

УКД 621.9.047

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

© 2008 Р. Р. Орлов, Н. Д. Проничев, Л. А. Чемпинский

Самарский государственный аэрокосмический университет

С целью повышения конкурентоспособности на основе сквозной параметризации авторами предложены новый типовой технологический процесс изготовления лопаток направляющего аппарата компрессора ГТД, методика проектирования технологической оснастки, включающей рабочие элементы штампа для изготовления заготовок высокоскоростной штамповкой, шаблоны для усреднения припуска по перу лопатки и контроля, электроды для ЭХО, приспособление для токарной обработки направляющего аппарата в сборе.

Проведены комплексные исследования ЭХО жаропрочной деформируемой хромоникелевой стали ЭП-517Ш (15X12Н2МВФАБ-Ш). Предложенная технология импульсной ЭХО позволяет получать детали, соответствующие требованиям чертежа как по размерам, так и по качеству поверхностного слоя.

*Технология, лопатки, параметрическая модель, анализ, механическая обработка*

Технологическая подготовка производства (ТПП) нового изделия представляет собой сложный комплекс работ, который включает создание технологических процессов, технологической оснастки и т.д.

Совершенствование подготовки производства путем

- уменьшения времени серийного освоения новых изделий;
- повышения качества продукции;
- снижения технологической себестоимости;

приводит, в конечном итоге, к повышению конкурентоспособности изделия в целом.

Улучшить основные показатели ТПП можно на основе комплексного использования современных информационных технологий. Поэтому авторами рассмотрены основные принципы ТПП при сквозном использовании параметризации и разработан новый технологический процесс изготовления детали.

Для анализа выбрана базовая деталь – лопатка компрессора авиационного газотурбинного двигателя, предназначенного для работы в качестве привода наземной энергетической установки и имеющего высокий ресурс (более 100 000 часов). В связи с условиями эксплуатации лопатка имеет двухполочную конструкцию и изготавливается из хромоникелевой стали. Конструкция ло-

патки, устанавливаемой в направляющий аппарат (рис. 1), является типовой и используется на нескольких ступенях компрессора, а также в других модификациях двигателя.

Серийное производство таких лопаток является сложной задачей, т.к. её конструкция лопатки нетехнологична, материал имеет низкий коэффициент обрабатываемости. Традиционные методы получения заготовки такой лопатки в открытых штампах обеспечивают КИМ  $\leq 0,2$ . Доводка поверхностей проточной части лопатки предполагает большой объем ручного труда.

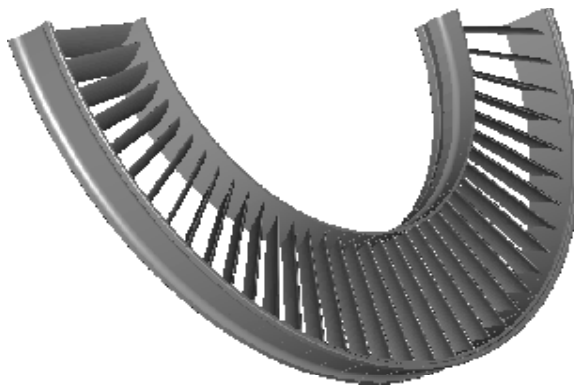


Рис. 1. Направляющий аппарат (фрагмент)

Для выявленных условий производства повышение эффективности технологической подготовки возможно путём её унификации на базе создания параметрически связанных

