

УДК 621.431.75+539.3

**НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОЧНОСТИ ЦИАМ
И ЕЁ СВЯЗЬ С САМАРСКИМ АЭРОКОСМИЧЕСКИМ КЛАСТЕРОМ
(к 85-летию со дня основания института)**

© 2015 Ю. А. Ножницкий¹, А. И. Белоусов², Е. П. Кочеров³

¹Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, г. Москва

²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

³Открытое акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Раскрывается роль Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ) как головного научно-исследовательского института в системе обеспечения требуемых динамических и прочностных параметров создаваемых в стране авиационных двигателей. Приведены принципы и традиции научной школы прочности ЦИАМ в решении практических проблем, выявлении причин дефектов и разработке конкретных рекомендаций на основе фундаментальных и инженерных подходов. Особенностью научной школы прочности ЦИАМ является то, что она объединяет инженерно-технических и научных сотрудников института и работающих в тесном контакте с ними сотрудников предприятий отрасли, вузов, академических и отраслевых институтов, научно-исследовательских учреждений Министерств обороны и гражданской авиации. Показана роль в формировании и развитии научной школы прочности ЦИАМ выдающихся учёных И.Ш. Неймана, С.В. Серенсена, Р.С. Кинашвили, И.А. Биргера. Отмечен круг вопросов по изучению динамики авиационных двигателей при сочетании теоретических, расчётных и экспериментальных исследований по созданию, расширению с использованием уникальной отраслевой экспериментальной базы для прочностных испытаний двигателей и их узлов и систем. Уделено внимание конверсионным программам по наземному применению газотурбинных двигателей, включая разработку российских и международных нормативных документов. Отмечены тесные связи прочнистов ЦИАМ с авиадвигателестроителями Самары и научных школ ЦИАМ и Самарского аэрокосмического кластера, а также роль академика Н.Д. Кузнецова в их развитии и укреплении.

Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ), прочность, научная школа, динамика.

doi: 10.18287/2412-7329-2015-14-3-9-23

Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова (ЦИАМ) – сейчас Государственный научный центр ФГУП «ЦИАМ имени П.И. Баранова» – был образован по Постановлению Правительства СССР в 1930 г. после обращения группы учёных, в котором говорилось о необходимости усиления в стране работ по созданию авиационных двигателей.

Все эти годы исследования в области динамики и прочности были одним из важнейших направлений деятельности ЦИАМ. Основными объектами исследований прочнистов ЦИАМ являлись авиационные двигатели (АД) различного назначения, а также редукторы воздушных винтов и трансмиссии вертолётов. Вместе с тем результаты многих проведённых учёными ЦИАМ работ нашли применение в смежных отраслях науки и промышлен-

ности и способствовали развитию механики и машиностроения.

Сложность решаемых задач, высокая ответственность принимаемых решений и необходимость принятия этих решений в сжатые сроки обусловили формирование научной школы ЦИАМ по прочности авиадвигателей, основные принципы и традиции этой школы. Прочнисты ЦИАМ в своей деятельности всегда руководствовались необходимостью решения практических проблем, выявления причин дефектов и разработки конкретных рекомендаций. На базе этих исследований формулировались общие проблемы механики и машиностроения, часто имевшие фундаментальный характер, разрабатывались как общие методы решения этих проблем, так и непосредственно инженерные подходы, пригодные для использования в промышленности.

При этом под школой прочности ЦИАМ всегда понимались не только научные сотрудники и инженеры института, но и работавшие в тесном сотрудничестве с ЦИАМ сотрудники предприятий отрасли. Важное значение имело также постоянное взаимодействие сотрудников ЦИАМ с учёными и инженерами вузов, академических, отраслевых институтов, научно-исследовательских учреждений Министерства обороны и гражданской авиации.

Ниже отражены лишь некоторые из наиболее важных направлений исследова-

ний прочнистов ЦИАМ и имена ряда ушедших из жизни учёных, а также имена руководителей крупных структурных подразделений. Более подробные сведения по отдельным вопросам имеются в ряде публикаций, в частности, в работах [1-9].

Основоположниками и руководителями научной школы прочности ЦИАМ являлись Исаак Шебетьевич Нейман, Сергей Владимирович Серенсен, Роберт Семёнович Кинасошвили и Исаак Аронович Биргер (рис.1).



И.Ш. Нейман



С.В. Серенсен



Р.С. Кинасошвили



И.А. Биргер

Рис.1. Основоположники и руководители научной школы прочнистов ЦИАМ

Первым руководителем прочностных исследований в ЦИАМ стал д-р техн. наук, проф. Нейман И.Ш., под руководством которого осуществлялись исследования кинематики, динамики и прочности поршневых авиационных моторов. В этот период в институте был сформирован высококвалифицированный коллектив прочнистов. Институт стал школой подготовки кадров для авиационной промышленности страны. В ЦИАМ стажировались аспиранты и докторанты МВТУ, МАИ. И.Ш. Нейман был одним из основателей кафедры двигателей в Военно-воздушной академии имени Н.Е. Жуковского, работал над первыми выпусками «Руководства для конструкторов авиационных двигателей».

С 1940 по 1964 гг. в ЦИАМ исследования в области прочности проводились под руководством заместителя Начальника ЦИАМ (с 1953 г.) д-р техн. наук, проф. Р.С. Кинасошвили, который много сделал для формирования комплексного подхода

к решению проблем динамики и прочности авиационных двигателей, включавшего расчётные и экспериментальные исследования. Учебник Р.С. Кинасошвили «Сопrotивление материалов» выдержал 6 изданий. В этот период были продолжены работы по поршневым двигателям и начаты исследования прочности газотурбинных двигателей (ГТД).

Применительно к поршневым двигателям были разработаны детальные методы расчёта кинематики и динамики кривошипно-шатунных механизмов и устранения опасных крутильных колебаний валов (И.Ш.Нейман, В.Я.Натанзон, В.К. Житомирский), выполнены основополагающие исследования по конструированию и динамике зубчатых передач редукторов (В.А. Доллежалъ, А.И. Петрусевич), по резьбовым соединениям (И.А. Биргер), подшипникам скольжения (С.Н. Куцаев).

В годы Великой Отечественной войны прочнисты ЦИАМ (Р.С. Кинасошвили, В.К. Житомирский, М.Т. Мезелев и др.)

активно работали над устранением дефектов и совершенствованием двигателей.

