

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

# *Молодежный Вестник УГАТУ*

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (4) / 2012

Уфа 2012

Молодежный Вестник УГАТУ

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (4) / 2012

Учредитель и издатель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-45257 от 1 июня 2011 г. и ПИ № ФС77-46326 от 26 августа 2011 г.

Редакционная коллегия:

Главный редактор: Бадамшин Рустам Ахмарович,  
проректор ФГБОУ ВПО УГАТУ, д.т.н., проф.

Члены редакционной коллегии:

Ахмедзянов Дмитрий Альбертович, д.т.н., проф.

Месропян Арсен Владимирович, д.т.н., проф.

Елизарьев Алексей Николаевич, к.т.н., доцент

Ответственный редактор: Михайлова Александра Борисовна,  
Мухачева Наталья Николаевна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, корп. 6, комн. 610, тел. 273-06-67

e-mail: [mvu@ugatu.ac.ru](mailto:mvu@ugatu.ac.ru)

<http://mvu.ugatu.ac.ru/>

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	5
<b>Хайруллин И. Х., Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е.</b> Стенд для исследований и испытаний осевых магнитных подшипников на постоянных магнитах .....	5
<b>Николаев Д. А., Кульга К. С.</b> Разработка алгоритмического и программного обеспечения системы, предназначенной для автоматизации оптимального раскроя эллиптических днищ .....	15
<b>Швецов А. И.</b> Управление малоразмерными техническими объектами через интернет .....	27
<b>Ширяев О. В.</b> Информационное обеспечение магистерской подготовки по кафедре экономической информатики .....	31
<b>Михайлова А. Б., Бакирова З. Н.</b> Моделирование рабочего процесса и расчет характеристики компрессора .....	36
<b>Рогинская Л. Э., Рахманова Ю. В., Ялалова З. И.</b> Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей с сетью с помощью фазопреобразующих трансформаторов .....	47
<b>Давыдов М. Н., Агеев Г. К., Латыпов Э. М.</b> Анализ эффективности параметрических методов диагностирования состояния двигателей .....	55
<b>Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.</b> Моделирование работы газотурбинных установок различных схем совместно с элементами систем управления и контроля с возможностью исследования статических и динамических характеристик .....	64
<b>Постнов В. В., Сафин Д. Ш.</b> Высокоскоростное фрезерование высоколегированных сталей и сплавов .....	70
<b>Нурматов Х. И.</b> Прогнозирование рангов веб-документов в поисковых системах .....	76
<b>Кишалов А. Е., Маркина К. В.</b> Расчет характеристик выхлопного тракта ТРДД .....	81
<b>Постнов В. В., Старовойтов С. В.</b> Влияние температуры резания и скорости деформации на динамику формирования адгезионной связи между инструментом и заготовкой .....	92
<b>Нигматуллин Р. Г., Шмельков Д. А., Галимова И. Р., Шустер Л. Ш.</b> Диагностика фрезерного полуавтомата 4ФСЛ-4Б по анализу работающего смазочного материала .....	98
<b>Мураева М. А., Усов Д. В., Ахмедзянов Д. А., Горюнов И. М.</b> Анализ существующей системы потребления тепла и электроэнергии в РФ и оценка ее эффективности .....	105

---

<b>Батыршина А. Г., Фатхутдинова Л. Р.</b> Процесс проектирования авиационного ГТД в системе математических моделей самолета.....	113
<b>Садыков Е. Б.</b> Расчет параметров работы системы дополнительного подогрева стекловаренной печи.....	118
<b>Басманов М. С., Басманов А. С., Идрисова Ю. В., Фецак С. И.</b> Вибродиагностика приводов металлообрабатывающих станков с применением искусственных нейронных сетей.....	122
<b>Михайлова А. Б., Ахмедзянов Д. А.</b> Разработка программного комплекса для моделирования лопаточных машин современных газотурбинных энергоустановок.....	128
<b>Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Михайлов А. Е., Нигматуллин Р. Р.</b> Особенности применения газотурбинных двигателей в беспилотных летательных аппаратах военного назначения.....	135
<b>Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Михайлов А. Е., Нигматуллин Р. Р.</b> Особенности выбора параметров газотурбинного двигателя для беспилотного летательного аппарата военного назначения.....	145
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b> .....	153
<b>Ахмедзянов Д. А., Кривошеев И. А., Месропян А. В., Михайлова А. Б.</b> Концепция функционально-целевой подготовки специалистов для авиадвигателестроительного комплекса региона.....	153
<b>Китабов А. Н., Тимофеев А. О., Давыдов И. П.</b> Структурная организация студенческого научного общества УГАТУ.....	164
<b>Кидрачев Р. Н., Валетдинова Э. Н.</b> Прямые и косвенные выгоды от проведения спортивных соревнований.....	168
<b>Гурина М. Е.</b> Организационные компетенции компании: сущность и формирование.....	173
<b>Мансурова Ю. Т., Очереднюк Е. К.</b> Проблемы реформирования жилищно-коммунального хозяйства Республики Башкортостан: экономические вопросы.....	179
<b>Ярин Д. Н.</b> Методы управления рисками, возникающими при формировании интегрированных структур.....	184
<b>ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b> .....	190
<b>Грекова А. С., Сазонов С. Н.</b> К методике изложения темы 'ток смещения' в вузовском курсе общей физики.....	190

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.313

### СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ОСЕВЫХ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Хайруллин И. Х., Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е.

Осевые магнитные подшипники на постоянных магнитах (ОМППМ) являются альтернативой механических опор вращающихся элементов станков, например высокоскоростных шпиндельных узлов (ВШУ).

Особый интерес представляет применение ОМППМ в ВШУ с вертикальным валом как в качестве элемента системы полного магнитного гибридного подвеса, так и в качестве разгрузочных осевых опор, с механическими радиальными подшипниками [1].

На актуальность применения ОМППМ в качестве разгрузочных осевых опор указывает следующий пример: для центробежного насоса с диаметром рабочего колеса 200 мм и давлением на выходе 280-350 бар разброс осевого усилия на подшипники составляет  $(2-5) \cdot 10^4$  Н [2]. Такой разброс величины осевого усилия может превысить допустимую несущую способность подшипников и привести к поломки всего агрегата.

Применение ОМППМ в качестве элементов системы полного гибридного магнитного подвеса позволяет практически исключить трение в динамически подвижных узлах ВШУ, и как следствие повысить КПД электродвигателя ВШУ; увеличить долговечность шпиндельного узла и частоту вращения электродвигателя ВШУ, улучшить точность и качество обработки изделий [3].

Ввиду того, что ОМППМ в системе ВШУ являются ответственным узлом, отвечающим за работоспособность ВШУ в частности и за весь технологический процесс в целом, к ним предъявляются особые требования по надежности, совместимости с параметрами ВШУ и соответствию с заявленными на проектом этапе характеристиками. Для определения соответствия ОМППМ обозначенным выше требованиям необходимо испытательное оборудование.

В связи с этим, разработка испытательного стенда ОМППМ является актуальной научно-технической задачей.

Обзор научно-технической документации позволяет определить основные задачи испытаний, которые должна обеспечивать разрабатываемая конструкция:

– выбор оптимальных конструктивно-технологических решений при создании ОМППМ;

– доводку изделий до необходимого уровня качества;

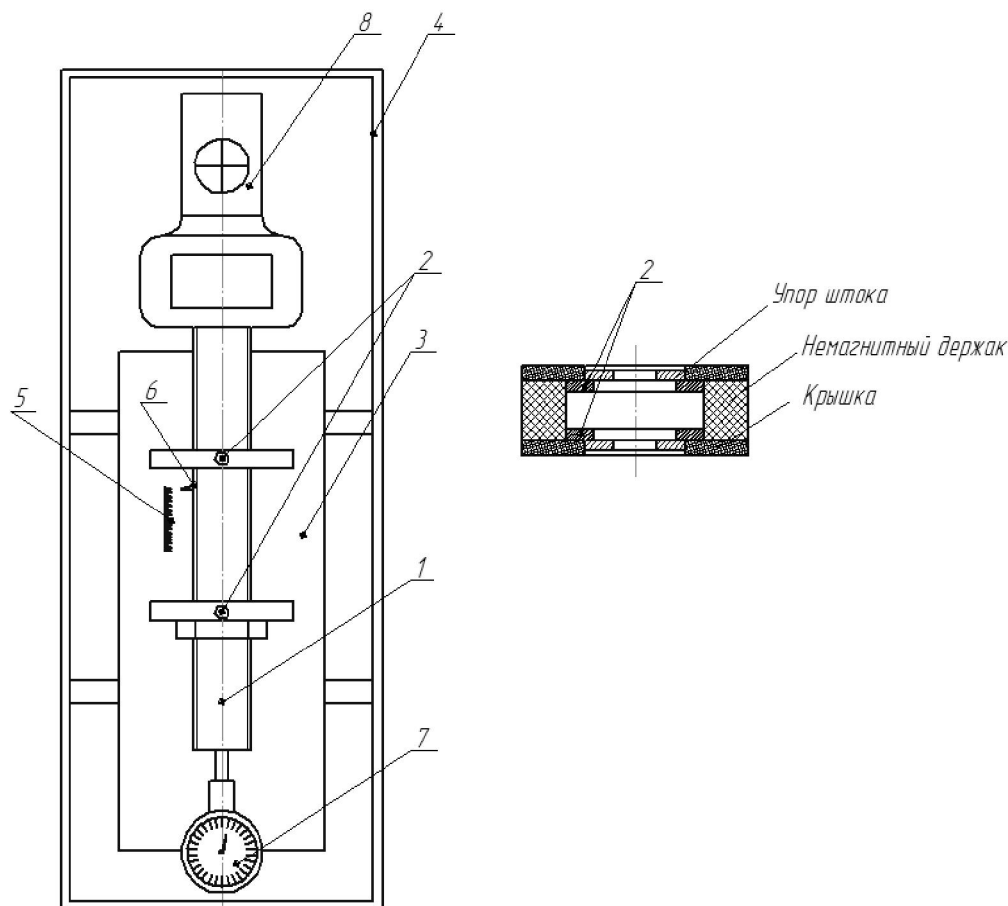
– объективную оценку качества ОМППМ при их постановке на производство и в процессе производства.

С учетом обозначенных выше требований авторами был разработан на базе кафедры электромеханики УГАТУ экспериментальный, испытательный стенд для исследований ОМППМ, рис. 1.

Технические характеристики испытательного стенда представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики испытательного стенда ОМППМ

Технические характеристики	Испытательный стенд осевого МППМ
Предел измерения силы, Н	500
Предел измерения смещения, мм: – в осевом направлении;	10
Габаритный размер, мм	не более 400
Связь с ПК	Порт RS232

**Рис.1.** Схема испытательного стенда ОМППМ

Испытательный стенд содержит: шток–1, с установленными на нем ОМППМ, рис. 1, состоящими из двух магнитных колец–2, установленных на немагнитных держателях. Держатели посредством винтовых креплений соединены с опорной пластиной–3; установленной в консоли–4; на штоке установлена резервная система измерения перемещения состоящая из шкалы–5 и указателя–6.

Основная система измерения перемещений состоит из индикатора часового типа ИЧ–10 заводской № 5094–7, свидетельство о поверке № 42499–09 от 01.2012, предел измерений 0,01 мм.; к верхней площадке штока посредством резьбового соединения подключается динамометра *PCE-FG 500*–8 заводской № 221–14, предел измерения 0,1 Н.

Измерительные приборы подключены к персональному компьютеру с возможностью вывода данных на монитор.

Испытательный стенд ОМППМ работает следующим образом: за счет взаимодействия магнитного поля кольца магнитов отталкиваются и тем самым

обеспечивается бесконтактный подвес штока. Перемещение штока осуществляется посредством гайки или нагрузки штока тарированными грузами.

Динамометр соединен с ПК посредством порта RS232. На экране монитора отображается изменение силы во времени и смещения во времени.

Перечень экспериментальных исследований выполняемых на разработанном испытательном стенде ОМППМ представлен в таблице 2.

Таблица 2. Перечень экспериментальных исследований выполняемых на испытательном стенде ОМППМ

Экспериментальные исследования	Измеряемые величины
Исследования статических характеристик ОМППМ	
Определение изменения силы ОМППМ с кольцами намагниченными в осевом и в радиальном направлениях установленными без смещения друг относительно друга при эксцентриситете и определение жесткости	максимальная возможная величина сил отталкивания ОМППМ; жесткость ОМППМ
Определение реакции ОМППМ на резкий наброс нагрузки	восстанавливающая сила ОМППМ

С целью подтверждения работоспособности разработанного испытательного стенда были произведены экспериментальные исследования ОМППМ. Целью экспериментальных исследований является:

- определение изменения силы отталкивания ОМППМ в зависимости от смещения и сравнение с аналитическими данными;
- определение жесткости ОМППМ.

В результате данного экспериментального исследования определяется максимальная возможная величина сил отталкивания ОМППМ и жесткость ОМППМ.

На испытательном стенде, рис. 1, осуществляется смещение вала и изменение тем самым воздушного зазора между кольцами. Смещение осуществляется до контакта между кольцами.

При этом на экране монитора ПК отображается зависимость силы от времени.

В качестве объекта исследования использовался ОМППМ состоящий из двух кольцевых постоянных магнитов  $NdFeB\ N33\ B_r = 1.13 - 1.17, H_c \geq 955\text{кА}$  намагниченных в осевом направлении с геометрическими параметрами  $R_1 = 12,5\text{мм}$ ,  $R_2 = 17,5\text{ мм}$  и толщиной 3 мм. Начальная величина воздушного зазора составляет 5 мм.

Посредством гайки производится смещение штока до полного контакта магнитных колец.

Управление динамометром осуществляется с ПК, рис.2. На экране монитора отображается изменении силы во времени, рис. 3.

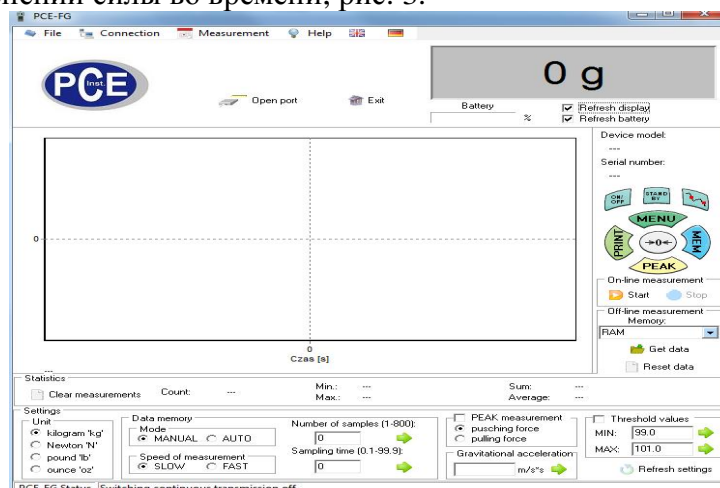
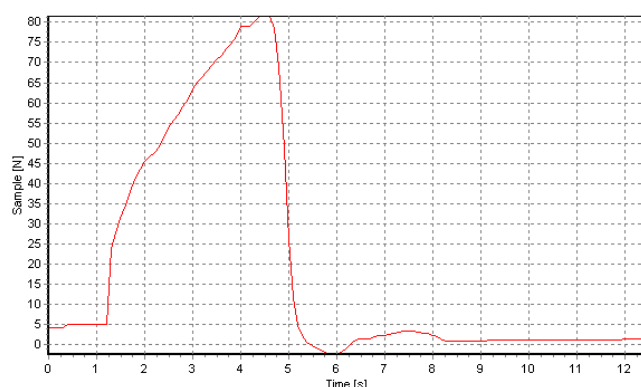


Рис. 2. Окно управления динамометром PCE-FG 500



**Рис.3.** Показания динамометра *PCE-FG 500* снимаемые с монитора ПК

В результате эксперимента определена максимальная величина сил отталкивания исследуемого ОМППМ, которая составляет 87Н, при величине воздушного зазора 2,3мм.

Косвенным методом определяется жесткость ОМППМ:

$$k = \frac{F_z}{\delta}, \quad (1)$$

где  $F_z$  – сила отталкивания;  $\delta$  – воздушный зазор.

Максимальная жесткость, определенная в результате эксперимента составляет 120Н/мм.

Для практического использования разработанного стенда важно оценить его погрешность.

Оценка погрешностей испытательного стенда производится по методике, представленной в [5]. Для этого проводится определенное число измерений силы, посредством динамометра, и перемещения, посредством индикатора часового типа. Количество измерений равняется 10. В таблице 3, 4 представлены результаты измерений.

Таблица 3.определение случайных погрешностей динамометра

Номер измерения	Сила,Н
1	87
2	86,8
3	86,5
4	88
5	88,3
6	88
7	88,5
8	87
9	83
10	88.5

Таблица 4.определение случайных погрешностей индикатора часового типа

Номер измерения	смещение, мм.
1	4,1
2	4,1
3	4,05
4	4
5	4,05
6	4,1
7	4
8	4,1
9	4,1
10	4



Тогда случайные погрешности определяются в виде:

$$x_{\partial} = \frac{x_1 + x_2 \dots x_{10}}{n}, \quad (2)$$

где  $x_{\partial}$  – среднеарифметическое измерение динамометра;  $x_u$  – среднеарифметическое измерение ИЧ10;  $n$  – число измерений.

Численные расчеты по 2 с учетом таблиц 4, 5 определяют среднеарифметическое значение величины силы и перемещения.

Среднеарифметическое значение силы соответственно равно: 87,49, перемещения – 4,06. Абсолютная погрешность измерения силы составляет 0,4Н, а перемещения 0,06мм.

Относительная погрешность измерений принимается в виде:

$$k = \frac{\Delta x}{x} 100\%, \quad (3)$$

Таким образом, погрешность измерения ОМППМ на разработанном стенде при измерении силы составляет 0,8%, погрешность измерения перемещения 1,5%.

