектировочная, конструкторская, организаторская, коммуникативная, гностическая) и требования к специалисту (высокая квалификация, готовность к профессиональной деятельности, интеллектуальный потенциал, творческий подход к делу и высокая мобильность). С учетом функций и требований к специалисту профессионально-важные для его будущей работы компетенции представлены в виде двух групп: инвариантные (базовые), необходимые практически для всех специалистов, и специальные, необходимые для реализации конкретных заданий технического профиля. В какой-то мере это деление условное, так как даже в группе технических специальностей виды выполняемых работ, а, следовательно, и состав требуемых компетенций, имеют широкий спектр. В свою очередь, сформулированные в модели компетенции могут иметь сложную структуру, включающую различные подкомпоненты.

Специальные компетенции сведены в три группы: мотивационно-ценностные, технологические и рефлексивные. Такое деление будет способствовать разработке педагогической модели формирования профессионально-мобильного специалиста.

В составе модели выделен блок личностных характеристик (эмоционально-волевые, коммуникативные, интеллектуальные, этические), развитие которых предполагается наряду с формированием необходимых специалисту компетенций.

Таким образом, в рамках образовательной парадигмы, согласно которой главной целью образования является развитие личности, модель конкурентоспособного специалиста - это модель профессионально-мобильного специалиста, выраженная в компетенциях. Ее структура содержит вертикальный, горизонтальный и внутренний компоненты, структура и содержание которых зависят от вида деятельности. Модель представляет совокупность компетенций во взаимодействии с личностными качествами специалистов.

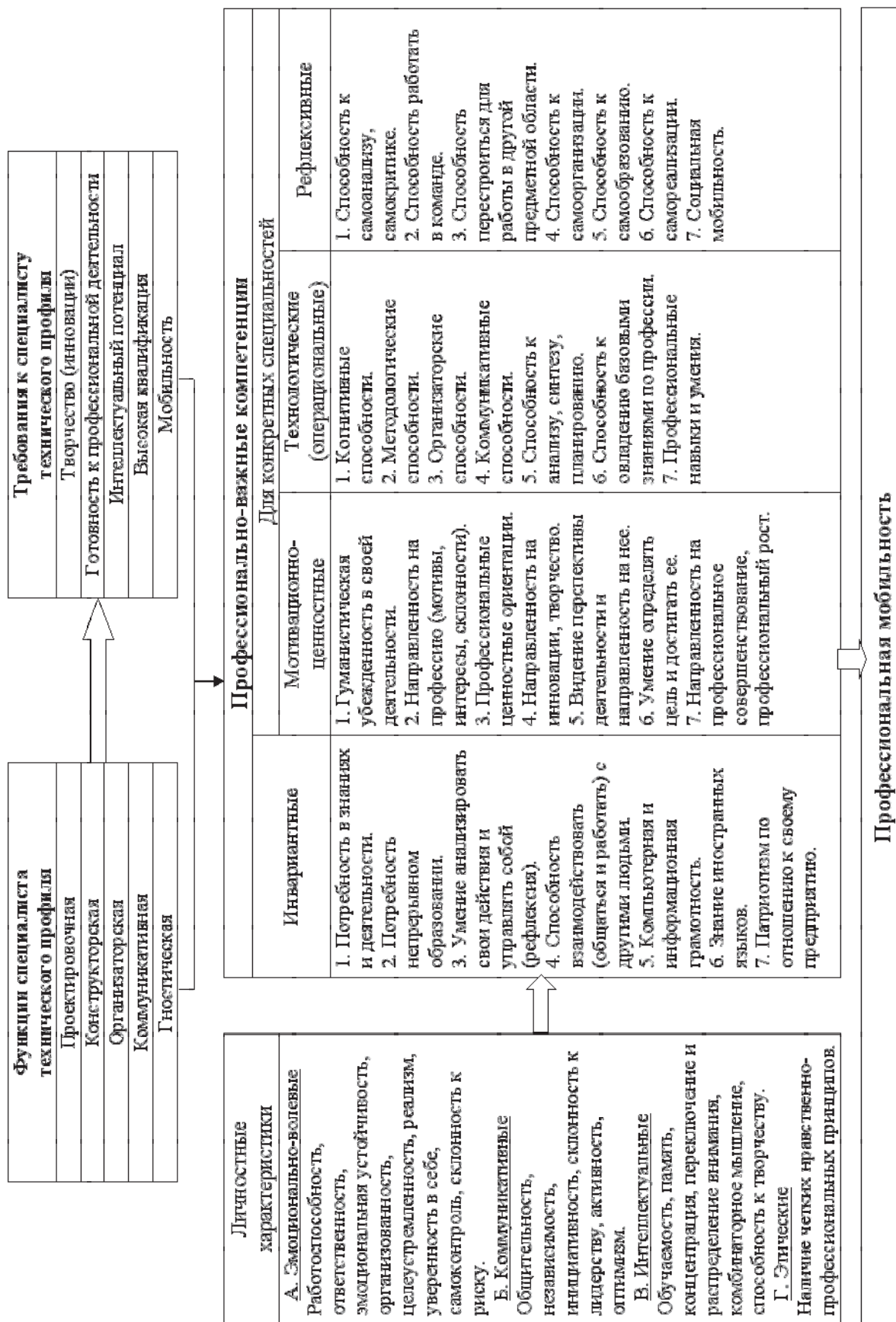


Рис. 2. Компетентностная модель профессионально-мобильного специалиста технического профиля

Список литературы

1. Вдовенко В. Г. Критерии и факторы качества образования // Тезисы докладов научно-методической конференции «Актуальные проблемы развития университетского образования в России». – Самара: СГАУ, 2001.
2. Делор Ж. Образование: сокрытое сокровище. - UNESCO, 1996.
3. Лазарев В. С., Коноплина Н. В. Деятельностный подход к формированию содержания педагогического образования. – М.: Педагогика, № 3, 2000.
4. Байденко В. И., Гришанова Н. А., Пугач В. Ф. Россия в Болонском процессе: проблемы, задачи, перспективы // Журнал В/О сегодня. № 5, 2004. - С.16-21.
5. Татур Ю. Г. Компетентность в структуре качества подготовки специалиста. - МГТУ им. Н.Э. Баумана // Журнал В/О сегодня. № 3, 2004.
6. Шадриков В. Д. Новая модель специалиста: инновационная подготовка и компетентностный подход // В.О. сегодня. № 8, 2004.
7. Гречников Ф. В., Козлов Д. М., Комаров В. А., Шитарев И. Л. Элитная подготовка инженеров в современных условиях / В сб. «Современные научно-методические проблемы высшего образования». – Самара: СГАУ, 2002. – С. 59-69.

**COMPETENCE MODEL OF A PROFESSIONALLY MOBILE SPECIALIST
IN THE AREA OF ENGINEERING**

© 2006 L. P. Merkulova

Samara State Aerospace University

The paper deals with the structure of professional mobility. A competence model of a professionally mobile specialist in the area of engineering is proposed.

УДК 159.9

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

© 2006 В. М. Минияров¹, Е. В. Хитрова²

¹ Самарский государственный педагогический университет

² Международный институт рынка, г. Самара

Представлены результаты эмпирического исследования по изучению результативности педагогической деятельности преподавателя высшей школы. Предоставлен рейтинг преподавателей с разными стилями педагогической деятельности.

В работах, посвященных изучению деятельности, чаще всего встречаются понятия: успешность, эффективность и результативность. Понятие «результативность педагогической деятельности» шире остальных определений, поскольку не всякая деятельность является эффективной и успешной, но любая деятельность результативна.

Перед исследователями возникает вопрос о способах оценки результата деятельности педагога и необходимости выделения объективных критериев оценки.

С одной стороны, педагогическая отметка, являясь количественным измерителем уровня знаний и умений учащихся, претендует на роль объективного критерия оценки результативности педагогической деятельности. С другой стороны, отметка выставляется самим преподавателем, а значит, в ней всегда будет присутствовать значительная доля субъективности. Можно выделить ряд работ, в которых признается, что своеобразие педагогической оценки определяет стиль педагогической деятельности (Н. А. Березовик, А. А. Бодалев, Ю. Б. Гатанов, Л. А. Ершова, Я. Л. Коломинский, А. А. Коротаев, Н. Р. Маслова, С. А. Рябченко, Т. М. Тамбовцева).

Организация исследования по оценке уровня результативности педагогической деятельности проводилась в условиях учебного процесса на базе НОУ ВПО «Международный институт рынка».

В ходе исследования осуществлялась проверка и уточнение гипотез исследования, проводилась корректировка используемых методик сбора и анализа данных.

В исследовании приняли участие студенты нескольких факультетов Международного института рынка, а также преподаватели, проводившие обучение опрошенных студентов. Специфика предмета преподавателей не имела значения, так как это является опосредованным фактором для оценки результативности педагогической деятельности.

На заключительном этапе исследования выполнялись обработка и анализ данных. На основе полученной информации анализировалась правомерность выдвинутых гипотез и степень достижения поставленных задач. Например, в ходе исследования индивидуальных характеристик субъектов образования были выявлены сочетания характеристик, ведущих к достижению конкретного уровня результативности педагогической деятельности.

В ходе исследования проводилось:

1. Анкетирование студентов с использованием методики диагностики характера, диагностики определения индивидуального профиля мышления и опросника мотивации учебной деятельности; диагностика субъективного восприятия результативности педагогической деятельности.

2. Анкетирование преподавательского состава с использованием методики определения профиля стилей преподавания.

3. Прямое и включенное систематическое наблюдение процесса взаимодействия преподавателей и студентов в разных формах обучения с точки зрения соционической теории отношений в обучении.

4. Анализ документов для объективного контроля за успеваемостью студентов.

5. Математическая обработка количественных результатов исследования.

Все использованные методики применялись с единственной целью - описание механизма оценивания результативности педагогической деятельности для практического воплощения этого механизма в деятельности вуза.

По итогам исследования выявлены наиболее часто встречаемые стили педагогической деятельности, используемые педагогами вуза; определены сочетания индивидуальных личностных особенностей субъектов образования, детерминирующие конкретный уровень учебной успеваемости; проведена оценка результативности педагогической деятельности.

Общая оценка уровня результативности деятельности педагога с тем или иным стилем педагогической деятельности включает в себя три составляющих:

1. Уровень учебной успеваемости студентов, обучающихся у преподавателей с конкретным стилем или сочетанием стилей педагогической деятельности.

2. Уровень результативности педагогической деятельности, оцененный самими педагогами.

3. Уровень результативности педагогической деятельности преподавателей с конкретным стилем или сочетанием стилей педагогической деятельности, оцененный студентами, обучающимися у таких преподавателей.

Анализ субъективных критериев оценки проводился по двум направлениям: с одной стороны, исследовалось отношение педагога к собственной деятельности, а с другой стороны, изучалось отношение студентов к педагогической деятельности конкретного педагога. Анализ проводился на основе изучения последовательных этапов педагогической деятельности в рамках ее структуры, предложенной в [1].

Педагогическую деятельность можно разделить на три этапа: подготовительный, процессуальный и анализ результатов, которые последовательно объединяют проективную, организаторскую, коммуникативную и гностическую деятельность педагога.

На подготовительном этапе педагог осу-

ществляет проективную деятельность, которая заключается в определении педагогических целей и задач как для самого педагога, так и для обучаемых. Проективная деятельность связана с отбором, композицией, проектированием учебного материала, созданием планов.

Внешними экспертами, способными оценить результативность проективного этапа в деятельности педагога, выступают как представители вуза, так и студенты. Обучающиеся, испытывая на себе влияние педагога, способны оценить уровень результативности данного этапа педагогической деятельности по таким параметрам, как: осведомленность студентов о содержании программы курса, оценка подготовленности преподавателя к занятиям и его организованности, соответствие объема учебной информации отведенному времени, наличие и обеспечение раздаточным материалом.

Внутренним экспертом при оценке результативности подготовительного этапа может выступить сам педагог, отвечая на вопросы: наличие плана работы, учет особенностей студентов при композиции материала.

Оценивание результативности процессуального этапа целесообразно вести без предварительного разделения деятельности на организаторскую и коммуникативную составляющие. Преподаватель, отвечая на вопрос, обладает ли он способностью сразу отвечать на вопросы учащихся, оценивает одновременно не только часть своей организаторской деятельности, умение быстро ориентироваться в обстановке и гибко менять поведение, но и коммуникативную составляющую, поскольку речь идет об общении.

Организаторская деятельность преподавателя оценивается обучающимися по следующим показателям: изложение учебного материала, умение управлять коллективом, варьировать методы и средства обучения и т. д. Высокая оценка этих показателей студентами свидетельствует и о высокой результативности организаторской деятельности преподавателя.

Субъекты образовательной деятельности, оценивая коммуникативную деятельность педагога, выявляют наличие у него уме-

ния доступно, эмоционально объяснять учебный материал, устанавливать правильные взаимоотношения.

Заключительным этапом в структуре педагогической деятельности выступает анализ ее результатов. О высокой оценке уровня результативности с точки зрения педагога свидетельствует его уверенность в том, что изложенный им материал был усвоен студентами, и в том, что ему всегда удается сформировать устойчивые навыки у учащихся. Низкая результативность проделанной работы выражается в утверждениях, что преподаватель не только не уверен, что материал был усвоен, но и признает, что ему не всегда удастся сформировать устойчивые навыки у учащихся.

Оценка результативности гностической деятельности педагога с точки зрения учащихся может быть произведена по следующим данным: интересовался ли преподаватель мнением студентов о проведенных занятиях, удалось ли ему сформировать устойчивые навыки.

Анализ субъективного восприятия преподавателями собственной деятельности проводился по нескольким основаниям. С одной стороны, оценивался уровень результативности по ответам преподавателей на парные суждения, а с другой стороны, оценивались общие суждения.

Оценки результативности педагогической деятельности с точки зрения преподавателей проводилась по процентному соотношению ответов, характеризующих высокий уровень проделанной работы:

100 – 70 % - высокий уровень результативности;

69 – 40 % - средний уровень результативности;

39 – 0 % - низкий уровень результативности деятельности.

Для повышения объективности данных ряд выбранных суждений был разбит на пары с расчетом на то, что каждое первое суждение из пары перепроверяло второе. Каждое суждение комплектуется двумя и более вариантами ответов. Парные сочетания ответов из двух суждений, во-первых, перепроверяют объективность данных и, во-вторых, позволяют определить уровень результативности данного вида деятельности.

Для наглядности было выделено два признака, характеризующих гностическую деятельность педагога. Возможные сочетания вариантов ответов формируют 4 правила (табл. 1). Правило считается верным, если варианты ответов совпадают по значениям, в противном случае правило неверно.

Правило 1 – верно (высокий уровень результативности деятельности);

Правило 2 – неверно (средний уровень результативности деятельности);

Правило 3 – неверно (средний уровень результативности деятельности);

Правило 4 – верно (низкий уровень результативности деятельности).

Правило 1 характеризует высокий уровень результативности гностического этапа педагогической деятельности, так как оба варианта отмечают высокий уровень проделанной работы. Низкий уровень результатив-

Таблица 1
Сочетание вариантов ответов по парным признакам

Варианты ответов	Суждения	
	Усвоение пройденного материала	Формирование навыков
Правило 1	Я всегда уверен, что материал усвоен	Мне всегда удастся сформировать устойчивые навыки у учащихся
Правило 2	Я всегда уверен, что материал усвоен	Мне не всегда удастся сформировать устойчивые навыки у учащихся
Правило 3	Я не всегда уверен, что материал усвоен	Мне всегда удастся сформировать устойчивые навыки у учащихся
Правило 4	Я не всегда уверен, что материал усвоен	Мне не всегда удастся сформировать устойчивые навыки у учащихся

ности выражает правило 4, поскольку оба ответа указывают на низкий результат деятельности преподавателя. Два оставшихся правила считаются характеристиками среднего уровня результативности, поскольку только один ответ указывает на высокий уровень проделанной работы.

Подобным образом был проведен анализ у всех пар суждений. Оценка субъективного компонента результативности педагогической деятельности рассматривалась по группам преподавателей в зависимости от стилей педагогической деятельности [2].

Проанализировав ответы преподавателей, можно сделать выводы об уровне результативности педагогической деятельности. В первую очередь необходимо отметить преподавателей с такими стилями деятельности, которые уверены в высоком уровне результативности собственной работы.

По мнению педагогов, использующих в своей работе эмоционально-рассуждающий стиль педагогической деятельности, уровень результативности их деятельности соответствует высокой оценке. По всем 10 показателям (6 парных суждений и 4 непарных суждения) преподаватели с таким стилем деятельности продемонстрировали свою уверенность в высоком результате проделанной работы.

Высокая результативность педагогической деятельности также характерна для педагогов с импровизационно-рассуждающим стилем педагогической деятельности, 80 % ответов которых подтверждают высокий уровень.

К высокому уровню результативности педагогической деятельности также относятся преподаватели с сочетанием эмоционально-рассуждающего и импровизационно-рассуждающего стилей. По уровню результативности все десять показателей были оценены как высокие, хотя по некоторым параметрам выделялись и средние оценки.

Большинство из опрошенных преподавателей, использующих выделенные нами стили и сочетания стилей педагогической деятельности, полагают, что уровень результативности их деятельности можно оценить в промежутке между высоким и средним. На-

пример, преподаватели, использующие сочетание эмоционально-методического и импровизационно-методического стилей педагогической деятельности, практически в равной степени оценили уровень результативности своей деятельности и как высокий, и как средний.

Оставшиеся стили педагогической деятельности, эмоционально-методический и рассуждающе-методический, скорее относятся к среднему уровню результативности. Преподаватели, использующие данные стили, оценивают свою деятельность в промежутке между высоким и средним уровнем результативности. Однако были выделены суждения, по которым преподаватели оценили уровень результативности своей деятельности как низкий. В частности, уровень усвоения пройденного материала студентами был оценен как низкий, хотя данная переменная напрямую указывает на результативность педагогической деятельности.