После возвращения в 1942 г. ЦИАМ в Москву из Уфы, куда он был эвакуирован в октябре 1941 г., исследования в области конструкционной прочности материалов возглавил д-р техн. наук, проф., академик АН Украины С.В. Серенсен, который руководил этими работами в ЦИАМ до 1967 г. Выдающийся, широко известный в стране и за рубежом учёный, С.В. Серенсен создал в ЦИАМ и в стране в целом мощную научную школу конструкционной прочности материалов, под его руководством были заложены основы расчёта деталей на выносливость, разработаны теоретические основы проектирования оборудования для исследований многоциклового усталости. Научная и преподавательская деятельность С.В. Серенсена способствовала возникновению и укреплению связей прочнистов ЦИАМ с учёными академических институтов и вузов (прежде всего Института машиноведения АН СССР, Института проблем прочности АН Украины, МАТИ). Многие ученики С.В. Серенсена стали известными учёными и инженерами, руководителями предприятий.

Работа над газотурбинными двигателями началась уже в первые годы после окончания Великой Отечественной войны. Можно отметить разработку Р.С. Кинашвили метода расчёта быстровращающихся неравномерно нагретых дисков. Под руководством А.А. Коломийцева был разработан метод динамического тензометрирования, позволяющий определять в рабочих условиях вибрационные напряжения, действующие в лопатках турбомашин. Были также созданы электродинамические вибраторы большой мощности, позволяющие исследовать вибрационные свойства и проводить испытания на выносливость деталей ГТД (А.А. Коломийцев, И.М. Тетельбаум, В.Я. Касьяненко, В.А. Байков, Е.А. Отцов и др.).

Переход в послевоенные годы авиации на газотурбинные двигатели привёл к

появлению новых сложных задач, для решения которых необходимо было развивать и использовать методы механики деформируемого твёрдого тела.

С 1964 по 1993 гг. руководителем прочностных исследований в ЦИАМ был выдающийся учёный-механик и инженер, заместитель начальника ЦИАМ д-р техн. наук, проф. И.А. Биргер. Этот период совпал по времени с периодом расцвета советской авиационной промышленности и советского ракетостроения.

Будучи разносторонним учёным-энциклопедистом, И.А. Биргер внёс существенный вклад в формирование и развитие целого ряда научных направлений.

Под его руководством были впервые разработаны «Нормы прочности ГТД» и «Нормы прочности жидкостных ракетных двигателей», руководства для конструкторов, многие справочники. И.А. Биргер много сделал для становления современных методов расчёта динамики и прочности двигателей, развития методов подтверждения ресурса, разработки методов диагностики технического состояния двигателей, а также создания конструкций двигателей из жаропрочных неметаллических материалов. Им было опубликовано более 20 книг, многие из которых и сегодня пользуются известностью у специалистов, он оказал большое влияние на формирование коллективов, занимающихся вопросами прочности в научно-исследовательских центрах, промышленных предприятиях и в вузах Москвы, Санкт-Петербурга, Киева, Самары, Уфы, Запорожья, Перми, Рыбинска, Казани, Омска, Днепропетровска, Харькова и других городов. Подготовленный И.А. Биргером совместно с Р.Р. Мавлютовым учебник «Сопротивление материалов» выдержал несколько изданий.

Работы И.А. Биргера и его учеников в области строительной механики турбомашин проводились по следующим научным направлениям:

- разработка теории деформирования гибких лопаток в поле центробежных сил;

- расчёт разрушающей частоты вращения дисков;
- развитие теории упругопластических деформаций;
- разработка методов расчёта критических частот вращения соосных роторов и систем ротор-корпус при произвольных прецессиях;
- решение задач термпрочности, термопластичности и ползучести конструкций, в том числе охлаждаемых.

В разработке методов прочностных расчётов активное участие принимали В.М. Даревский, Н.И. Котеров, В.В. Жестовский, В.Г. Сундырин, А.И. Ушаков и др.

Исследования конструкционной прочности деталей авиадвигателей, начатые С.В. Серенсенем и продолженные его учениками (Б.Ф. Балашовым, Т.К. Брагиной, Р.А. Дульневим, Т.П. Захаровой, А.С. Лейкиным, Р.Н. Сизовой и др.), опирались на обобщение большого объёма экспериментальных данных и охватывали широкий круг проблем, связанных с изучением свойств материалов деталей авиадвигателя применительно к конкретным сложным конструктивным формам, технологическим процессам и реальным условиям эксплуатации двигателей. Сюда относятся вопросы много- и малоциклового усталости, термоусталости, длительной прочности и нестационарной ползучести с учётом их статистической природы и совместного влияния на долговечность конструкций. По мере расширения круга используемых конструктивных материалов и разработки новых технологических процессов расширялся и спектр исследований, охватывая деформируемые, гранулируемые и литейные, в т.ч. монокристаллические, сплавы, различные композиционные материалы, жаропрочную керамику, углерод-углеродные материалы и т.д. Для анализа механизмов повреждения и разрушения конструкций широко использовались физические методы исследований (Р.И. Ткаченко и др.).

Расчётные и экспериментальные исследования динамики авиационных дви-

гателей охватывали широкий круг вопросов:

- исследования и прогнозирование автоколебаний вентиляторов и компрессоров (А.А. Коломийцев, В.А. Кулагина, Л.Е. Ольштейн, Е.А. Локштанов, Р.А. Шипов и др.);
- вынужденные и резонансные колебания лопаток и дисков (И.И. Меерович, В.Я. Касьяненко, В.Н. Тюленев, В.П. Иванов, И.В. Егоров и др.);
- критические частоты вращения роторов, динамика корпусов, связанных колебаний систем «роторы – корпуса» (И.А. Биргер, В.О. Бауер, Р.И. Исаев, Г.С. Маслов, В.М. Даревский, Н.И. Котеров, М.В. Никулин и др.);
- совершенствование методов и оборудования для вибрационных испытаний, в т.ч. бесконтактных для исследования динамических процессов (Е.А. Отцов, И.Е. Заблоцкий, Ю.А. Коростылёв, Р.А. Шипов, В.М. Сачин и др.).

Расчётные исследования сочетались с экспериментальными, включавшими испытания в лабораторных и лётных условиях (М.Т. Мезелев, Ю.М. Халатов, В.М. Сачин и др.).