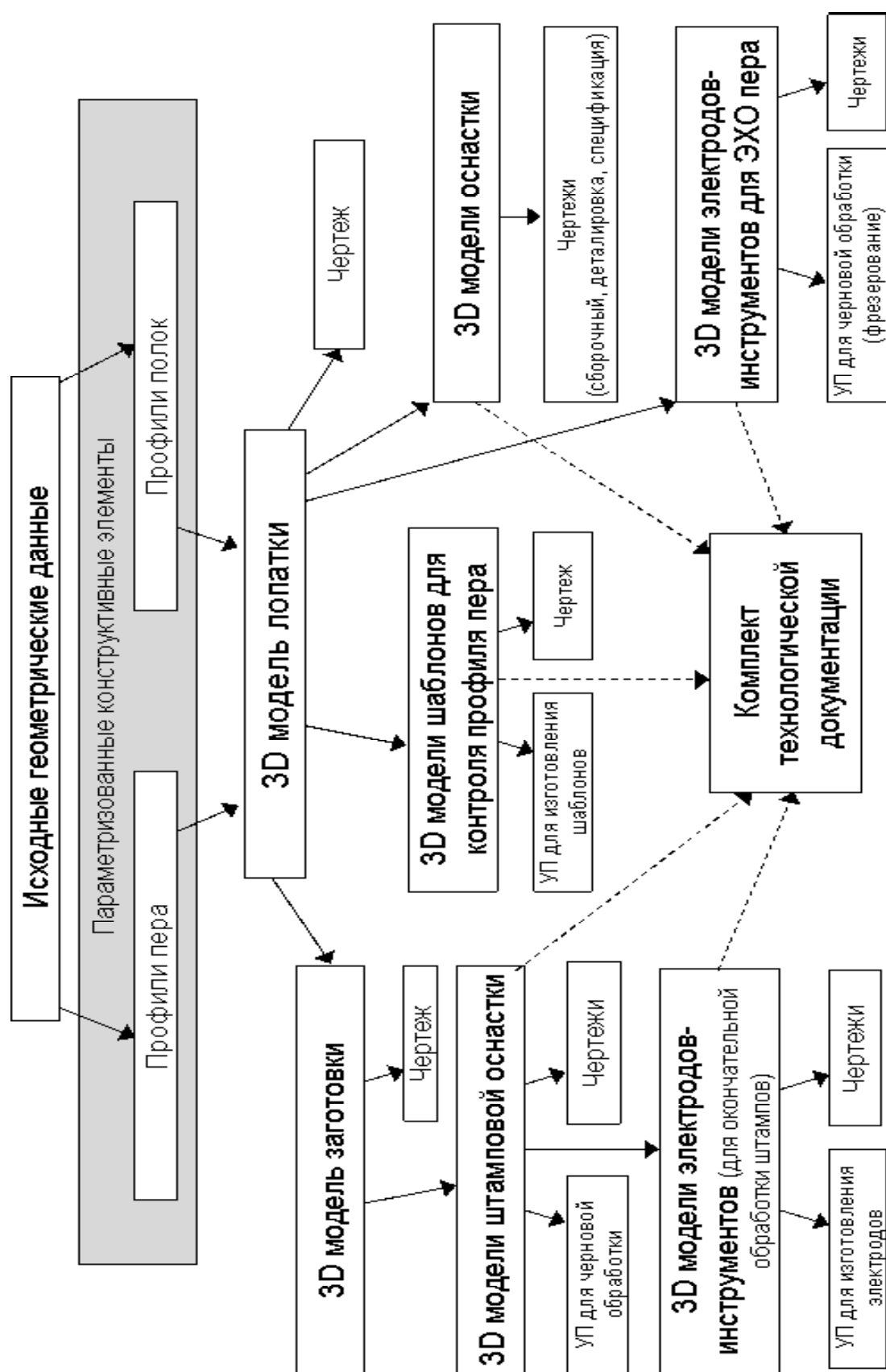


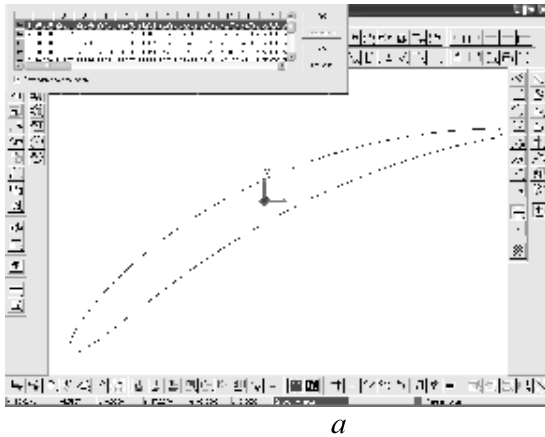
Рис. 2. Структура технологической подготовки производства лопаток ГТД на основе использования параметрических моделей