Точность измерений определяется в виде:

$$Q = \frac{x_{\partial}}{\Delta x}, \quad (4)$$

Точность измерения характеристик ОМППМ на разработанном стенде при измерении силы составляет 218,725, точность измерения перемещений 67,66.

Ввиду того, что на испытательных стендах помимо прямых измерений производятся косвенные измерения важно произвести оценку погрешности испытательного стенда ГМП и испытательного стенда ОМППМ при измерениях жесткости ГМП и ОМППМ.

Погрешность косвенных измерений при определении жесткости определяется в виде:

$$\delta^2 = \left( \frac{\Delta x_{\partial}}{x_u} \right)^2 + \left( \frac{x_{\partial}}{x_u^2} \right)^2 x_u^2, \quad (5)$$

где  $\Delta x_{\partial}$  – погрешность измерение динамометра;  $\Delta x_u$  – погрешность измерения ИЧ10;  $x_{\partial}$  – значение силы отталкивания;  $x_u$  – значение перемещений;  $\delta$  – погрешность измерения жесткости.

В результате численных расчетов была определена абсолютная погрешность косвенных измерений, которая равна 0,17.

Относительная погрешность косвенных измерений определяется в виде:

$$\left( \frac{\delta}{k} \right)^2 = k_u^2 + k_{\partial}^2, \quad (6)$$

Относительная погрешность измерения жесткости равна 1,7%.

Таким образом, в работе представлена конструкция разработанного испытательного стенда осевых магнитных подшипников на постоянных магнитах и результаты экспериментальные исследования осевых магнитных подшипников на постоянных магнитах.

Величина рассчитанных погрешностей и точность измерений позволяют использовать данный стенд на практике при исследованиях осевых магнитных подшипников на постоянных магнитах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пархоменко Т.А., " Применение магнитной левитации для разгрузки опорных

подшипников вертикально осевых ветроустановок"// *Авиационно–космическая техника и технологии*, 2012, №7

2. Белоусов А.И., Иванов А.И. " Расчет осевых сил действующих в турбомашинах"– Куйбышев: КуАИ,1981г.–84 с.

3. Щетинин В.С. Научное обоснование создания и разработка высокоскоростных шпиндельных узлов на газоманитных опорах металлорежущих станков// автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук–Комсомольск–на – Амуре. 2011

4. Тейлор Д, Ж. Введение в теорию ошибок / Пер.с англ. — М. : Мир, 1985 .— 272с.

5. Зайдель, А.Н. Ошибки измерений физических величин .— Перераб.и доп.изд-ние книги "Элементарные оценки ошибок измерений" .— Л. : Наука, 1974 .— 108с.

## ОБ АВТОРАХ



**Хайруллин Ирек Ханифович**, проф. каф. электромех. Дипл. инж.-электромех.(Ивановск. энерг. ин-т, 1963). Д-р техн. Наук по элементам и устр. упр. (УАИ, 1981). Иссл. в обл. электромех. преобр. энергии.



**Исмагилов Флюр Рашитович**, проф., зав. каф. электромех., проректор УГАТУ. Дипл. инж.-электромех.(УАИ, 1973). Д-р техн. Наук по элементам и устройствам управления (УГАТУ 1998). Иссл. в обл. электромех. преобр. энергии.



**Вавилов Вячеслав Евгеньевич**, асп. той же каф. Дипл. инж.-электромех.(УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. электромех. преобр. энергии.

УДК 621.43(07)

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ИЗНАШИВАНИЯ ЦПГ ДВС

**Загайко М. С, Загайко С. А.**

Современное состояние энергомашиностроения характеризуется непрерывным ростом удельных нагрузок на детали машин, скоростей взаимного перемещения, ростом рабочих температур деталей. В связи с этим ужесточаются требования к свойствам материалов и поверхностей деталей, к качеству проектирования.

Особое место в ряду проблем двигателестроения занимает проблема износа. Износ деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС), в большинстве случаев, лимитирует ресурс двигателя. Поэтому при проектировании

двигателей необходимо уделять должное внимание технологическим и конструктивным параметрам ЦПГ, а также уметь прогнозировать величины износа ее деталей.

На данный момент существует множество методик расчета износа сопряжений, однако все они обладают одним существенным недостатком, причина которого кроется в недостаточной изученности трения, как многофакторного процесса, а также в том, что определение свойств "третьего" тела, то есть некоторой прослойки между сопряженными поверхностями, в данный момент невозможно. Поэтому все зависимости в этих методиках носят эмпирический характер, и результаты расчетов могут использоваться лишь для предварительных оценок. Предварительные оценки могут проводиться, например, для выбора смазочных материалов и материалов пар трения, выбора того или иного конструктивного решения. До последнего времени выбор материалов пар трения ЦПГ и смазочных материалов производился на основе анализа существующих конструкций, то есть по аналогии с существующими двигателями. Таким же образом проводилась и оценка интенсивности изнашивания и величин абсолютного износа.

Сокращение времени, отводимого на проектирование технических систем, вызывает необходимость все более широкого применения ЭВМ, что позволяет не только сократить временные затраты, но и оптимизировать решения проектных задач. Поэтому задача определения износа и его распределения по длине гильзы цилиндра должна решаться с применением ЭВМ.

Таким образом, актуальность проблемы оценки износа ЦПГ, отсутствие каких-либо моделей износа, работающих в условиях быстроменяющихся режимов работы ДВС, а также учитывающих условия работы данной пары трения, привели к необходимости создания имитационной модели изнашивания ЦПГ и ее реализации на ЭВМ.

На основе существующих теорий о трении [1, 2, 3] была построена математическая модель процесса фрикционного взаимодействия, адаптированная под условия работы деталей ЦПГ ДВС, проведена ее идентификация. Данная модель определяла мгновенную интенсивность изнашивания в парах трения "поршневое кольцо – гильза цилиндра" и "юбка поршня – гильза цилиндра". Суть модели заключалась в том, что абсолютная величина износа определялась произведением интенсивности изнашивания на путь трения, которые проходили поршневые кольца и юбка поршня за расчетный шаг моделирования по времени. Чтобы получить распределение величин износов по длине гильзы цилиндра, последняя делилась на десять зон. Количество зон может варьироваться. Далее в каждый момент времени определялось положение колец и юбки поршня и оценивалось, в какую расчетную зону на гильзе цилиндра попадала каждая из деталей ЦПГ. Именно в эту зону и осуществлялось суммирование абсолютных значений износов. Моделирование осуществлялось за цикл работы двигателя для всех режимов, на которых проводилось реальное испытание двигателя. Далее был составлен алгоритм и разработана программа расчета величин износа цилиндра, поршневых колец и поршня двигателя.

Ниже представлен алгоритм расчета:

1. Инициализация входных констант, в состав которых входят геометрические параметры ЦПГ двигателя, свойства материалов контактирующих поверхностей, параметры шероховатости поверхностей пар трения, свойства смазочного материала и т.д.

2. Чтение и сортировка данных по расчетному шагу из файла теплового расчета двигателя с созданием массивов значений углов поворота коленчатого вала и соответствующих им индикаторных давлений (инициализация массивов). Тепловой расчет двигателя проводился отдельно в программе имитационного моделирования "Альбея-ДВС", разработанной на кафедре "Двигатели внутреннего сгорания" Уфимского государственного авиационного технического университета" [4, 5].

3. Расчет интенсивности изнашивания расчетных зон гильзы цилиндра поршневыми кольцами в отдельности и поршневых колец за один цикл работы двигателя. Блок-схема расчета приведена на рис. 1. На блок-схеме использованы следующие обозначения:  $z$  – число поршневых колец;  $upkv$  – угол ПКВ в радианах;  $takt$  – тактность

двигателя;  $d$  – множитель, понижающий давление под кольцом, номер которого обозначен цифрой (при счете начиная с верхнего компрессионного);  $h_r$  – высота кольца, номер которого обозначен цифрой;  $p_a$  – давление на стенку цилиндра от сил собственной упругости кольца, номер которого обозначен цифрой;  $I_{c_i}$  – интенсивность изнашивания точки цилиндра на расчетном шаге;  $I_{r_i}$  – интенсивность изнашивания расчетного кольца на расчетном шаге;  $up[c][t]$  – массив отсортированных значений угла ПКВ в градусах;  $pp[c][t]$  – массив отсортированных значений индикаторного давления;  $U_{c0}$  – буфер суммарного износа точки цилиндра на всех тактах от одного кольца;  $U_{c[k][c]}$  – износ  $c$ -й точки цилиндра от  $k$ -го кольца;  $U_r[k]$  – износ  $k$ -го кольца;  $N$  – количество расчетных точек.

4. Расчет интенсивности изнашивания поршня за один цикл работы двигателя.

5. Определение суммарного числа расчетных точек на цилиндре и динамическое выделение памяти под массив износов гильзы цилиндра.

6. Суммирование мгновенных износов каждой точки цилиндра от всех поршневых колец с созданием массива износов.

7. Поиск наибольшей величины износа на цилиндре и определение ее местоположения на цилиндре.

8. Сохранение результатов расчета в файл просмотра результатов расчета и в файл для построения графика абсолютного износа гильзы цилиндра.

Адекватность разработанной программы была проверена на численном моделировании изнашивания и определении абсолютных величин износа поршневых колец и гильзы цилиндра одноцилиндрового четырехтактного двигателя УМЗ-341, прошедшего испытания на безотказность при смазывании моторным маслом.

Программа моторных испытаний двигателя УМЗ-341 проходила по следующей циклограмме:

1. Пуск двигателя.

2. Прогрев двигателя на частоте вращения коленчатого вала 2100 об/мин с нагрузкой 1,5 кВт – 8 минут.

3. Холостой ход на частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин – 5 минут.

4. Нагрузка  $0,8 \cdot N_e$  (4,704 кВт) при номинальной частоте вращения 3500 об/мин (номинальная мощность двигателя составляла  $N_e = 5,88$  кВт) – 2 часа 20 минут.

5. Холостой ход на частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин – 10 минут.

6. Нагрузка  $0,8 N_e$  (4,704 кВт) при номинальной частоте вращения 3500 об/мин – 2 часа 20 минут.

7. Холостой ход на частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин – 5 минут.

8. Охлаждение двигателя на частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин – 5 минут.

9. Остановка.

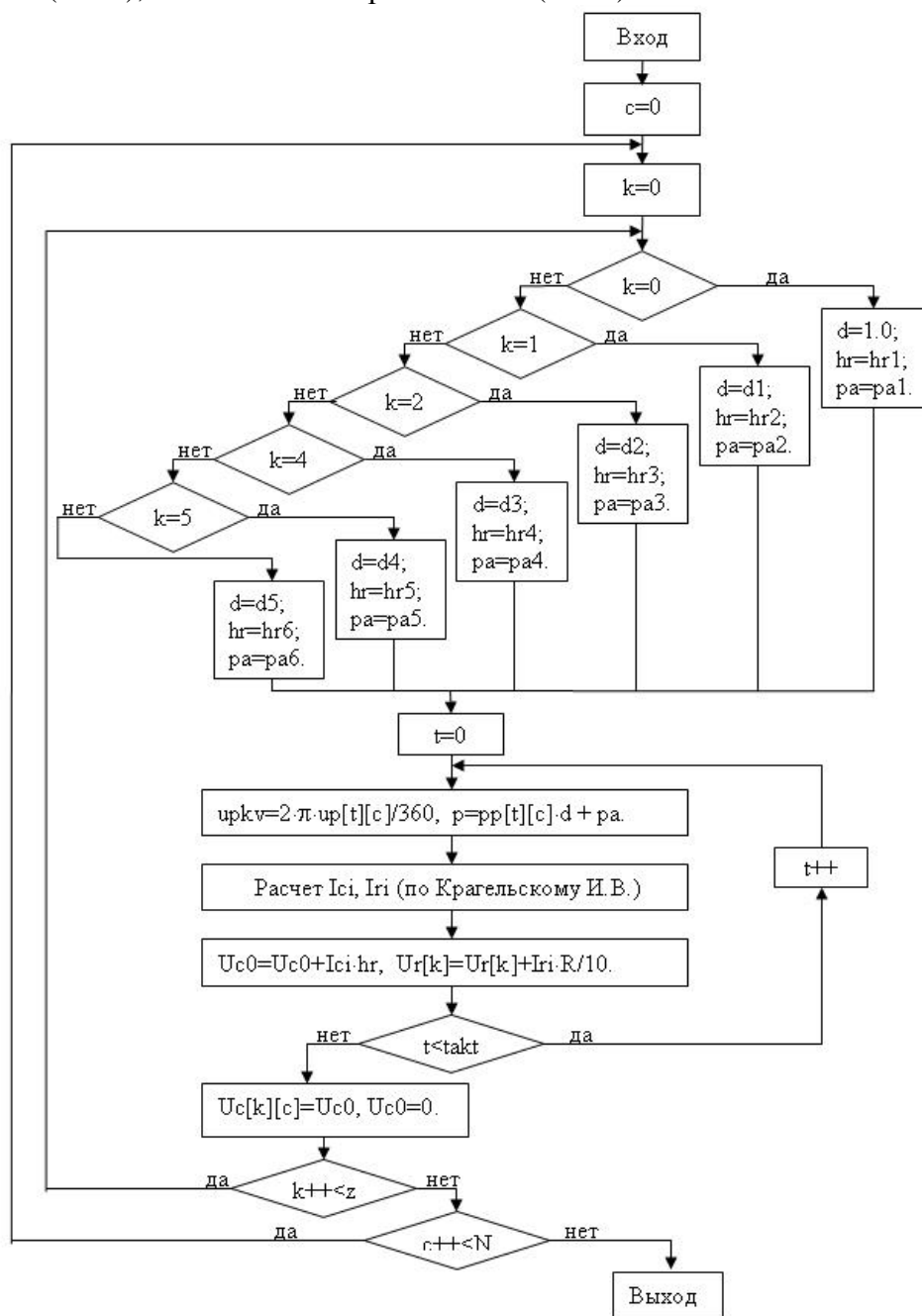
Суммарная продолжительность наработки двигателя в процессе ресурсных испытаний составила 288 часов.

Сравнительные результаты величин износов, полученные в ходе численного моделирования изнашивания двигателя УМЗ-341 и проведения натурных ресурсных испытаний приведены в табл. 1. Распределение величины износа по длине гильзы цилиндра в относительных координатах показано на рис. 2.

**Таблица 1. Результаты натуральных испытаний и численного моделирования изнашивания деталей ЦПГ двигателя УМЗ-341**

Изнашиваемая деталь	Износ при натуральных испытаниях, мкм	Износ при численном моделировании, мкм
1 кольцо	10,0	10,3
2 кольцо	16,0	15,8
3 кольцо (маслосъемное)	5,00	4,62
гильза цилиндра (максимальный износ)	35,0	34,1

На рис. 2 крестиками показаны точки усредненных износов по каждому поясу цилиндра. Абсцисса показана в относительных величинах, где 0 соответствует верхней мертвой точке (ВМТ), а 1 – нижней мертвой точке (НМТ).



**Рис. 1. Блок-схема расчета износа точек цилиндра каждым поршневым кольцом в отдельности и износа каждого поршневого кольца**

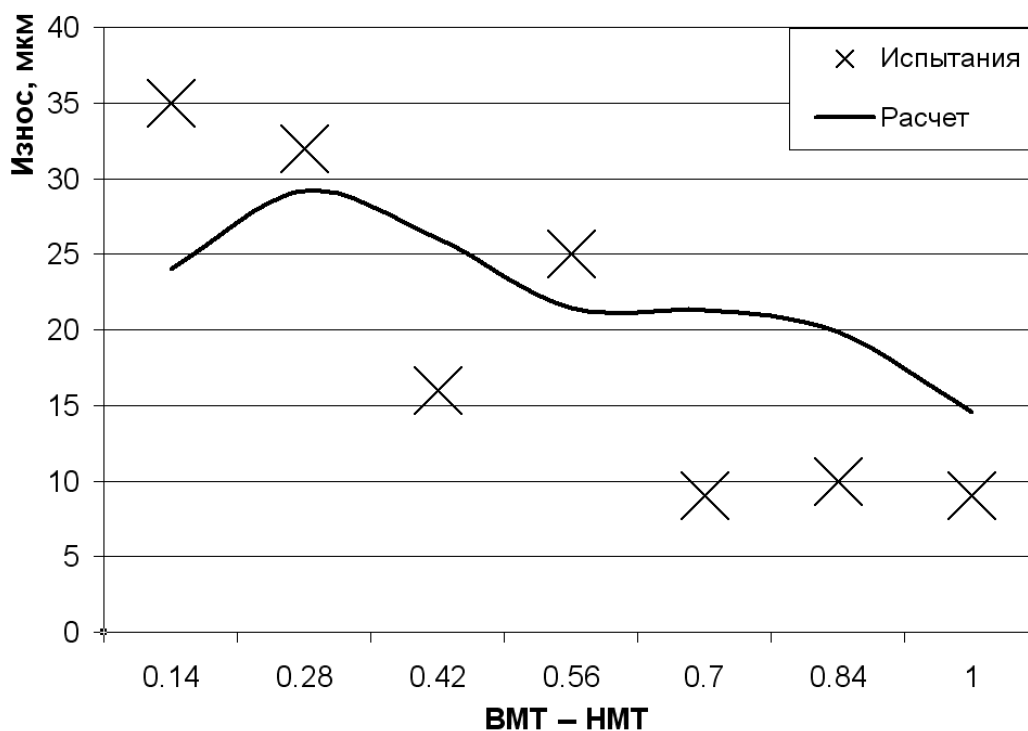


Рис. 2. Распределение износа по длине гильзы цилиндра

#### Вывод

Результаты численного моделирования после идентификации модели удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Как видно из данных расчетов, приведенных в табл. 1 и на рис. 2, средняя относительная погрешность модели составила 3,6 %, что свидетельствует об её адекватности. Таким образом, предложенный метод расчета можно использовать в имитационном моделировании изнашивания деталей ЦПГ ДВС и тем самым прогнозировать ресурс пар трения ЦПГ ДВС.