Большое внимание уделялось теории и экспериментальным исследованиям автоколебательных процессов (флаттера) в лопаточных машинах, начатым в 1950-х годах А.А. Коломийцевым. Необходимость совместного изучения нестационарной аэродинамики и механики лопаточных венцов потребовала объединения усилий специалистов различных направлений с привлечением наряду со специалистами ЦИАМ сотрудников некоторых академических институтов и конструкторских бюро. Многие годы координатором этих усилий был д-р техн. наук, проф. Л.Е. Ольштейн. Используемые методы проектирования и экспериментальной проверки работы компрессоров и вентиляторов позволили практически ликвидировать опасность возникновения автоколебаний разработанных двигателей в условиях эксплуатации.

Как в институте, так и в подотрасли в целом активно развивались работы по системам автоматизированного проектирования (САПР) двигателя (И.А. Биргер, О.К. Югов, В.А. Сосунов, Л.Н. Дружинин, И.Е. Заблоцкий, А.А. Синицын и др.).

Создание авиационного двигателя невозможно без проведения большого количества работ, в том числе экспериментальных, подтверждающих безопасность эксплуатации двигателя, его ресурса и надёжности. В ЦИАМ была создана мощная отраслевая экспериментальная база для прочностных испытаний двигателей и их узлов.

Особенно следует отметить создание в ЦИАМ в 1970-е годы отраслевой базы прочностных испытаний (А.И. Михайлов, И.И. Черноморский и др.). При этом специалисты ЦИАМ проводили прочностные испытания образцов (в том числе вырезанных из заготовок деталей и готовых деталей), моделей деталей, натурных деталей, узлов и двигателей, сочетая испытания в лабораторных условиях, экспериментальную оценку прочности двигателей при стендовых и лётных испытаниях с расчётами и физическими исследованиями.

В частности, на протяжении многих лет в институте проводились статические испытания полноразмерных авиационных двигателей и редукторов, включая испытания таких двигателей как НК-8-2у, Д30-К, НК-86, НК-25, ТВ-0-100, испытания редуктора для систем управления аппарата многоразового применения «Буран», топливного водородного бака гиперзвуковой летающей лаборатории и многие другие (М.В. Никулин, В.П. Королёв и др.).

В специализированных подразделениях института осуществляются работы по многодисциплинарному математическому моделированию (Ю.М. Темис, В.М. Зюзина и др.).

Работам в области динамики и прочности авиадвигателей традиционно большое внимание уделялось руководителями ЦИАМ. Особенно плотно пришлось зани-

маться в разные годы этими проблемами В.И. Поликовскому, Г.П. Свищёву, С.М. Шляхтенко, Д.А. Огородникову, В.А. Скибину, в настоящее время – В.И. Бабкину. Многие комплексные работы проводились и проводятся под руководством заместителей руководителя института (В.М. Акимов, В.А. Сосунов, С.А. Сиротина, А.С. Новикова и др.).

С 1993 г. работы по прочности ГТД в ЦИАМ продолжаются под руководством заместителя Генерального директора института д-ра техн. наук Ю.А. Ножницкого.

На протяжении последних примерно пятидесяти лет работы в области динамики и прочности в ЦИАМ развивались в основном по следующим направлениям:

- динамика (Б.Ф. Шорр, А.А. Хориков);
- прочностные расчёты (в разные годы этим отделом руководили Б.Д. Карташкин, Н.И. Котеров, В.Г. Сундырин, В.В. Навроцкий, Ю.В. Шехтман, Б.С. Блинник);
- конструкционная прочность сплавов (Б.Ф. Балашов, И.В. Пучков, А.В. Фишгойт, Е.Р. Голубовский);
- экспериментальные прочностные исследования (В.П. Иванов, Е.И. Болдырев, В.А. Скибин, А.Н. Архипов, Б.А. Балуйев);
- разработка методов подтверждения ресурса (П.И. Орманов, Р.А. Дульнев, В.К. Куевда, С.Д. Потапов);
- прочность конструкций из композиционных и керамических материалов (А.С. Лейкин, Т.Д. Каримбаев);
- прочность зубчатых колёс и редукторов (Э.Б. Вулгаков, В.В. Голованов);
- подшипники (А.И. Ерошкин, Н.И. Петров).

В последние годы направления научных исследований прочности в ЦИАМ существенно расширились.

Большое внимание уделяется разработке и экспериментальной верификации математических моделей, описывающих работу элементов двигателя в экстремальных условиях (при попадании птиц, града,

при разрушении лопаток, валов и т.д.), влияющих на безопасность эксплуатации, поскольку прямые испытания узлов двигателя в таких условиях чрезвычайно дороги, а зачастую и крайне сложно реализуемы.

Ведутся исследования по деформированию и разрушению в различных условиях образцов из перспективных материалов: гранулируемых и монокристаллических сплавов, интерметаллидов, конструкционной керамики, различных композиционных материалов.

Расширены расчётно-экспериментальные исследования по оптимизации проектирования лёгких лопаток вентиляторов (с применением композиционных материалов или титановых пустотелых), блисков (в том числе биметаллических), блингов и элементов роторов из композиционных материалов; монокристаллических лопаток турбин с новыми высокоэффективными схемами охлаждения и теплозащитными покрытиями, неметаллических деталей высокотемпературных турбин и камер сгорания, керамических и гибридных (с керамическими телами качения) подшипников качения, деталей статоров из композиционных материалов и т.д.

Теоретически и экспериментально изучаются различные способы реализации конструкционного демпфирования и другие пути снижения вибрационных напряжений в деталях, а также методы их прогнозирования и предотвращения разрушения деталей двигателей от многоциклового усталости.

Существенное изменение претерпевают методы подтверждения ресурса основных (критических по последствиям разрушения) работающих в области малоциклового усталости деталей двигателей. В частности, развиваются методы подтверждения ресурса на основании расчётов теплового и напряжённо-деформированного состояния деталей на нестационарных режимах работы с использованием статистически обоснованных данных по конструкционной прочности материалов и

экспериментально обоснованной методике выбора значений требуемых для обеспечения безопасности эксплуатации запасов по циклической долговечности. Ведутся расчётно-экспериментальные исследования по методам подтверждения ресурса на основе концепции возможного безопасного развития трещин от имеющихся после изготовления (из-за ограниченной чувствительности применяемых методов неразрушающего контроля) или возникших в эксплуатации дефектов с учётом всё возрастающих международных требований к обеспечению безопасности полётов.

Осуществляется формирование удобной для использования базы данных по конструкционной прочности материалов.