моделей детали, заготовки, средств технологического оснащения, инструмента и технологических процессов их изготовления. Речь идет о сквозном проектировании, о котором давно и в последнее время все чаще говорят, но которое пока не реализовано в полной мере по тем или иным причинам.

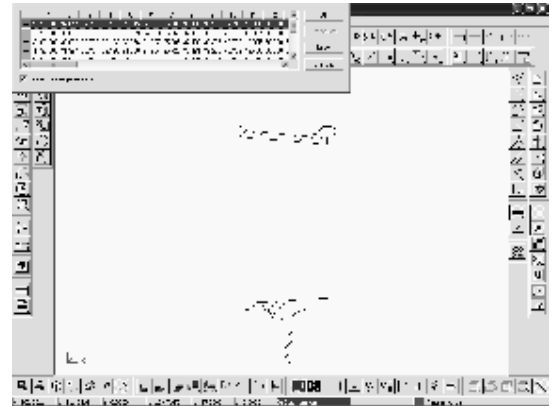
Для осуществления сквозного проектирования нового технологического процесса изготовления лопатки была разработана

схема, дающая представление о порядке проектирования и структуре параметрических связей (рис. 2).

В соответствии со схемой в MS Excel были созданы таблицы с исходными геометрическими данными, взятыми из чертежа. Затем на их основе созданы плоские параметрические модели конструктивных элементов лопатки – профили пера и полок (рис. 3).



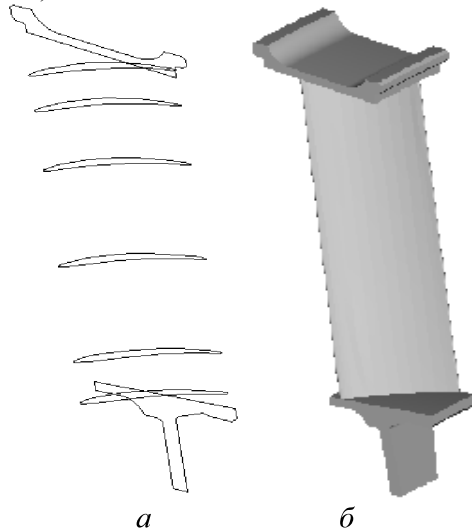
а



б

Рис. 3. Плоские параметрические модели лопатки (а – пера; б – полок)

На основе этих плоских моделей сформирована объемная модель лопатки с сохранением параметрических связей (рис. 4).



а

б

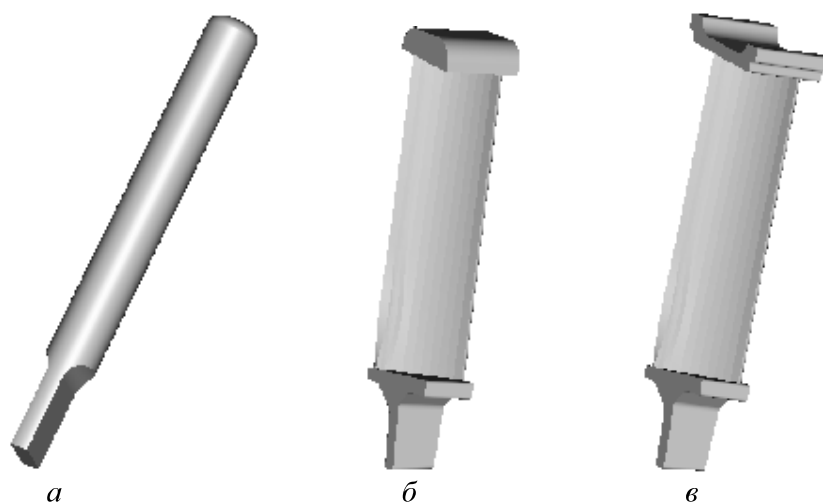
Рис. 4. 3D- модель лопатки (а – каркасная; б – объемная)