Изучение субъективного восприятия результативности педагогической деятельности, по мнению обучающихся, проводилось также при помощи последовательной оценки всех этапов педагогической деятельности с точки зрения учащихся. Студенты давали ответы на четыре группы суждений, состоящих из пяти вопросов. Каждая группа суждений была посвящена анализу определенного вида деятельности в рамках структуры педагогической деятельности.

Отвечая на вопросы анкеты, студенты неосознанно указывали на уровень результативности того или иного этапа педагогической деятельности. По нашему мнению, только полное согласие с суждением в отношении деятельности педагога указывает на то, что учащийся оценивает данный вид деятельности как высокорезультативный. Если присутствует сомнение в выборе положительного или отрицательного ответа, то речь идет о средней оценке результативности данного этапа педагогической деятельности. Если учащийся затруднялся в ответе, варианты ответов не учитывались при обработке данных, поскольку нельзя гарантировать, в какую именно сторону склоняется респондент при оценке уровня результативности педагогической деятельности.

Деятельность большинства преподавателей (по мнению студентов) была признана высокорезультативной. Высокие оценки получили (по убывающей):

1. Педагоги, использующие в своей деятельности сочетание эмоционально-методического и импровизационно-методического стилей.

2. Педагоги с эмоционально-рассуждающим стилем педагогической деятельности.

3. Педагоги с эмоционально-методическим стилем педагогической деятельности.

4. Педагоги, использующие в своей деятельности сочетание импровизационно-рассуждающего и эмоционально-рассуждающего стилей.

5. Педагоги с импровизационно-рассуждающим стилем педагогической деятельности.

Средняя результативность педагогической деятельности, по мнению респондентов, характерна только для преподавателей с рассуждающе-методическим стилем педагогической деятельности.

На основе объединения всех критериев оценки, а именно: показателей учебной успеваемости, восприятия результативности педагогической деятельности преподавателями и студентами – был составлен итоговый рейтинг стилей и сочетаний стилей по уровню результативности педагогической деятельности. По разным показателям преподаватели получали разные оценки, поэтому можно отметить разницу в оценках на разных уровнях.

Необходимо отметить также тот факт, что количественное преобладание педагогов с теми или иными стилями педагогической деятельности не обуславливает качественных показателей. Педагоги, использующие в своей работе эмоционально-рассуждающий стиль педагогической деятельности, составляют значительную часть от всех исследуемых преподавателей, однако по общему рейтингу уровня результативности они занимают лишь четвертое место. В то же время преподаватели с сочетанием эмоционально-методического и импровизационно-методического стилей количественно представлены незначительно, однако занимают вторую пози-

цию в рейтинге по уровню результативности педагогической деятельности.

Рейтинг по уровню результативности педагогической деятельности выглядит следующим образом:

1. Педагоги с импровизационно-рассуждающим стилем педагогической деятельности (высокая результативность).

2. Педагоги, использующие в своей деятельности сочетание эмоционально-методического и импровизационно-методического стилей (высокая результативность).

3. Педагоги с эмоционально-методическим стилем педагогической деятельности (высокая результативность).

4. Педагоги с эмоционально-рассуждающим стилем педагогической деятельности (высокая результативность).

5. Педагоги, использующие в своей деятельности сочетание импровизационно-рассуждающего и эмоционально-рассуждающего стиля (высокая результативность).

6. Педагоги с рассуждающе-методическим стилем педагогической деятельности (средняя результативность).

Предложенные методики позволяют определить общий уровень результативности педагогической деятельности преподавателей с разными стилями или сочетаниями стилей и выявляют низкорезультативные этапы педагогической деятельности, нуждающиеся в коррекции.

По итогам исследования были разработаны методические рекомендации для преподавателей, использующих разные стили и сочетания стилей педагогической деятельности. Использование этих документов позволит педагогам улучшить реализацию своей профессиональной деятельности, поскольку в них предложен подробный анализ и варианты корректировки низкорезультативных этапов педагогической деятельности.

Список литературы

1. Минияров В. М. Педагогическая психология. Ч. II. Психология обучения. / Учебно-методическое пособие. – Самара: Изд-во СГПУ, 2004.

2. Маркова А. К. Психология труда учителя. - М.: Просвещение, 1993.

**COMPLEX ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A HIGHER SCHOOL
TEACHER'S PEDAGOGICAL ACTIVITY**

© 2006 V. M. Miniyarov¹, Ye. V. Khitrova²

¹Samara State Pedagogical University

²International Market Institute, Samara

The paper presents the results of empirical studies analyzing the efficiency of a higher school teacher's pedagogical activity. Rating of teachers using different styles of pedagogical activity is given.

УДК 536.202

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ГРАЖДАНСКИХ СЛУЖАЩИХ

© 2006 С. А. Петрова

Международный институт рынка, г. Самара

Анализируются подходы к определению понятия «образовательный процесс» и разработке модели системы повышения квалификации гражданских служащих, определены ее основные компоненты. В качестве системообразующего избран программно-методический компонент, разработка которого осуществлена с учетом выделенных педагогических условий.

Современными исследователями образовательный процесс в целом определяется как целенаправленное, содержательно-насыщенное и организационно-оформленное взаимодействие педагогической деятельности и само изменение обучающегося в результате активной жизнедеятельности при ведущей и направляющей роли педагогов [1]. Однако единого подхода в определении данного понятия не сформировано, а существуют определения: воспитательный процесс, педагогический процесс и др. Например, И. Ф. Харламов пишет о воспитательном процессе, который включает в себя, с одной стороны, обучение, а с другой - формирование разнообразных социальных и духовных отношений; рассматривает общие закономерности и принципы воспитания [2].

В [3] используется понятие «педагогический процесс», синонимом которого является учебно-воспитательный процесс - «совокупность учебных занятий, внеклассной и внешкольной воспитательной работы, проводимых педагогическим и ученическим коллективами по единому плану». В данном определении понятие сводится к выделению форм деятельности педагогического и ученического коллективов.

Т. А. Стефановская рассматривает обучение и воспитание как составляющие целостного педагогического процесса [4].

Анализ источников позволяет утверждать, что исторически впервые понятие «педагогический процесс» в профессиональную педагогику было введено П. Ф. Каптеревым на рубеже XIX-XX вв., понимавшим под педагогическим процессом «всестороннее усо-

вершенствование личности на почве ее органического саморазвития, в меру ее сил, соотносительно социальному идеалу» [5]. Там же он указывал: «Педагогический процесс есть процесс сложный, в нем много различных элементов, оказывающих неодинаковое влияние на развитие личности».

В настоящее время В. П. Симонов, определяя понятие образовательного процесса, отмечает присущую ему сложность организации: «Образовательный процесс - это целостная динамическая система. Управление им также требует системного подхода. Для этого необходим глубокий теоретический анализ сущности образовательного процесса как системы, закономерностей его функционирования и развития, а также сущности и закономерностей педагогического менеджмента в целом» [6]. Там же образовательный процесс он рассматривает как централизованную систему, которая характеризуется тем, что один элемент или одна подсистема играет главную или доминирующую роль в функционировании всей системы: «Эту часть можно назвать ведущей частью системы, или ее центром. В социальной, а значит и в педагогической системе эту роль выполняет коммуникативный элемент».

В рамках законодательства, в частности, закона РФ «Об образовании», понятие образовательный процесс понимается как образование в интересах личности, общества и государства, направленное на развитие индивида, талантов, умственных и физических способностей. Таким образом, допустимо признание того, что понятия «образовательный процесс» и «педагогический процесс» не яв-

ляются новыми для современной педагогики и зачастую употребляются как синонимы.

Понимая образовательный процесс как единство обучения, воспитания, самообразования, Г. Н. Сериков отождествляет процесс повышения квалификации с сущностью образовательного процесса [7]. Модифицируя данное толкование образовательного процесса, считаем, что под процессом повышения квалификации гражданских служащих можно понимать продвижение гражданских служащих к образованности, осуществляемое во взаимодействии с другими обучающимися либо самостоятельно при помощи специально разработанных средств образования и при наличии определенным образом организованных условий.

При определении структуры процесса повышения квалификации должны учитываться общие положения, содержащиеся в законе РФ “Об образовании” и Федеральном законе “О высшем и послевузовском профессиональном образовании”: организация образовательного процесса в образовательном учреждении регламентируется учебным планом (разбивкой содержания образовательной программы по учебным курсам, по дисциплинам и по годам обучения); годовым календарным учебным графиком и расписанием занятий, разрабатываемыми и утверждаемыми образовательным учреждением самостоятельно на основе базисных учебных планов и примерных программ курсов и дисциплин; образовательное учреждение самостоятельно в выборе системы оценок, формы, порядка и периодичности промежуточной аттестации обучающихся; освоение образовательных программ основного общего, среднего (полного) общего и всех видов профессионального образования завершается обязательной итоговой аттестацией выпускников [8].

Необходимо учитывать и особенности процесса повышения квалификации, к которым относится обеспечение преемственности с базовым образованием слушателей; с другими учреждениями профессионального образования; между ступенями образования в системе повышения квалификации.

В соответствии с Законом РФ “Об образовании” перед образовательным учрежде-

нием, осуществляющим повышение квалификации гражданских служащих, стоит задача организации образовательного процесса с целью создания условий для самовыражения, самоопределения, саморазвития личности слушателей; формирования системы отношений к себе, обществу, общечеловеческим ценностям [8]. При определении структуры процесса повышения квалификации необходимо принимать во внимание ряд факторов: регулирование образовательного процесса; использование нетрадиционных методов и форм интенсификации обучения, средств компьютерной техники и новейших информационных технологий для контроля условий знаний и уровня развития личностного потенциала; обеспечение эффективности за счет выбора того или иного варианта технологического процесса обучения на основе предварительной оценки и сопоставления ожидаемых результатов и затрат; ориентацию технологических модулей как на личность конкретного человека, так и на взаимодействие в ходе обучения групп и лиц с учетом их индивидуальных особенностей; сочетание индивидуального и группового обучения; современность и конкретность обучения, ориентация обучения на достижение конкретных практических целей; комплексность, т. е. охват всех параметров личности обучаемого для достижения цели обучения.

Моделирование процесса обучения, ориентированного на мотивацию слушателей к самообразованию, определяется как:

- метод исследования объектов на их моделях - аналогах определенного фрагмента природной или социальной реальности;
- построение и изучение моделей реально существующих предметов и явлений и конструируемых объектов;
- теоретический метод исследования процессов и состояний при помощи их реальных (физических) или идеальных, прежде всего математических, моделей;
- метод опосредованного практического или теоретического оперирования объектом, при котором исследуется непосредственно не сам объект, а вспомогательная естественная или искусственная система (квази-объект), находящаяся в определенном объек-

тивном соответствии с познаваемым объектом, способная замещать его на определенных этапах познания и дающая при его исследовании в конечном счете информацию о самом моделируемом объекте;

- замещение изучаемого объекта другим, специально для этого созданным;

- информационное представление различных характеристик поведения физической или абстрактной системы с помощью другой системы;

- воспроизведение экономических объектов и процессов в ограниченных, малых, экспериментальных формах в искусственно созданных условиях и описание экономических процессов математическими зависимостями [9].

Моделирование будем использовать как метод для разработки системы повышения квалификации гражданских служащих.

Разработку модели системы повышения квалификации осуществим в три этапа.

Первый этап - анализ существующих систем образования. Основным результатом данного этапа является вычленение системы повышения квалификации из общей образовательной среды и определение ее особенностей.

Второй этап - компоновка модели. Он состоит в формулировке концептуальных положений, в соответствии с которыми выделяются основные компоненты, отражается единство и целостность системы повышения квалификации, определяются связи между компонентами.

Третий этап - выделение и рассмотрение системообразующего компонента модели, проверка соответствия модели и реальной системы.

Результатом разработки является модель, состоящая из следующих компонентов: целевой; деятельностный; программно-методический, контрольно-корректировочный, результативный.

Целевой компонент признается как один из определяющих компонентов образовательного процесса, “как идеальное, мысленное предвосхищение результатов деятельности, конкретизируемое в определенных исторических условиях” [4]. Целевой компо-

нент определяет содержание и методы реализации образовательного процесса.

Вторым важным компонентом модели является деятельностный компонент - виды учебной деятельности слушателей, учитывающие особенности их профессиональной деятельности.

Отметим, что термин «программно-методическое обеспечение» в педагогической литературе отсутствует. Поэтому для определения этого понятия обратимся к толковому словарю русского языка: «Программа - краткое изложение содержания учебного предмета», «методика – совокупность методов обучения чему-нибудь, практического выполнения чего-либо», «обеспечение – снабдить чем-нибудь в нужном количестве» [10].

На основании анализа значений слов “программа”, “методика” и “обеспечение” будем понимать под термином “программно-методическое обеспечение” (программно-методический компонент процесса повышения квалификации) содержание учебного предмета и совокупность методов и форм обучения, обеспечивающих повышение квалификации.

Контрольно-корректировочный компонент представляет собой диагностику динамики повышения профессионального развития слушателей и внесения корректив в процесс повышения их квалификации.

Результативный компонент необходим для определения достигнутого слушателями уровня квалификации.

Анализ модели и наблюдения за слушателями в процессе повышения квалификации позволяют сделать вывод о приоритетности программно-методического компонента, при разработке которого необходимо учитывать ряд условий.

Под педагогическими условиями понимают совокупность объективных возможностей содержания, форм, методов и материально-пространственной среды, направленных на решение поставленных в педагогике задач [11].

Под комплексом педагогических условий решения той или иной проблемы образования необходимо понимать совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных

обстоятельств процесса образования, являющихся результатом целенаправленного отбора, конструирования и применения элементов содержания, методов или приемов, а также организационных форм образования для достижения определенных дидактических целей [12].

К основаниям выделения педагогических условий, определяющих повышение квалификации гражданских служащих, отнесем следующие влияния:

- образовательной системы, в которой осуществляется повышение квалификации;
- окружающих подсистем: системы управления, системы научной работы, системы воспитательной работы и др.;
- субъектов и объектов процесса повышения квалификации: личностных качеств слушателя, особенностей преподавателей и слушателей и др.;
- особенностей процесса повышения квалификации: государственного заказа на образовательные услуги, сроков, направленности, стабильности процесса, а также темпа, направленности, изменений образовательного пространства.

Анализ педагогических исследований по проблемам функционирования, развития и управления различными образовательными системами путем их сравнения позволяет уточнить комплекс педагогических условий программно-методического компонента.

Т. Н. Третьякова, рассматривая проблему организации деятельности нетрадиционного факультета вуза, считает, что его деятельность будет эффективной при выполнении следующего комплекса условий: организация всей работы на основе концептуального подхода, сердцевиной которого является системно-управленческий подход; содержание организационной работы факультета на основе государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования с учетом региональных и национальных особенностей; подчинение учебного плана подготовке специалистов широкого профиля; подбор преподавателей на основе деловых качеств, профессиональной направленности и ценностных ориентаций, готовности к управленческой инновационной деятельности [13].

П. И. Третьяков и И. Б. Сенновский, рассматривая условия эффективности модульного подхода к организации образовательной системы, отмечают, что “основополагающим условием развивающей и развивающейся школы является выполнение руководителями и учителями основной функции - быть стимулирующим началом в развитии личности каждого ученика. Их целевая установка - обеспечение мотивированного управления образованием” [14]. Основные условия, способствующие переводу образовательного учреждения из режима функционирования в режим развития, по их мнению, состоят в следующем: наличие концепции и программы развития образовательного учреждения; моделирование образовательного процесса как системы, способствующей саморазвитию личности; разумное сочетание инновационной экспериментальной и опытной работы; наличие сплоченного по общности цели педагогического коллектива и коллектива обучающихся; организация оптимальной системы самоуправления; система эффективной научно-методической деятельности; наличие достаточной учебно-материальной базы для формирования оптимальной образовательной среды; набор альтернативных образовательных услуг в соответствии с потребностями участников учебно-воспитательного процесса [14].

Решая проблему управления развитием профессионального образовательного учреждения в педагогическом аспекте, Г. С. Костыко выделяет следующие условия управления его развитием: изменение ценностных ориентаций - переход к управлению на основе принципа личностной ориентации в профессиональном образовании; изменение критериев управляемости - переход к управлению на основе принципа стандартизации; изменение способов управления - переход к управлению на основе принципа технологизации управления; стимулирование образовательных инициатив - переход к управлению на основе принципа инноваций в управлении; интеграции разноуровневых профессиональных образовательных программ [15].

Данная система условий представляется наиболее полной, однако приведенные

примеры условий имеют определенные недостатки. Во-первых, все условия сводятся к условиям организации образования и не касаются содержания программно-методического компонента этого процесса. Во-вторых, они носят преимущественно технологический характер. В-третьих, вариативность учебных процессов не сводится только к разноразностной профессиональной подготовке, а предполагает еще и дополнительное профессиональное образование.

Таким образом, анализ литературы по проблеме определения условий эффективного управления образовательными системами (процессом повышения квалификации) показывает разнообразие подходов и позволяет выделить комплекс ведущих условий, определяющих содержание программно-методического компонента.

Необходимым условием процесса повышения квалификации в современном образовательном пространстве является придание содержанию программно-методического компонента вариативного характера, большего разнообразия, обеспечивающего разностороннее развитие, расширение спектра и повышение качества реализуемых образовательных услуг. Именно такое вариативное содержание программно-методического компонента сможет обеспечить повышение квалификации гражданских служащих с учетом их индивидуальности, личностных образовательных запросов.

Разработка программно-методического компонента системы повышения квалификации с учетом принятых педагогических условий включает три этапа.

На первом этапе проводится градация разрабатываемых материалов с учетом определенных уровней реализации повышения квалификации:

- 1) научный уровень определяется концепцией с учетом целевого компонента;
- 2) нормативный уровень представлен учебными планами и образовательными программами по различным дисциплинам;
- 3) методический уровень представлен методическими рекомендациями и технологиями, а также средствами диагностики системы повышения квалификации;

4) эмпирический уровень представлен банками информации и образовательным мониторингом.

Второй этап представляет комплекс мероприятий по разработке содержания программно-методического компонента и его внедрения в систему повышения квалификации.