Существенное развитие получили практические методы диагностики технического состояния узлов двигателей как путём разработки новых уникальных подходов (кинематометрия зубчатых колёс, бесконтактные методы исследования колебаний и т.д.), так и путём совершенствования диагностических критериев, реализации многопараметрической диагностики, анализа трендов, применения нейронных сетей и систем удалённой диагностики.

Большое внимание уделяется работам по наземному применению ГТД в электростанциях, газоперекачивающих агрегатах и т.д. Разработка необходимых российских и международных нормативных документов осуществлялась совместно со специалистами ВТИ, ВНИИГАЗ, ЦКТИ и других предприятий и организаций в рамках созданного на базе ЦИАМ Технического комитета по стандартизации ТК144, работающего в тесном контакте с соответствующими комитетами ISO и ASME. В ЦИАМ проводятся работы по прогнозированию характеристик материалов деталей газотурбинных установок (ГТУ) при больших наработках, определению допустимых повреждений и прогнозированию ресурса деталей ГТУ, анализу вибрационного состояния ГТУ и т.д.

Как уже отмечалось, развитие научной школы ЦИАМ всегда было тесно связано с решением конкретных проблем обеспечения прочности и надёжности авиационных двигателей, а также агрегатов трансмиссий вертолётов. На протяжении 85 лет в СССР и СНГ не было ни одного авиационного двигателя, в обеспечение прочности которого ЦИАМ не внёс существенного вклада, начиная с формирования технического задания на создание двигателя и заканчивая исследованием причин обнаруженных в процессе доводки и эксплуатации двигателей дефектов и разработкой мероприятий по предотвращению этих дефектов. В ЦИАМ в течение многих лет функционировали и продолжают действовать бригады по прочности изделий различных конструкторских бюро. В 1994 г. на базе ЦИАМ создан центр сертификации, экспериментальная база института аккредитована для проведения сертификационных испытаний авиационных двигателей и ГТУ.

По результатам исследований в области прочности и надёжности ряд монографий, справочников и учебных пособий опубликовали Б.Ф. Балашов, И.А. Биргер, Э.Б. Вулгаков, В.М. Даревский, И.В. Демьянушко, Р.А. Дульнев, И.В. Егоров, В.П. Иванов, В.А. Карасёв, Т.Д. Каримбаев, В.П. Максимов, И.Ш. Нейман, С.В. Серенсен, Р.Н. Сизова, А.Н. Петухов, Б.Ф. Шорр и др. Научные сотрудники и инженеры ЦИАМ постоянно участвуют в работе отечественных и зарубежных научных организаций, занимающихся вопросами безопасности, эксплуатации, прочности и надёжности конструкций, принимают активное участие в организации международных конференций по конструкционной прочности, надёжности, ресурсу, сертификации двигателей. Ими опубликовано большое количество статей в специализированных отечественных и зарубежных изданиях, представлено большое количество докладов на конференциях, проводимых различными международными организациями (AGARD, ESIS, ASME и др.) в разных странах, на

национальных съездах по механике и других представительных форумах учёных.

Руководители школы прочностной надёжности ЦИАМ всегда уделяли большое внимание подготовке кадров. В течение многих лет в отделении прочности и отделе математического моделирования проходили обучение студенты базовой кафедры МФТИ. Многолетние научные и творческие связи существуют между ЦИАМ и кафедрами прикладной механики, прочности летательных аппаратов, прикладной математики и энергетических установок МГТУ им. Н. Э. Баумана, а также рядом профилирующих кафедр МАИ, МАТИ, МЭИ, МГТУ ГА, МАДИ, МАМИ, авиационных вузов Казани, Рыбинска, Самары, Уфы, академии имени Н.Е. Жуковского и др. Для подготовки высококвалифицированных специалистов в аспирантуре ЦИАМ осуществляется подготовка аспирантов по специальности «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры».

С 1938 г. учёному совету института предоставлено право принимать к защите кандидатские, а с 1943 г. – докторские диссертации по динамике и прочности авиационных двигателей. Сотрудниками ЦИАМ – специалистами в области динамики и прочности во время работы в институте было защищено более 25 докторских и 85 кандидатских диссертаций.

Учёные ЦИАМ привлекаются в качестве оппонентов диссертационными советами научно-исследовательских институтов и вузов страны, в том числе и СГАУ.

Одно из условий успешного решения коллективом прочнистов ЦИАМ сложных научных задач – наличие высококвалифицированных инженеров-расчётчиков, экспериментаторов, конструкторов, технологов, техников, начальников стендов, станочников, механиков, мотористов, электриков, прибористов, тензометристов, лаборантов.

Ряд циамовских прочнистов был удостоен почётных званий и премий. Звания «Заслуженный деятель науки и техни-

ки РСФСР» были удостоены И.А. Биргер, Р.С. Кинасошвили; «Заслуженный деятель науки РФ» – Р.А. Дульнев, Б.Ф. Шорр; «Заслуженный машиностроитель РФ» – Ю.А. Ножницкий, Р.Н. Сизова; Государственной премии СССР были удостоены И.А. Биргер (дважды), В.К. Житомирский, Р.С. Кинасошвили, А.А. Коломийцев, В.Я. Натанзон, И.Ш. Нейман, С.В. Серенсен, Р.Н. Сизова, С.И. Чухачёв, Государственной премии УССР – Л.А. Горшков, В.А. Карасев, Б.Ф. Шорр, премии Совета Министров РФ – Б.Ф. Балашов, А.Н. Петухов (дважды); премии Правительства РФ – В.О. Бауер, Т.Д. Каримбаев, премии имени Н.Е. Жуковского – Б.Ф. Балашов, И.А. Биргер, В.М. Даревский, И.В. Демьянушко, Р.А. Дульнев, А.Н. Петухов, Р.Н. Сизова, Б.Ф. Шорр, премии имени А.И. Макаревского – Т.Д. Каримбаев, Ю.А. Петров, Д.В. Афанасьев, А.А. Луппов, Д.И. Николаев, М.М. Половин. Многие сотрудники ЦИАМ были удостоены премий Ассоциации авиационного двигателестроения, других премий.

В начальный период развития газотурбинных двигателей специалисты ЦИАМ активно способствовали созданию в ОКБ подразделений прочности и надёжности, передавая свой опыт проведения как расчётов, так и экспериментальных исследований. Во многих ОКБ сформировались высококвалифицированные коллективы специалистов, которые, безусловно, могут быть отнесены к научной школе ЦИАМ.

Совместная работа сотрудников ЦИАМ с руководителями и ведущими специалистами ОКБ и заводов является многолетней традицией.