#### Литература

1. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Учебник для технических вузов / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.А. Буяновский и др.; Под ред. Чичинадзе А.В. – М.: Центр “Наука и техника”, 1995.
3. Трение, изнашивание и смазка. Справочник в 2-х кн. / В.В. Алисин, Б.М. Асташкевич, Э.Д. Браун и др.; Под ред. Крагельского И.В., Алисина В.В. – Кн. 2. – М.: Машиностроение, 1979.
4. Горбачев, В.Г. Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста / В.Г. Горбачев, С.А. Загайко, Н.В. Рудая, Б.П. Рудой, С.Б. Щербаков. – Уфа: Изд. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та, 1995. – 112 с.
5. Загайко, С.А. Моделирование механических потерь двигателей внутреннего сгорания в системе имитационного моделирования «Альбея» / Уфа: Изд. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та, 1996. – 74 с.

## ОБ АВТОРАХ



**Загайко Максим Сергеевич**, магистрант каф. ДВС УГАТУ, дипл. бакалавра по направлению «энергетическое машиностроение» (УГАТУ, 2011). Исследования в области изнашивания деталей ЦПГ ДВС.

e-mail: [maksz07@mail.ru](mailto:maksz07@mail.ru)



**Загайко Сергей Андреевич**, к.т.н., доцент. каф. ДВС УГАТУ, дипл. инж. по двигателям внутреннего сгорания (УАИ, 1987). Канд. техн. наук по тепловым двигателям (УАИ, 1993). Исследования в области имитационного моделирования ДВС и моделирования трения и изнашивания в узлах трения ДВС.

e-mail: [zenit\\_sz@mail.ru](mailto:zenit_sz@mail.ru)

УДК 681.3.06,658.512.2.011.56

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ДНИЩ

**Николаев Д. А., Кульга К. С.**

**Актуальность проблемы.** В современной экономике Российской Федерации существенную долю составляют предприятия, связанные с добычей и переработкой нефтяного и газового сырья. В связи с этим существует значительная потребность в емкостном оборудовании для перевозки (переработки) сырья (продукции переработки сырья) [1-4]. Одной из дорогостоящих корпусных деталей емкостного оборудования является эллиптическое днище. Заготовкой корпусной детали эллиптического днища является листовая сортамент.

В настоящее время задача раскроя листового сортамента для изготовления эллиптического днища решается неавтоматизированными методами расчетов и построениям карты раскроя на миллиметровке или в САД-системе. Применяемые методы раскроя эллиптических днищ, при значительных затратах времени, приводят к следующим результатам:

- ошибки в расчетах параметров карты раскроя;
- брак в производстве;
- увеличение прямых и косвенных затрат в себестоимости емкостного оборудования.

**Цель научного исследования.** Совершенствование процесса проектирования и изготовления эллиптических днищ, на основе автоматизации решения прямой и обратной задачи оптимального раскроя листового сортамента.

Для достижения цели работы были сформулированы и решены следующие **научные задачи**:

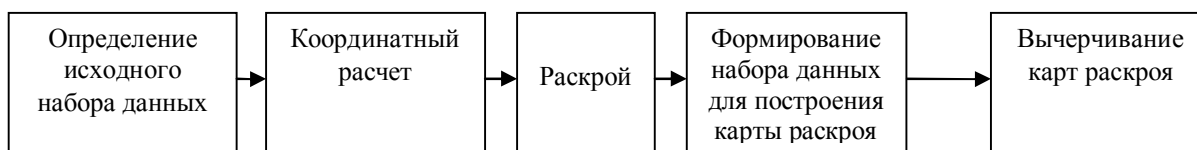
**1. Разработка алгоритма решения прямой и обратной задачи раскроя эллиптических днищ.** Основной задачей оптимального раскроя листового материала на заготовки сложных геометрических форм является разработка такого алгоритма, который как воспроизводит решение вышеуказанной задачи на основе опыта квалифицированного инженера-технолога, так и повышает эффективность её решения. Данный подход к решению задачи оптимального раскроя относится к категории эвристических методов [5].

Алгоритм оптимального раскроя эллиптических днищ состоит из трех основных этапов:

- определение исходного набора данных для раскроя;
- определение очередности раскраиваемых листовых сортаментов;
- выбор очередности размещения заготовок на листовом сортаменте;
- оптимизация размещения заготовок на листовом сортаменте.

При расчете отдельного варианта раскроя выполняется следующие действия: на листовом сортаменте первоначально укладывают наиболее крупные заготовки, а свободные пространства между ними заполняют мелкими заготовками, т. е. используют метод размерной последовательности.

Укрупненный алгоритм осуществления задачи оптимального раскроя представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Укрупненный алгоритм оптимального раскроя эллиптических днищ

**2. Разработка программного обеспечения (ПО) автоматизированной информационной системы (АИС) Stalker ROD - оптимального раскроя эллиптических днищ.**

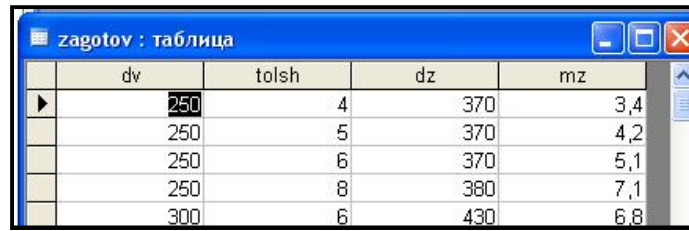
*Препроцессор АИС Stalker ROD.* Исходным набором данных для оптимального раскроя эллиптических днищ являются: диаметр емкостного аппарата; диаметры и масса заготовок эллиптических днищ; толщина листового сортамента.

Исходный набор данных, необходимый для препроцессора АИС *Stalker ROD*, размещен в базе данных (БД). В БД препроцессора определена зависимость диаметра и массы заготовки от диаметра емкостного аппарата. Фрагмент БД препроцессора показан на рис. 2–3.

Имя поля	Тип данных	Описание
dv	Числовой	диаметр аппарата
tolsh	Числовой	толщина листа
dz	Числовой	Диаметр заготовки
mz	Числовой	масса заготовки

**Рис. 2.** Структура таблицы БД препроцессора АИС *Stalker ROD*





	dv	tolsh	dz	mz
	250	4	370	3,4
	250	5	370	4,2
	250	6	370	5,1
	250	8	380	7,1
	300	6	430	6,8

Рис. 3. Таблица с исходными наборами данных

Укрупненный алгоритм препроцессора АИС *Stalker ROD* приведен на рис. 4:

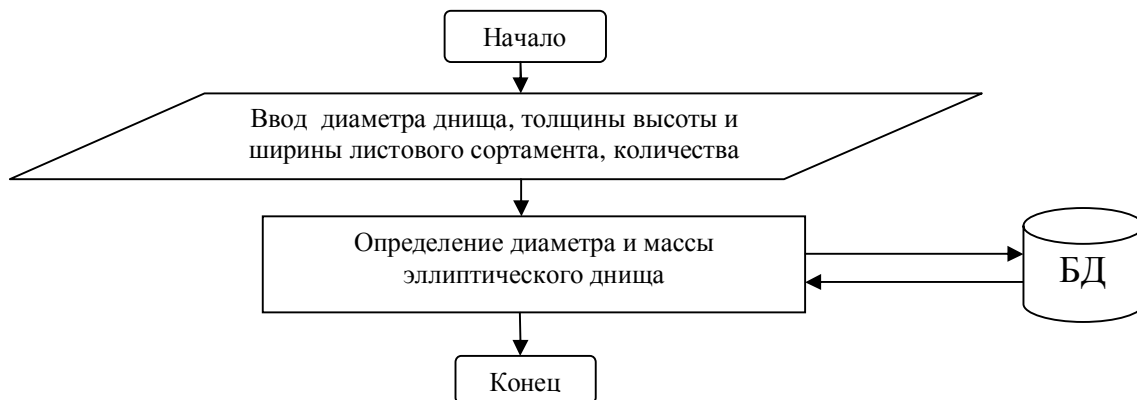


Рис. 4. Укрупненный алгоритм препроцессора АИС *Stalker ROD*

Алгоритм, показанный на рис. 4, реализован в виде ПО препроцессора АИС *Stalker ROD*. На главной форме препроцессора размещены активные поля для определения набора исходных данных для решения задачи оптимального раскроя эллиптических днищ. Ввод диаметра емкостного аппарата и толщины листовой заготовки осуществляется путем выбора соответствующих значений из поля-списка. На главную форму добавлены компоненты, необходимые для обеспечения взаимосвязи с БД препроцессора *АИС Stalker ROD* (рис. 5).

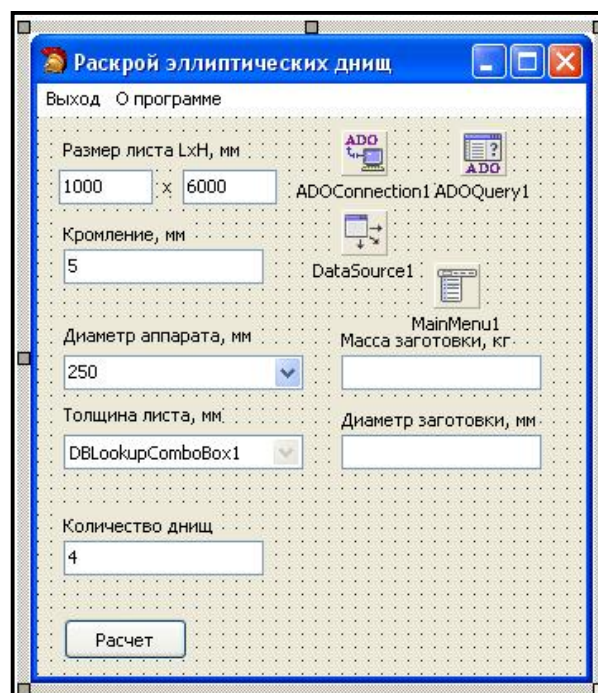
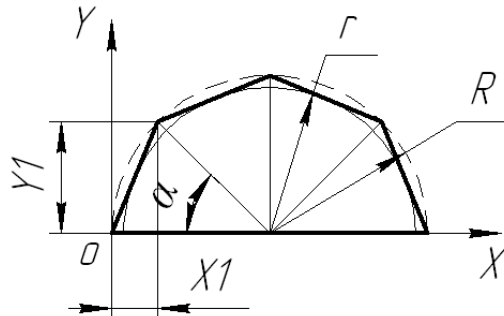


Рис. 5. Главная форма ПО препроцессора АИС *Stalker ROD*

*Процессор АИС Stalker ROD.* Для реализации оптимального раскроя эллиптических днищ из листового сортамента определим математические соотношения, которые составят основу алгоритма и ПО процессора АИС Stalker ROD.

Геометрическая форма заготовок для эллиптических днищ включает в себя дуги окружностей, поэтому для расчетов требуется преобразовать их в ломаные линии (рис. 6). Это преобразование позволит получить координаты заготовок для формирования управляющей программы заготовительного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ).



**Рис. 6.** Расчетная схема расчета координат вершин многоугольника

Замена производится частью описанного многоугольника. Радиус вписанной окружности вычисляется по формуле:

$$r = \frac{a}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{360^\circ}{2 \cdot n}\right)}, \quad (1)$$

где  $a$  - длина стороны многоугольника, мм;  
 $n$  - количество сторон многоугольника.

Радиус описанной окружности вычисляется по формуле:

$$R = \frac{a}{2 \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{2 \cdot n}\right)}, \quad (2)$$

где  $a$  - длина стороны многоугольника, мм;  
 $n$  - количество сторон многоугольника.

Зная радиус вписанной окружности (равен радиусу заготовки), можно найти радиус описанной окружности:

$$R = \frac{r \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{360^\circ}{2 \cdot n}\right)}{\sin\left(\frac{360^\circ}{2 \cdot n}\right)}, \quad (3)$$

Таким образом, можно вычислить координаты вершин многоугольника.

$$X1 = R \cdot \cos(\alpha); \quad (4)$$

$$Y1 = R \cdot \sin(\alpha), \quad (5)$$

где  $\alpha$  - угол между вершиной и осью OX, мм.

Укрупненный алгоритм расчета координат вершин многоугольника заготовок эллиптических днищ показан на рис. 7. Обозначения, наименования и тип используемых переменных, приведены в таблице 1.

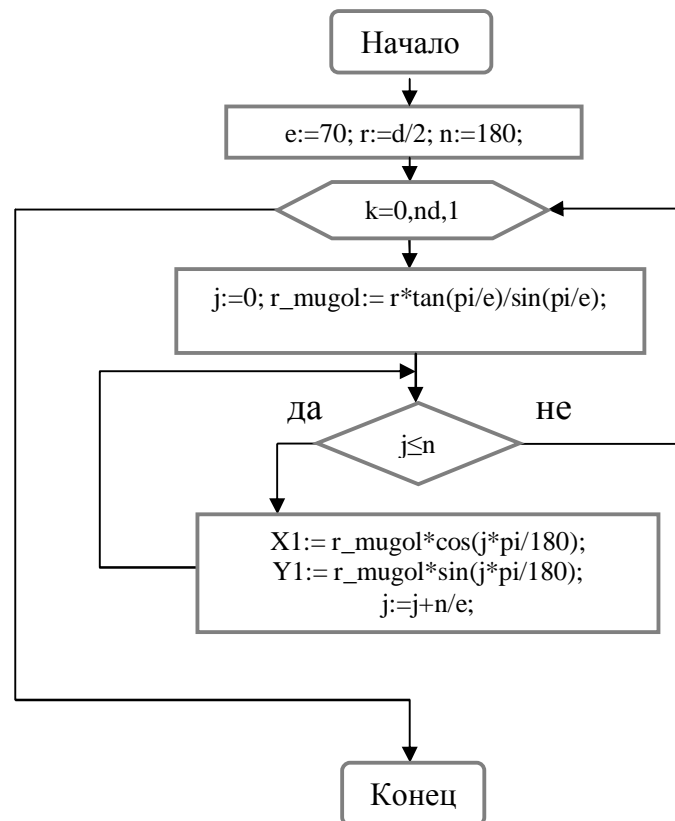


Рис. 7. Укрупненный алгоритм расчета координат заготовки

Таблица 1

## Набор данных для определения координат вершин заготовок

№ п.п.	Обозначение	Наименование	Тип переменной
1	e	Количество граней.	Целый(integer)
2	n	Угол между начальной и конечной вершиной относительно центра описанной	Вещественный(real)
3	k	Номер детали	Целый(integer)
4	nd	Количество деталей	Целый(integer)
5	d	Диаметр заготовки	Вещественный(real)
6	r	Радиус заготовки	Вещественный(real)
7	j	Угол $\alpha$	Вещественный(real)

В процессоре АИС *Stalker ROD* координаты вершин заготовок сохраняются в матрице *koord* размерностью  $n \times m$  ( $n$ - соответствует количеству вершин,  $m$ - количество столбцов равнее 3). В первом столбце матрицы *koord* записывается номер вершины, во втором и третьем столбцах координаты вершин по осям X и Y, соответственно.

Структура записи для хранения набора данных заготовок приведена на рис. 8.

```

tip3_koord=record
R,r_mugol,s:real; // радиус окружности и радиус описанного многоугольника
n:integer; // количество заготовок
numBer:integer; //номер листового сортамента размещения заготовки
koord:TMatrix; // начальные координаты
koord1:TMatrix; // новые координаты
end;
  
```

Рис. 8. Структура записи набора данных заготовки

Алгоритм расчета координат вершин заготовок (см. рис. 7), реализован в виде отдельной процедуры *procedure tip\_m.setKoord1\_2(d,c:real)*, показанной на рис. 9.