На стадии анализа технологического процесса рассмотрены прогрессивные методы получения заготовок лопаток компрессора (изотермическая штамповка, высокоско-

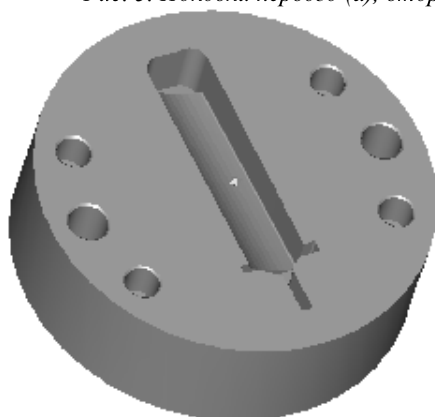
ростное выдавливание, метод металлургии гранул) и применительно к рассматриваемой лопатке с учетом возможностей действующего производства рекомендован наиболее приемлемый по приведенным затратам метод – высокоскоростная штамповка. Разработана принципиальная схема технологического процесса получения заготовки (рис. 5). Затем по объемной модели лопатки создана параметрическая объемная модель заготовки. На ее базе получены параметрические объемные модели штамповой оснастки (матрицы, пуансона и т.п.) (рис. 6,7).

Далее разработана принципиальная схема технологического процесса изготовления лопаток рассматриваемого типа. На первом этапе производится распределение припуска по перу лопатки с заливкой в брикет из сплава Вуда. Для этого, используя параметрические модели профилей пера, были созданы параметрические модели шаблонов (рис. 8) и получены управляющие программы для их изготовления.

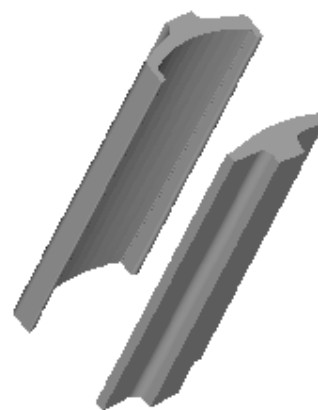
Такие же модели были созданы для шаблонов контроля геометрических параметров пера лопатки.



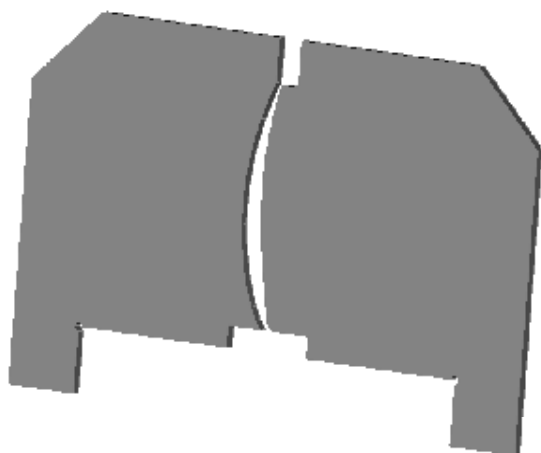
*Рис. 5. Поковки первого (а), второго (б) и третьего (в) переходов*