Можно отметить особенно тесные связи прочнистов ЦИАМ с авиадвигателестроителями Самары. Самарская школа авиадвигателестроения была создана Генеральным конструктором авиадвигателей академиком Н.Д. Кузнецовым. Эта школа включала, прежде всего, сотрудников, входивших в состав работавших под руководством Н.Д. Кузнецова промышлен-

ных предприятий Самары, Казани и ряда других городов, а также Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва [10-12]. Около 70 % инженерного состава ОКБ составляли выпускники КуАУ-СГАУ, а ведущие специалисты ОКБ преподавали в вузе. При ОКБ были открыты вечернее отделение КуАИ и аспирантура.

Под руководством Н.Д. Кузнецова был выполнен большой объём новаторских НИОКР, приведших к разработке и созданию:

- самого мощного в мире турбовинтового двигателя, обеспечивающего полёты стратегических самолётов уже более 60 лет;
- работающего на жидком водороде и сжиженном природном газе двухконтурного ГТД с форсажной камерой;
- ЖРД замкнутой схемы большой тяги;
- газотурбинных установок различного назначения (приводов мощных вентиляторов, газоперекачивающих аппаратов, электрогенераторов и т.д.) на базе авиационных ГТД;
- ГТД для экранопланов;
- авиационных атомных двигателей, лазерных систем и т.д.

Выполнение этих разработок было невозможно без большого внимания вопросам обеспечения прочностной надёжности двигателей, тесной связи с прочнистами ЦИАМ [13, 14]. Н.Д. Кузнецов был прочнистом и по образованию, и по опыту работы. Он постоянно уделял особое внимание вопросам обеспечения прочности и надёжности создаваемых под его руководством авиационных и ракетных двигателей, газотурбинных установок. Двигатели марки НК всегда отличались высокой надёжностью.

В научной школе Н.Д. Кузнецова работало и работает большое количество высококвалифицированных учёных и инженеров в области динамики и прочности, докторов и кандидатов наук. Они составили значительную часть утверждённого в 2012 г. согласно решению Президента РФ

об образовании в стране пилотных инновационных территориальных кластеров единственного в РФ аэрокосмического кластера – в Самарской области.

Самарская область известна большим количеством ведущих в авиационной и ракетно-космической промышленности конструкторских и производственных предприятий по ракетно-космическому машиностроению, авиа-, агрегато-, двигателе-, радиоприборо- и станкостроению, авиакосмическим материалам и рабочим жидкостям, а также научно-исследовательских и научно-образовательных организаций.

Особенность Самарского аэрокосмического кластера в том, что на территории одного региона сконцентрирован полный цикл производства всего спектра авиакосмической техники и обеспечения его научно-техническими, инженерными и техническими кадрами. Он обеспечивается кадрами, главным образом СГАУ, СамГУ, СГТУ, техникумами и колледжами авиационного и промышленного машиностроения имени Д.И. Козлова, авиационным, космического машиностроения, Поволжским профессиональным и рядом других ОУ ВПО, СПО и НПО.

Самарский аэрокосмический кластер создан для системного объединения предприятий, организаций и образовательных учреждений региона с целью повышения их конкурентоспособности и эффективности деятельности. Намеченное бюджетное финансирование открывает перспективы по развитию инновационных технологий, в том числе сертификационных работ, инноваций в широком смысле слова, работ по подготовке специалистов для инновационного производства, восстановлению кооперативных связей, поддержке малых инновационных предприятий в вузах для внедрения их проектов на крупнейших предприятиях отрасли.

Например, в отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий» (ОНИЛ-1) СГАУ под научным руководством А.И. Ермакова

разработана система виброзащиты силовой установки создаваемого в ОАО «Кузнецов» впервые в стране железнодорожного газотурбовоза на основе конвертированного авиационного газотурбинного двигателя (А.Ю. Берёзкин, П.В. Бондарчук, Т.А. Волкова, Д.П. Давыдов, А.Н. Котов, Г.В. Лазуткин, Ф.В. Паровай, Ю.К. Пономарёв, А.А. Тройников и др.).

Самарскими учёными в творческом содружестве с сотрудниками ЦИАМ был выполнен ряд важных научных исследований по динамике и прочности двигателей, в результате которых:

- разработаны методы подтверждения ресурса эквивалентно-циклическими испытаниями (Н.Д. Кузнецов, В.И. Цейтлин);

- созданы методы расчёта колебаний систем с циклической симметрией (В.П. Иванов, А.И. Ермаков, А.С. Сердотецкий и др.);

- создан упругодемпфирующий нетканый пористый материал МР (металлический аналог резины) – однородная пористая масса в виде готовой детали, получаемой холодным прессованием дозированной по весу специальной образом уложенной заготовки из проволочной спирали – оригинальное отечественное изобретение (авторы А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин), широко используемое в авиационном и ракетном двигателестроении и других отраслях техники для виброзащиты (А.М. Сойфер, А.И. Белоусов, В.Н. Бузицкий, Г.В. Лазуткин, А.А. Тройников, А.М. Уланов, Л.Г. Шайморданов и многие др.), герметизации в условиях вибраций (А.И. Белоусов, В.А. Борисов, А.С. Виноградов, Н.Д. Войтех, В.А. Зрелов, Ф.В. Паровай, С.В. Фалалеев и др.), фильтрации (А.И. Белоусов, А.М. Жижкин, Е.А. Изжеуров и др.), а также в медицине (электроды для обезболивания при операциях, искусственные зубы и клапаны сердца) и для многих других целей. По решению ряда отраслевых министерств, в том числе и Минавиапрома СССР, более чем на 100 предприятиях ряда городов страны изготавливали из материала МР изделия различного назначения

(калькодержатель – КуАИ). Поэтому для их серийного производства под научным руководством А.М. Сойфера, а с 1971 г. – А.И. Белоусова, в ОНИЛ-1 КуАИ было разработано и передано предприятиям уникальное оборудование (Г.В. Казанский, Ф.В. Паровай, В.А. Першин, А.Д. Пичугин, И.Т. Смирнов и др.). Но когда с 1992 г. производство изделий из МР на предприятиях резко упало и стало нерентабельным, Правительство РФ поручило СГАУ осуществлять серийное производство, которое ведётся с государственной приёмкой средств виброзащиты заказчиком с 1994 г. под научным руководством Д.Е. Чегодаева и с 2005 г. – А.И. Ермакова (В.А. Безводин, А.Ю. Берёзкин, П.В. Бондарчук, Д.П. Давыдов, Т.А. Волкова, М.А. Иванова, А.Н. Котов, Г.В. Лазуткин, О.П. Мулюкин, Ф.В. Паровай, В.А. Першин, Ю.К. Пономарёв, А.А. Тройников, Л.А. Шумилина и многие др.);