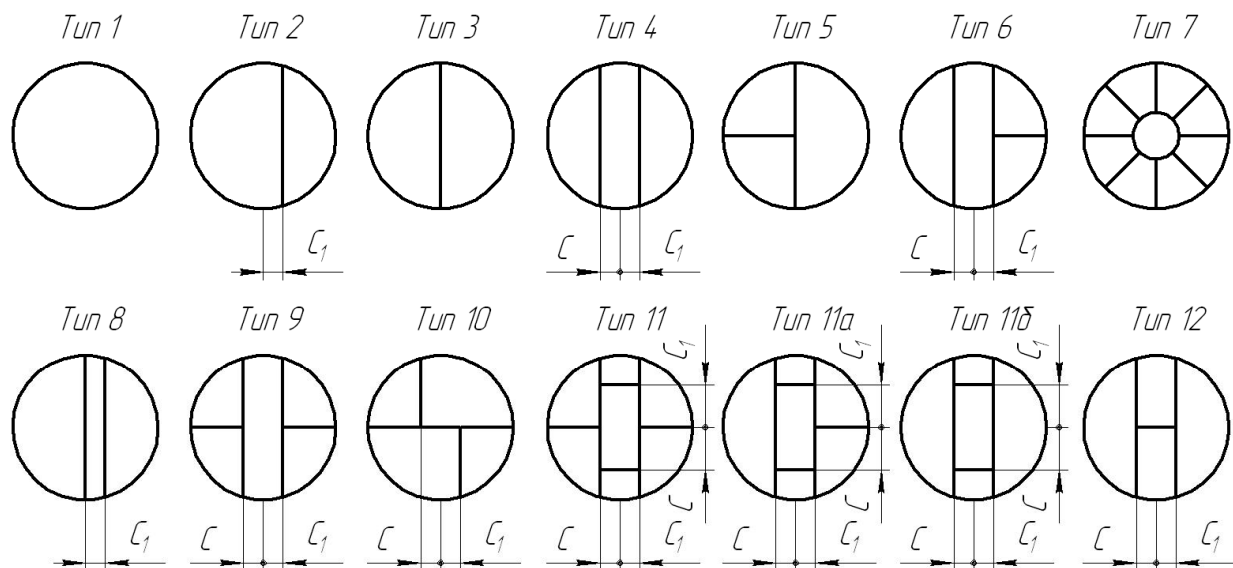
```

procedure tip_m.setKoord1_2(d,c:real);
var
i,k,pr,l:integer;
j,cc:real;
begin
  SetLength(t_k,nd);
  for k := 0 to nd-1 do
  begin
    with t_k[k] do
    begin
      diam:=d;
      R:=d/2;
      pr:=round(2*arcsin(c/R)*180/pi);
      j:=-pr/2;
      n:=180+pr;
      e:=70;
      r_mugol:=R*tan(pi/e)/sin(pi/e);
      koord:=TMatrix.Create(e+1,2);
      koord1:=TMatrix.Create(e+1,2);
      i:=1;
      while (j<=(n-pr/2))or(i<=(e+1)) do
      begin
        koord.Items[i,1]:= r_mugol*cos(j*pi/180)+r_mugol; //координаты по X
        koord.Items[i,2]:= r_mugol*sin(j*pi/180)+c; //координаты по Y
        koord1.Items[i,1]:= r_mugol*cos(j*pi/180)+r_mugol; //координаты по X
        koord1.Items[i,2]:= r_mugol*sin(j*pi/180)+c; //координаты по Y
        i:=i+1;
        j:=j+n/e;
      end;
      koord.Items[1,2]:= 0;
      koord1.Items[1,2]:= 0;
      koord.Items[e+1,1]:= r_mugol*cos((n-pr/2)*pi/180)+r_mugol;
      koord1.Items[e+1,1]:= r_mugol*cos((n-pr/2)*pi/180)+r_mugol;
      koord.Items[e+1,2]:= 0;
      koord1.Items[e+1,2]:= 0;
      e:=e+1;
      if c<0 then begin
        for l := 1 to e do
        begin
          koord.Items[l,1]:= koord.Items[l,1]-koord.Items[e,1]; //координаты по X
          koord1.Items[l,1]:=koord1.Items[l,1]-koord1.Items[e,1]; //координаты по X
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
end;

```

**Рис. 9.** Исходный текст *procedure tip\_m.setKoord1\_2(d,c:real)*

АИС *Stalker ROD* осуществляет расчёт координат заготовок круглой и полукруглой формы, процедуры для расчета других форм заготовок аналогичны алгоритму, приведенному на рис. 7.

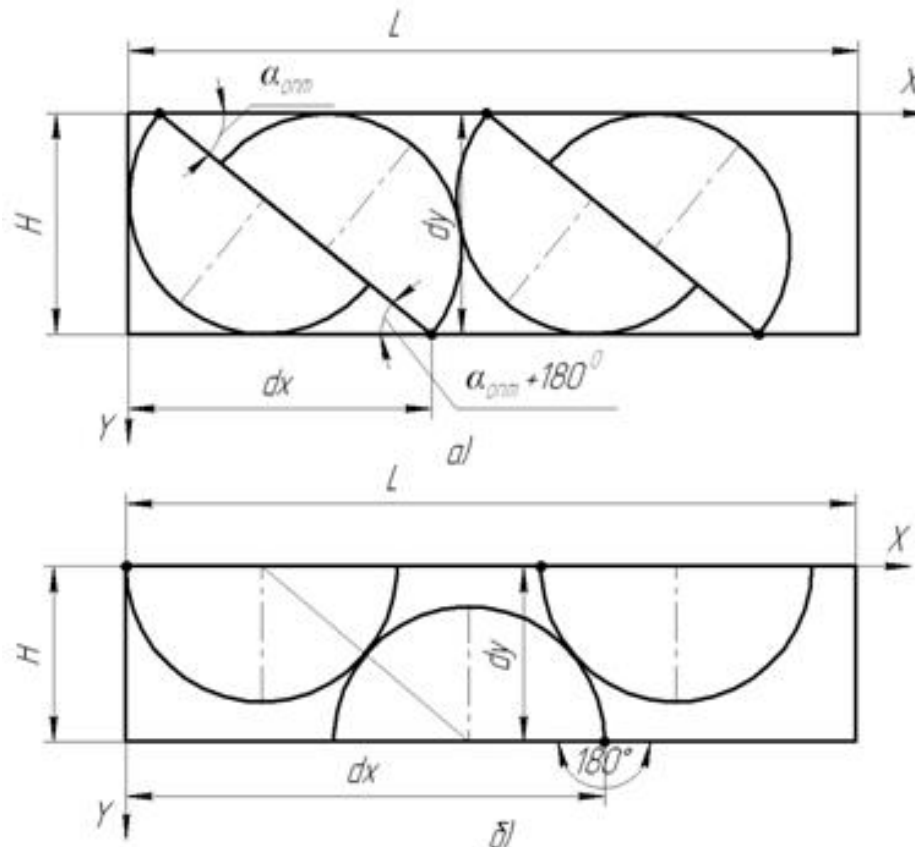


*Расстояние  $C$  и  $C_1$  должно быть не более  $1/5 D_0$ ,  
 Расстояние между швами  $C+C_1$  или  $C_1$  (тип 8) не менее 200мм*

**Рис. 10.** Типы заготовок эллиптических днищ

Рассмотрим реализацию алгоритма оптимального раскроя эллиптического днища третьего типа (см. рис. 10). Раскрой эллиптического днища может быть осуществлен несколькими вариантами, приведенными на рис. 11.

Выбор варианта раскроя зависит от соотношения высоты листа и диаметра эллиптического днища. Если отношение  $d/H < 1,45$ , тогда раскрой осуществляется способом, показанном на рис. 11 (а), иначе - способом, приведенном на рис. 11(б).



**Рис. 11.** Варианты раскроя эллиптического днища третьего типа

При раскрое эллиптического днища необходимо определить:

- положение заготовки: угол поворота и сдвиг по оси ОХ и ОУ, как показано на рис. 11 (а);
- угол поворота заготовки (0 град. или 180 град.). В каждом случае вычисляется сдвиг по осям dX и dY относительно начала координат, как показано на рис. 11 (б).

Укрупненный алгоритм оптимального раскроя эллиптического днища приведен на рис. 12.

Расчет координат заготовок с учетом поворота вокруг оси ОХ осуществляется по формуле (6):

$$\begin{bmatrix} x_1, y_1 \\ x_2, y_2 \\ \dots \\ x_n, y_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\alpha), -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha), \cos(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X, Y \\ X, Y_2 \\ \dots \\ X_n, Y_n \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $\begin{bmatrix} \cos(\alpha), -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha), \cos(\alpha) \end{bmatrix}$  - матрица поворота;

$\begin{bmatrix} x_1, y_1 \\ x_2, y_2 \\ \dots \\ x_n, y_n \end{bmatrix}$  - матрица с координатами вершин при угле поворота 0 град;

$\begin{bmatrix} X, Y \\ X, Y_2 \\ \dots \\ X_n, Y_n \end{bmatrix}$  - матрица с координатами после поворота на угол  $\alpha$ .

После поворота заготовок, к координатам X прибавляется смещения dx, а к координатам Y прибавляется смещения dy. Далее, осуществляется расчет максимальных и минимальных значений координат по оси ОХ – maxX и minX, соответственно, аналогично по оси ОУ - maxY и minY.

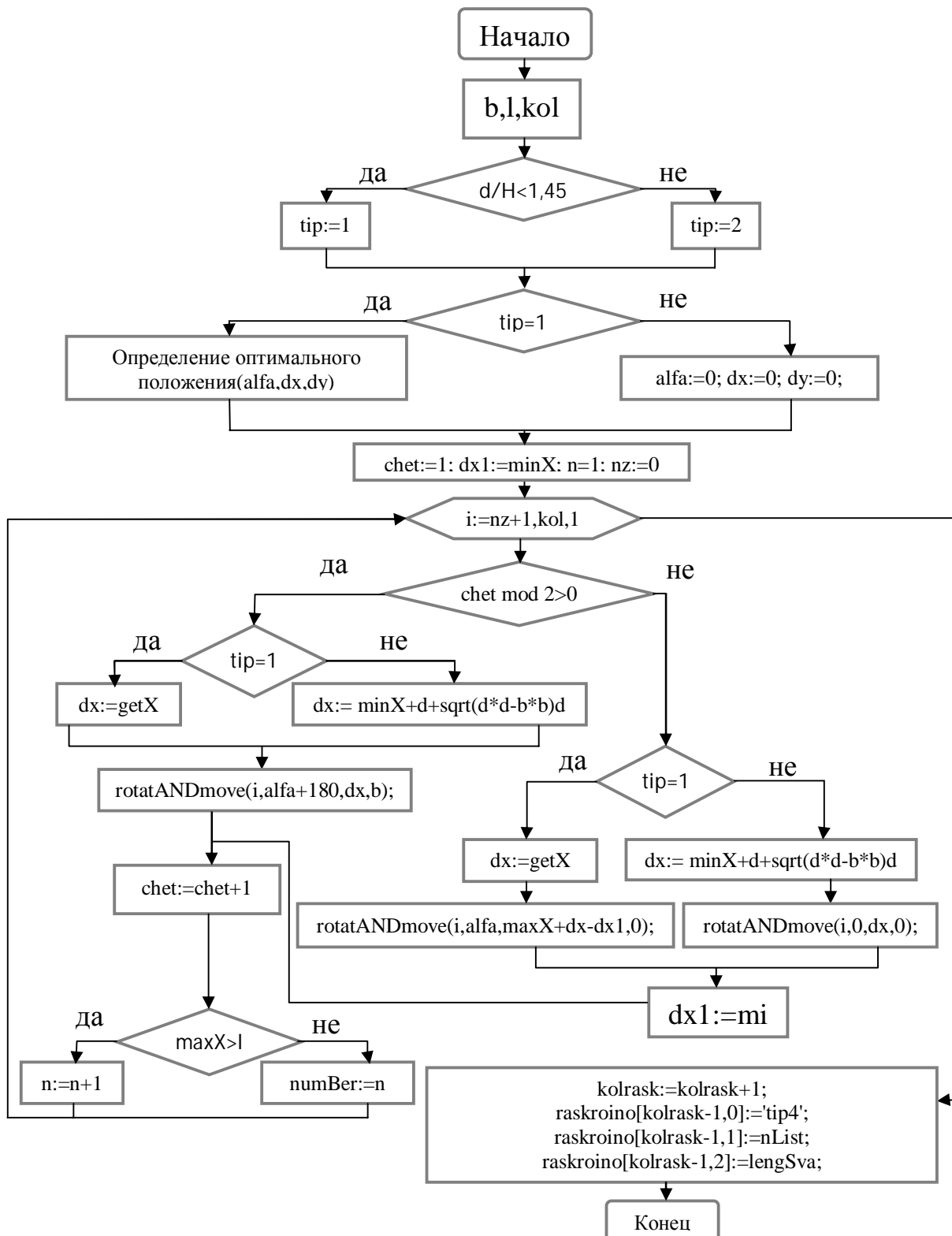


Рис. 12. Укрупненный алгоритм оптимального раскроя эллиптического днища

Для других типов эллиптических днищ (см. рис. 10), разработано ПО процессора, с учетом особенности их форм при расположении заготовок на листовом сортаменте.

В зависимости от соотношения габаритных размеров листового сортамента  $H \times L$  и размеров заготовки выбираются возможные типы раскроя (рис. 13).

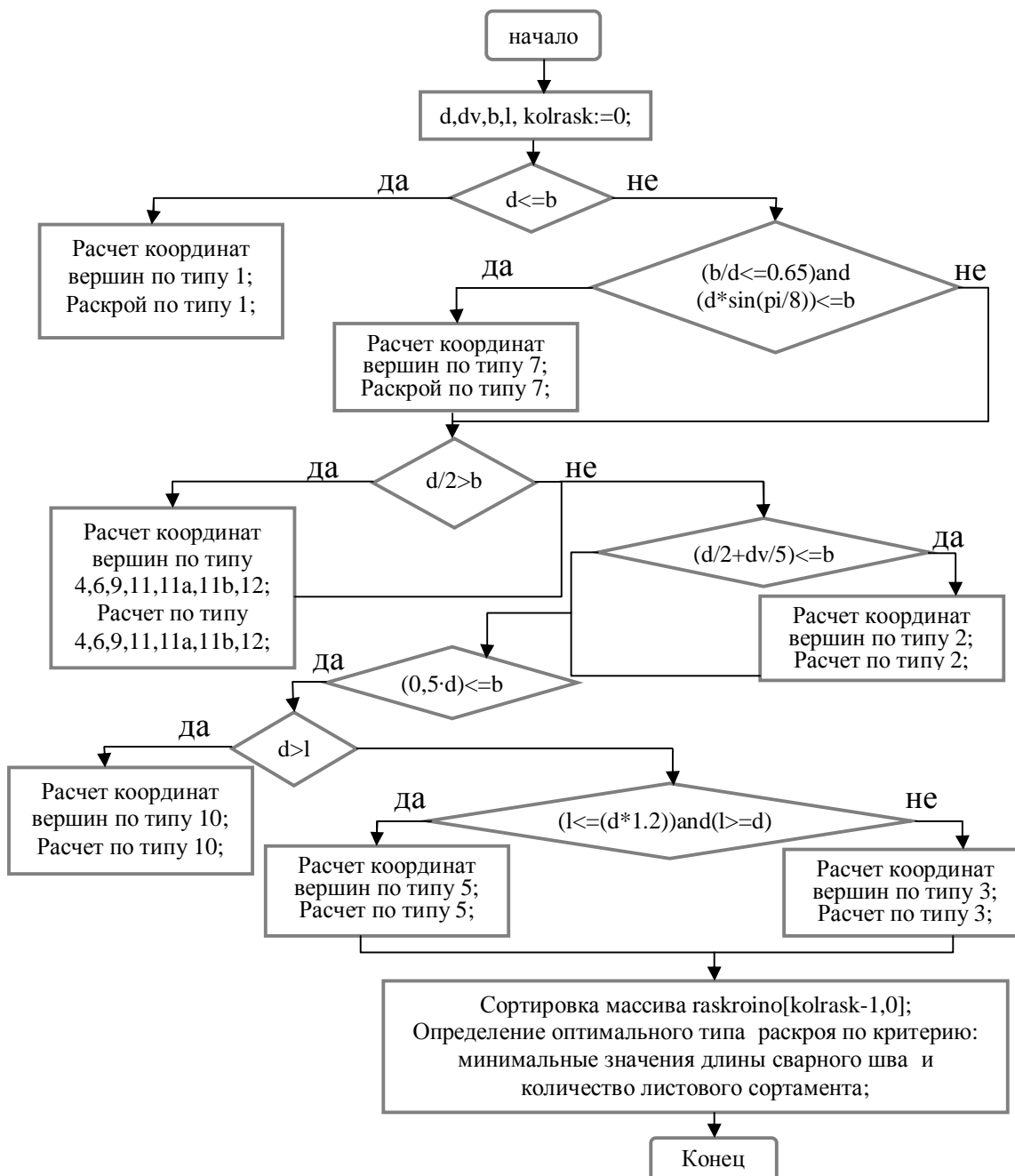


Рис. 13. Укрупненный алгоритм выбора оптимального типа раскроя

Постпроцессор АИС Stalker ROD. После проведения расчетов размещения заготовок из листового сортамента для изготовления эллиптических днищ, на форму постпроцессора АИС Stalker ROD осуществляется вывод возможных вариантов карт раскроя, причем, зеленым маркером выделяется оптимальный вариант (рис. 14).

Для графического построения карты раскроя, необходимо нажать соответствующую кнопку на форме вариантов раскроя. На рис. 15 приведены примеры карт для различных вариантов раскроя эллиптических днищ.