На третьем этапе осуществляется корректировка и адаптация содержания повышения квалификации потребностям практики.

Таким образом, сформирована модель системы повышения квалификации гражданских служащих, включающая следующие компоненты: целевой; деятельностный; программно-методический; контрольно-корректировочный; результативный. В качестве системообразующего компонента данной системы определен программно-методический компонент.

Список литературы

1. Российская педагогическая энциклопедия: В 2 т. - М.: Большая Российская энциклопедия, 1993.
2. Харламов И. Ф. Педагогика. – М.: Юрист, 1997.
3. Педагогика // Под. ред. Бабанского Ю.К. - М.: Просвещение, 1988.
4. Стефановская Т. А. Педагогика: наука и искусство. - М.: Совершенство, 1998.
5. Каптерев П. Ф. Избр. пед. соч. - М.: Педагогика, 1982.
6. Симонов В. П. Педагогический менеджмент. - М.: Роспедагентство, 1995.
7. Сериков Г. Н. Образование: аспекты системного отражения. - Курган: Изд-во "Зауралье", 1997.
8. Федеральный закон от 10.07.1992 № 3266-1 "Об образовании".
9. Климова Т. Е. Развитие научно-исследовательской культуры учителя: Автореф. докт. пед. наук. - Оренбург, 2001.
10. Ожегов С. И. и Шведов Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений // Российская академия наук. Институт русского языка им. В.В. Виноградова. 4-е изд., дополненное. – М.: Азбуковник, 1999.

11. Андреев В. И. Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности. - Казань: КГУ, 1996.

12. Андреев В. И. Эвристика для творческого саморазвития. – Казань: КГПУ, 1994.

13. Третьякова Т. Н. Организационно-педагогические условия инновационной деятельности факультета. Дис. докт. пед. наук. - Челябинск, 2001.

14. Третьяков П. И., Сенновский И. Б. Технология модульного обучения в школе: Практико-ориентированная монография. - М.: Новая школа, 1997.

15. Костыко Г. С. Управление развитием профессионального лица: педагогический аспект. Автореф. дис. канд. пед. наук.- Курган, 1997.

MODEL OF A SYSTEM OF UPGRADING CIVIL EMPLOYEES' SKILLS

© 2006 S. A. Petrova

International Market Institute, Samara

The paper analyses approaches to defining the notion of “educational process” and to developing a model of a system of upgrading civil employees’, its main components are defined. Programme – methodical component is chosen as the one that forms the system, it is developed with regard to the pedagogical conditions singled out.

УДК 536.202

УПРАВЛЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

© 2006 В. М. Рамзаев

Международный институт рынка, г. Самара

Предложена экономико-математическая модель управления конкурентоспособностью некоммерческих организаций. В качестве важнейших факторов избраны имидж, соотношение цена-качество и трудоустройство выпускников. Управление имиджем рассматривается на примере рынка образовательных услуг.

Некоммерческая организация (НКО), выполняя миссию социального института, в то же время представляет собой субъект рыночной экономики, важнейшим ориентиром деятельности которой является конкурентоспособность. Именно конкурентоспособность является тем средством, которое позволяет ей функционировать на рынке платных услуг. Конкуренция в некоммерческом секторе, так же как и в коммерческом, представляет собой форму взаимного соперничества субъектов маркетинговой системы за рынки сбыта своей продукции.

Предлагается экономико-математическая модель управления конкурентоспособностью НКО, показывающая взаимосвязь определяющих факторов и образующих их элементов. Целесообразным является выделение внешних и внутренних факторов, каждый из которых имеет свою значимость ξ . К внешним факторам относятся: уровень государственного регулирования (или отрасли функционирования), уровень налаженного взаимодействия НКО и органов государственной власти, социальная значимость услуг, занимаемая доля рынка. К внутренним факторам относятся: объем предоставляемых услуг и соотношение цена-качество, внутренняя эффективность процесса производства услуг, занимаемая доля рынка, имидж, активы, трудоустройство выпускников (применительно к образовательным учреждениям), инновационная активность и мобильность, эффективность фандрайзинга, уровень рекламно-маркетинговых коммуникаций.

Приняв конкурентоспособность в качестве основной цели деятельности НКО и вы-

делив наиболее значимые влияющие на нее факторы, воспользуемся методами экономико-математического моделирования, которые позволят максимизировать целевую функцию (в нашем случае - конкурентоспособность) с учетом имеющихся ограничений.

В формализованном виде целевую функцию деятельности НКО можно представить следующим образом:

$$KS = f(\xi_V V(P, \alpha), \xi_L L, \xi_Z Z, \xi_G G, \xi_\Psi \Psi, \xi_\Omega \Omega, \xi_U U, \xi_A A, \xi_T T, \xi_I I, \xi_F F, \xi_Q Q) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где KS - конкурентоспособность; $V(P, \alpha)$ - объем предоставляемых услуг в соответствии с соотношением цена-качество; P - цена услуги; α - уровень качества услуги; L - уровень налаженного взаимодействия с органами государственной власти; Z - социальная значимость; G - параметр государственного регулирования; Ψ - критерий внутренней эффективности; Ω - рыночная доля и темп ее прироста; U - имидж; A - активы; T - трудоустройство выпускников (применительно к образовательным учреждениям); I - инновационная активность и мобильность; F - эффективность фандрайзинга; Q - рекламно – маркетинговые коммуникации; ξ - коэффициент значимости соответствующих факторов конкурентоспособности.

Рассмотрим каждую из переменных, представленных в целевой функции.

В формализованном виде объем предоставляемых платных услуг в соотношении

цена-качество можно представить следующим образом:

$$V = \sum_{i=1}^n \alpha_v^i P_v^i K_v^i, \quad (2)$$

где n – количество видов услуг; α_v^i – коэффициент, определяемый соотношением цена-качество услуги i -го вида; P_v^i – цена услуги i -го вида; K_v^i – количество потребителей, воспользовавшихся услугой i -го вида.

В (2) переменной величиной является K_v^i , которая ограничивается спросом, существующим в обществе на соответствующую услугу:

$$\sum_{i=1}^n K_v^i \leq \sum_{i=1}^n D_i, \quad (3)$$

где D_i – спрос в обществе на услугу i -го вида.

В качестве граничного условия определим, что количество потребителей, воспользовавшихся услугой, не может быть отрицательной величиной:

$$K_v^i \geq 0. \quad (4)$$

Фактор влияния социальной значимости на конкурентоспособность НКО можно представить следующим образом:

$$Z = \sum_{i=1}^n \Delta D_i * S_{o_i}, \quad (5)$$

где n – количество предоставляемых видов услуг; ΔD_i – размер неудовлетворенного спроса со стороны общества на услугу i -го вида; S_{o_i} – соответствие услуги i -го вида ожиданиям потребителя.

Параметр государственного регулирования имеет вид:

$$G = \sum_{i=1}^h N_i + \sum_{i=1}^b P_i + \sum_{i=1}^v W_i, \quad (6)$$

где N_i – налоговое регулирование i -го вида; P_i – иные предпочтения i -го вида со стороны государства; W_i – выполнение требований i -го вида, предъявляемых государством.

В формализованном виде фактор влияния критерия внутренней эффективности на

конкурентоспособность НКО можно представить следующим образом:

$$\Psi = \frac{R + Fo}{C_1 + Ko}, \quad (7)$$

где R – рентабельность деятельности НКО; Fo – фондоотдача; C_1 – издержки на единицу поступлений; Ko – коэффициент оборачиваемости оборотных средств.

Размер рыночной доли и темп ее прироста определим как

$$\Omega = Dr + Tp, \quad (8)$$

где Dr – доля рынка, занимаемая НКО; Tp – темп прироста рыночной доли.

Имидж НКО представим в виде

$$U = \alpha_{Kc} YKc + \alpha_{P} YP + \alpha_{D} YD + \alpha_{Pr} YPr + \alpha_{Mb} YMb + \alpha_{Ip} YIp + \alpha_{St} YSt + \alpha_{I} YI + \alpha_{Q} YQ + \alpha_{Ku} YKu + \alpha_{Op} YOp + \alpha_{Kk} YKk, \quad (9)$$

где α – уровень значимости компонента структуры имиджа; YKc – уровень качества предоставляемых услуг; YP – уровень цен услуг; YD – уровень спроса на предлагаемые услуги; YPr – уровень престижности предоставляемых услуг; YMb – уровень материальной базы; YIp – уровень индивидуальности подхода к клиентам; YSt – уровень современности используемых технологий; YI – уровень инновационной активности и мобильности; YQ – уровень развития рекламно-маркетинговых коммуникаций; YKu – уровень комфортности условий, в которых предоставляется услуга; YOp – уровень организации процесса предоставления услуг; YKk – уровень внутрикорпоративной культуры.

В формализованном виде фактор влияния наличия активов на конкурентоспособность НКО можно представить следующим образом:

$$A = \sum_{i=1}^l \alpha_{sos}^i Sos_i + \sum_{i=1}^p \alpha_{soa}^i Soa_i + \sum_{i=1}^r Oss_i + \sum_{i=1}^{fB} \alpha_{Nm}^i Nm_i \quad (10)$$

где A - активы; l – количество видов, α_{sos}^i - коэффициент качества и Sos_i - стоимость собственных основных средств i -го вида, приобретенных за счет внутренних и заемных источников финансирования, соответственно; p – количество видов, α_{soa}^i - коэффициент качества и Soa_i - стоимость основных средств i -го вида, арендованных за счет внутренних и заемных источников финансирования, соответственно; r – количество внутренних и заемных источников собственных оборотных средств и Oss_i - собственные оборотные средства i -го вида, полученные из внутренних или заемных источников финансирования; γ – количество видов, α_{Nm}^i - коэффициент значимости и Nm_i - стоимость нематериальных активов i -го вида, приобретенных за счет внутренних или заемных источников финансирования.

Ограничение стоимости основных средств будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^l Sos_i + \sum_{i=1}^p Soa_i + \sum_{i=1}^r Oss_i + \sum_{i=1}^{\gamma} Nm_i \leq \sum_{i=1}^f \hat{O}_A^i, \quad (11)$$

где f – количество внутренних и заемных источников финансирования; \hat{O}_A^i - финансовые ресурсы из i -го внутреннего или заемного источника, направляемые на приобретение (модернизацию, реконструкцию) активов.

Поскольку основные и оборотные средства и нематериальные активы не могут быть отрицательными величинами, то необходимо ввести граничные условия:

$$Sos_i, Soa_i, Oss_i, Nm_i \geq 0. \quad (12)$$

Фактор влияния трудоустройства выпускников на конкурентоспособность негосударственного образовательного учреждения определим как

$$T = \sum_{k,j=1}^{m,w} \alpha_T^{kj} K_T^{kj}, \quad (13)$$

где j – индекс специальности, по которой произведено трудоустройство; k – индекс формы обучения, по которой произведено трудоу-

стройство; m – количество форм обучения в данном вузе; w – количество специальностей обучения; α_T^{kj} - коэффициент качества трудоустройства выпускника j -ой специальности и k -ой формы обучения; K_T^{kj} - количество трудоустроенных по j -ой специальности и k -ой форме обучения.

В (13) переменной величиной является количество трудоустроенных. Данная переменная будет ограничиваться тем спросом, который формируют работодатели на рынке труда. Ограничение по указанной переменной имеет вид:

$$\sum_{k,j=1}^{m,w} K_T^{kj} \leq \sum_{k,j=1}^{m,w} D_T^{kj}, \quad (14)$$

где D_T^{kj} - спрос, формируемый работодателями на рынке труда по k -ой форме обучения и j -ой специальности.

Поскольку количество трудоустроенных не может быть отрицательной величиной, то существует граничное условие

$$K_T^i \geq 0. \quad (15)$$

Фактор влияния инновационной активности и мобильности на конкурентоспособность некоммерческой организации представим в виде

$$I = \sum_{i=1}^d \frac{\alpha_{IV}^i K_{IV}^i}{(C_{IV}^i + C_{IN}^i)}, \quad (16)$$

где d – количество видов инноваций; α_{IV}^i - критерий эффективности востребованной инновации i -го вида; K_{IV}^i - количество востребованных инноваций i -го вида; C_{IV}^i - сумма денежных средств, затраченных на реализацию востребованной инновации i -го вида; C_{IN}^i - сумма денежных средств, затраченных на реализацию невостребованной инновации i -го вида.

В (16) переменными величинами являются количество востребованных инноваций и затраты на реализацию инноваций. Количество востребованных инноваций не может превышать количество всех реализованных

инноваций, которое, в свою очередь, ограничивается спросом в обществе на инновации определенного вида. Поэтому ограничения по указанной переменной будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^d K_{IV}^i \leq \sum_{i=1}^d K_I^i, \\ \sum_{i=1}^d K_I^i \leq \sum_{i=1}^d D_i^i, \end{array} \right. \quad (17)$$

где K_I^i - количество всех реализованных инноваций i -го вида; D_i^i - спрос в обществе на инновацию i -го вида.

Затраты на реализацию инноваций не могут быть больше финансовых ресурсов, которые НКО может направить на инновационную деятельность. Поэтому существует ограничение

$$\sum_{i=1}^d (C_{IV}^i + C_{IN}^i) \leq \sum_{i=1}^w \hat{O}_I^i, \quad (18)$$

где \hat{O}_I^i - финансовые ресурсы из i -го источника, направляемые на реализацию инноваций.

Количество востребованных инноваций и затраты на реализацию инноваций не могут быть отрицательными величинами, и, следовательно, граничные условия имеют вид:

$$K_{IV}^i, C_{IV}^i, C_{IN}^i \geq 0. \quad (19)$$

В формализованном виде фактор эффективности фандрайзинга НКО можно представить следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^m Mr_i + \sum_{i=1}^k Ir_i + \sum_{i=1}^t Ds_i, \quad (20)$$

где m – количество видов и Mr_i - стоимость привлеченных материальных ресурсов i -го вида, соответственно; k – количество видов и Ir_i - стоимость привлеченных интеллектуальных ресурсов i -го вида, соответственно; t – количество видов и Ds_i - размер собранных и привлеченных денежных средств из i -го источника, соответственно.

Граничные условия имеют вид:

$$Mr_i, Ir_i, Ds_i \geq 0. \quad (21)$$

Фактор влияния рекламно-маркетинговых коммуникаций на конкурентоспособность НКО можно представить в виде

$$Q = \sum_{j,y=1}^{c,x} \frac{\alpha_R^{jy} K_R^{jy}}{C_R^{jy}} + \sum_{j,y=1}^{e,u} \frac{\alpha_P^{jy} K_P^{jy}}{C_P^{jy}} + \alpha_L K_L, \quad (22)$$

где j – индекс вида информации; y – индекс источника размещения информации; c – количество видов рекламы; x – количество источников размещения рекламы; e – количество способов реализации связей с общественностью; u - количество источников реализации связей с общественностью; α_R^{jy} - коэффициент качества рекламы j -го вида, размещенной в y -ом источнике; K_R^{jy} - количество воспользовавшихся услугами в результате воздействия рекламы; C_R^{jy} - затраты на реализацию рекламных коммуникаций; α_P^{jy} - коэффициент качества мероприятий по связям с общественностью j -го вида с использованием y -го источника размещения информации; K_P^{jy} - количество воспользовавшихся услугами в результате воздействия мероприятий по связям с общественностью; C_P^{jy} - затраты на реализацию мероприятий по связям с общественностью; α_L - коэффициент качества личных коммуникаций; K_L - количество воспользовавшихся услугами за счет информации, полученной посредством личных коммуникаций.

Воздействие данного фактора на конкурентоспособность НКО ограничено. В частности, затраты на реализацию маркетинговых коммуникаций не могут превышать размера финансовых ресурсов НКО, а количество воспользовавшихся услугами ограничено спросом со стороны общества. В формализованном виде указанные ограничения имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j,y=1}^{c,x} C_R^{jy} + \sum_{j,y=1}^{e,u} C_P^{jy} \leq \sum_{i=1}^r \hat{O}_Q^i, \\ \sum_{j,y=1}^{c,x} K_R^{jy} + \sum_{j,y=1}^{e,u} K_P^{jy} + K_L \leq \sum_{i=1}^n D_i, \end{array} \right. \quad (23)$$

где \hat{O}_i - финансовые ресурсы из i -го источника, направляемые на реализацию рекламно - маркетинговых коммуникаций; D_i - спрос в обществе на услугу i -го вида.