- разработаны методы и средства гидродинамического демпфирования роторов ГТД и турбонасосных агрегатов ЖРД (В.Б. Балякин, А.И. Белоусов, Д.К. Новиков, Д.Е. Чегодаев и др.);

- разработаны методы проектирования конструкций из композиционных материалов с требуемыми критериями качества по динамическим параметрам (В.Н. Вякин, Г.Г. Карташов, Н.Д. Степаненко, В.А. Юдин);

- разработаны теория виброакустических процессов в гидравлических и пневматических системах двигателей и летательных аппаратов, оригинальные гасители пульсаций и корректирующие устройства газовых измерительных цепей (Н.Д. Быстров, А.Г. Гимадиев, А.Е. Жуковский, И.С. Загузов, А.Н. Крючков, С.А. Петренко, А.Б. Прокофьев, В.Я. Свербилов, Е.В. Шахматов, Г.В. Шестаков, В.П. Шорин и др.);

- создана методология ослабления вредных остаточных напряжений и поверхностного упрочнения деталей (С.И. Иванов, В.А. Кирпичёв, Б.А. Кравченко, В.Ф. Павлов и др.);

- выявлены предельные состояния материалов двигателей при многофакторном

нагружении (М.Е. Колотников), с использованием которых обеспечены высокие показатели ресурса и надёжности ГТД наземного применения (Н.Д. Кузнецов, Е.А. Гриценко, К.А. Жуков, В.Н. Орлов, Д.Г. Федорченко и др.);

- получили развитие работы в области САПР двигателей (В.Д. Радченко, Б.М. Аронов и др.), в том числе с учётом обеспечения требуемого состояния по динамическим параметрам (М.Е. Проданов, Д.Е. Чегодаев, С.М. Штейнберг и др.);

- сформулирована методология создания воздушных вибраторов (В.П. Иванов), которые нашли применение в ЦИАМ и на многих других предприятиях отрасли, и мощных вибростендов принципиально нового (гидростатического) типа для испытаний тяжёлых изделий (А.И. Белоусов, А.С. Мокрый, В.Н. Самсонов), в том числе на работающем двигателе (А.И. Белоусов, В.И. Сусликов);

- развивается методология оценки и прогнозирования показателей надёжности на этапе проектирования, т.е. по чертежу и техническому заданию на проектирование и эксплуатацию изделия.

Особо отметим поддержку Н.Д. Кузнецовым, руководством и сотрудниками ЦИАМ работы по созданию в КуАИ–СГАУ эластичных металлопластмассовых (ЭМП) опор как нового типа и поколения опор скольжения (А.М. Сойфер, Д.С. Коднир, Ю.И. Байбородов).

ЭМП опоры появились сразу после изобретения МР и выпуска отечественной промышленностью полимерных материалов (ПМ). Возникла острая необходимость создания подшипников, работоспособных при больших нагрузках в условиях перекоса гибкого вала относительно опор. В ЭМП опорах используется композиция материала МР, обеспечивающего большое демпфирование и эластичность в широком диапазоне изменения, и ПМ, обладающих малыми плотностью и коэффициентом трения, высокими противозадирными свойствами, относительно меньшей стоимостью по сравнению с дефицитными и дорогими бронзой, оловом, свинцом, серебром, индием и другими ме-

таллическими материалами. Сочетание в ЭМП опорах наиболее ценных свойств ПМ и МР, а также проявление их композицией новых качеств привело к разработке особого класса и появлению нового поколения опор скольжения. ЭМП опоры работоспособны в вакууме, в инертной и активных средах, в воде, при повышенных и криогенных температурах, практически бесшумны в широком диапазоне скоростей скольжения и нагрузок, а в некоторых узлах трения даже обходятся без смазки. ЭМП опоры по характеристикам эффективности превосходят лучшие зарубежные аналоги.

По решению Правительства СССР в г. Чебоксары было организовано крупносерийное промышленное производство (с 1981 г. и по настоящее время) разрабатываемых в КуАИ – СГАУ радиальных и осевых ЭМП опор скольжения. Благодаря этому ЭМП опоры используются на 1480 энергоагрегатах всех ГЭС и многих ТЭС СССР и РФ, а также в 35 странах Европы, Азии, Северной и Южной Америк. Эта работа была удостоена Государственной премии СССР (Ю.И. Байбородов, Д.С. Коднир и др., 1989 г.) и внесла существенный вклад в развитие энергетики и экономики страны, укрепление международного престижа отечественной науки и техники.

ЭМП опоры сразу же стали широко использоваться не только в качестве подшипников, но и как направляющие и бугели создаваемого оборудования для

прочностной и вибрационной доводки аэрокосмической техники и для старта ракетоносителей из контейнеров, в качестве бампер-подшипников в трёхроторных авиационных двигателях для предотвращения касания валов и демпферов роторов, упругодемпферных опор трубопроводов и торцовых уплотнений роторов авиационных двигателей и турбонасосных агрегатов, в гидроарматуре и для других целей. Эти работы были выполнены большим коллективом учёных и инженеров, включая В.А. Антипова, В.Б. Балякина, А.И. Белоусова, А.И. Дмитренко, В.А. Зрелова, Н.Г. Гаврилова, А.В. Иванова, А.В. Ковтунова, А.С. Мокрого, О.П. Мулюкина, Д.К. Новикова, Е.А. Панина, Ю.К. Пономарева, О.А. Ткаченко, С.И. Ткаченко, Е.В. Шахматова.

При непосредственном участии Н.Д. Кузнецова в Самаре была создана уникальная база для прочностных испытаний двигателей. На этой базе успешно отработывались новые методы испытаний и исследований, включая голографическую интерферометрию, испытания на термомеханическую усталость и др. (Д.С. Еленевский, В.И. Цейтлин и др.).

Долгие годы Н.Д. Кузнецов был председателем, а И.А. Биргер – заместителем председателя комиссии АН СССР по надёжности. И.А. Биргер и Н.Д. Кузнецов были не только коллегами, но и друзьями (рис. 2), что не мешало им отстаивать собственные, не всегда совпадавшие точки зрения.