В разработанной АИС Stalker ROD реализован прямой и обратный программный интерфейс на уровне наборов данных с интегрированной АИС Stalker PLM [1-4], обеспечивающих в едином информационном пространстве машиностроительного предприятия комплексную автоматизацию функций CAD/CAM/CAE/PDM/FRP/MRP/MES (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Product Data Management/Finance Requirements Planning/Material Requirements Planning/Management Execution System) - систем, включая информационное и программное взаимодействие с ERP (Enterprise



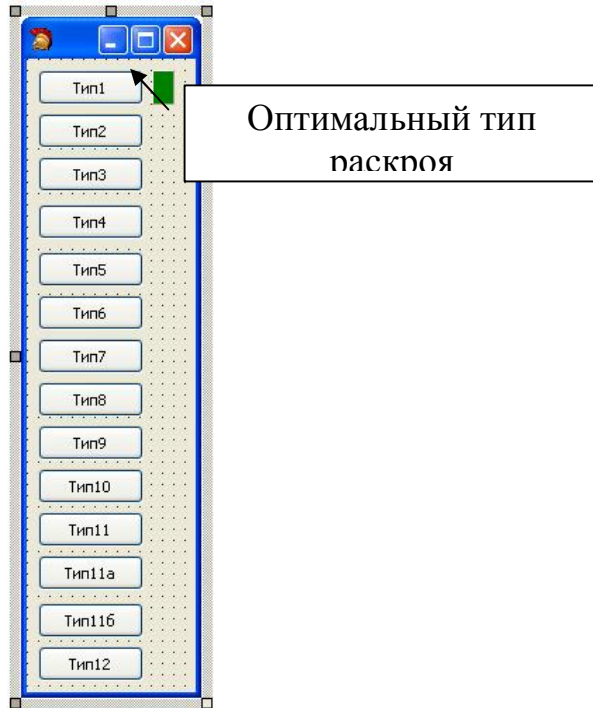


Рис. 14. Форма вариантов раскроя эллиптических днищ

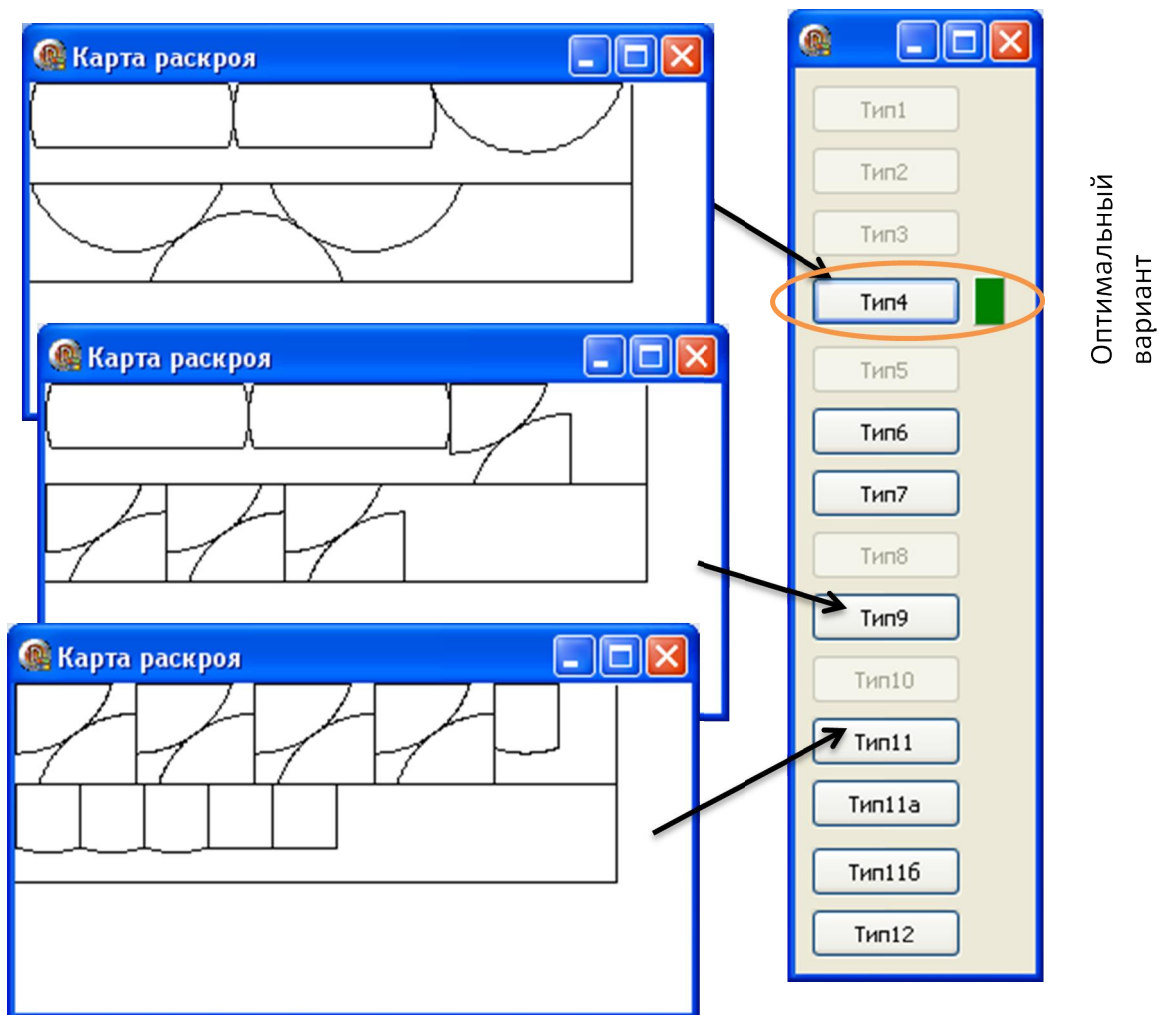


Рис.15. Карты раскроя эллиптических днищ

**Выводы:**

1) Разработан алгоритм автоматизации проектирования карты раскроя эллиптических днищ, отличающийся решением прямой и обратной задачи оптимального раскроя листового сортамента;

2) Разработано ПО АИС *Stalker ROD* для автоматизации проектирования карты раскроя эллиптических днищ, отличающейся реализацией вышеуказанного алгоритма оптимального раскроя с применением следующих подсистем: препроцессор/процессор/постпроцессор;

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством / К. С. Кульга, И. А. Кривошеев // М. : Машиностроение, 2011. - 377 с.

2. Кульга К. С. Разработка интегрированной АИС для технической подготовки и управления позаказным производством машиностроительного предприятия // CAD/CAM/CAE Observer #4 (56)/2010, с.49-56.

3. Кульга К. С. Методология создания интегрированной системы для автоматизации технической подготовки позаказным производством изделий нефтяного машиностроения // Нефтяное хозяйство. №9. 2010. С.100–104.

4. Кульга К. С., Меньшиков П.В., Давлетшин Р.Ф. Совершенствование технологического процесса Изготовления корпусных деталей емкостного оборудования на предприятиях авиационной и машиностроительной промышленности на основе автоматизации оптимального раскроя листового сортамента // Вестник Воронежского государственного технического университета», т.7, №11.1, с.77-81.

5. Бабаев Ф. В.Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ.— М: Машиностроение, 1982. — 168 е., ил.

**ОБ АВТОРАХ**



**Николаев Дмитрий Александрович**, студент каф. Мехатронных станочных систем УГАТУ, дипл. инж. по мехатронике (УГАТУ, 2012). Разработка алгоритмического и программного обеспечения системы, предназначенной для автоматизации оптимального раскроя эллиптических днищ емкостного оборудования.

e-mail: [dfd1@mail.ru](mailto:dfd1@mail.ru)



**Кульга Константин Станиславович**, проф. каф. мехатронные станочные системы, дипл. инж. по спец. 0501 (УГАТУ, 1985). Д-р техн. наук по спец. 05.13.06 (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. методологии создания интегрированных автоматизированных информационных систем авиационных и машиностроительных предприятий.

e-mail: [stalker\\_pro@mail.ru](mailto:stalker_pro@mail.ru)

## УПРАВЛЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

**Швецов А. И.**

Отличительной особенностью развития современных информационных систем управления является бурный рост, сопровождающийся не менее бурным снижением стоимости средств автоматизации, вычислительной техники, коммуникаций, высокопроизводительных и высокоточных устройств. Цифровые технологии постепенно вытесняют аналоговые, преобладавшие в системах управления в недавнем прошлом. К числу их преимуществ относятся:

- более точное представление измеряемых величин;
- возможности построения вычислительных сетей;
- большая эффективность в управлении процессом.

В повседневной практике, специалисты в области информационных технологий, сталкиваются не просто с техническим устройством или машиной, а со сложными системными комплексами, которые работают в средах, недоступных для человека [1]. Например: диагностика неисправностей протяжённых объектов, поиск в труднодоступных местах, доставка грузов на производствах, используются мобильные системы (мобильные малоразмерные роботы).

В результате анализа предметной области были выявлены следующие методы управления мобильными роботами, которые сгруппированы по способу передачи данных на следующие классы:

- методы управления, основанные на протоколах инфракрасной передачи данных;
- методы управления, основанные на передаче радиосигнала;
- методы управления, в которых передача данных осуществляется по каналу Bluetooth-связи;
- методы управления, в которых передача данных осуществляется по протоколам Wi-Fi стандарта;
- управление через интернет.

Сравнительная характеристика методов управления представлена в таблице 1. И, если системы управления первых двух классов, являются устаревающими и позволяют управлять объектом только в зоне видимости, то разрабатываемые в настоящий момент системы управления мобильными малоразмерными роботами позволяют обеспечить удалённое присутствие оператора. Находясь за своим компьютером, оператор может управлять передвижением робота и общаться с окружающими людьми посредством мультимедийных возможностей. К сожалению, управление зачастую осуществляется по протоколу Wi-Fi или Bluetooth и ограничивает радиус действия мобильного объекта до 150 метров на открытой местности и до 50 метров в помещении. При этом системы, позволяющие управлять мобильным роботом дистанционно, независимо от расстояния, дорогостоящи или являются закрытыми разработками (системы управления беспилотными летательными аппаратами).

Поэтому целью исследования является разработка системы управления малоразмерными техническими объектами, используя средства разработки, имеющие приемлемую стоимость.

Таблица 1

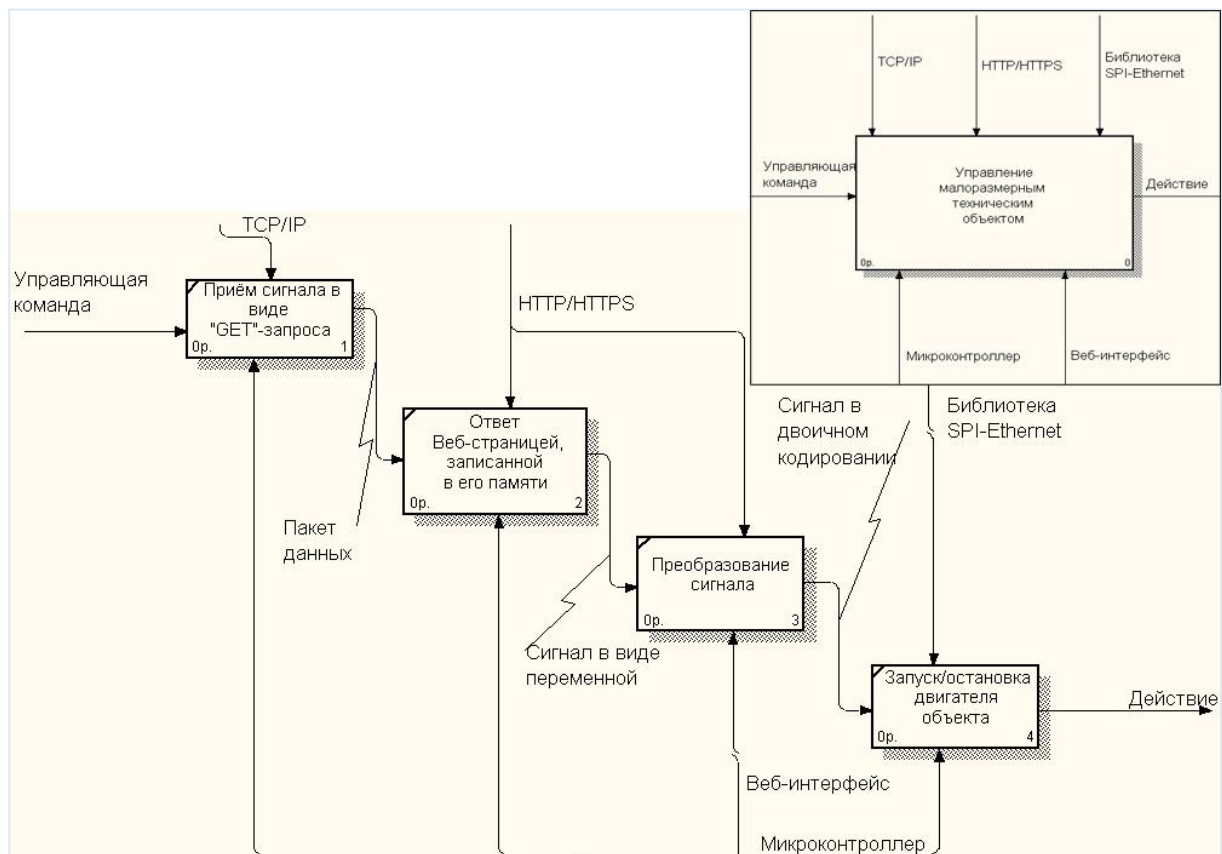
**Сравнительная характеристика методов управления мобильными объектами**

Методы управления системами	Канал управления	Стоимость	Максимальное расстояние до объекта	Время реакции
Основанные, на протоколах инфракрасной передач и данных	ИК-порт	от 5т.р.	35м.	0,4-0,9сек.
Основанные на передаче радиосигнала	Радиоволны	от 3т.р.	35м.	0,4-0,9сек.
Передача данных осуществляется по каналу Bluetooth-связи	Радиоволны в ISM-диапазоне	от 15т.р.	50-150м	0,4-0,5сек.
Передача данных осуществляется по протоколам Wi-Fi стандарта	Пакетная передача данных	от 17т.р.	50-150м.	0,4-0,5сек.
Управление через интернет	Пакетная передача данных	от 170т.р.	неогран.	0,2-0,4сек.

Такими средствами разработки являются: микроконтроллер PIC18F4520 и микросхема ENC28J60 интерфейса Ethernet (рис. 1). Эта микросхема является достаточным решением и для других семейств микроконтроллеров, таких как AVR, dsPIC и т.п. Разъем RJ45 от CviLux используется для подключения к сети Ethernet [2]. Компилятор mikroC PRO for AVR содержит библиотеку SPI\_Ethernet, которая значительно упростит процесс написания программы для микроконтроллера. Используя несколько подпрограмм из этой библиотеки, можно создать систему, которая позволит управлять мобильным роботом через Веб-интерфейс. Функциональная модель системы представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Плата Ethernet



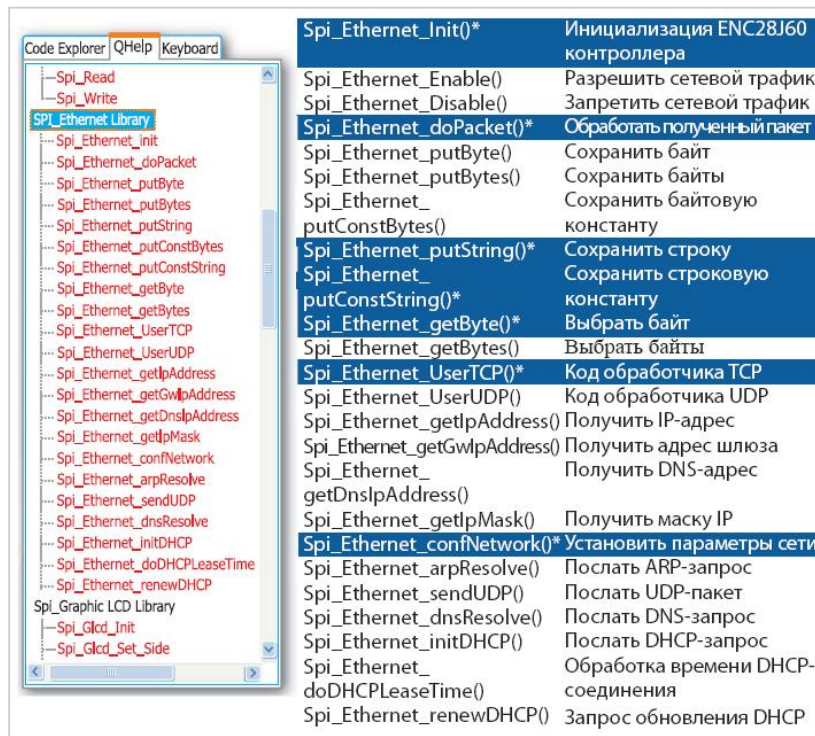
**Рис. 2.** Функциональная модель системы управления малоразмерным техническим объектом

При разработке системы необходимо решить следующие задачи:

- создать веб-интерфейс (html-страницу) для выполнения микроконтроллером;
- импортировать страницу веб-интерфейса (html-страницу) в код программы в виде строки (рис. 3);
- задать адреса IP, DNS, шлюза и маску подсети [3];
- отключить аналоговые входы порта PORTB;
- вывод микроконтроллера необходимо сконфигурировать как выход и обнулить;
- инициализировать модуль SPI-микроконтроллера PIC18F4520 (рис. 4);
- инициализировать модуль Serial Ethernet микросхемы ENC28J60 (рис. 4);
- написать код внутри функции Spi\_Ethernet\_userTCP, который будет после приема команды через Веб-интерфейс, включать/выключать двигатель мобильного объекта;
- считывать принятые данные в бесконечном цикле [4].

```
// html-страница по умолчанию
char indexPage[] =
"<html><head><title>mikroElektronika</title></head><body>\
<h3 align=center>MikroElektronika Home Automatization System</h3>\
<form name=\"input\" action=\"^\" method=\"get\">\
<table align=center width=200 bgcolor=#4974E2 border=2><tr>\
<td align=center colspan=2><font size=4 color=white><b>Heat Control</b></font>\
</td></tr><tr><td align=center bgcolor=#4974E2><input name=\"tst1\" width=60 \
type=\"submit\" value=\"ON\"></td><td align=center bgcolor=#FFF000>\
<input name=\"tst2\" type=\"submit\" value=\"OFF\"></td></tr></table>\
</form></body></html>";
```

**Рис. 3.** Пример фрагмента кода html-страницы импортированного в код программы в виде строки



**Рис. 4.** Список функций SPI Ethernet Library

Наиболее важной частью программы является функция Spi\_Ethernet\_userTCP, обрабатывающая все принятые команды (рис. 4). После того, как микроконтроллер примет “GET” запрос, посланный браузером компьютера на IP-адрес управляющей системы, он ответит веб-страницей, записанной в его памяти. Затем, эта страница автоматически отобразится браузером на экране компьютера. Если принята команда ON, то запустятся двигатели, подключенные к выводу PORTB.0; если же принята команда OFF, то двигатели прекратят свою работу.

```

unsigned char getRequest[20]; // буфер HTTP-запроса
unsigned int SPI_Ethernet_UserTCP( char *remoteHost, unsigned int remotePort,
unsigned int localPort, unsigned int reqLength) {
unsigned int len; // длина ответного сообщения
if(localPort != 80) return(0); // прослушиваются web-запросы только по порту 80
// получить только первые 10 байт запроса, остальные здесь не обрабатываются
for(len = 0 ; len < 15 ; len++) getRequest[len] = SPI_Ethernet_getByte();
getRequest[len] = 0;
if(memcmp(getRequest, "GET /", 5)) return(0); // только метод GET
if(!memcmp(getRequest+11, "ON", 2)) // выполнить команду ON
PORTB.F0 = 1; // установить бит bit0 порта PORTB
else
if(!memcmp(getRequest+11, "OFF", 3)) // выполнить команду OFF
PORTB.F0 = 0; // очистить бит bit0 порта PORTB
}

```

**Рис. 4.** Пример фрагмента кода использования функции Spi\_Ethernet\_userTCP

Таким образом, данная система управления малоразмерными техническими объектами, работающая в тесном симбиозе Веб-интерфейса и платы Ethernet, позволяет решить проблему высокой стоимости и ограниченности радиуса действия. Систему можно использовать для управления мобильными объектами в сфере производства, промышленности, сельском хозяйстве, в исследовательских работах и в работе при чрезвычайных ситуациях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов М.М. Разработка и исследование методического и алгоритмического обеспечения интеллектуальных систем управления мобильными объектами: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – СПб: СПбГПУ, 2011. – 16с.
2. Хульцебош Ю. USB в электронике: пособие для практикующих инженеров. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 221с.