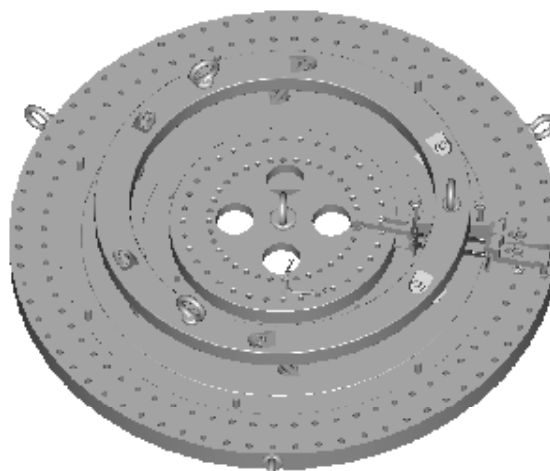
*Рис. 6. 3D - модель матрицы*



*Рис. 7. 3D - модели электродов*



*Рис. 8. 3D - модели шаблонов*



*Рис. 9. Модель приспособления для токарной обработки лопаток*

Технологический процесс механической обработки включает в себя операцию токарной обработки поверхностей полков комплекта лопаток. Для этой операции, используя модель лопатки, создана параметрическая 3D - модель приспособления (рис. 9).

По моделям деталей приспособлений получены электронные сборочный чертеж, чертежи деталей и спецификация. Далее была разработана управляющая программа для

токарной обработки комплекта лопаток на станке с ЧПУ.

В качестве окончательной обработки трактовых поверхностей лопатки спроектированный технологический процесс предполагает использование операции окончательной размерной импульсной электрохимической обработки (ЭХО). По объемной модели лопатки были получены параметрические модели электродов-инструментов (со стороны спинки и со стороны корыта) и управляющие программы для их черновой 3-х координатной обработки (чистовая обработка должна осуществляться методом обратного копирования на оборудовании ЭХО от эталонной лопатки).

При внедрении окончательной импульсной ЭХО трактовых поверхностей лопаток выбран состав электролита и режимы обработки с учетом следующих особенностей процесса:

- обеспечения высокой локализации обработки, определяющей получение размеров по корыту, спинке, полкам, радиусам перехода и кромкам;
- обеспечения высокого качества поверхностного слоя, которое оказывает существенное влияние на ресурс детали.

В работе были проведены комплексные исследования ЭХО жаропрочной деформируемой хромоникелевой стали аустенитного класса ЭП-517Ш (15X12H2МВФАБ-Ш).

Локализирующая способность процесса оценивалась по характеру кривых, приведенных на рис. 10. По этим кривым моделировался процесс выравнивания припуска с учетом его минимальной величины и делалось заключение о возможности получения годной детали.

Для выбранного электролита и режимов оценивалось качество поверхностного слоя по величине растравливания границ зерен, высоте и профилю шероховатости поверхности и другим показателям.

Для сформированной микрогеометрии оценивался коэффициент концентрации напряжений.

Предложенная технология импульсной ЭХО позволяет получать детали, соответствующие требованиям чертежа как по размерам, так и по качеству поверхностного слоя.

На спроектированный технологический процесс на ПЭВМ сформирован комплект технологической документации.

По 3D - моделям заготовки, оснастки и инструмента могут быть получены электронные чертежи.

Таким образом, в процессе проектирования были созданы параметрические связи от моделей конструктивных элементов к моделям детали, заготовки, оснастки, инструмента и управляющих программ для их изготовления.