Рис.2. Биргер И.А. и Кузнецов Н.Д. на конференции в Куйбышеве

Н.Д. Кузнецов, будучи студентом авиационного техникума, учился сопроамату у Р.С. Кинасошвили и с особой теплотой вспоминал в неформальной обстановке поучительные случаи о взаимоотношениях с ним на протяжении студенческой жизни и производственно-конструкторской деятельности.

Учёные и инженеры ЦИАМ и СГАУ традиционно участвуют в конференциях по прочности двигателей (14 проведено в г. Куйбышеве в 1960 – 1990 гг. как всесоюзных, а в 1994 – 2014 гг. в г. Самаре – 10 международных). Сотрудники ЦИАМ и СГАУ встречаются и на конференциях, проводимых в ЦИАМ, и на других научных форумах, готовят совместные публикации. А.И. Белоусовым и И.А. Биргером издано учебное пособие «Прочностная надёжность деталей турбомашин», а М.К. Сидоренко совместно с В.А. Карасёвым и В.Г. Максимовым издали монографию по вибродиагностике ГТД.

На первой конференции в КуАИ в 1960 г. выступил с докладом С.В. Серенсен. Он был участником двух конференций в Куйбышеве.

И.А. Биргер был постоянным участником конференций в Куйбышеве (кроме первой) и на каждой выступал с докладом на актуальную тему, всегда откликнулся на просьбы сотрудников СГАУ проконсультировать по интересующим их вопросам.

Участники конференций отмечают, что эта добрая традиция поддерживается и сейчас.

Тесное взаимодействие предприятий и большая личная дружба Николая Дмитриевича Кузнецова и Исаака Ароновича Биргера послужили основой продолжающегося и сейчас сотрудничества самарской и циамовской научных школ в области прочностной надёжности. Не случайно в кабинете начальника отделения динамики и прочности ЦИАМ рядом с портретами основателей научной школы прочности ЦИАМ висит подаренный самарскими коллегами портрет Н.Д. Кузнецова.

ЦИАМ всегда способствовал развитию научных исследований в КуАИ-СГАУ, в частности, по динамике конструкций из композиционных материалов (И.А. Биргер, Т.А. Каримбаев), поддержав выпуск трёх ОСТов (В.Н. Вякин, Г.Г. Карташов, Н.Д. Степаненко, В.А. Юдин) по определению упругодемпфирующих свойств, испытаниям на усталость при высокочастотных изгибных колебаниях и при плоском напряжённо-деформированном состоянии, а также предложения СГАУ по изменению технологии укладки волокон при вибропрочностной доводке лопатки из композиционного материала ТРДД Д18Т в ЗМКБ «Прогресс».

Б.М. Митин и Л.И. Франкштейн как рецензенты способствовали улучшению и поддержали выпуск РТМ по испытаниям торцовых уплотнений в условиях динамики роторов (А.И. Белоусов, В.А. Зрелов) и разработку суфлёра из материала МР (А.И. Белоусов, А.М. Трянов).

В последние годы (в основном, в 2010-2014 гг.) в ЦИАМ была значительно модернизирована экспериментальная база прочностных исследований. Введены в эксплуатацию новые уникальные испытательные машины, вибростенды, разгонные стенды, оборудование для физических исследований и др. Значительно шире используются тонкие физические исследования для анализа механизмов повреждения и разрушения конструкций и развития трещин усталости.

Принципиально изменились класс используемой для прочностных исследований вычислительной техники и профессиональный уровень работающих с ней специалистов. В настоящее время в ЦИАМ в области динамики и прочности продолжают работать 11 докторов наук, большое количество кандидатов наук и других высококвалифицированных специалистов. В коллективе прочнистов много талантливой молодёжи и студентов, что позволяет с оптимизмом смотреть в будущее.

Библиографический список

1. Ножницкий Ю.А., Темис Ю.М., Шорр Б.Ф. Научная школа прочности ЦИАМ имени П.И. Баранова. К 75-летию основания института // Проблемы прочности. 2005. № 6. С.132-141.
2. Ножницкий Ю.А., Темис Ю.М., Гусев В.М. и др. Прочность и надёжность двигателей // ЦИАМ. 1980-2000. Научный вклад в создание двигателей. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2000. С.467-682.
3. ЦИАМ 75 лет / под ред. В.А. Скибина, Б.А. Пономарёва, Л.И. Соркина, Б.Ф. Шорра. М.: Авиамир, 2005. 656 с.
4. Современные методы обеспечения прочностной надёжности деталей авиационных двигателей / под ред. Ю.А. Ножницкого, Б.Ф. Шорра, И.Н. Долгополова. М.: Торус пресс, 2010. 450 с.
5. Малинин Н.Н. Кто есть кто в сопротивлении материалов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 247 с.
6. Серенсен С.В. Избранные труды в трёх томах. Киев: Наукова думка, 1985.
7. Махутов Н.А. Научная школа академика Сергея Владимировича Серенсена // В кн.: «Научные основы повышения малоциклового усталости». М.: Наука, 2006. С. 9-24.
8. Биргер И.А. Прочность и надёжность машиностроительных конструкций. Уфа: УГАТУ, 1998. 349 с.
9. Ножницкий Ю.А., Федина Ю.А., Шорр Б.Ф. Инженер и Механик (Биргер И.А.) // В кн. «Созвездие». Вып.3. М.: Авикопресс, 2005. С. 43-60.
10. Орлов В.Н. Н.Д. Кузнецов. Человек и Конструктор. Самара: Самара-Авиагаз, 2011. 123 с.
11. Белоусов А.И. Генерал и кафедра. Самара: СГАУ, 2011. 29 с.
12. Белоусов А.И. Генеральный конструктор академик Н.Д. Кузнецов и кафедра КиПДЛА КуАИ – СГАУ // Крылья Родины. 2011. №5. С. 44-47.
13. Скибин В.А. Прочностная надёжность двигателей и человеческих отношений // В кн. Гриценко Е.А., Игначков С.М. Человек–легенда. Самара: Агни, 2011. С. 210-219.
14. Гуров В.И., Ножницкий Ю.А., Шестаков К.Н. Совместные работы КМЗ и ЦИАМ по решению основных проблем создания двигателя НК-33 // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». Ч. 2. Самара: СГАУ, 2011. С. 231.

Информация об авторах

Ножницкий Юрий Александрович, доктор технических наук, профессор, заместитель Генерального директора, Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, г. Москва. E-mail: nozhnitsky@ciam.ru. Область научных интересов: безопасность, прочность и ресурс газотурбинных двигателей.