3. Евстигнеев Д.В. Интеллектуальный мобильный робот [электронный ресурс]. – Режим доступа: [ <http://robot-rad.narod.ru/index.html>].
4. Кирюшин О.В. Управление техническими системами: курс лекций. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 80с.

#### ОБ АВТОРЕ



**Швецов Александр Игоревич**, студент пятого курса УГАТУ, гр. ПИЭн-509. Научный руководитель: Мартынов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической информатики.

УДК 378.016:004

### ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПО КАФЕДРЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ

**Ширяев О. В.**

В условиях рыночной экономики меняются потребности и уровень требований потребителей образовательных продуктов, что диктует необходимость постоянного совершенствования образовательного процесса как для успешной работы на образовательном рынке, так и для удовлетворения потребностей рынка труда. Одним из путей решения этой задачи является внедрение информационно-образовательных технологий, что позволяет учебным заведениям идти в ногу со временем и предоставлять магистрантам новые возможности, расширенную гибкость в обучении и качественное образование.

На сегодняшний день одними из наиболее перспективных направлений в области компьютеризированного обучения считаются адаптивные и мультимедиа технологии, которые повышают эффективность и качество обучения, снижают роль субъективного фактора при проведении контроля. Разработка подсистемы информационной поддержки магистерской подготовки, имеющую модульно-рейтинговую систему контроля знаний, включающую в себя подсистему управления электронным документооборотом, а также обеспечивающую работу следующих групп пользователей: магистрантов, бакалавров (специалистов), преподавателей, администратора, является актуальной.

На основе математической модели учебного процесса представленной в работе Найниша Л.А. «К вопросу проектирования оптимальной обучающей технологии» [1, с. 35-39] разработана логическая структура математической модели процесса обучения магистрантов (рис. 1). Отличительной особенностью данной модели является использование модульно-рейтинговой подсистемы контроля знаний для автоматизированного учета успеваемости магистрантов. Данная подсистема обеспечивает адаптивность обучения.



**Рис. 1.** Логическая структура математической модели процесса подготовки магистрантов

В зависимости от выходного параметра формируется алгоритм и методика обучения, подстраиваемые под конкретного магистранта. Процесс обучения представляется как поверхность в многомерном пространстве с размерностью, равной сумме параметров входа и выхода. В нашем случае размерность равна пяти (четыре параметра входа и один параметр выхода). Выходным параметром является обратная связь, а выходными параметрами математической модели процесса подготовки магистрантов на кафедре экономической информатики являются:

- логическая структура учебного курса;
- квалификации профессорско-преподавательского состава;
- обучаемость магистрантов;
- материально-техническое и информационно-методическое обеспечение учебного

процесса.

Процесс подготовки магистрантов представлен в виде кортежа  $PM=f(L, K, M, R)$ , где:

1)  $L (l, pr, lr, kon, k)$  – множество видов проводимых занятий и контроля полученных знаний, где:

- $l (l1, l2...ln)$  – множество лекций;
- $pr (pr1, pr2... prn)$  – множество практических занятий;
- $lr (lr1, lr2... lrn)$  – множество лабораторных работ;
- $kon (kon1, kon2... konn)$  – множество консультаций по курсовым проектам и диссертациям;

- $k (k1, k2... kn)$  – множество видов контроля полученных знаний магистрантом (практические и контрольные работы, лабораторные и расчетно-графические работы, зачеты и экзамены и т.д.).

2)  $K (K1, K2... Kn)$  – множество показателей уровня квалификации ППС (ученое звание, ученая степень, стаж работы и т.д.);

3)  $M (M1, M2... Mn)$  – множество статусов магистранта в процессе его подготовки (обучается, отчислен, восстановлен и т.д.);

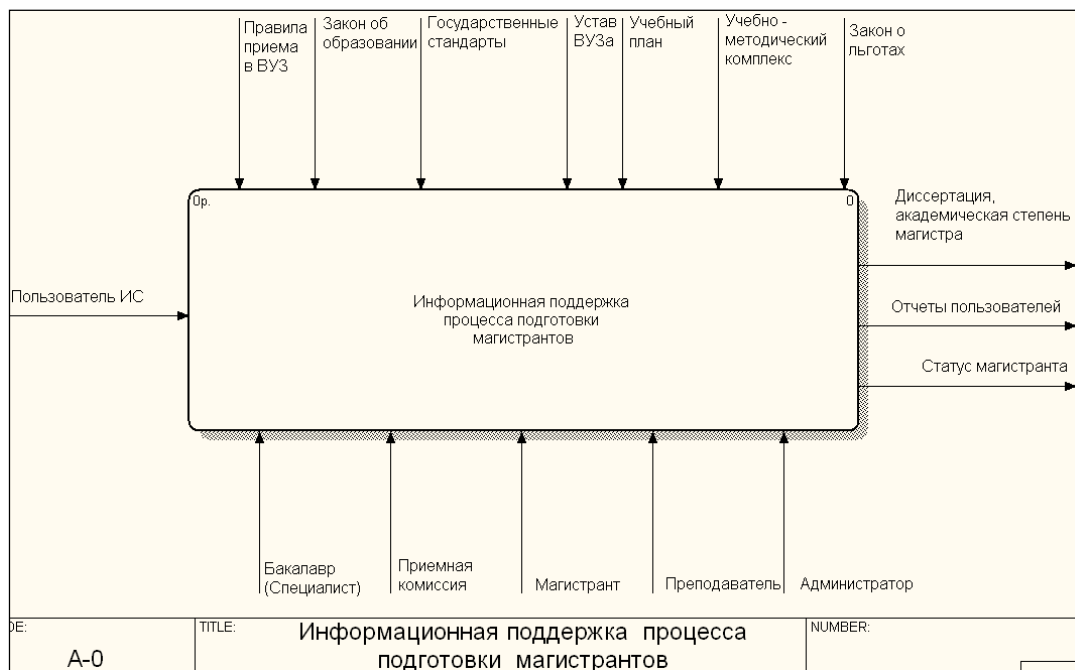
4)  $R (R1, R2... Rn)$  – множество материально-технического и информационно-методического обеспечения учебного процесса (учебное оборудование, учебные аудитории, пособия, учебно-методическое сопровождение дисциплин и т.д.).



Использование подсистемы модульно-рейтингового контроля знаний позволяет:

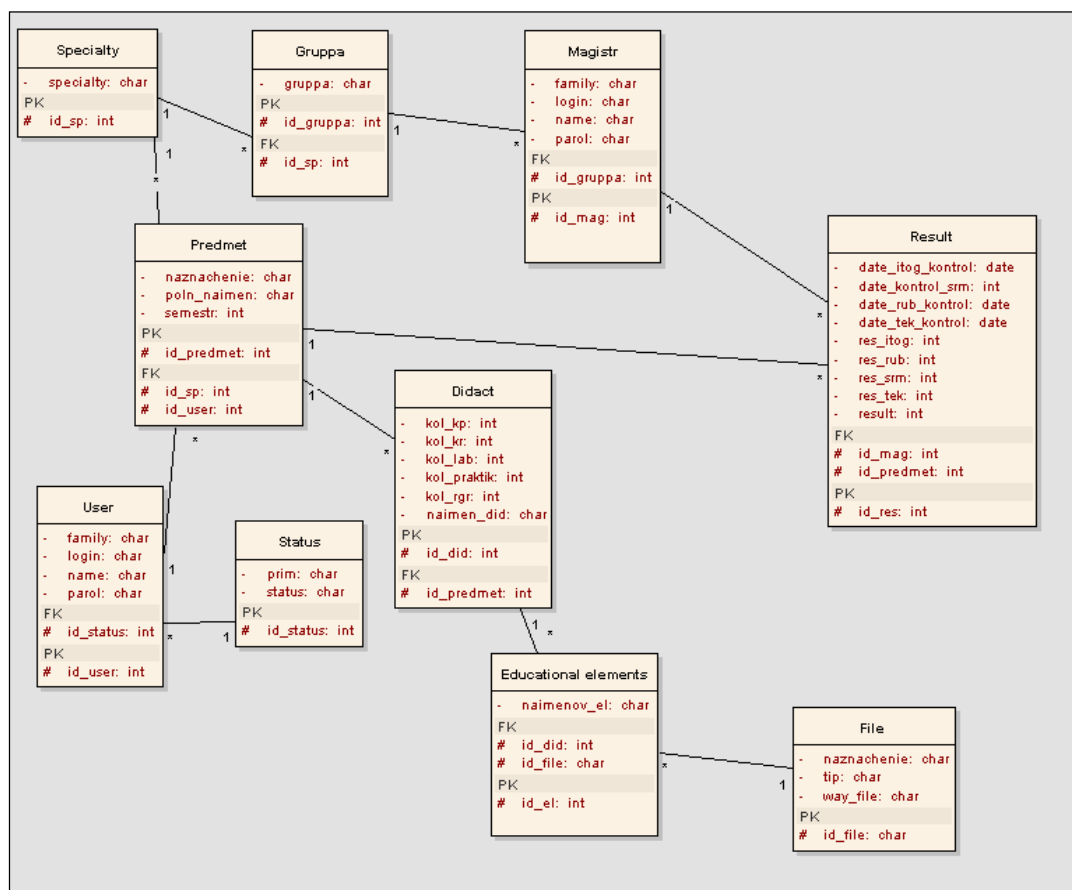
- определить уровень подготовки каждого магистранта на каждом этапе учебного процесса;
- получить объективную динамику усвоения знаний не только в течение учебного года, но и за все время обучения;
- дифференцировать значимость оценок, полученных магистрантом за выполнение различных видов работы (самостоятельная работа, текущий, итоговый контроль и т.д.);
- отразить текущей и итоговой оценкой количество вложенного магистрантом труда;
- повысить объективность знаний;
- повысить качество обучения за счет интенсификации учебного процесса, активизации работы профессорско-преподавательского состава и магистрантов по обновлению и совершенствованию содержания и методов обучения;
- повысить мотивацию магистрантов к освоению образовательных программ;
- активизировать самостоятельность и индивидуальность работы магистрантов.

С помощью CASE-технологии построения диаграмм потоков данных (DFD «Data flow diagram»), которая реализует моделирование процессно-ориентированного и структурного типа, разработаны бизнес-процессы подсистемы информационной поддержки магистерской подготовки. На рис. 2 изображена контекстная диаграмма являющаяся вершиной древовидной структуры диаграмм и представляет собой самое общее описание системы.



**Рис. 2.** Информационная поддержка процесса подготовки магистрантов

При помощи средств бизнес моделирования в среде «Enterprise Architect» построена информационная модель подсистемы информационной поддержки подготовки магистрантов (рис. 3) и диаграммы развертывания, содержащих графическое изображение процессоров, устройств, процессов и связей между ними.



**Рис. 3.** Информационная модель подсистемы информационной поддержки магистерской подготовки

При разработке физического представления программной системы информационной поддержки магистерской подготовки, диаграмма развёртывания (рис. 4) построена с точки зрения взаимодействия четырёх подсистем: подсистема серверы, подсистема взаимодействия управляющего персонала, подсистема взаимодействия магистрантов или бакалавров (специалистов) в компьютерном классе, подсистема дистанционного взаимодействия магистрантов или бакалавров (специалистов).

Данная диаграмма наглядно показывает работу всей системы информационной поддержки магистерской подготовки и её полное физическое представление, т.е. взаимодействие вычислительных средств, на которых данная система реализована.

При помощи технологии PHP + MYSQL в настоящее время разработаны: подсистемы авторизации и регистрации (рис. 5), панели управления пользователей, защита от несанкционированного доступа на страницы других групп пользователей и т.д.

Защита от несанкционированного доступа к информации реализуется с помощью кода, изображенного на рис. 6. Результатом выполнения данного сценария пользователем со статусом 0, 2, 3 или 4 является перенаправление пользователя на страницу index.php.

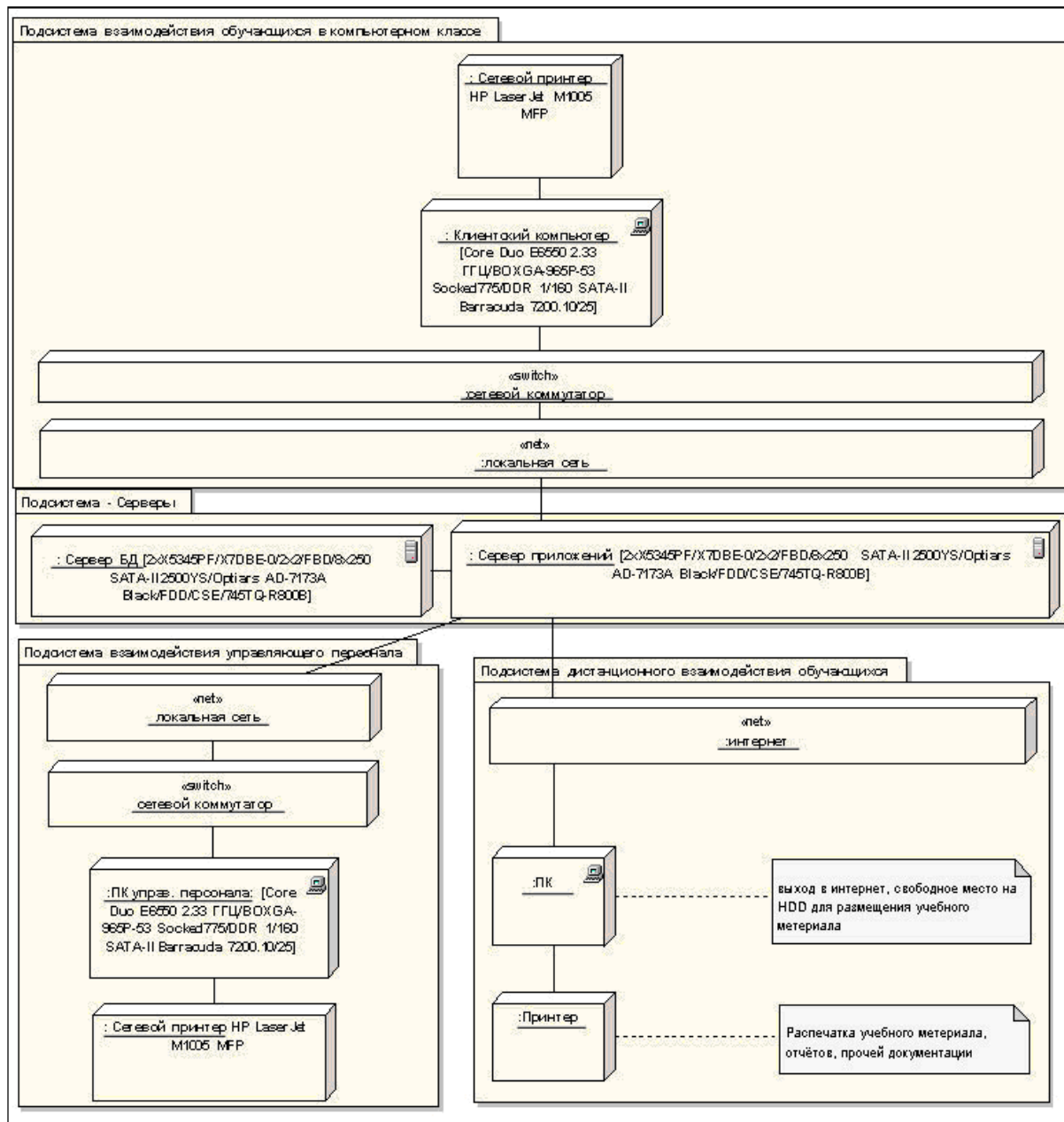


Рис. 4. Диаграмма развертывания «Взаимодействие подсистем информационной поддержки магистерской подготовки»

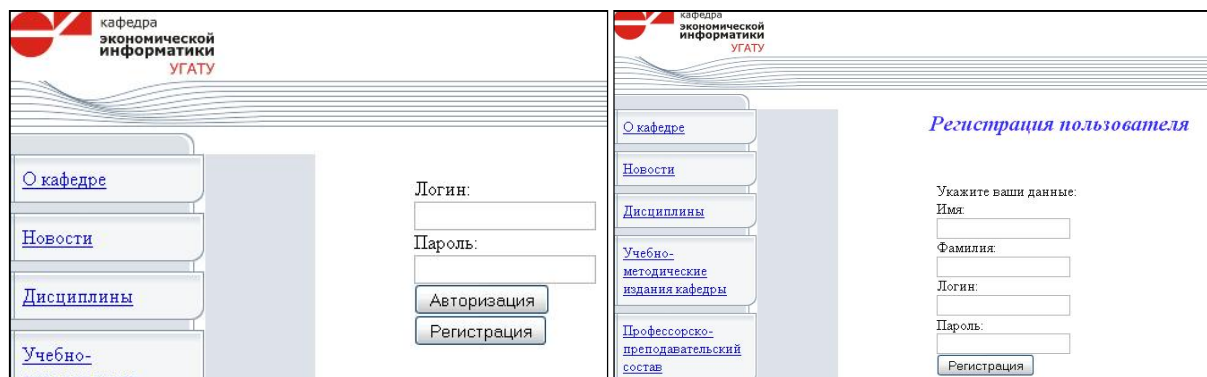


Рис. 5. Подсистемы авторизации и регистрация

```
<? if($_SESSION['user_role']==0)
{ header("Location: http://index.php"); }
if($_SESSION['user_role']==2)
{ header("Location: http://index.php"); }
if($_SESSION['user_role']==3)
{ header("Location: http://index.php"); }
if($_SESSION['user_role']==4)
{ header("Location: http://index.php"); } ?>
```

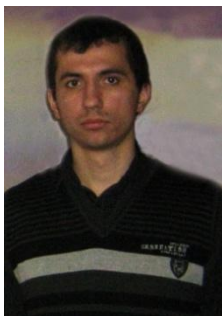
**Рис. 6.** Пример кода для разграничения прав доступа пользователей

В рамках научной работы построены бизнес-процессы и диаграммы развертывания, а также спроектированы логическая структура математической модели и информационная модель подсистемы информационной поддержки магистерской подготовки. Разработаны подсистемы авторизации и регистрации пользователей, подсистема документооборота администратора, подсистема учебно-методической поддержки магистрантов и другие подсистемы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**1. Найниш Л.А. К вопросу проектирования оптимальной обучающей технологии**  
// Профессиональное образование: проблемы и перспективы развития: Тр. междунар. науч.-прак. конф. Пенза: ПГТА, 2005. – 35–39 с.