Граничные условия имеют вид:

$$K_R^{iy}, K_P^{iy}, K_L, C_R^{iy}, C_P^{iy} \geq 0. \quad (24)$$

Представим экономико-математическую модель конкурентоспособности НКО (1) в развернутом виде:

$$\begin{aligned} KS = & \xi_V \sum_{i=1}^n \alpha_V^i P_V^i K_V^i + \xi_L L + \xi_Z \left(\sum_{i=1}^n \Delta D_i + \sum_{i=1}^n S o_i \right) + \\ & + \xi_G \left(\sum_{i=1}^h N_i + \sum_{i=1}^b H_i + \sum_{i=1}^v W_i \right) + \xi_{\Psi} \frac{R + F o}{C_1 + K o} + \\ & \xi_{\Omega} (D r + T p) + \xi_U (\alpha_{Kc} Y K c + \alpha_{p} Y P + \alpha_D Y D + \alpha_{p r} Y P r + \\ & + \alpha_{M b} Y M b + \alpha_{I p} Y I p + \alpha_{S t} Y S t + \alpha_I Y I + \alpha_Q Y Q + \alpha_{K u} Y K u + \\ & \alpha_{O p} Y O p + \alpha_{K k} Y K k) + \xi_A \left(\sum_{i=1}^l \alpha_{S o s}^i S o s_i + \sum_{i=1}^p \alpha_{S o a}^i S o a_i + \sum_{i=1}^r O s s_i + \right. \\ & + \left. \sum_{i=1}^{\gamma} \alpha_{N m}^i N m_i \right) + \xi_T \sum_{k,j=1}^{m,w} \alpha_T^{kj} K_T^{kj} + \xi_I \sum_{i=1}^d \frac{\alpha_{IV}^i K_{IV}^i}{C_{IV}^i + C_{IN}^i} + \\ & + \xi_F \left(\sum_{i=1}^m M r_i + \sum_{i=1}^k I r_i + \sum_{i=1}^l D s_i \right) + \xi_Q \left(\sum_{R} \frac{\alpha_R^{jy} K_R^{jy}}{C_R^{jy}} + \right. \\ & + \left. \sum_{j,y=1}^{e,u} \frac{\alpha_P^{jy} K_P^{jy}}{C_P^{jy}} + \alpha_L K_L \right) \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^n K_V^i & \leq \sum_{i=1}^n D_i, \\ \sum_{i=1}^l S o s_i + \sum_{i=1}^p S o a_i + \sum_{i=1}^r O s s_i + \sum_{i=1}^{\gamma} N m_i & \leq \sum_{i=1}^f \hat{O}_A^i, \\ \sum_{k,j=1}^{m,w} K_T^{kj} & \leq \sum_{k,j=1}^{m,w} D_T^{kj}, \\ \sum_{i=1}^d K_I^i & \leq \sum_{i=1}^d D_I^i, \\ \sum_{i=1}^d (C_{IV}^i + C_{IN}^i) & \leq \sum_{i=1}^t \hat{O}_I^i, \\ \sum_{j,y=1}^{c,x} C_R^{jy} + \sum_{j,y=1}^{e,u} C_P^{jy} & \leq \sum_{i=1}^r \hat{O}_Q^i, \\ \sum_{j,y=1}^{c,x} K_R^{jy} + \sum_{j,y=1}^{e,u} K_P^{jy} + K_L & \leq \sum_{i=1}^n D_i, \\ K_V^i, S o s_i, S o a_i, O s s_i, N m_i, K_T^i, K_{IV}^i, C_{IV}^i, C_{IN}^i, M r_i, \\ I r_i, D s_i, K_R^{iy}, K_P^{iy}, K_L, C_R^{iy}, C_P^{iy} & \geq 0. \end{aligned} \right. \quad (26)$$

Для данной модели методом экспертных оценок были определены следующие коэффициенты ξ : ξ_U - имидж (0,87), ξ_V - соотношение цена-качество оказываемых услуг (0,84), ξ_A - активы (0,70), ξ_{Ω} - рыночная доля и темп ее прироста (0,50), ξ_{Ψ} - внутренняя эффективность экономической деятельности предприятия (0,47), ξ_I - инновационная активность и мобильность организации (0,70), ξ_Q - эффективность рекламно-маркетинговых коммуникаций (0,76), ξ_T - трудоустройство выпускников (для сферы образования или аналогичный показатель для других отраслей) (0,87), ξ_F - эффективность фандрайзинга (0,50), ξ_L - уровень налаженного взаимодействия с государственной и муниципальной властью (0,64), ξ_G - уровень государственного регулирования сектора или отрасли функционирования (0,39), ξ_Z - социальная значимость предоставляемой услуги (0,49).

Модель конкурентоспособности (25), (26) носит статический вид, и ее коэффициенты фиксируют осредненные состояния процесса на определенный промежуток времени t_1 .

Для исследования и описания динамики конкуренции субъектов на рынке уравнение конкурентоспособности про дифференцировано по времени и получено в следующем виде:

$$\frac{\partial KS}{\partial t} = \sum_{i=1}^d \frac{\partial \alpha_{IV}^i}{\partial t} * \frac{K_{IV}^i}{(C_{IV}^i + C_{IN}^i)}. \quad (27)$$

В силу того, что все остальные члены уравнения (25) зафиксированы в момент времени t_1 , главным параметром уравнения, определяющим $KS(t)$, является инновационная составляющая. При этом $\alpha(t)$ в динамической модели (27) меняется во времени по форме кривой инновационной волны, состоящей из 4 фаз (рис. 1) [1].

Первая фаза, которую следовало бы называть «рождение», характеризуется радикальными инновациями на основе открытий и

изобретений в науке и технике. Как правило, в самом начале цикла эти инновации осуществляют небольшие организации, которые в силу своей гибкости и адаптивности способны внедрению одного или нескольких крупных изобретений в кластер новшеств, который приводит к значительному и постоянному экономическому росту. Во второй фазе (роста) радикальные новшества тиражируются и совершенствуются; нарастают объемы их производства и расширяются сферы применения; они дифференцируются применительно к требованиям разных сегментов рынка и технологически стандартизируются. Уменьшаются издержки, что дает возможность снижать цены и расширять сферы эффективного применения новшества. Затем наступает третья фаза инновационной волны (замедление), когда инновация медленно развивается и качественно улучшается. Появляются новые модели, основанные на уже известном и испытанном принципе. Четвертая фаза характеризуется прекращением эффекта от инноваций.

В статической модели, основанной на анкетных данных, параметры α и $\xi_I(t_1)$ задаются во время первой фазы инновационного процесса. Они должны анализироваться, когда наступает эффект от внедрения инноваций, то есть на третьей стадии процесса, и параметр $\xi_I(t)$ в модели должен подвергаться коррекции по формуле

$$\xi_I(t) = \xi_I(t_1) * \frac{S_{\text{ед}}}{S(t)} = \xi_I(t_1) * \frac{\int_0^t \alpha(t) dt}{\int_0^{t_1} \alpha(t) dt}, \quad (28)$$

где $S_{\text{кр}}$ – площадь фигуры, ограниченной кривой инновационной волны, $S(t)$ – площадь фигуры, ограниченной первой фазой инновационной кривой. В итоге имеем, что в статической модели коэффициент $\xi_I(t_1)$, определяющий значимость фактора инноваций при оценке конкурентоспособности, имеет значение, большее единицы, остальные коэффициенты значимости находятся в диапазоне [0;1].

Рассмотрим механизмы управления основными параметрами конкурентоспособности НКО на примере образовательной услуги: соотношение цена-качество, имидж, трудоустройство.

В первом приближении будем считать, что цена как показатель услуги складывается из себестоимости, нормальной прибыли и прибыли сверх норматива:

$$\dot{O} = \dot{N} + \dot{I}_i + \dot{I}_{\dot{N}i}, \quad (29)$$

где \dot{O} – цена услуги; \dot{C} – себестоимость услуги; \dot{P}_H – нормальная прибыль, свойственная предприятиям данной отрасли народного хозяйства; \dot{P}_{CH} – прибыль сверх нормальной.

Данный вид структуры цены является универсальным, не зависящим от стратегии и политики ценообразования на предприятии, и позволяет получить любые возможные значения в случае, если ее компоненты принимают помимо любых положительных значений также нулевые и отрицательные значения (для случая нечестной конкуренции).

Комплексное качество образовательной услуги можно представить в виде

$$\hat{E}\hat{E} = f(\hat{E}_{\dot{O}A\hat{E}}, \hat{E}_{\dot{I}B}, \hat{E}_{\dot{I}iA}), \quad (30)$$

где KK – комплексное качество образовательной услуги; $K_{\text{цел}}$ – потребительское качество услуги с точки зрения соответствия целям ее покупателя – студента; $K_{\text{пп}}$ – качество преподавания; $K_{\text{под}}$ – качество подготовки специалистов. В зависимости $\hat{E}\hat{E} = f(\dot{O})$ существует точное соответствие компонентов KK и компонентов \dot{O} , в результате чего можно сделать вывод о том, что качество образовательной услуги напрямую связано как со всеми компонентами цены, так и с ценой как интегральным параметром. Причем, чем выше цены, тем выше возможность обеспечить качество услуги высшего образования. Однако рост цен будет ограничен рыночными условиями – кривой спроса на образовательные услуги. Учитывая, что рынок образовательных услуг уже прошел стадию формирования, можно принять за допущение, что на нем существует некая среднерыночная постоянная цена \dot{O} . Тогда при рассмотрении вопроса ка-

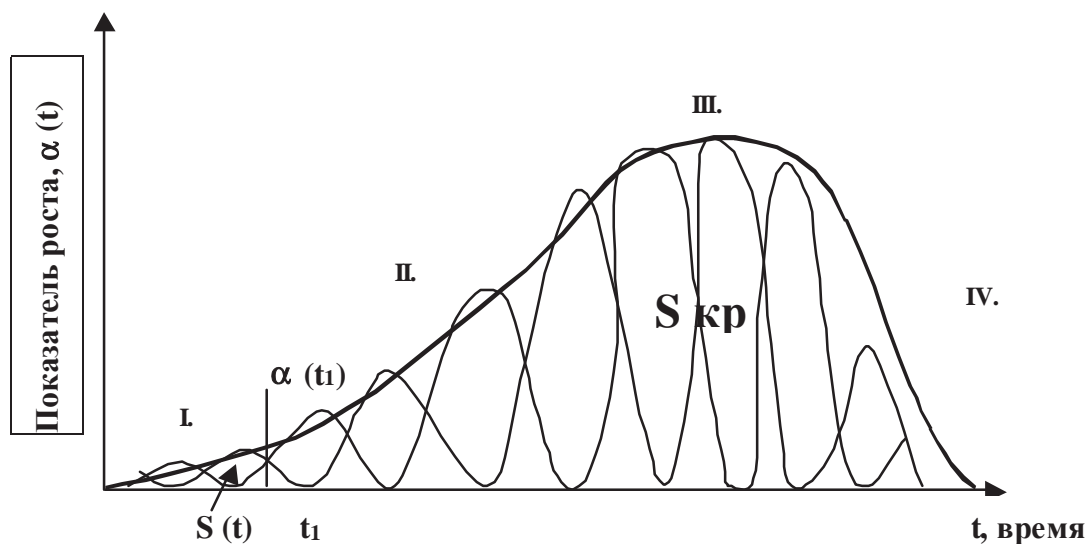


Рис. 1. Кривая инновационной волны

чества услуги высшего образования следует уделить внимание не абсолютному уровню цен, а соотношениям элементов формирования цены. Поэтому задача управления качеством услуги высшего образования посредством нахождения оптимального взаимоотношения ее цены и качества превращается из задачи нахождения оптимального значения цен в задачу нахождения оптимального соотношения компонентов цены и компонентов качества услуги.

На основании результатов маркетинговых исследований можно выделить основные компоненты, влияющие на соотношение цена-качество предоставляемой НКО услуги, построить порядковую регрессионную модель с весовыми параметрами и определить методику управления НКО на основании нормированных оценок соотношения важность-соответствие.

Метод экспертных оценок показал, что важнейшим фактором, определяющим конкурентоспособность НКО, является имидж, и поэтому управление им выдвигается на центральное место в современной конкурентной борьбе.

Целью управления имиджем вуза является трансформация его в конкурентное преимущество. В сравнении с понятием имиджа коммерческих организаций малого и среднего бизнеса имидж образовательного учреждения имеет свои особенности: он формируется для решения не тактических, а страте-

гических задач, и поэтому процесс его формирования является более затратным и длительным. Например, сформированному имиджу образовательного учреждения свойственно определенное постоянство. Главной задачей управления имиджем негосударственного вуза является формирование положительного отношения к образовательному учреждению. Как результат сформированного отношения наступает доверие к вузу, и, как правило, имеются высокие рейтинговые оценки и уверенный выбор потребителей. Кроме того, положительный имидж вуза способствует повышению престижа образовательного учреждения и, следовательно, авторитета и влияния его выпускников.

Выделим критерии и составим параметрический ряд, который составляет основу модели управления имиджем вуза: трудоустройство выпускников (наличие собственного центра трудоустройства и планирования карьеры, успехи выпускников в получении должности по окончании учебного заведения, степень признания выдаваемого вузом диплома, средняя стартовая заработная плата выпускников); престижность специальностей, предлагаемых вузом; уровень качества образовательных услуг; квалификация профессорско-преподавательского состава (процент с учеными степенями и званиями; процент докторов наук, профессоров; процент штатных преподавателей); уровень цен образовательных услуг; уровень учебно-матери-

альной базы; объем фундаментальных и прикладных научных исследований; профориентация и довузовская подготовка; эксклюзивность предлагаемых услуг; процент принимаемых на обучение от числа абитуриентов (конкурс); возможность получения дополнительного образования (переподготовка и повышение квалификации); уровень развития рекламно-маркетинговых коммуникаций (реклама, PR-акции, сайт, газета и т.д.); использование современных образовательных технологий; уровень методической работы (количество учебников и учебных пособий); индивидуальный подход к студентам; подготовка кадров высшей квалификации (магистратура, аспирантура, наличие советов по присуждению ученых званий и научных степеней); уровень комфортности условий обучения; уровень организации учебного процесса; уровень внутрикорпоративной культуры; международная деятельность вуза; инновационная активность и мобильность вуза; уровень активности студенческой жизни; деловые связи; уровень организации воспитательной работы и т.д.

Имидж можно представить в виде модели, основанной на математико-статистическом анализе данных эмпирических исследований:

$$U = k_1 f(x_1) + k_2 f(x_2) + \dots + k_n f(x_n), \quad (31)$$

где k_1, \dots, k_n – весовые коэффициенты значимости параметров; x_1, \dots, x_n – параметры имиджа.

Поиск коэффициентов может быть проведен в случае количественных оценок методами регрессионного анализа, а в случае качественных оценок – методами распознавания образов.

Результаты проведенных на основе социологического анализа исследований позволяют говорить о единообразии моделей имиджа НКО в сфере образования, медицины и культуры, и поэтому модель имиджа НКО можно рассматривать как общую для указанных отраслей.

Из построенных регрессионных моделей имиджа следует, что самым значительным его параметром по величине весового коэф-

фициента является цена соответствующей услуги, то есть учреждение, которое предоставляет услуги невысокой стоимости, имеет высокие оценки потребителей по имиджу. В связи с этим, на первый взгляд, задача управления имиджем НКО сводится к снижению цены услуги. Однако анализ модели показывает, что в области культуры в этом случае снизится коррелирующий параметр – комфортность условий учреждения культуры; в области медицины – квалификация медперсонала; в области образования – престижность специальностей. Поэтому регулирующее воздействие должно быть направлено на коммуникативные инструменты, показывающие, что для данного уровня качества услуги предлагаемая цена ниже, чем у конкурентов.

Задача управления трудоустройством выпускников как одним из наиболее значимых факторов конкурентоспособности негосударственного вуза может быть решена на региональном уровне путем организации взаимодействия основных субъектов рынка труда: потенциальных потребителей образовательных услуг; образовательных учреждений, предоставляющих эти услуги, бизнеса (работодателей) и местных органов государственной власти. Это взаимодействие должно рассматриваться с позиции реализации функций образования в соответствии с процессами социально-экономической деятельности региона и потребностями бизнеса. Традиционный характер такого взаимодействия не отличается высокой эффективностью, что объясняется как известным консерватизмом образовательных учреждений, так и отсутствием достоверной и своевременной информации о потребностях в кадрах и перспективах развития предприятий. Таким образом, существует объективная потребность в совершенствовании механизма взаимодействия основных субъектов рынка труда, в усилении тенденций и ускорении темпов развития взаимовыгодного сотрудничества, направленного на удовлетворение социально – экономических потребностей общества.

Список литературы

1. Медынский В. Г. Инновационный менеджмент: Учебник / М.: Инфра-М, 2002.

**MANAGING THE COMPETITIVENESS OF NON – COMMERCIAL
ORGANIZATIONS IN MODERN ECONOMIC SYSTEM**

© 2006 V. M. Ramzaev

International Market Institute, Samara

The paper proposes an economic and mathematical model of managing the competitiveness of Image, press – quality and graduates' placing in jobs are chosen as the most important factors. Image management is illustrated by the example of educational services market.

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ

© 2006 В. М. Рамзаев

Международный институт рынка, г. Самара

Рассматривается концепция управления некоммерческими организациями на основе взаимодействия государства и предпринимательства в экономических системах социальной сферы. Согласно предлагаемой модели баланс или оптимум достигается в том случае, когда совокупный объем услуг, производимых государственными социальными институтами, в сумме с совокупным объемом услуг негосударственного некоммерческого сектора соответствуют социальным потребностям личности и общества.

На этапе реформирования экономики России и создания законодательной базы были определены возможности для правительственных социальных институтов выполнять свои уставные задачи, оказывая платные услуги и используя предпринимательскую инициативу, с целью получения дополнительных финансовых источников для предоставления услуг повышенного качества и эксклюзивного ассортимента. Однако, как показывает мировой и отечественный опыт, в целом ряде случаев неправительственные социальные институты решают эти задачи значительно успешнее и превосходят государственные институты по своим возможностям в инновационном развитии. Это объясняется, прежде всего, тем, что системы управления государственных институтов не достаточно мобильны и для них существует целый ряд сложившихся внутриведомственных барьеров и нормативных ограничений.

Мировой опыт показывает, что участие некоммерческих организаций (НКО) в важнейших процессах экономики, общественной и социальной сферы вносит весомый вклад не только в их развитие и совершенствование, но и способствует решению общенациональных и региональных задач, укреплению государственности. При этом в условиях расширения и совершенствования рыночных отношений процесс экономического развития НКО приобретает все большее теоретическое и практическое значение как в России, так и за рубежом.

Влияние развивающегося некоммерчес-

кого сектора на социальную и экономическую ситуацию в стране непосредственно зависит от налаженности взаимодействия негосударственных НКО с представительными и исполнительными органами государственной власти и органами местного самоуправления. Однако в силу отсутствия научно обоснованных подходов в настоящее время такое взаимодействие носит несистемный характер. Несмотря на то, что являясь экономически мобильными и не обремененными громоздкими организационными структурами управления, НКО в России в отсутствие эффективных механизмов согласованного взаимодействия в настоящее время не в состоянии активно дополнять действующую систему государственных институтов в решении социально-экономических задач и развитии инновационных процессов в социальной сфере.

Предлагаемая модель взаимодействия государства с предпринимательскими институтами некоммерческого сектора представлена на рис. 1.

В центре находится СОЦИУМ – совокупность индивидуальных и коллективных социальных потребностей и интересов общества. С одной стороны находится ГОСУДАРСТВО, с другой стороны - ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО. Будем понимать, что ГОСУДАРСТВО – это механизм (аппарат) государства, представляющий собой систему или совокупность органов и правительственных социальных институтов, посредством которых осуществляются задачи и функции государства в социальной сфере.