Белоусов Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика

С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: aibelousov@mail.ru. Область научных интересов: динамика, прочность, надёжность авиационных и ракетных двигателей, профессиональное образование.

Кочеров Евгений Павлович, кандидат технических наук, заместитель генерального конструктора, Открытое акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара. E-mail: kotcherov_ep@kuznetsov-motors.ru. Область научных интересов: динамика, прочность, надёжность авиационных двигателей.

**CIAM'S SCIENTIFIC SCHOOL OF STRENGTH AND ITS TIES
WITH SAMARA AEROSPACE CLUSTER
(FOR THE 85TH ANNIVERSARY OF CIAM'S FOUNDATION)**

© 2015 Y. A. Nozhnitsky¹, A. I. Belousov², E. P. Kotcherov³

¹Central institute of aviation motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation

²Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

³Open joint-stock company «KUZNETSOV», Samara, Russian Federation

The role of Central Institute of Aviation Motors (CIAM) as the leading scientific-research institute in the system of provision of the required dynamic and strength parameters of aircraft engines developed in the country is shown in the paper. Principles and traditions of the CIAM's scientific strength school as applied to solving practical problems, establishing the causes of defects and working out specific certain recommendations on the basis of fundamental and engineering approaches are discussed. The fact that CIAM brings together engineers and researchers, as well as employees of industrial enterprises, universities, academic and branch institutes, research institutions of the Ministry of Defense and civil aviation, working in close contact with them, is a specific feature of the CIAM's scientific strength school. The role of the outstanding scientists I. Sh. Neiman, S. V. Serencen, R. S. Kinasoshvili, I.A. Birger in the forming and development of the CIAM's scientific strength school is also shown. A wide range of subjects dealing with the study of aircraft engine dynamics with an appropriate combination of theoretical, computational and experimental investigations in the area of creating and expanding the unique research-and-trial facilities for strength testing of engines and their assemblies and systems is noted. Much attention is given to conversion programs on ground-based application of gas-turbine engines including the development of Russian and International regulatory documents. Special emphasis is placed on close ties between the CIAM's strength specialists with Samara's aircraft engine manufacturers and the scientific strength school of CIAM and Samara's aerospace cluster, as well as the outstanding role of academician N.D. Kuznetsov in the development and strengthening of these ties.

Central Institute of Aviation Motors (CIAM), strength, scientific strength school, dynamics.

References

1. Nozhnitsky Y.A., Temis Y.M., Shorr B.F. Scientific strength school of CIAM named after P.I. Baranov. For the 75th anniversary of CIAM's foundation. *Strength of Materials*. 2005. No. 6. P. 132-141. (In Russ.)
2. Nozhnitsky Y.A., Temis Y.M., Gusev V.M. et al. Strength and reliability of engines. *CIAM. 1980-2000. Scientific endowment to engine creation*. Book 1. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2000. P. 467-682. (In Russ.)
3. *TsIAM 75 let* [CIAM 75 years / ed. by V.A. Skibin, B.A. Ponomarev, L.I. Sorkin, B.F. Shorr]. Moscow: Aviamir Publ., 2005. 656 p.
4. *Sovremennye metody obespecheniya prochnostnoy nadezhnosti detaley aviatsionnykh dvigateley* [Up-to-date methods of ensuring structural reliability of aircraft engine parts / ed. by Y.A. Nozhnitsky, B.F. Shorr, I.N. Dolgoplov]. Moscow: Torus press Publ., 2010. 450 p.
5. Malinin N.N. *Kto est' kto v soprotivlenii materialov* [Who is who in strength of materials]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2000. 247 p.
6. Serencen S.V. *Izbrannye trudy v trekh tomakh* [Selected works in three volumes]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1985.
7. Makhutov N.A. Scientific school of the academician Sergei Vladimirovich Serencen. *In the book: «Scientific bases for enhancement of low-cycle fatigue»*. Moscow: Nauka Publ., 2006. P. 9-24. (In Russ.)
8. Birger I.A. *Prochnost' i nadezhnost' mashinostroitel'nykh konstruksiy* [Strength and reliability of mechanical structures]. Ufa: Ufa State Aviation Technical University Publ., 1998. 349 p.
9. Nozhnitsky Y.A., Fedina Y.A., Shorr B.F. An engineer and a Mechanic (Birger

I.A.). In the book «Constellation». Iss. 3. Moscow: Aviacopress Publ., 2005. P. 43-60. (In Russ.)

10. Orlov V.N. *N.D. Kuznetsov. Chelovek i Konstruktor* [Kuznetsov N.D. A Man and a Designer]. Samara: Samara-Aviagas Publ., 2011. 123 p.

11. Belousov A.I. *General i kafedra* [General and cathedra]. Samara: Samara State Aerospace University Publ. 2011. 29 p.

12. Belousov A.I. General Designer Academician Kuznetsov N.D. and the department of structure and strength of aircraft engines of KuAI-SSAU. *Kryl'ya Rodiny*. 2011. No. 5. P. 44-47. (In Russ.)

13. Skibin V.A. Structural reliability of engines and human relations. In the book *Gritsenko E.A., Ignachkov S.M. A man – a legend*. Samara: Agni Publ., 2011. P. 210-219. (In Russ.)

14. Gurov V.I., Nozhnitsky Y.A., Shestakov K.N. Joint works of KMP and CIAM on solving the main problems as to NK-33 engine creation. *Proceedings of International scientific-technical conference «Problems and perspectives of engine manufacturing development»*. Part 2. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2011. 231 p. (In Russ.)

About the authors

Nozhnitskiy Yuri Alexandrovich, Doctor of Science (Engineering), deputy director general of Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation. E-mail: nozhnitsky@ciam.ru. Area of Research: safety, integrity and service life of gas turbine engines.

Belousov Anatoliy Ivanovich, Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Aircraft Design and Construction, Samara State Aerospace University,

Samara, Russian Federation. E-mail: aibelousov@mail.ru. Area of Research: aviation and rocket propulsion engineering, theory and methods of vocational education.

Kotcherov Evgeniy Pavlovich, Candidate of Science (Engineering), Deputy Chief Designer, open joint-stock company “KUZNETSOV”, Samara, Russian Federation. E-mail: kotcherov_ep@kuznetsov-motors.ru. Area of Research: safety, integrity and service life of gas turbine engines.