### ОБ АВТОРЕ



**Ширяев Олег Валерьевич**, студент 5 курса УГАТУ. Научный руководитель: Костюкова Татьяна Петровна, доктор технических наук, профессор кафедры экономической информатики

e-mail: [shiryaev\\_oleg@bk.ru](mailto:shiryaev_oleg@bk.ru)

УДК 629.7.016

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРА

**Михайлова А. Б., Бакирова З. Н.**

#### Введение

Получение характеристики компрессора является одной из ключевых задач на различных стадиях проектирования от эскизного до технического проекта. Достоверная характеристика компрессора (каскада компрессора) позволяет рассчитать характеристики разрабатываемого изделия на установившихся (дрессельная, климатическая, высотно-скоростные характеристики) и на неустановившихся режимах (динамическая характеристика ГТД) с высокой точностью.

В условиях жесткой конкурентной борьбы за финансовый рынок первоочередным

требованием становится снижение стоимости жизненного цикла двигателя, включающей стоимость разработки, производства и эксплуатации. Внедрение CALS-технологий и имитационного моделирования позволяет значительно снизить затраты и сроки выполнения различных работ на стадии проектирования. Математическое описание процессов дает возможность получения характеристик компрессора в широком диапазоне входных параметров и частот вращения на этапе проектирования, доводки и эксплуатации. В данном направлении велись многочисленные разработки такими известными авторами [1–4], как К. В. Холщевников, Л. Н. Држинин, А. П. Тунаков, О. Н. Емин, Р. М. Федоров, Л. Е. Олыштейн и др.

### 1 Расчет компрессора в СИМ COMPRESSOR

После проведения термогазодинамического расчета двигателя на заданном режиме становятся известными некоторые параметры на входе в компрессор (степень повышения давления в компрессор  $\pi_k^*$ , полное давление на входе в компрессор  $p_k^*$ , полная температура воздуха на входе в компрессор  $T_1^*$ , расход воздуха через компрессор  $G_B$ , частота вращения ротора  $n$ , адиабатический КПД компрессора  $\eta_k^*$ ) [4].

На основании проведенных расчетов строится модель компрессора в СИМ COMPRESSOR [5] (рис. 1).

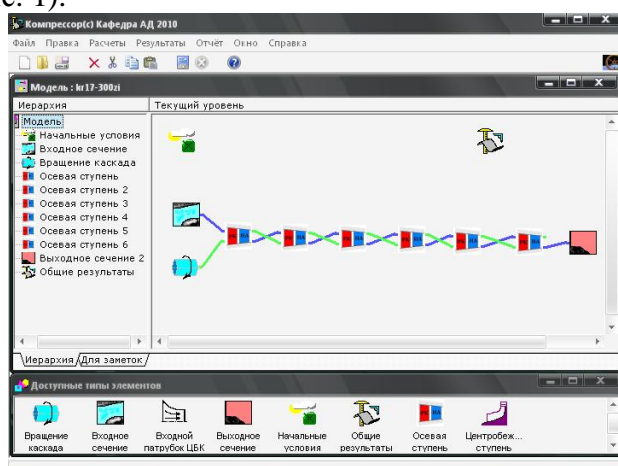


Рис. 1 Модель шестиступенчатого компрессора в СИМ COMPRESSOR

Исходными данными для расчета компрессора в СИМ COMPRESSOR [5] являются геометрические параметры проточной части компрессора и кинематические параметры потока. В созданной модели осевого шестиступенчатого компрессора, в каждой ступени по предварительным данным назначаются входные параметры (таблица 1 – 2).

Таблица 1

Исходные данные элемента модели «Входное сечение»

Параметр	Значение
Расход воздуха, [кг/с]	48
Полное давление воздуха на входе, [Па]	103300
Угол потока на входе в компрессор, [град,]	90
Угол потока на выходе из компрессора, [град,]	90
Осевая скорость на входе, [м/с]	201
Полная температура воздуха на входе, [К]	288,15
Число ступеней	6

Таблица 2

## Исходные данные элемента модели «Вращение каскада»

Параметр	Значение
Частота вращения, [об/мин]	12250

На рис. 2 изображено окно входных параметров элемента «Осевая ступень» в СИМ COMPRESSOR.

Рис. 2. Окно входных и выходные параметры элемента «Осевая ступень»


После введения всех данных проводится расчет (кнопка «Начать расчет»  или меню «Расчеты > Начать расчет»). В результате расчета будут доступны выходные параметры узлов компрессора (таблицы 3 – 4, рис. 2), а также отображение проточной части компрессора в случае линейного распределения осевых составляющих абсолютной скорости потока воздуха (рис. 4).

Таблица 3

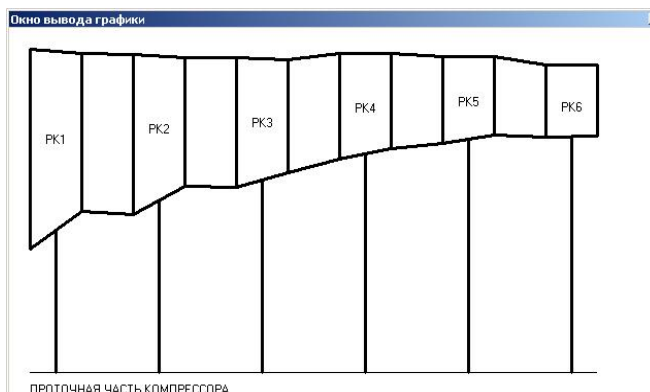
## Результаты расчета элемента модели «Входное сечение»

Параметр	Значение
Расход воздуха, [кг/с]	48
Полное давление воздуха на входе, [Па]	103300
Угол потока на входе в компрессор, [град,]	90
Угол потока на выходе из компрессора, [град,]	90
Осевая скорость на входе, [м/с]	201
Полная температура воздуха на входе, [K]	288,15
Число ступеней	6

Таблица 4

## Результаты расчета элемента модели «Выходное сечение 2»

Параметр	Значение
Расход воздуха, [кг/с]	48
Полное давление воздуха на выходе, [Па]	490063
Полная температура воздуха на выходе, [K]	489,133
Угол потока на выходе, [град,]	90
Осевая скорость на выходе, [м/с]	153



**Рис. 4** Проточная часть компрессора в первом приближении

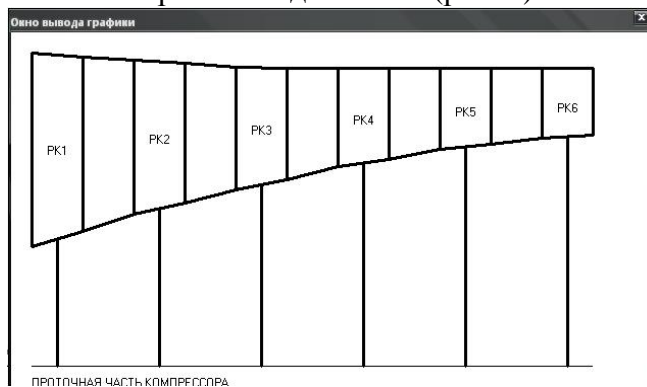
Проточная часть компрессора в первом приближении получена в результате изначального линейного распределение осевых скоростей потока (таблица 5).

**Таблица 5**

**Линейное распределение осевых скоростей потока**

Параметр	Ступень					
	1	2	3	4	5	6
Абсолютная скорость на входе в ступень, [м/с]	201	192,3	183,55	174,82	166,1	157,36
Абсолютная скорость на выходе из РК, [м/с]	196,63	187,9	179,2	170,45	161,7	153

Полученная проточная часть компрессора в первом приближении не удовлетворяет проточной части прототипу двигателя. Для соответствия проточной части необходимо подобрать осевые скорости потока под известную геометрию проточной части. Составляется закон расчета, в котором поддерживаются геометрические параметры проточной части компрессора – диаметры в концевом и во втулочном сечении, а варьируются кинематические параметры потока – осевая скорость за РК и осевая скорость на выходе из РК. В результате расчета получается проточная часть компрессора, которая соответствует проточной части прототипа двигателя (рис. 6).



**Рис. 6** Проточная часть компрессора

Ниже, в таблице 6, приведены общие результаты расчета шестиступенчатого компрессора.

**Таблица 6**

**Результаты расчета элемента модели «Общие результаты»**

Параметр	Значение
Затраченная работа компрессора, [Дж/кг]	201887
КПД	0,80419
Полная температура на выходе, [К]	489,133
Полное давление на выходе, [Па]	490063
Степень повышения полного давления в компрессоре	4,74408

Оценка погрешности расчета степени повышения полного давления в компрессоре и КПД компрессора.

$$\delta\pi_k^* = \frac{\pi_{кэ}^* - \pi_{кр}^*}{\pi_{кэ}^*} \cdot 100\% = \frac{4,744 - 4,7}{4,7} \cdot 100\% = 0,927\% \quad (1)$$

где  $\pi_{кэ}^*$  - экспериментальное значение степени повышения полного давления;  
 $\pi_{кр}^*$  - расчетное значение степени повышения полного давления.

$$\delta\eta_k^* = \frac{\eta_{кэ}^* - \eta_{кр}^*}{\eta_{кэ}^*} \cdot 100\% = \frac{0,804 - 0,8}{0,804} \cdot 100\% = 0,5\% \quad (2)$$

где  $\eta_{кэ}^*$  - экспериментальное значение коэффициента полезного действия;  
 $\eta_{кр}^*$  - расчетное значение коэффициента полезного действия.

Погрешности не превышают 1%. Из этого можно сделать вывод об адекватности модели, созданной в СИМ COMPRESSOR.

## 2 Расчет напорной ветви характеристики компрессора

### 2.1 Исходные данные

Исходные данные формируются из ранее выше проведенного термогазодинамического расчета. Ниже изложенный расчет произведен в СИМ COMPRESSOR [8]. Изначально строится модель шестиступенчатого компрессора (рис. 7).

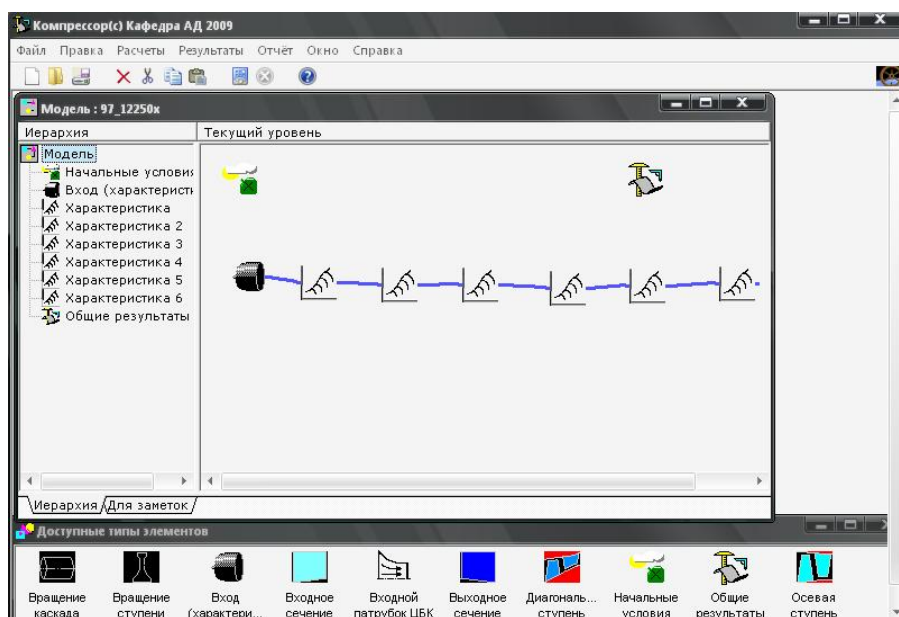


Рис. 7 Начальное окно системы с собранной моделью

Для расчета напорной ветви характеристики необходимы следующие исходные данные, приведенные в таблице 7 – 8 и на рис. 8 – 9.

Таблица 7

### Исходные данные на входе в компрессор

Параметр	Значение
Полная температура, К	288
Полное давление, Па	103300
Расход (текущий), кг/с	48,9
Расчетная степень повышения давления	4,7
Расчетный КПД	0,82
Расчетный расход воздуха, кг/с	48
Расчетная частота вращения, об/мин	12250
Текущая частота вращения, об/мин	12250
Число ступеней	6



Входные параметры		Выходные параметры
1*****Масштаб*****		*****
1-1 Максимальный расход		60
1-2 Максимальная степень повышения давления		7
1-3 Полная температура, [K]		288
1-4 Полное давление, [Па]		103300
1-5 Расход (текущий), [кг/с]		48
1-6 Частота вращения (базовая), [об/мин]		12250
1-7 Частота вращения (текущая), [об/мин]		12250
1-8 Число ступеней		6
2*****Оптимальная точка*****		*****
2-1 Расчетная степень повышения давления		4.7
2-2 Расчетный КПД		0.8
2-3 Расчетный расход воздуха, [кг/с]		48
2-4 Расчетная частота вращения, [об/мин]		12250
2-4 Текущая частота вращения, [об/мин]		12250

Рис. 8 – Окно входных параметров на входе в компрессор

Таблица 8

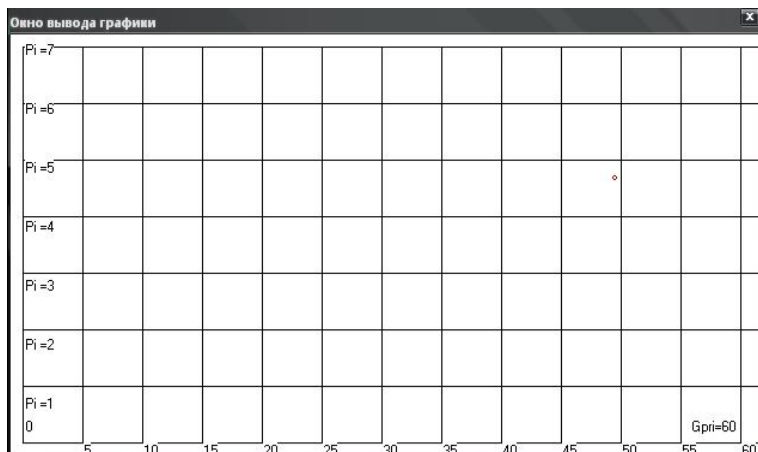
**Исходные данные для расчета расчетной точки характеристики компрессора**

Параметр	Ступень					
	1	2	3	4	5	6
Наружный диаметр на входе в РК $D_{вх}$ , м	0,590	0,576	0,564	0,562	0,562	0,562
Наружный диаметр на выходе из РК $D_{вых}$ , м	0,583	0,571	0,561	0,562	0,562	0,562
Наружный диаметр на выходе из ступени $D_{вых ст}$ , м	0,576	0,564	0,562	0,562	0,562	0,562
КПД ступени $\eta$	0,82	0,83	0,84	0,84	0,83	0,81
Угол входа потока в РК в абсолютном движении $\alpha_1$ , град	90	78,4	5,315	68,33	70,95	79,77
Угол потока на выходе из РК в относительном движении $\beta_2$ , град	42,32	52,51	58,38	57,98	48,6	38,85
Осевая скорость на входе в РК $c_{1a}$ , м/с	201	197,6	192	183,1	173,8	166,9
Осевая скорость на выходе из РК $c_{2a}$ , м/с	174	177,5	183,7	170,7	164	154,9

Входные параметры		Выходные параметры
*****Параметры в расчетной точке*****		*****
1-1 Номер ступени		1
1-2 Наружный диаметр на входе в РК, [м]		0.59
1-21 Наружный диаметр на выходе из РК, [м]		0.583
1-22 Наружный диаметр на выходе из ступени, [м]		0.576
1-3 Относительный диаметр втулки на входе в РК		0.381
1-31 Относительный диаметр втулки на выходе из РК		0.434
1-32 Относительный диаметр втулки на выходе из ступени		0.497
1-4 Относительная толщина лопатки РК на ср. диаметре		Неизвестно
1-41 Относительная толщина лопатки НА на ср. диаметре		Неизвестно
1-5 Хорда РК на ср. диаметре		Неизвестно
1-51 Хорда НА на ср. диаметре		Неизвестно
1-6 Число лопаток РК		Неизвестно
1-61 Число лопаток НА		Неизвестно
1-7 Угол установки лопаток РК, [град]		Неизвестно
1-71 Угол установки лопаток НА, [град]		Неизвестно
1-8 Угол изгиба лопатки РК, [град]		Неизвестно
1-81 Угол изгиба лопатки НА, [град]		Неизвестно
1-9 КПД ступени		0.82
1-91 Угол входа потока в РК в абс. движении, [град]		90
1-94 Угол потока на выходе из РК в отн. движении, [град]		42.6
1-941 Угол на выходе из НА, [град]		90
1-95 Осевая скорость на входе в РК, [м/с]		201
1-96 Осевая скорость на выходе из РК, [м/с]		174

Рис. 9 Окно входных параметров элемента «Характеристика»

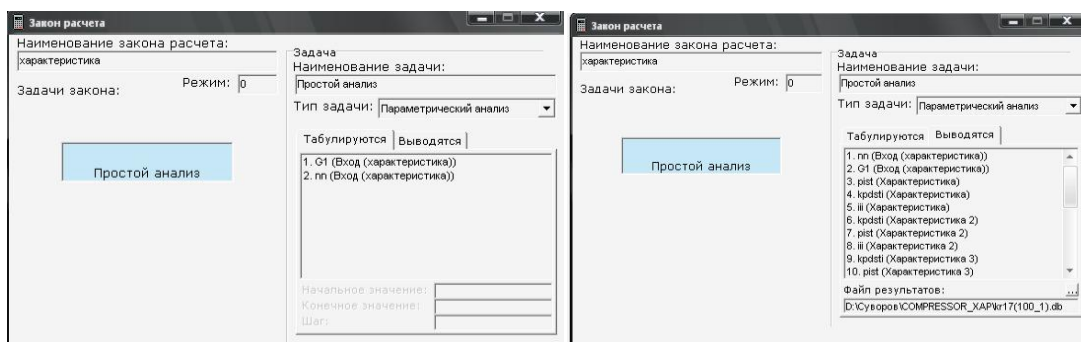
Обобщенный результат расчета выводится в виде графика, представленного на рис. 10.