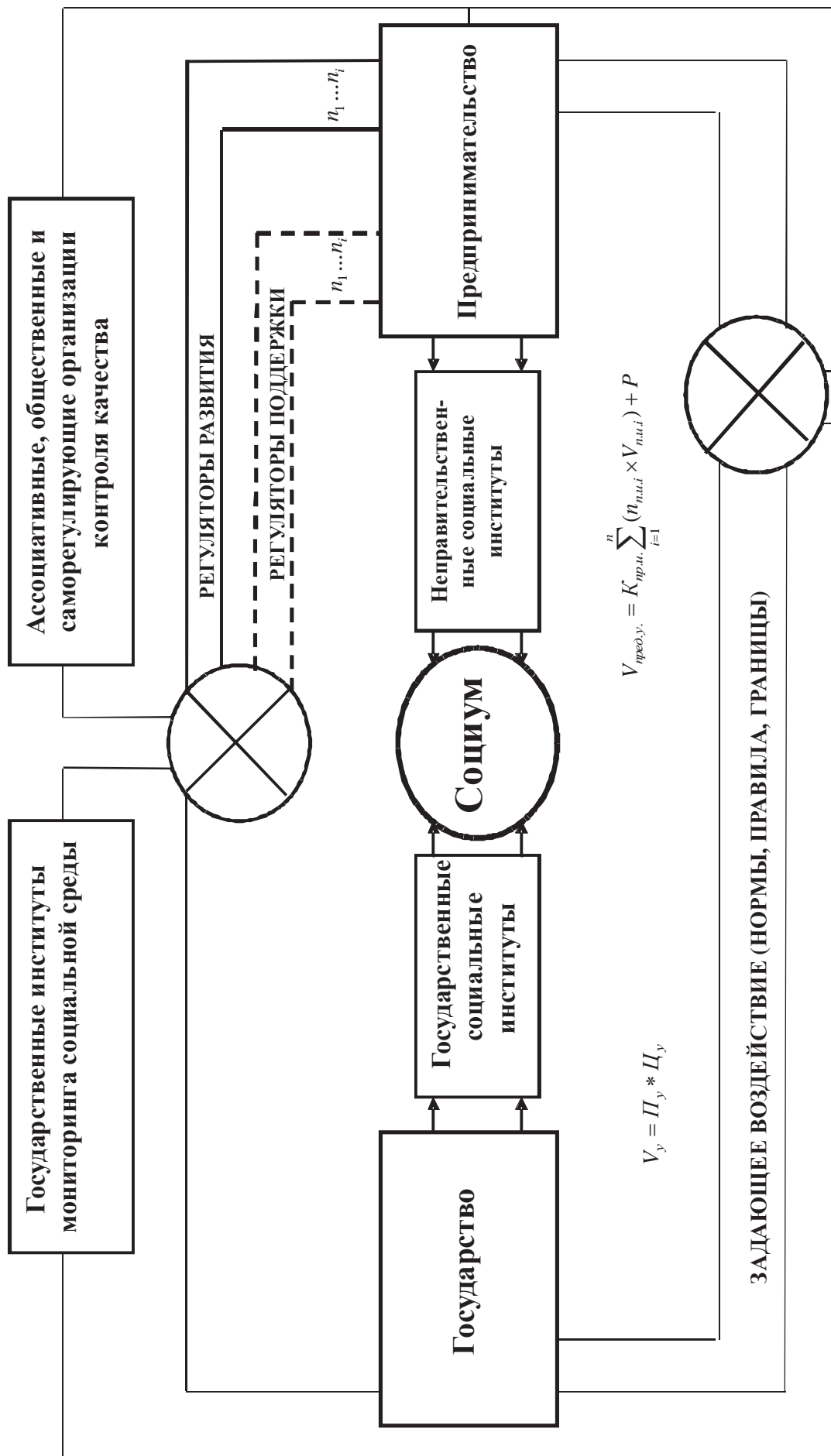


Рис. 1. Схема сбалансированного взаимодействия государства и предпринимательства в социальной сфере

Таким образом, являясь главным элементом в системе, ГОСУДАРСТВО удовлетворяет социальные потребности общества через правительственные социальные институты, устанавливает «правила» для субъектов предпринимательства в социальной сфере – НКО и размещает социальные заказы и гранты на конкурсной основе среди всех участников конкурентного пространства под общественным, социальным контролем, осуществляемым, в том числе, с помощью НКО.

С другой стороны, ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО функционально дополняет ГОСУДАРСТВО, удовлетворяя востребованные социальные потребности общества через неправительственные институты.

Формируя модель взаимодействия государства и неправительственного сектора экономики, использующего предпринимательскую инициативу для решения социальных задач, необходимо не только учитывать роль и место этого сектора, а также стоящие перед ним цели и задачи, которые должны быть исключительными и единственными для НКО (имеется в виду их социальная ориентированность), но и выделить те возможности НКО, использование которых обеспечит наилучший общественный результат.

В данной модели определим, что неправительственные социальные институты - это сообщество негосударственных НКО, целями которых является не получение прибыли, а решение общественных и социально-значимых задач с использованием предпринимательской инициативы участников и с привлечением всех возможных внебюджетных источников финансирования и деятельность которых направлена на предоставление на возмездной основе услуг высокого качества, широкого ассортимента и на реализацию инновационных решений и технологии, на достижение конкурентных преимуществ на рынке.

Важнейшими звеньями в модели являются государственные институты мониторинга социальной среды, которые в целом определяют текущие социальные потребности общества, объемы исполненных государством социальных услуг, а также система ассоциативных, общественных и саморегулирующих

отраслевых объединений и организаций, обеспечивающих контроль качества услуг, оказываемых неправительственными социальными институтами.

Государственное регулирование деятельности некоммерческого сектора можно разделить на три направления или вектора воздействия. Первое – это задающее воздействие, определяющее «правила игры» - правовые нормы, границы и сферы деятельности, нормы и стандарты качества и др. Второе и третье – это регуляторы стимулирования и поддержки и регуляторы развития, соответственно. Второе складывается из льгот, преференций, прямой финансовой помощи и др. Третье не является прямыми инвестициями и направлено на стимулирование инновационного развития некоммерческого сектора, например, освобождение от уплаты налога на прибыль НКО в части средств, направленных на инновационное развитие. Такое регулирование достаточно прозрачно и непривлекательно для использования в схемах теневого бизнеса и предпринимательства.

Согласно предлагаемой модели баланс или оптимум достигается в том случае, когда совокупный объем услуг, производимых государственными социальными институтами, в сумме с совокупным объемом услуг негосударственного некоммерческого сектора соответствует социальным потребностям личности и общества.

Объем производимых услуг НКО определяется двумя функциями. Первая не зависит от времени и представляет собой сумму всех прямых инвестиций государства, а вторая является функцией времени и определяет эффект от инновационного развития организаций данной сферы.

Первую функцию можно представить в следующем виде:

$$V_y = P_y \times C_y, \quad (1)$$

где V_y – совокупный объем социальных услуг, производимый государственными институтами; P_y – количество услуг; C_y – цена услуги.

Вторая функция выглядит следующим образом:

$$V_{пред.у.} = K_{пр.у.} \sum_{i=1}^n (n_{н.у.и} \times V_{н.у.и}) + P, \quad (2)$$

где $V_{пред.у.}$ – объем производимых предпринимательских услуг; $K_{пр.у.}$ – коэффициент прямых инвестиций; $n_{н.у.и}$ – количество институтов предпринимательства; $V_{н.у.и}$ – объем услуги i -го института предпринимательства; P – функция развития, которая является функцией инновационного развития, изменяется в соответствии с кривой инновационного процесса и имеет вид

$$P = \sum_{i=1}^N \int_{t_0}^t \chi(t) dt + Lr, \quad (3)$$

где N – число инновационных проектов; Lr – сумма предоставляемых льгот, направленных на развитие; t_0 – начальное время наступления эффекта от инвестиций; t_k – конечное время эффекта от инвестиций; t изменяется в пределах $t_0 \leq t \leq t_k$; $\chi(t)$ – функция инновационного процесса, которая аппроксимируется полиномом третьей степени, являющимся интерполяционным многочленом Лагранжа вида: $\chi(t) = a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t + a_3$.

Общий вид уравнения баланса выглядит следующим образом:

$$V_{С.П.} = \Pi_y \times \ddot{O}_\delta + \hat{E}_{\dot{v}.\dot{e}.} \sum_{i=1}^n (n_{\dot{v}.\dot{e}.i} \times V_{\dot{v}.\dot{e}.i}) + \sum_{i=1}^N \int_{t_0}^t \chi dt + Lr, \quad (4)$$

где $V_{\dot{v}.\dot{e}.}$ – объем социальных потребностей личности и общества.

Пользуясь этим уравнением взаимодействия государства и предпринимательства в

социальной сфере, можно определить основные параметры государственного регулирования инновационного развития НКО и время t_0 , когда эти процессы начнут приносить доход.

Для оптимального управления на основе уравнения баланса можно использовать методы вариационного исчисления по минимизации функционала вида

$$\Omega = (V_y(t) - V_{\dot{v}.\dot{e}.o.}(t))^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Данная модель представляет собой модель социального партнерства на основе сбалансированного взаимодействия государства и предпринимательства в социальной сфере, участниками которой рассматриваются НКО. Анализ этого взаимодействия показывает, что, с одной стороны, излишняя либерализация возможностей предпринимательства приведет либо к переизбытку производимых ими услуг, либо к их излишней коммерциализации и смещению интересов от решения социальных задач в сторону бизнеса. С другой стороны, государственный консерватизм и излишние ограничения приведут к стагнации некоммерческого сектора и невозможности в полном объеме выполнять возложенные на него функции. Необходимо отметить, что на этапе становления неправительственных институтов наиболее важное значение имеют регуляторы поддержки и стимулирования. На следующем этапе должны преобладать регуляторы развития, направленные на инновационную активность. Отметим, что для малого и среднего бизнеса возможности инновационного развития НКО превосходят по динамике возможности достаточно громоздких, как правило, структур государственных институтов. Вместе с тем, при реформировании НКО и либерализации действующего нормативно-правового пространства необходимо реформировать существующую и создавать новую систему контроля качества услуг некоммерческого сектора, основанного на ассоциативных, государственно-общественных и саморегулирующих организациях.

**MANAGING THE DEVELOPMENT OF NON – COMMERCIAL ORGANIZATIONS
ON THE BASIS OF BALANCED INTERACTION BETWEEN THE STATE AND
THE ENTREPRENEURSHIP IN THE SOCIAL AREA**

© 2006 V. M. Ramzaev

International Market Institute, Samara

The paper considers the concept of managing non – commercial organizations on the basis of interaction between the state and the entrepreneurship in economic systems of the social sphere. According to the model proposed balance or optimum is achieved in the event that aggregate volume of services provided by state social institutions together with the aggregate volume of services provided by the non – state non – commercial sector meet the social demands of the individual and the society.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА

© 2006 Т. Н. Соснина

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматриваются новые подходы к анализу потоков материального и духовного производства с использованием терминологической цепочки «предмет природы - нулевой предмет труда - первичный предмет труда - вторичный предмет труда - конечный продукт» в контексте экологической составляющей.

Предлагаемая трактовка приемов исследования материальных и информационных потоков является итогом осмысления феномена предмета труда – базового элемента любой производственной системы – в качестве процесса становления социального начала (труд живой и овеществленный) в природном (предметы природы).

В библиографическом списке источники воспроизведены в хронологическом порядке соответственно тому, как шел процесс изучения нетрадиционных подходов к анализу специфики материального и духовного видов производства.

Исходной посылкой анализа материальных и информационных потоков будем считать их раскладку по горизонтали (целереа-

лизующий тип деятельности) и вертикали (целеполагающий тип деятельности) с учетом природной и социальной составляющих предмета труда - процесса целостности, с одной стороны, стадий функционирования последней – нулевой, первичный, вторичный предметы труда - с другой [6, 13].

Предварительные замечания касаются используемого понятийного аппарата и имеют целью определить специфику «нулевого предмета труда» (синонимы: потенциальный, условный); первичного предмета труда, вторичного предмета труда и предмета труда – процесса целостности, которые позволяют зафиксировать процессуальный характер как материального, так и духовного видов производств (рис. 1, 2).

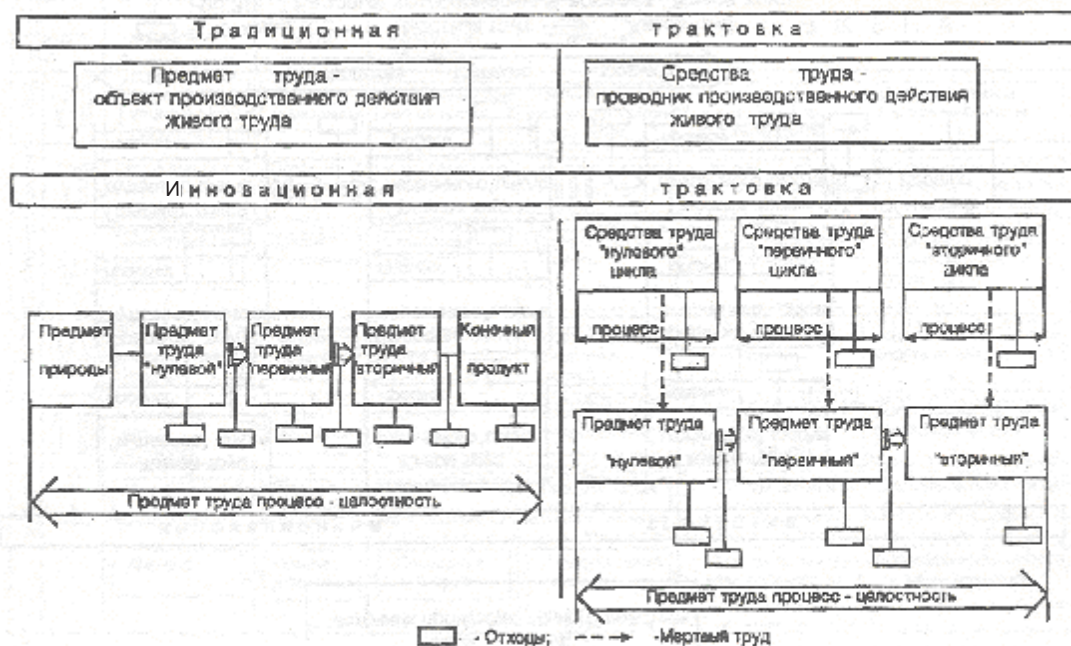


Рис. 1. Базовый категориальный аппарат: предмет труда, средства труда

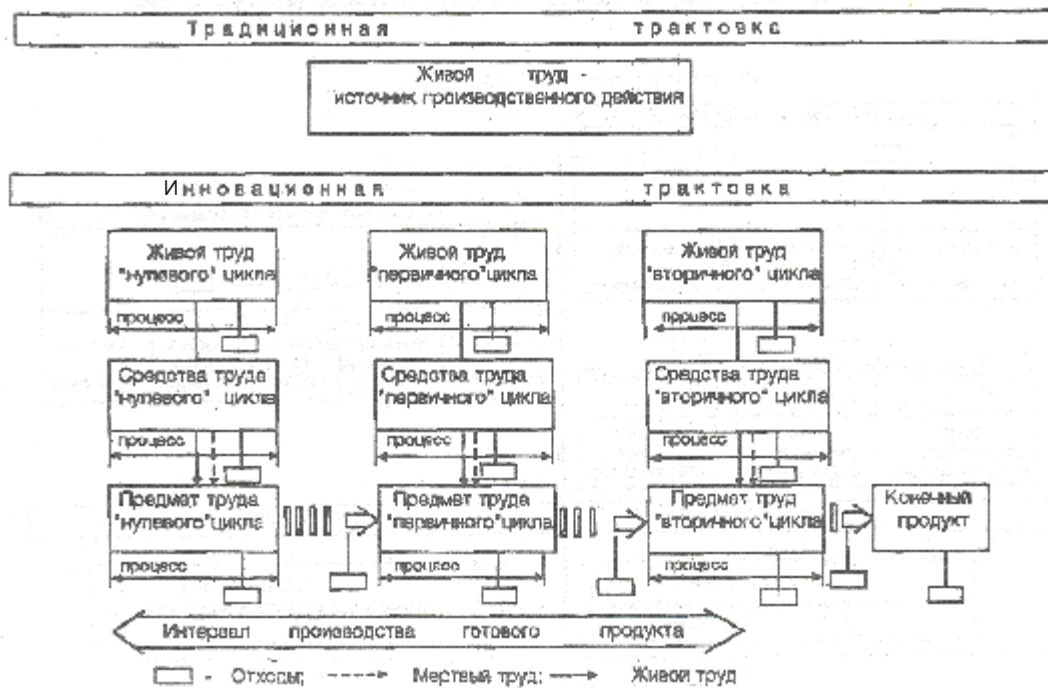


Рис. 2. Базовый категориальный аппарат: живой труд

Предмет труда является «срединной» стадией, параметры которой заключены в пространственно-временном интервале между предметом природы и конечным продуктом материального и духовного производства [1, 2, 4].

«Внутри» этих «крайних состояний» совершается «процесс постоянного перехода из формы деятельности в форму бытия; из формы движения в форму предметности» (Маркс К. Капитал // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 23. С. 200).

Иначе говоря, предметы природы претерпевают в рамках функционирующих материального и духовного производств ряд метаморфоз, прежде чем стать конечным продуктом – материальным (вещным) или духовным (не-вещным) благом [1, 12].