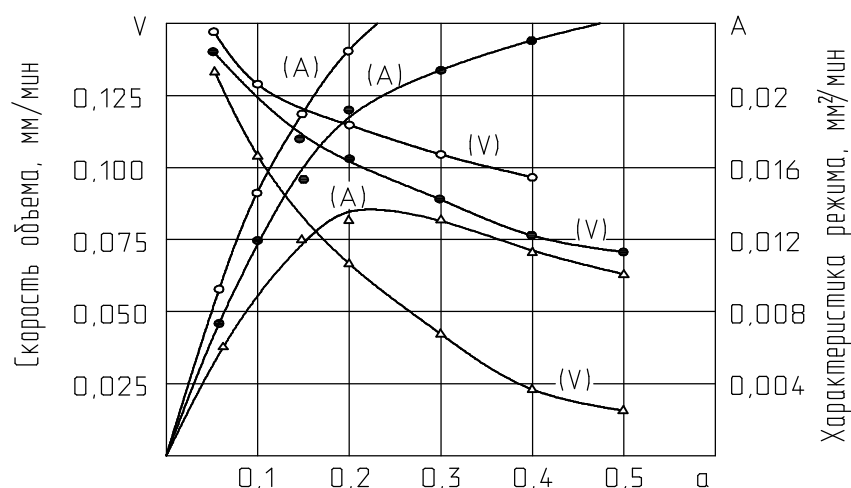


Рис. 10. Зависимость скорости объема ( $V$ ) и характеристики режима ( $A$ ) стали от зазора в различных электролитах: 1 – 8% NaCl; 2 – 8% NaNO<sub>3</sub>; 3 – 4% NaCl + 4% NaNO<sub>3</sub>

Для получения технологического процесса на новый типоразмер теперь необходимо внести изменения в таблицу с исходными данными. Тогда при изменении параметров конструктивных элементов лопатки происходит автоматическое изменение моделей заготовки, оснастки, инструмента, управляющих программ для их изготовления - перестраивается технологический процесс.

Спроектированный таким образом технологический процесс изготовления лопатки можно применять для изготовления лопаток остальных ступеней статора компрессора этого двигателя, а также других ГТД, где в компрессоре используются подобные направляющие аппараты, что существенно повышает конкурентоспособность производства.

## **PERFECTION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE OF BLADES OF COMPRESSOR GTD ON THE BASIS OF USE OF PARAMETRICAL MODELS**

© 2008 R. R. Orlov, N. D. Pronichev, L. A. Chempinsky

Samara State Aerospace University

With the purpose of increase of competitiveness on the basis of through parametrization by authors new typical technological process of manufacturing of blades of the directing device of compressor TJ, a technique of designing of the industrial equipment including working elements of a stamp for manufacturing of preparations by high-speed punching, patterns for averaging an allowance on feather of the blade and the control, electrodes for the electrochemical progressing (ECM), the adaptation for turning processing the directing device in gathering are offered.

Complex researches the ECM heat resisting deformable CrNi-steel ЭП-517Ш (15Х12Н2МВФАБ-Ш) are lead. The offered technology pulse the ECM allows to receive details corresponding to requirements of the drawing both in the sizes, and on quality of a superficial layer.

*Technique, blade, parameter-oriented model, analysis, machine work*

### **Информация об авторах**

**Орлов Роман Рафкатович**, аспирант кафедры производства двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. т. 267-45-79, E-mail: [orl\\_rom@mail.ru](mailto:orl_rom@mail.ru). Область научных интересов: высокоскоростная штамповка.

**Проничев Николай Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор кафедры производства двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. 267-45-79. E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Область научных интересов: проблемы производства двигателей.

**Чемпинский Леонид Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры производства двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. 334-79-22, E-mail: [chempinskiy@mail.ru](mailto:chempinskiy@mail.ru). Область научных интересов: методика подготовки специалистов для инновационного машиностроения.

**Orlov Roman Rafkatovich**, postgraduate of Samara State Aerospace University "Aircraft Engine Designing" department. Phone: 8 (846) 2674579. E-mail: [orl\\_rom@mail.ru](mailto:orl_rom@mail.ru). Area of research: high-velocity blanking, NC machines.

**Pronichev Nikolai Dmitrievich**, Doctor of Engineering Science – professor of Samara State Aerospace University "Aircraft Engine Designing" department. Phone: 8 (846) 2674579. E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Area of research: engine designing issues

**Tchempinsky Leonid Andreevich**, Candidate of Engineering Science – associate professor of Samara State Aerospace University "Aircraft Engine Designing" department. Phone: 8 (846) 3347922. E-mail: [chempinskiy@mail.ru](mailto:chempinskiy@mail.ru). Area of research: methods of training for experts in innovation manufacturing.