Эти метаморфозы реализуются в строгой последовательности специфических состояний – предмета труда нулевого (условного, потенциального), предмета труда первичного и далее вторичного предмета труда, функционирование которого завершает создание конечного продукта. Нулевой (условный, потенциальный) предмет труда есть предмет природы, ставший объектом теоретического, научного изучения. Практически он ничем не

отличается от предметов природы, которые продолжают существовать в «чистом виде». Но нулевой предмет труда *уже* отличается от предмета природы, ибо человек делает его предметом осмысления и приступает к оценке его потребительных свойств. Эту ситуацию образно выразил Гегель: «Вещи еще нет, когда она начинается» (Гегель. Соч. Т. 1. М.-Л., 1929, с. 153). Вещь «появляется» как идеальная модель будущего продукта труда. Применительно к сфере материального производства нулевой предмет труда «проявляет» себя как целевая установка на теоретическую разработку, например, возможного ареала геологических поисков, целесообразность которого предстоит обосновать.

В сфере духовного производства (наука, культура, искусство, политика, религия и т. д.) *предмет труда нулевой* представляет собой этап «вычленения» круга вопросов, проблем, которые человек (общество) считает целесообразным познать, и готовность его к включению в процесс творческого поиска. Например, для ученого, конструктора, архитектора и т. д. это будет этап создания информационных моделей будущего реального контакта человека с предметом природы. Для художника (живописца, скульптора) – это этап по-

иска «натуры», достойной для эстетического отражения в мраморе, холсте (этап рождения замысла будущего произведения). Для политиков – это временной интервал осмысления целесообразности того или иного варианта (вариантов) мобилизации материальных и информационных ресурсов, необходимых для проведения в жизнь определенной внутренней и внешней политики страны, и т. д.

Первичный предмет труда есть предмет природы, ставший объектом существенных преобразований.

В сфере материального производства это этап «разрыва» естественных связей предметов природы с «материнским телом» - Земли в буквальном, а не в переносном смысле слова, как это имело место на стадии нулевого предмета труда. Так, добывающие производства изымают необходимые обществу компоненты, прилагая огромные усилия, так как их содержание в рудах не превышает 1-5 % от первоначального веса, а для особо ценных металлов и минералов может исчисляться и долями процента.

В сфере духовного производства первичный предмет труда «выполняет» по существу те же функции, но в «информационном обличье».

Так, ученый должен извлечь из огромного массива информационных ресурсов, которыми располагает общество, сведения, соотносящиеся с его целевой установкой и спецификой объекта труда. Это трудоемкий процесс, сопоставимый с этапом функционирования первичного предмета труда материального производства. «Современный человек находится перед Гималаями библиотек в положении золотоискателя, которому нужно отыскать крупинки золота в массе песка» (*Вавилов С. И.* Некоторые замечания о книгах // Советская книга, 1947, № 1, с. 151). Когда сбор информации завершен, начинается его аналитико-синтезирующая обработка, сопровождающаяся выработкой рабочих гипотез.

Первичный предмет труда художника, например, предстает в виде напряженного поиска воплощения замысла (создание эскизов, многочисленных проб, различающихся по отдельным нюансам).

Аналогичные по сути процессы имеют место в случае с социокультурными и политическими составляющими духовного производства (сбор и обработка необходимой информации, обоснование гипотез – вектора реального действия).

Этап функционирования предмета труда первичного составляет основу функционирования *предмета труда вторичного*.

В сфере материального производства (отрасли обрабатывающего и перерабатывающего типа) в рамках вторичного предмета труда совершается процесс производственного манипулирования уже не с предметом природы, а преобразованным трудом человека готовым продуктом (сырой материал), который «способен» овеществить более сложные производственные цели и в конце концов стать конечным продуктом.

В сфере духовного производства вторичный предмет труда принимает вид своеобразного «сплава» интеллектуальных усилий и средств деятельности субъекта (феномен идеального), обеспечивая получение конечного результата – новых знаний, произведений литературы и искусства, политических доктрин, социокультурных установок и т. д. [3].

Ученый в рамках функционирования вторичного предмета труда получает возможность оперировать данными об объекте, которые были им «добыты» в рамках первичного предмета труда. Речь идет о появлении зрелых форм информации, необычных ее сочетаниях с уже известной, (художник запечатлевает на холсте разработанную им ранее версию художественного замысла, создает «не-что», не имеющее аналога в мире искусства; политик апробирует предложенные и аргументированные им подходы к решению проблем на уровне государства и т. д.).

Роль системообразующего начала, соединяющего предмет природы с конечным продуктом, выполняет последовательно реализуемая в природном субстрате социальная составляющая (абстрактный и конкретный труд управляющего типа – целеполагающего и исполнительного типа – целереализующего).

Конечный продукт (вещное – материальное; не-вещное – духовное) является результатом «соединения» предмета природы (природный субстрат) и труда человека (социальный субстрат) в рамках материального и духовного производства, который способен удовлетворить потребность человечества в средствах производства (средства труда, условия труда, человек как субъект труда), в средствах жизнедеятельности (средства для жизни, труда, быта).

Использование предложенного понятийного аппарата позволяет выявить алгоритм движения производственных потоков как по горизонтали (целереализующий тип деятельности), так и по вертикали (целесолагающий тип деятельности).

Приведем аргументы в пользу такого вывода.

1. Движение материальных и информационных потоков отвечает требованиям алгоритма по ключевым параметрам: детерминированность, массовость, результативность, дискретность.

Детерминированность (определенность) выражается фактом получения продукта труда в виде результата функционирования предмета труда-процесса. Последний, обладая уникальной, присущей только ему характеристикой поглощать в полном объеме усилия живого и овеществленного труда, увязывает в детерминированное целое вещные и не-вещные материальные потоки по всему ходу их движения от предмета природы до конечного продукта.

Массовость функционирования материальных и информационных потоков выражается фактом постоянства связи «человек - средство труда - предмет труда». Она остается в любом случае, как бы ни менялись по содержанию и форме компоненты процесса труда.

Результативность движения материальных и информационных потоков является итогом шаговых переходов процесса труда от этапа нулевого к первичному и далее к вторичному вплоть до получения конечного продукта.

Дискретность выражена фактом разрыва в пространстве-времени этапов функцио-

нирования процесса труда – целостности: стадии условного, первичного, вторичного предметов труда.

2. Материальные и информационные потоки горизонтального и вертикального типов могут анализироваться в аспекте наличия в них контрольных технологических точек, выход за пределы которых делает процесс материального и духовного производства по параметрам «качество» и «эффективность» в разной степени необратимыми (рис. 3).

Для материальных и информационных потоков горизонтального типа такими точками будут стыки предмет природы – предмет труда первичный (стадия выбора объекта будущего производственного действия); предмет труда нулевой – предмет труда первичный (стадия перехода к этапу первичного овеществления); предмет труда первичный – предмет труда вторичный (стадия вторичного овеществления).

Естественно, что чем дальше от предмета природы будет отстоять та или иная стадия (фаза) функционирования производственных потоков, тем большие потери понесет общество, если им не были предприняты меры коррекции их движения по горизонтали [7, 9].

Для потоков вертикального типа «точками запрета» являются стыки между уровнями управления (нити управления, спускаясь сверху вниз, замыкают управляющие действия на функционирующих процессах предмета труда нулевого, далее первичного и вторичного).

Соответственно, чем дальше от входа по вертикали и ближе к выходу, то есть к горизонтальному целереализующему потоку будут материально фиксироваться целесолагающие решения, тем дороже они обойдутся обществу, если технологическая необходимость в коррекции возникла, а управляющие импульсы отсутствовали или не делались своевременно и качественно [11].

3. Алгоритм функционирования материальных и информационных потоков принимает нормативный вид при выполнении следующих условий:

3.1. Наличие информационного контроля за всеми этапами функционирования по-

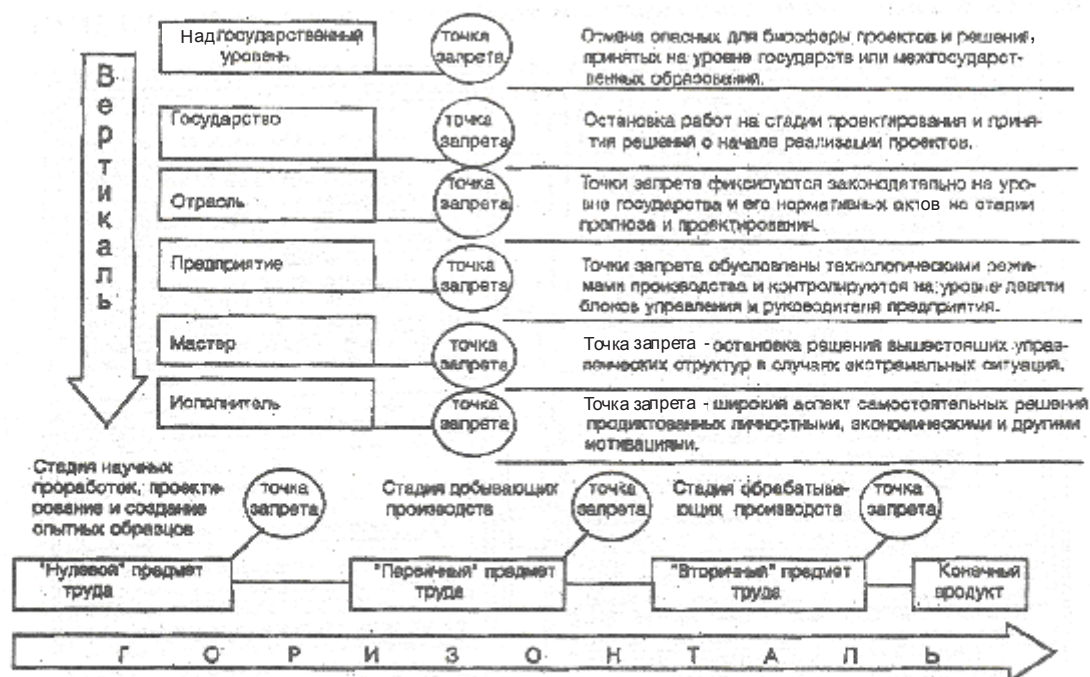


Рис. 3. Точки запрета и приостановки работ, фиксируемых по вертикали и горизонтали. Инновационная постановка проблемы

токов предмета целостности от предмета природы до конечного продукта.

3.2. «Учет» не предусмотренных целеполагающей установкой видоизменений производственных потоков.

3.3. Организация управления производственными потоками в соответствии со спецификой ресурсных блоков.

3.4. Ориентация на вариант функционирования системы «человек – средство труда – предмет труда» сообразно принципу «эффективность оптимум» по горизонтали, вертикали и диагонали [5, 10].

В этом случае по горизонтали потоки предмета труда функционируют, изменив свои «противодействующие» качества на «содействующие», то есть по направлению совпадающие с целью человека (общества). Подобного рода совпадения возможны, если управленческие решения, принятые на этапе функционирования предмета труда условного, создают теоретические «заделы» будущих инновационных производств, а на этапах функционирования предметов труда первичного и вторичного обеспечивается создание условий, при которых эти потоки начинают «работать» в режиме оптимума [3].

Горизонтальные материальные потоки, наряду с конечным продуктом, образуют по-

бочные продукты-отходы. Принцип «эффективность-оптимум» предполагает отработку управленческих решений, начиная с нулевого цикла производства, выполнение которых не позволяет вывести за точку запрета технологические отходы производства (побочные продукты различными способами возвращаются в действующие технологические цепи, «переводятся» в смежные, складываются и т. д.).

Вертикальные материальные потоки (управляющие звенья) так же, как и управляемые ими потоки живого труда, способны функционировать в режиме «эффективность-оптимум», когда:

1. Целеполагающие функции выполняются субъектами управленческого действия в режиме личной сопричастности, заинтересованности и обеспечивают отработку соответствующих стратегических и тактических решений с учетом «точек запрета», прогнозируя не только целевые, но и все сопутствующие результаты производственной деятельности.

2. Целереализующие функции выполняются индивидуальными и коллективными субъектами труда с настроен на содействие (в крайнем случае, нейтральное отношение) выполнению целевых установок производ-

ства (общества), а условия труда подготовлены к такой реализации.

Учету и контролю подлежат также стыки горизонтальных и вертикальных материальных и информационных потоков в точках соприкосновения окончаний нитей управления с горизонтальными потоками живого труда (малая группа, индивид) по всему ходу движения предмета труда процесса целостности (от предмета природы до конечного продукта).

Правилу алгоритмизации подчиняется также функционирование отраслевых и межотраслевых материальных потоков, специфика которых обусловлена масштабами, длиной технологических цепей и сложностью последних.

Анализ движения производственных потоков дает основания для следующих выводов:

1. Потокам предмета труда присущи уникальные свойства, которых нет у других компонентов процесса труда. Только в потоках предмета труда фиксируются плюсы и минусы производственных усилий человека и средств его деятельности. Это относится как к вещным, так и не-вещным потокам предмета труда. Поэтому все расчеты затрат абстрактного и конкретного труда должны вестись на базе данных потоков предмета труда.

2. Качественно-количественные параметры потоков предмета труда-целостности начинают формироваться на стадии предмета труда нулевого, то есть в сфере духовного производства (наука). На этом этапе общество принимает стратегические решения, общественная значимость которых бесспорна, ибо на последующих стадиях предмета труда процесса (первичные, вторичные) идет овеществление по принципу алгоритма.

Стратегические решения должны включать в качестве обязательных элементов не только варианты обеспечения целевых установок общества, но и прогнозные оценки появления иррациональных, сопутствующих основному производству результатов.

3. Этап функционирования потоков предмета труда первичного следует рассматривать как ВТОРОЙ по важности с прогностической точки зрения для социума после

этапа предмета труда условного (имеется в виду формирование качества конечного продукта и возможного сочетания в нем полезных, вредных, нейтральных свойств).

На этом этапе общество еще располагает достаточной степенью свободы для оптимального решения проблем с учетом точек запрета и получения необходимых по качеству, достаточных по количеству конечных продуктов производственного и индивидуального потребления.

4. Функционирование потока предмета труда вторичного в большинстве случаев до минимума ограничивает возможности социума по видоизменению качественных параметров конечного продукта, если оно оставляет без внимания и коррекции процесс производства в точках запрета.

5. На выходе из стадии функционирования потоков предмета труда вторичного влияние общества на формирование качества конечного продукта равно нулю.

6. Материальные потоки средств труда, выступая результатом функционирования материальных потоков предметов труда прошлых производств, несут в себе соответствующую «печать качества». Если оно оказывается низким, то потоки средств труда способны неотвратимо и на длительный период деформировать те или иные виды общественного производства.

Возможен и другой, более явный вариант «течения» процесса, фиксируемый как эффект нового металлолома, когда средства труда сразу же после своего производства не могут быть использованы по прямому назначению.

7. Потребности человечества в XXI веке стремительно меняются, ужесточаются требования к качественному разнообразию природного субстрата. Процесс идет на фоне острого дефицита не только невозпроизводимых, но и относительно воспроизводимых ресурсов (вода, почва, растительный и животный мир). Такое положение может быть изменено при рационализации социумом использования материальных потоков первичных и вторичных предметов труда, перехода к новым типам функционирования в режиме «эффективность-оптимум», использования

принципиально новых способов вовлечения отходов производства и вышедших из употребления конечных видов продукции в действующие материальные потоки предмета труда [14, 15].

Другими словами, функционирование материальных потоков предмета труда социум должен ускоренными темпами и неуклонно «переводить» в новые технологические режимы, согласующиеся с биогеохимическими циклами планеты (прежде всего, за счет самовозбуждения субстрата предмета труда, его функционирования по типу «природной машины»).

8. Особо значимо функционирование материальных и информационных потоков предмета труда, когда в качестве таковых выступают сами субъекты труда (индивиды, социальные группы, общество в целом). Являясь первопричиной, средством и результатом производства, они способны продуцировать со знаком «минус» или «плюс» алгоритмы функционирования вещных и не-вещных материальных потоков со всеми вытекающими последствиями [8].

Страны, акцентирующие внимание на развитии материальных и информационных потоков в стадии нулевого цикла и концентрирующие эти виды производств на своих территориях, АВТОМАТИЧЕСКИ ПОЛУЧАЮТ КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАНЕТАРНОГО МАСШТАБА. Даже не размещая у себя завершающие звенья производственных процессов, они способны контролировать и, что более важно, определять тактическое и стратегическое развитие материального и духовного производства. Анализ социально-экономической и экологической ситуации свидетельствует, что такой статус присущ странам Запада и Севера. Это преимущество постоянно «подпитывается» как политическими, так и военными средствами.

Относительно специфики функционирования вертикальных потоков (управленческие звенья) со всей определенностью можно говорить, что человечество стоит перед необходимостью ограничения и контроля за движением всех видов материальных потоков (производственных, сферы услуг, народонаселения, военно-промышленного комплек-

са). Жестко обозначились экологические координаты бытия современного социума [14, 15].

Биосфера уже не в состоянии обеспечить:

1. «Содержание» военно-промышленного комплекса, то есть материальных и информационных потоков разрушающего типа;

2. «Обеспечение» на соответствующем уровне потоков народонаселения планеты (имеются в виду количественные параметры и пропорции, объективно сложившиеся в настоящее время);

3. Удовлетворение чрезмерных, обусловленных не биолого-социальным, а исключительно социально-престижным характером потребления (диспропорции функционирующих материальных потоков производства и сферы услуг).

Сегодня социум имеет только одну альтернативную возможность: коэволюционный путь развития цивилизации.

Биосфера стремительно меняется, принимая значения, полностью исключающие существование на Земле человечества как одной из форм «живого вещества». В современных условиях общей целью глобального социума вне зависимости от политических, государственных различий, географического положения страны, исторических традиций и т. д. должно стать сохранение стабильности биосферы. Оно реально, ибо: *во-первых*, острота решения экологических проблем может и должна оказаться причиной, способной побудить народы и государства искать приемлемые компромиссы в стратегии глобального социума, основанные на взаимоотношениях, исключающих военные столкновения. *Во-вторых*, неизбежным становится этап эволюции планеты, когда человек (социум) должен взять на себя полную ответственность за дальнейшее ее развитие. Эволюция социума не может не быть направленной. Это делает актуальной разработку теории вертикальных потоков управления во всем многообразии форм и средств [8].

Оптимизм будущего сегодня должен тщательно просчитываться. Обеспечение биологической и социальной выживаемости - ПЛАНИРУЕМЫЙ, а НЕ СТИХИЙНЫЙ



Рис. 4. Феномен «космического корабля – атрибутивное качество функционирования материальных потоков»

процесс. Кроме того, человечеству предстоит решать глобальные проблемы в кратчайшие сроки.

Социуму предстоит «перевод» материальных мирохозяйственных потоков в режим функционирования «экономики космического корабля», которому должны быть присущи такие черты, как рачительное отношение к ресурсам, в том числе и к такому, как индивидуальный потенциал личности, обеспечение самовозобновления биосферы и социума в контексте гармонизации их отношений (рис. 4).

В сложившейся ситуации мировому обществу предстоит сделать выбор между:

1. Необходимостью сплочения всех людей, народов, государств независимо от каких-либо специфических характеристик последних (социальных, политических, экономических, экологических, религиозных и иных притязаний) ради сохранения жизни на Земле;

2. Взаимоистощающей борьбой народов и государств за природные ресурсы, использование материальных и финансовых возможностей в попытке обеспечить ТОЛЬ-

КО ДЛЯ СВОЕЙ СТРАНЫ, СВОЕГО ГОСУДАРСТВА, СВОЕЙ НАЦИИ экологические, социально-экономические и информационные преимущества.

Список литературы

1. Соснина Т. Н. Предмет труда как процесс превращения природного в социальное. - М.: ИНИОН 184 / 1973.
2. Соснина Т. Н. Предмет труда (философский анализ).- Изд-во Саратовск. ун-та, 1976.
3. Соснина Т. Н. Предмет труда материального и духовного производства в условиях научно-технической революции. - М.: ИНИОН 160 / 1976.
4. Соснина Т. Н. Предмет труда как процесс взаимопревращения // Философские науки. - 1982, № 3.
5. Соснина Т. Н. Предмет труда и современное производство. - Изд-во Саратовск. ун-та, 1984.
6. Соснина Т.Н. Материальное производство: вопросы теории и практики. - М.: ИНИОН 32283 / 1987.
7. Соснина Т. Н. Циркуляция материаль-

ных потоков в аспекте выживания цивилизации // В сб. Цивилизация и выживаемость (системный подход). - Самара, 1995.

8. Соснина Т. Н. Материальные потоки производства (теория функционирования). - Самара, 1997.

9. Соснина Т. Н. Процесс становления социального в природное с точки зрения информационного параметра // В сб. Информационная парадигма в науках о человеке. - Таганрог: Таганрогский госуниверситет радиотехнических наук, 2000.

10. Соснина Т. Н. Об основных параметрах управления материальными потоками по горизонтали и вертикали // Вестник СФ МГУП. - М., 2001.

11. Соснина Т. Н. Учет технологических точек запрета и качество управленческих решений. Обзорные прикладной и промыш-

ленной математики // II Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике: Обзор прикладной и промышленной математики. Том 8. Вып. 1. - М., 2001.

12. Соснина Т. Н. О процессе становления социального в природном // В сб. Информация - коммуникация - общество. - СПб.: «ЛЭТИ», 2003.

13. Соснина Т. Н. Анализ и синтез в контексте томографического варианта исследования // В сб. Анализ и синтез как методы исследования. Материалы международной научной конференции. Часть 1. - Таганрог, 2004. - С. 60-61.

14. Соснина Т. Н. Биосфера: анализ стоимостных параметров. - Самара: СГАУ, 2004.

15. Соснина Т. Н. Стоимость: историко-методологическое исследование. - Самара, 2005.

INNOVATIVE METHODS OF ANALYZING MATERIAL AND INFORMATION FLOWS OF PRODUCTION

© 2006 T. N. Sosnina

Samara State Aerospace University

The paper deals with new approaches to analyzing the flows of material and spiritual production using the terminological chain «Object of nature- zero object of labour-primary object of labour-secondary object of labour-final product» in the context of ecological constituent.

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

© 2006 Е. В. Хитрова

Международный институт рынка, г. Самара

Рассмотрены психолого-педагогические факторы, влияющие на результативность педагогической деятельности преподавателей высшей школы.

Конкурентоспособность выпускников вузов во многом зависит от преподавательского состава, от того, насколько результативно преподаватели справляются со своей работой и какой уровень знаний в итоге получают студенты. В связи с этим необходимость всестороннего изучения специфики педагогической деятельности с точки зрения ее результативности является одной из важных задач.

Увоенные в процессе обучения знания и умения - это результат взаимодействия двух сторон образовательной деятельности – педагога и учащегося. Как равноправные стороны образовательного процесса, оба субъекта образовательной деятельности оказывают свое влияние на процесс усвоения содержания образования. С этой точки зрения, анализ психолого-педагогических факторов, воздействующих на процесс усвоения содержания образования, является задачей первостепенной значимости. В проведенном исследовании [1] под такими факторами понимаются индивидуальные личностные особенности субъектов образовательной деятельности.

Поскольку учебная деятельность основана на познавательной активности учащегося, она является сложным структурированным процессом усвоения. Возникает необходимость изучения индивидуальных механизмов усвоения знаний через изучение типов мышления конкретных студентов.

Следующим шагом в рамках исследования индивидуальных особенностей студента является изучение так называемых *личностных аспектов мышления*, определяемых как мотивация и способности человека (его отношение к решаемой задаче, к другим лю-

дам и т. д.) [5]. Очевидно, что под способностями в данном случае понимаются черты характера.

Проводился анализ трех ключевых характеристик, индивидуальных для каждого студента, а именно: типа характера, типа мышления и особенностей учебной мотивации.

Психологи обращают внимание на феномен синтонности [4], представляющий собой педагогическое взаимодействие, при котором ярко выраженные личностные качества учителя и его система обучения наиболее приемлемы для конкретного ученика, то есть отвечают его ожиданиям и «резонируют» с индивидуальными особенностями учащегося. Эта идея привела к мысли о возможности выделения конкретных сочетаний индивидуальных особенностей субъектов образовательной деятельности, формирующих определенный уровень учебной успеваемости.

В качестве педагогического фактора, воздействующего на результат образовательной деятельности, анализировался индивидуальный стиль педагогической деятельности, который используют преподаватели в своей профессиональной деятельности.

Все преподаватели, принимавшие участие в исследовании, опрашивались по методике К. Б. Малышева [2] на предмет их принадлежности к одному из шести индивидуальных стилей педагогической деятельности: эмоционально-рассуждающему, эмоционально-импровизационному, эмоционально-методическому, импровизационно-рассуждающему, рассуждающе-методическому, импровизационно-методическому.

В структуре стиля педагогической деятельности конкретного педагога может при-

существовать несколько компонентов, именно поэтому общий процент распределений превышает 100 %.

В ходе проведения исследования было определено, что значительная часть опрошенных преподавателей (44 %) придерживается в своей работе импровизационно-рассуждающего стиля деятельности, что указывает на предрасположенность к планированию деятельности, стремление к созданию на занятии исследовательского процесса, в ходе которого учащийся сам должен найти правильный ответ.

Второе место по процентному распределению занял эмоционально-рассуждающий стиль педагогической деятельности (40 %). Слабым местом этого стиля является недостаточное внимание к контролю знаний, поскольку для преподавателя интересен сам процесс, а не результат обучения.

По итогам исследования 32 % опрошенных преподавателей используют в своей работе эмоционально-методический стиль педагогической деятельности. Педагоги, придерживающиеся данного стиля, внимательно следят за контролем знаний, однако эмоционально очень зависимы от внешних факторов.

Были выявлены также сочетания стилей. Наиболее часто встречались объединение импровизационно-рассуждающего и эмоционально-рассуждающего, а также сочетание эмоционально-методического и импровизационно-методического стилей.

Из всех стилей педагогической деятельности ни разу не был выделен лишь эмоционально-импровизационный, который характеризуется в первую очередь отсутствием обратной связи педагога с учениками, то есть преподаватель не контролирует уровень усвоения материала. Отсутствие данных об этом стиле говорит о том, что все опрошенные преподаватели обращают внимание на процесс усвоения знаний студентами.

При анализе индивидуальных личностных особенностей студентов рассматривались не только процентные распределения по всем показателям, но также изучалась взаимосвязь каждого из выделенных факторов с учебной успеваемостью студентов. Рассмотрим в качестве примера распределение значений переменной «тип характера» среди опрошенных студентов и связь данной переменной с учебной успеваемостью. Изучение типа характера студента строилось в соответствии с выбранной методикой [3].

Распределение опрошенных студентов по типам характера представлено в диаграмме на рисунке 1.

Рассмотрение соотношения двух переменных: типа характера и учебной успеваемости дало следующие результаты (табл. 1).

Высокие показатели учебной успеваемости гармоничного и сензитивного типа характера объясняются особенностями данных типов. Люди с гармоничным типом характера отличаются высокой требовательностью к себе, самоорганизованностью, уверенностью

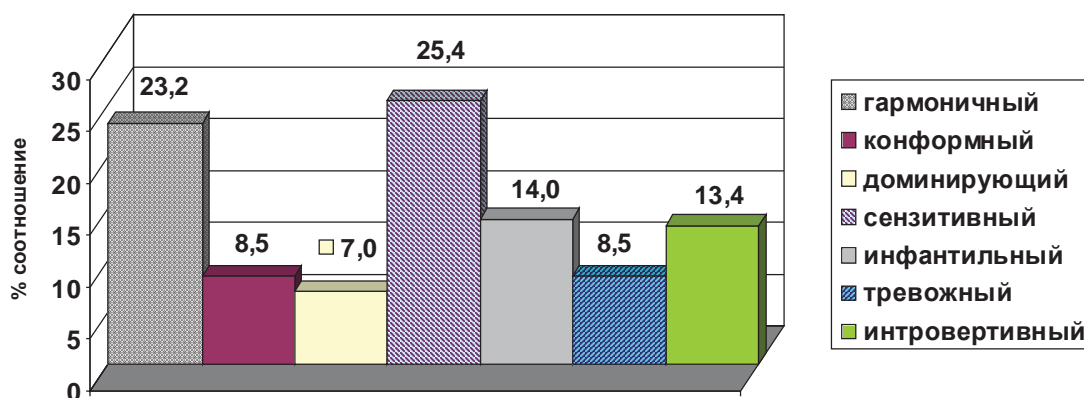


Рис. 1. Процентное распределение типов характера

Таблица 1
Процентное распределение уровней учебной успеваемости

Тип характера студента	1. в основном отлично	2. хорошо - отлично	3. в основном хорошо	4. хорошо-удовлетв.	5. в основном удовлетв.	6. удовлет.-неудовлетв.	Вся выборка
1. Гармоничный	36,4	36,4	21,2	6,0	0,0	0,0	100,0
2. Конформный	8,3	8,3	16,7	25,0	25,0	16,7	100,0
3. Доминирующий	30,0	30,0	30,0	10,0	0,0	0,0	100,0
4. Сензитивный	30,6	19,4	36,1	8,3	2,8	2,8	100,0
5. Инфантильный	5,0	10,0	15,0	50,0	10,0	10,0	100,0
6. Тревожный	8,3	0,0	16,7	25,0	50,0	0,0	100,0
7. Интровертивный	26,3	21,1	26,3	15,8	10,5	0,0	100,0
Вся выборка	23,9	20,4	24,7	17,6	9,9	3,5	100,0

в себе, настойчивостью, что позволяет им добиваться высоких результатов в деятельности, в том числе и учебной. Если рассматривать переменную «тип характера студента» как весовую, то получается, что студенты с гармоничным типом характера в равной степени обучаются на уровне «в основном отлично» (36,4 %) и «хорошо-отлично» (36,4 %).

Учащиеся с сензитивным типом характера добросовестны, творчески подходят к любой деятельности, однако их увлеченность может не только помогать, но и мешать обучению. Они способны обучаться на «отлично», но не всегда могут сосредоточить свое внимание, и поэтому значение «в основном хорошо» в большей степени характерно для сензитивного, чем для гармоничного типа характера.

Хорошие показатели успеваемости демонстрируют студенты доминирующего типа характера, поскольку самоуверенность и стремление быть лидером не позволяют им учиться плохо, что подтверждается и результатами исследования.

Высокой и средней успеваемости добиваются студенты – интроверты, поскольку они ответственны в обучении, но не уверены в своих способностях, что мешает многим из них раскрыться полностью.

Среднюю результативность демонстрируют студенты с инфантильным типом характера (50 %). Кроме того, среди всех студентов, обучающихся на уровне «хорошо-удовлетворительно», студенты инфантильного типа составляют 40 %, так как они не несамкритичны и любят заниматься лишь тем, что им нравится.

Половина всех студентов с тревожным типом характера обучается «в основном удовлетворительно», поскольку они неуверенные в себе и нерешительные, с трудом сосредотачиваются на учебе. Учащиеся тревожного типа характера занимают первое место (42,9 %) среди студентов, обучающихся на уровне «в основном удовлетворительно».

Студенты конформного типа характера демонстрируют скорее низкую результативность учебной деятельности по сравнению с другими типами. 40 % студентов, обучающихся на уровне «удовлетворительно - неудовлетворительно», имеют именно этот тип характера. Такие низкие результаты обусловлены недобросовестностью, безразличием, низким интеллектуальным потенциалом данных студентов.

В ходе проведенного исследования были выявлены также взаимосвязи учебной успеваемости с типом мышления и особен-

ностями учебной мотивации студентов. Тип мышления исследовался на основе методики [2], а учебная мотивация – на основе методики [6].

По результатам исследования в более чем 80 % случаев удается достичь высокой результативности педагогической деятельности со студентами, обладающими следующими сочетаниями типов:

1. Гармоничный тип характера – знаковый тип мышления;
2. Гармоничный тип характера – образный тип мышления;
3. Интровертивный тип характера – образный тип мышления.

Средний уровень результативности достигается при сочетаниях:

1. Сензитивный тип характера – образный тип мышления;
2. Инфантильный тип характера – образный тип мышления;
3. Интровертивный тип характера – знаковый тип мышления.

Низкий уровень результативности фиксируется при сочетаниях:

1. Конформный тип характера – символический тип мышления;
2. Тревожный тип характера – символический тип мышления;
3. Тревожный тип характера – знаковый тип мышления.

Изучение лидирующих мотивов учебной деятельности предоставило дополнительную информацию об индивидуальных качествах личности студента, влияющих на результат обучения.

Почти у половины опрошенных студентов (46,5 %) лидирующим мотивом учебной деятельности является мотив общения, у 33,1 % студентов в структуре мотивации основным выделен мотив переживаний. Таким образом, лидирующие мотивы указывают на то, что студенты в ходе обучения стремятся наладить новые контакты и выбирают только те виды учебной деятельности, которые приносят положительные эмоции. Интересно, что мотив достижения и познавательный мотив, которые побуждают к достижению высоких результатов обучения и получению новых знаний, являются основными в структуре

учебной мотивации лишь для 23,2 % опрошенных студентов.

Самым «ценным» для учебной деятельности является познавательный мотив, что подтверждается и данными распределения мотивов по значениям переменной «Учебная успеваемость». Среди всех студентов, отметивших в своей структуре учебной мотивации познавательный мотив в качестве основного, 33,3 % обучаются на уровне «в основном отлично», что указывает на высокую результативность. Это же можно сказать и в отношении мотива переживаний, так как 29,8 % студентов, выбравших данный мотив в качестве основного, обучаются также на уровне «в основном отлично», а еще 27,7 % – на уровне «хорошо-отлично». Высокие показатели характерны также и для студентов, в структуре мотивации которых присутствует волевой мотив: 30,0 % таких студентов обучаются на уровне «хорошо-отлично».

Средняя результативность педагогической деятельности достигается со студентами, в структуре учебной мотивации которых присутствуют мотив общения и мотив достижения. Необходимо заметить, что 46,5 % студентов, опрошенных в исследовании, отмечали мотив общения в качестве основного.

В соответствии с задачами исследования [1] необходимо определить сочетание индивидуальных качеств студентов и индивидуальных стилей педагогической деятельности, приводящих к достижению того или иного результата. Для каждого стиля педагогической деятельности были определены конкретные сочетания индивидуальных личностных особенностей студентов. Например, преподаватели с импровизационно-рассуждающим стилем педагогической деятельности чаще всего достигают высоких результатов со студентами, которые сочетают:

1. Гармоничный тип характера – знаковый тип мышления и основной мотив общения;
2. Гармоничный тип характера – знаковый тип мышления и основной мотив переживаний;
3. Сензитивный тип характера – знаковый тип мышления и основной мотив общения;

4. Сензитивный тип характера – знаковый тип мышления и основной мотив переживаний.

Средний результат достигается со студентами, у которых:

1. Сензитивный тип характера – образный тип мышления и основной мотив общения;

2. Сензитивный тип характера – образный тип мышления и основной познавательный мотив;

3. Инфантильный тип характера – образный тип мышления и основной мотив общения.

Низкая результативность фиксируется у студентов, имеющих:

1. Конформный тип характера – знаковый тип мышления и основной волевой мотив;

2. Интровертивный тип характера – знаковый тип мышления и основной мотив общения.

Такие же сочетания были определены и для других преподавателей. По итогам анализа были обозначены «универсальные» сочетания индивидуальных личностных качеств студентов, которые позволяют добиться высокой результативности педагогической деятельности у преподавателей с разными стилями педагогической деятельности:

1. Гармоничный тип характера – знаковое мышление – основной мотив общения;

2. Гармоничный тип характера – знаковое мышление – основной мотив переживаний.

Средняя результативность педагогической деятельности достигается со студентами,

обладающими такими личностными качествами:

1. Сензитивный тип характера – образное мышление - основной мотив общения;

2. Сензитивный тип характера – образное мышление - основной познавательный мотив;

3. Инфантильный тип характера - образное мышление - основной мотив общения.

Данные, полученные по итогам исследования, показывают, что учет индивидуальных личностных особенностей студентов позволяет спрогнозировать результат обучения и, следовательно, повысить результативность педагогической деятельности.

Список литературы

1. Минияров В. М., Хитрова Е. В. Комплексное исследование результативности педагогической деятельности преподавателя высшей школы // Вестник СГАУ. - №1, 2006. С.

2. Малышев К. Б. Моделирование в психолого-педагогической деятельности. – Вологда: ВоПИ, 1997.

3. Минияров В. М. Педагогическая психология. Ч. II. Психология обучения: Учебно-методическое пособие / Самара: Изд-во СГПУ, 2004.

4. Рогов Е. И. Учитель как объект психологического исследования. - М.: 1998.

5. Столяренко Л. Д. Основы психологии. 9-е изд.: Учебное пособие. (Серия «Высшее образование») / Ростов н/Д: Феникс, 2004.

6. Чаденкова О. А. Опросник мотивации учебной деятельности студентов: руководство по применению. – Самара: Самар. гуманит. акад., 2004.

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FACTORS AND THE EFFICIENCY OF A HIGHER SCHOOL TEACHER'S PEDAGOGICAL ACTIVITY

© 2006 Ye. V. Khitrova

International Market Institute, Samara

The paper deals with psychological and pedagogical factors which affect the efficiency of higher school teacher's pedagogical activity.

ОДАРЕННОСТЬ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ДУХОВНОЙ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

© 2006 Е. В. Шестун

Самарская Православная Духовная семинария

Дается определение одаренности и рассматриваются условия, способствующие рождению и развитию духовной жизни в человеке.

Понимая, что «культурно-творящий человек» (И. А. Ильин) есть духовный человек, позволим дать свое определение одаренности.

Одаренность – открытие человеком в себе духовной жизни и способность творчески, т. е. самостоятельно и выразительно проявить свой внутренний мир.

Содержание традиционного отечественного образования определялось необходимостью создания условий для пробуждения и развития духовной жизни, развития всех разумных сил души (ума, воли и чувства), познания себя и мира, осознания своей особой призванности в этот мир и ответственности за свою жизнь. Сочетание духовного становления ребенка и развития всех его сил с познанием мира и человека позволяет рассматривать традиционное образование как феномен духовной культуры России. Образовательный процесс в традиционной российской педагогике был направлен на сохранение и развитие одаренности детей. При этом содержание образования определялось задачей научно обоснованного познания мира и формирования способов выражения своего внутреннего мира. Проблемы духовного становления решались семьей и Церковью. Научно обоснованное познание мира и умение выражать свой внутренний мир определяло содержание школьного образования.

Современное образование сосредоточивается на психофизическом развитии ребенка и на оценке этого развития в различных видах деятельности по внешним показателям. В соответствии с таким подходом понимание одаренности свелось к проявлению достижений человеком в каких-либо видах деятельности. В различные исторические периоды приоритеты изменяются. Изменение потребностей государства стимулировало развитие

профильных специализированных учебных заведений для обучения детей с повышенными достижениями. Систему работы с одаренными детьми определил социальный заказ. Одаренность как особое предназначение человека в этом мире, как его способность к духовному творчеству в различных сферах деятельности низводилась до профессиональной подготовки.

Одаренность позволяет человеку проявить себя в духовном творчестве. И. А. Ильин различает две способности к духовному творчеству:

а) творческое созерцание;

б) способность легкого и быстрого проявления, яркого выражения своего внутреннего мира.

Вторую способность И. А. Ильин обозначает понятием талант. «Талант, – считает он, – есть дар легко и быстро, ярко и легко выражать все, что проносится через внутренний мир человека».

Наличие таланта определяет не то, что человек делает, а лишь то, насколько ярко, выразительно, естественно и с легкостью он это делает. Если к этой способности добавляются техническое мастерство, опыт и умение, талант завораживает сам по себе, заставляя содержание.

Талант понуждает к проявлениям даже тогда, когда ему нечего сказать, когда он оторван от «таинственных родников духа» (И. А. Ильин), творческого созерцания, пуст и беспочвен, не имеет своего духовного опыта. В такие моменты он начинает жить случайным, заимствованным или совершенно недуховным содержанием. Неменьшую опасность представляет и то обстоятельство, что талантливость сама по себе может отучить людей от вкуса и воли к настоящим проявлениям духа.

Талант и творческое созерцание часто оказываются несоизмеримы в жизни конкретного человека. Одному дается талант, дар выражать и изображать, но не дается сила творческого созерцания. Другому дается сила творческого созерцания, духовное прозрение. Дар созерцания предполагает в человеке, по мысли И. А. Ильина, повышенную впечатлительность духа, способность восторгаться совершенством и страдать от несовершенства. Все великое в науке было создано созерцанием сущности, мгновенным прозрением или, что то же самое, – озарением. Не отрицая роли чувственного наблюдения и отвлеченной мысли в науке, следует сказать, что это лишь азбука научной методологии, ее поверхностные приемы.

Истинно великое возникает из сочетания таланта и духовного созерцания. Творческая судьба каждого человека не только в искусстве, но и в религии, философии, политике определяется тем, в какой мере сочетаются в нем эти две силы.

Многие современные люди живут вне духовного опыта, поэтому склонны одарен-

ность сводить только к таланту.

Духовную жизнь каждому необходимо в себе открыть. Для того чтобы открыть в себе духовный мир и при этом научиться чувствовать, замечать и осмысливать свою внутреннюю жизнь, важно научиться внимать самому себе, ослаблять власть внешних впечатлений, а для этого необходимы уединение, молчание, крупные переломы в психических навыках.

Жизнь конкретного человека определяется логикой и ритмом духовного развития. Опыт православного воспитания показывает, что духовную жизнь в человеке нельзя пробудить, сохранить и взрастить через развитие его психофизических функций. Нельзя прийти к духовному росту через развитие интеллекта, воли или чувства, хотя духовная жизнь и опосредуется этим развитием душевной периферии. Пробуждение духовной жизни, одухотворение души благодатью происходит в определенных условиях. Православное воспитание направлено на создание условий, способствующих рождению духовной жизни и ее развитию.

NATURAL GIFTS AS A MANIFESTATION OF AN INDIVIDUAL'S SPIRITUAL LIFE

© 2006 E. V. Shestun

Samara Orthodox Theological College

The paper defines natural gifts and considers the conditions that contribute to the conception and development of an individual's spiritual life.

СТРУКТУРА КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССИИ

© 2006 Е. В. Шестун

Самарская Православная Духовная семинария

Предложена структуризация культурно-образовательного пространства государства с выделением трех обязательных элементов, связанных между собой иерархическими отношениями: национального образования и воспитания; народного или государственного и цивилизационного образования и воспитания; мирового или глобалистического образования и воспитания. Трехуровневая модель культурно-образовательного пространства позволяет более точно определить и конкретизировать цели образования, формы и методы современной системы образования России.

Каждый человек, рождаясь в этот мир, несет в себе плоть, кровь и дух своего народа. Он с молоком матери впитывает свою национальную культуру, осваивает родной язык. Уклад жизни и ценности народа становятся его собственным образом жизни.

Более ста пятидесяти национальностей сохранило Российское государство за свою тысячелетнюю историю. В Конституции Российской Федерации подчеркнуты многонациональный характер народа России, общность его судьбы на своей земле, исторически сложившееся государственное единство. Объединяет народ и делает его единым жизнь в одной из цивилизаций, существующих в современном мире, в одной общей для всех культуре, освоение одного общего для всех языка. Каждый человек, каждая семья одновременно погружены в мир национальной и в мир цивилизационной культуры.

Для большинства граждан любого государства, в том числе и России, культура национальная и культура цивилизационная совпадают. Если национальные и цивилизационные основы жизни различаются, то возможны различные варианты совместного жизнеустройства. Европейские государства чаще всего решали эту проблему путем ассимиляции малых народов или их содержания за счет государства без попыток включения в общую жизнь. Первый вариант привел в процессе исторического развития Европы, да и не только Европы, но и Америки, к потере многих малых народов, что значительно обедняет культуру цивилизации, придавая ей более приземленный и рационалистический

характер. Второй вариант приводит к напряжению отношений между народом-носителем культуры цивилизации и другими жителями государства. Последние события в Европе показывают, к каким тяжелым последствиям может привести отсутствие реальных механизмов включения всех в общее бытие государства как единого многонационального народа.

Современное открытое общество дает возможность каждому человеку быть включенным и в процессы, которые выходят за рамки жизни конкретного государства. Такие процессы принято называть глобалистическими. Основным центральным понятием для доктрины глобализма является «глобальная цивилизация». Это понятие выработалось в русле так называемой «давосской культуры» – социально-культурного феномена, получившего свое название по имени города Давос (Швейцария), где проходит ежегодный Всемирный экономический форум, собирающий тысячи бизнесменов, банкиров, правительственных чиновников, интеллектуалов, журналистов из разных стран. Общими признаками представителей «давосской культуры» являются высокий уровень образованности, преимущественно в сфере естественных или социальных наук, бизнеса и юриспруденции, свободное владение английским языком, включенность в практику правительственной деятельности, менеджмента, международных академических и финансовых институтов, высокая степень мобильности за пределами собственной страны. Носители «давосской культуры» принимают определенные теоре-

тические допущения и ценности, такие, как индивидуализм, рыночная экономика, политическая демократия, выработанные в русле развития западной цивилизации. «Давосская культура» ограничивается рамками западного мира, то есть охватывает не более одной шестой части населения планеты, за пределами западного мира нормы и ценности давосской культуры разделяют не более одного процента населения, в основном представители национальных политических элит. Тем не менее, влияние на мировые процессы представителей и сторонников универсальной цивилизации достаточно заметно, поэтому его необходимо учитывать.

Культурное многообразие мира продолжает сохраняться и в современную эпоху. Процесс взаимодействия культур и цивилизаций имел место на протяжении всей истории человечества. В наше время наблюдается повышение интенсивности этого процесса, что ни в коем случае не противоречит сохранению религиозных и этнических традиций и культурных различий народов.

Мы можем говорить о том, что современный человек живет в многообразном поликультурном мире. В этом многообразии мы выделяем основные элементы, связанные иерархическими отношениями. Включенность в полноту культурного бытия происходит через освоение национальной культуры, культуры цивилизации и с учетом глобалистических тенденций, происходящих в современном мире, выраженных в элементах «давосской культуры». Государственная система образования наряду с семьей должны обеспечить полноту вхождения каждого человека в этот многообразный мир различных культур.

В современной системе образования также наблюдается уход от полноты решения поставленных проблем, и это касается не только России, но и большинства развитых стран. Обычно преобладают два подхода: уход в сторону национального образования или принятие за основу цели и содержания образования глобалистических тенденций. И тот, и другой подходы порождают социальное напряжение в обществе, противопоставляя или уравнивая национальную культуру, культуру цивилизации, в лоне которой созда-

валось и крепло государство, и формирующуюся культуру мирового сообщества.

Опираясь на многовековой опыт жизнеустройства многонационального народа России, выделим три обязательных элемента культурно-образовательного пространства, связанных между собой иерархическими отношениями:

1. Национальное образование и воспитание. Освоение национальной культуры, родного языка, национального уклада жизни, родной веры («Национальное бытие»).

2. Народное или государственное и цивилизационное образование и воспитание. Освоение общей для всех государствообразующей культуры, единого языка, социальных отношений, правовых и этических норм общей для всех цивилизации. Знание уклада жизни государствообразующего народа, его ценностей и веры («Народное единение»).

3. Мировое или глобалистическое образование и воспитание. Освоение языка, этикета и основ знаний, необходимых для вхождения в мировое сообщество («Давосская культура»).

Важен механизм органического единения этих трех элементов в образовательном пространстве современной России – механизм, позволяющий во всей полноте воплотить в жизни народа такие конституционные нормы, как утверждение прав и свобод человека, гражданского мира и согласия; сохранение исторически сложившегося государственного единства, равноправия и самоопределения народов; почитание памяти предков, передавших нам любовь и уважение к Отечеству, веру в добро и справедливость, стремление обеспечить благополучие и процветание России, ответственность за свою Родину перед нынешними и будущими поколениями; осознание себя частью мирового сообщества.

Национальное воспитание и образование начинается в семье и может быть продолжено в системе дошкольного и дополнительного образования. Освоение национальной культуры и духовно-нравственных ценностей может происходить в рамках школьного или регионального компонентов госу-

дарственного стандарта образования в местах компактного проживания граждан одной национальности, а также в национальных и конфессиональных учебных заведениях. Национальное воспитание и образование позволяет в рамках своей культурно-исторической и религиозной традиции освоить передачу опыта духовной жизни. Рассматривая духовно-нравственное становление личности, можно говорить о возможности духовного становления как реальной энергичной основы бытия человека в процессе освоения национально-религиозной культуры и уклада жизни народа.

Народное или государственное и цивилизационное воспитание и образование осуществляется в системе государственного образования или в светской системе образования. Она обеспечивает наряду с изучением основ наук и освоение культуры, нравственных норм и ценностей, общих для всего многонационального народа и сложившихся в процессе его многовекового бытия, а также знакомит с укладом жизни и религиозными воззрениями государствообразующего этноса.

В современном мире любое сообщество, которое живет в границах единого государства, является многонациональным. Государство как хранитель цивилизационной культуры, в лоне которой оно формировалось, решает три основных задачи:

1. Сохранение многонационального и многокультурного богатства входящих в цивилизацию этносов.

2. Объединение различных этносов в единый многонациональный народ как носителя цивилизационной культуры.

3. Обеспечение каждому гражданину государства возможности выхода в мировое сообщество как носителя своей национальной и цивилизационной культуры.

Можно говорить и об основных задачах светской государственной школы, которыми являются введение ребенка в мир собственной цивилизации и обеспечение возможности участия в жизни мирового сообщества. Решение этой задачи обеспечивается федеральной частью государственного образовательного стандарта. Уточним, что различие и единство народного и национального вос-

питания и образования рассматривается в рамках восточно-православной византийской цивилизации, в лоне которой формировалось Российское государство.

Говоря о системе образования с исторической точки зрения, подчеркнем особенность российской традиции. Система образования состояла из университетской системы, включающей в себя средние учебные заведения, и системы духовного образования как сословного образования, включающего в себя духовные академии, семинарии и духовные училища, а также приходские школы. Светская система образования готовила кадры для государственного служения, духовная система готовила кадры для Церкви. Так как жизнь государства и народа была укоренена в тысячелетней традиции восточно-православной византийской цивилизации, светская система образования, решая и проблему единения многонационального народа, строилась на основе традиционного религиозного мировоззрения. Надо добавить, что и мировоззрение всей многонациональной России, укорененной в религиозной традиции мировых религий, было тоже религиозным. Светское образование не являлось синонимом атеистического или безрелигиозного образования.

Понятие «светское», возникнув в России в XVII веке, приобретает особый смысл спустя два столетия, став синонимом латинского *saecularis*. Секуляризация понимается как высвобождение от религиозного влияния всех сфер жизнедеятельности общества и личности. «Светское» принято рассматривать в смысле «безрелигиозное».

Очевидно, что речь идет не о самой системе образования, а о мировоззрении, на основе которого рассматриваются естественные и гуманитарные науки. Попытаемся провести различие между безрелигиозным и религиозным мировоззрениями.

За отправную точку примем рассмотрение нашей познавательной установки. В основе всякого познания лежит направленность взора на неизвестное. В отношении к неизвестному, не теоретическому, а практическому осмыслению бытия и лежит граница, разделяющая безрелигиозное и православное мировоззрения.

Русский философ С. Л. Франк писал: «Рассуждая отвлеченно, мы все, конечно, знаем, что мир не исчерпывается тем, что нам в нем уже известно и знакомо, что познано нами, а напротив, он бесконечно шире и содержательнее всего, нам уже известного. Но на практике нашего познавательного отношения к миру и, более того, нашей общей установки к бытию мы все склонны жить в “привычном”, то есть уже известном, жить так, как если бы мир им и кончился. То, что мы переживаем как “окружающий нас мир”, то, в связи с чем протекает наша жизнь и познание чего определено нашими жизненными интересами, фактически переживается как совпадение с миром вообще. Наша господствующая установка такова, что мир нам известен и что известное, знакомое, привычное нам есть весь мир».

Раскрытость сознания, его способность расширяться в безграничные просторы вокруг познанного, привычного, уже знакомого есть условие нормального и практического функционирования нашего сознания и познания.

Полноценное светское и академическое образование неизбежно приводит человека к пониманию предела своего знания.

Преодоление естественных законов бытия, то есть «отречения мира», требует не

теоретических рассуждений, а практических действий, связанных с преодолением не только замкнутого сознания, но и естественных защитных реакций.

Душевный строй общества перерождается очень медленно, и мы находимся в начале этого пути. Реальностью нашего положения является наличие и противопоставление двух систем образования – государственной светской и церковной православной*.

На самом же деле, как показывает опыт исторической жизни Православной Церкви, светское и религиозное образование не находятся в противоречии, а восполняют друг друга, восстанавливая полноту культурно-образовательного пространства, в рамках которого каждой личности многонационального народа должна быть обеспечена возможность вхождения в мир национальной и цивилизационной культур, а также возможность выхода в мировое сообщество. Для наиболее эффективного решения этой задачи необходимо изменение мировоззренческого основания современной системы образования. Трехуровневая модель культурно-образовательного пространства позволит более точно определить цели образования, конкретизировать эти цели, а также содержание, формы и методы современной системы образования России.

THE STRUCTURE OF CULTURAL AND EDUCATIONAL SPACE OF RUSSIA

© 2006 E. V. Shestun

Samara Orthodox Theological College

The paper proposes a structure of culture and educational space of the state separating three obligatory elements interconnected by hierarchical relations: national education, state and civilised education, world or global education. The three – level model of cultural and educational space makes it possible to define more clearly and to give concrete expression to the goals of education, the forms and methods of the modern educational system in Russia.

*Кроме того, существует небольшое количество инославных конфессиональных учебных заведений

ВЕСТНИК
САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

№ 1 (9)

2006

Корректор **Карпова Л. М.**
Компьютерная верстка **Коломиец В. В.**
Переводчик **Безрукова Е. И.**
Технолог **Прилепский И. В.**

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 200. Заказ 24.

Отпечатано в отделе интеллектуальной собственности и информационного обеспечения
Самарского государственного аэрокосмического университета
443086 Самара, Московское шоссе, 34