**Рис. 10** Окно расчета характеристики в SIM COMPRESSOR

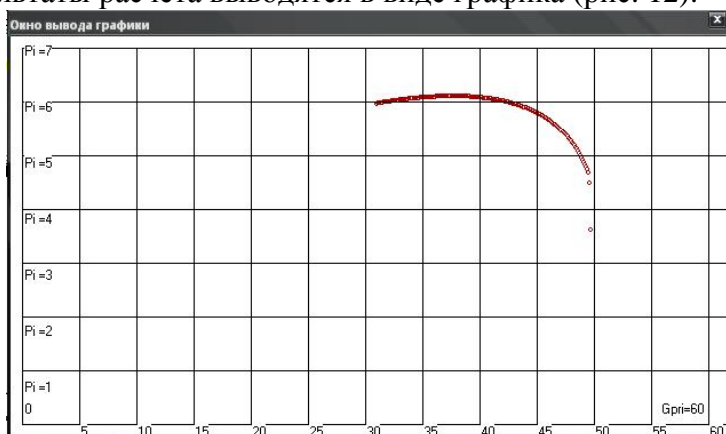
## 2.2 Расчет напорной ветви характеристики компрессора

Для расчета напорной ветви характеристики компрессора необходимо задаться законом расчета (рис. 11):



**Рис. 11** Задание закона расчета и список параметров, которые табулируются и выводятся

После задания закона расчета, производится расчет напорной ветви характеристики компрессора. Результаты расчета выводятся в виде графика (рис. 12):



**Рис. 12** Результаты расчета напорной ветви характеристики

Общие результаты расчета напорной ветви характеристики компрессора отображаются на рис. 13.

Общие результаты	
Выходные параметры	
КПД компрессора	0.80534030553342
Полная температура на выходе, [K]	476.68983001314
Полное давление на выходе, [Па]	483485.335466015
Расход воздуха, [кг/с]	48
Степень повышения полного давления в компрессоре	4.68040014971941
Теоретическая работа компрессора, [Дж/кг]	0

Рис. 13 Окно общих результатов расчета

Оценка погрешности расчета степени повышения полного давления и КПД компрессора представлена в таблице 9.

Таблица 9

**Оценка погрешности**

Параметр	Степень						Σ
	1	2	3	4	5	6	
$\pi_{ст}^*$ расч	1,3042	1,3497	1,3165	1,3324	1,254	1,2085	4,7
$\eta_{ст}^*$ расч	0,82	0,83	0,84	0,84	0,83	0,81	0,8
$\pi_{ст}^*$ эксп	1,3043	1,3496	1,3167	1,3323	1,254	1,2085	4,68
$\eta_{ст}^*$ эксп	0,8199	0,829	0,8372	0,8395	0,828	0,8085	0,805
$\delta\pi_{ст}^*$ , %	0,0076	-0,0074	0,015	-0,0075	0	0	-0,43
$\delta\eta_{ст}^*$ , %	-0,012	-0,12	-0,32	-0,06	-0,24	-0,19	0,62

Погрешности не превышают 1 %. Из этого следует, что модель, созданная для расчета напорной ветви характеристики компрессора в СИМ COMPRESSOR может считаться адекватной.

Был проведен расчет напорной ветви характеристики, соответствующей максимальной частоте вращения. Результаты сравнения экспериментальной и расчетной ветвей приведены на рисунке 14.

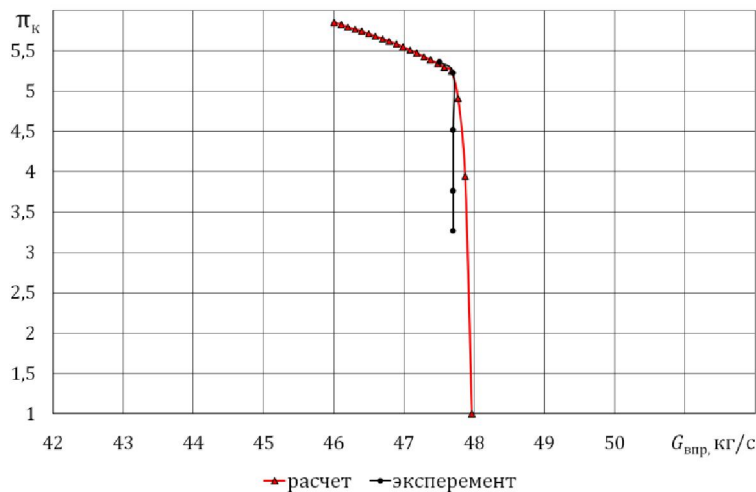


Рис. 14 Сравнение расчетной и экспериментальной напорных ветвей

Оценка погрешности расчет ветви характеристики проводилась по максимальному приведенному расходу воздуха, возможному при данной частоте вращения. Из рисунка 3.11 видно, что максимальный приведенный расход воздуха в эксперименте – 47,7 кг/с, а по данным расчета – 47,97 кг/с. Погрешность по максимальному расходу составляет – 0,57%. Столь невысокое значение погрешности может свидетельствовать о высокой адекватности модели для расчета характеристики.

### 3 Задание частоты вращения и нахождение максимального КПД компрессора для искомой ветви характеристики

Частота вращения для искомой ветви характеристики компрессора задается в расчете 96 % от первоначальной частоты вращения. Дальнейший расчет ведется на частоте вращения  $n=11775$  об/мин. Задается расчетная и текущая частота вращения  $n=11775$  об/мин (рис. 15), проводится расчет компрессора, согласно методике заложенной в СИМ COMPRESSOR и получаются оптимальные параметры в точке характеристики компрессора (рис. 16).

Входные параметры		Выходные параметры	
1	Масштаб		
1-1	Максимальный расход	60	
1-2	Максимальная степень повышения давления	7	
1-3	Полная температура, [К]	288	
1-4	Полное давление, [Па]	103300	
1-5	Расход (текущий), [кг/с]	47.5	
1-6	Частота вращения (базовая), [об/мин]	11775	
1-7	Частота вращения (текущая), [об/мин]	11775	
1-8	Число ступеней	6	
2	Оптимальная точка		
2-1	Расчетная степень повышения давления	4.9	
2-2	Расчетный КПД	0.834	
2-3	Расчетный расход воздуха, [кг/с]	46.6	
2-4	Расчетная частота вращения, [об/мин]	11775	
2-4	Текущая частота вращения, [об/мин]	11775	

Рис. 15 Окно входных параметров (задание частоты вращения) в СИМ COMPRESSOR

Выходные параметры	
Оптимальная степень повышения давления	4.9
Оптимальный адиабатический напор, [Дж/кг]	166373.373487123
Оптимальный КПД	0.834
Оптимальный расход воздуха, [кг/с]	46.6
Полная температура, [К]	288
Полное давление, [Па]	103300

Рис. 16 Окно выходных параметров

#### 3.1 Расчет параметров компрессора на заданной частоте вращения

Производится расчет параметров компрессора на заданной частоте вращения, в результате которого получаются следующие параметры (таблица 10):

Таблица 10

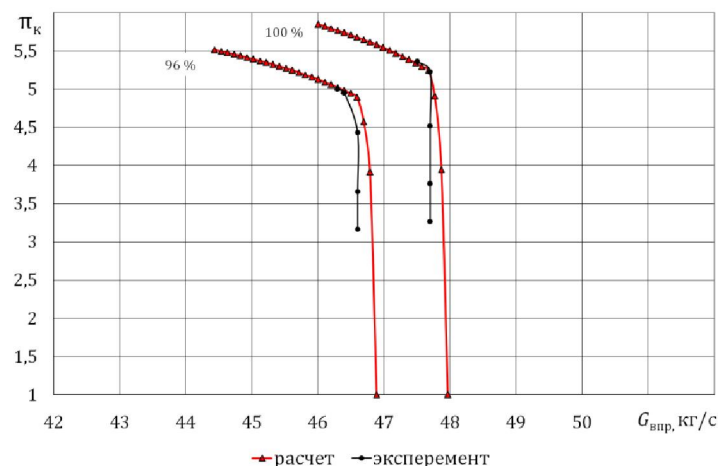
Распределение параметров по ступеням компрессора

Параметр	Ступень						Σ
	1	2	3	4	5	6	
$G_{в.пр}$ кг/с							46,6
$H_z$ , Дж/кг	27577	33889,8	33889,8	38873,6	33889,8	31231,8	199351,9
$\pi_k^*$	1,316	1,361	1,326	1,343	1,261	1,218	4,9
$\eta_k^*$	0,855	0,86	0,87	0,87	0,855	0,85	0,834

Дальнейший расчет производится по аналогии вышеизложенному в п. 1: получение проточной части компрессора в первом приближении, задание закона расчета и получение проточной части компрессора, соответствующей проточной части прототипу двигателя.

### 3.2 Расчет второй напорной ветви на частоте, отличной от максимальной

Расчет второй напорной ветви ведется аналогично п. 2.2. На рис. 17 приведено сравнение расчетных и экспериментальных данных.



**Рис. 17** Сравнение расчетной и экспериментальной напорных ветвей

В таблице 11 приведено сравнение погрешностей расчет максимального расхода по двум ветвям характеристики.

**Таблица 11**

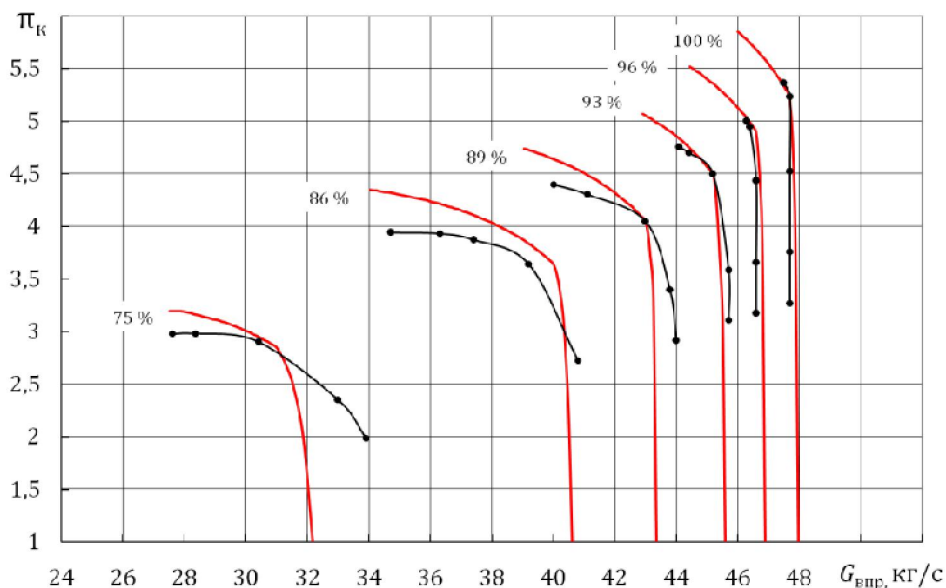
**Сравнение погрешностей**

$n_{пр}$ , об/мин (%)	$G_{впр}$ , кг/с (эксперимент)	$G_{впр}$ , кг/с (расчет)	Погрешность, %
12250 (100%)	47,7	47,97	0,57
11775 (96%)	46,6	46,89	0,62

Можно заметить, что погрешность расчета максимального расхода возросла с понижением частоты вращения, однако, не превышает 1%.

### 4 Сравнение расчетной и экспериментальной характеристики компрессора

Для сравнения расчетной и экспериментальной характеристики необходимо рассчитать характеристику компрессора на заданных частотах вращения аналогично выше изложенному алгоритму. После расчета характеристики компрессора на всех заданных частотах вращения можно сравнить расчетную и экспериментальную характеристики компрессора (рис. 18, таблица 12).



**Рис. 18** Сравнение расчетной и экспериментальной характеристик

Таблица 12

## Сравнение параметров расчетной и экспериментальной характеристики

$n_{пр}$ , об/мин (%)	$G_{впр}$ , кг/с (эксперимент)	$G_{впр}$ , кг/с (расчет)	Погрешность, %
12250 (100%)	47,7	47,97	0,57
11775 (96%)	46,6	46,89	0,62
11400 (93%)	45,7	45,6	0,22
10950 (89%)	44	43,35	1,48
10480 (86%)	40,8	40,61	0,47
9190 (75%)	33,9	36,88	8,79

## Выводы

Можно заметить, что погрешность расчета характеристики при частоте 75% более восьми процентов, при больших частотах вращения погрешности не превышают 1,5%. Большая погрешность при малой частоте вращения обусловлена наличием перепуска воздуха, который открывается при  $n_{пр} = 9200$  об/мин. Выявлено значительное влияние перепуска на характеристику компрессора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холщевников К. В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К. В. Холщевников, О. Н. Емин, В. Т. Митрохин. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1986. – 432 с.
2. Ржавин Ю. А. Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов / Ю. А. Ржавин. – М. : МАИ, 1995. – 344 с.
3. Белоусов А. Н. Проектный термогазодинамический расчет основных параметров авиационных лопаточных машин / [А. Н. Белоусов и др. ]. – Самара : СГАУ, 2006. – 316 с.
4. Емин О. Н. Выбор параметров и газодинамический расчет осевых компрессоров и турбин авиационных ГТД / О. Н. Емин, В. Н. Карасев, Ю. А. Ржавин. – М.: Дипак, 2003. – 156 с.
5. Ахмедзянов Д. А. Система моделирования компрессоров авиационных ГТД (COMPRESSOR) [Программа для ЭВМ] / Д. А. Ахмедзянов, А. Б. Козловская (А. Б. Михайлова), И. А. Кривошеев // № 2009612688. – Москва : Роспатент, 2009.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ

## ОБ АВТОРАХ



**Михайлова Александра Борисовна**, кандидат техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2011), дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2008). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования

e-mail: [alexandra11112007@yandex.ru](mailto:alexandra11112007@yandex.ru)



**Бакирова Зилья Нуримановна**, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ, 2012). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием 3D-CAD/CAE моделирования

e-mail: [bakirova-zilja@rambler.ru](mailto:bakirova-zilja@rambler.ru)

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С СЕТЬЮ С ПОМОЩЬЮ ФАЗОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рогинская Л. Э., Рахманова Ю. В., Ялалова З. И.

Рассматривается возможность улучшения электромагнитной совместимости с помощью фазопреобразующих трансформаторов и моделирование подобных трансформаторов и его результаты в среде OrCad. *Электромагнитная совместимость; фазопреобразующие трансформаторы; макромодель трансформатора в среде OrCad.*

### Введение

Под электромагнитной совместимостью понимают способность электротехнического оборудования нормально функционировать в данной электромагнитной среде не внося недопустимых электромагнитных помех в эту среду и не испытывая таковых с ее стороны. Основными проблемами электромагнитной совместимости является обеспечение качества электромагнитной энергии питающей сети и уменьшения эмиссии вентиляемыми преобразователями электромагнитных помех в окружающую среду. Необходимость в совершенствовании полупроводниковых преобразователей, оснащенных высокоэкономичным, современным оборудованием вызвано, возросшими требованиями, предъявляемыми к качеству электрической энергии [1].

Улучшение электромагнитной совместимости с сетью и нагрузкой возможно с помощью увеличения числа фаз входных трансформаторов. Наиболее часто встречающимися полупроводниковыми преобразователями является преобразователь переменного тока в постоянный – выпрямитель [2], при этом в качестве многофазного источника может быть использован фазопреобразующий трансформатор.

Фазопреобразующие трансформаторы, наряду с согласованием напряжений и частот между сетью и нагрузкой, осуществляют приближение формы кривой потребляемого тока к синусоидальной, уменьшают пульсации выходного выпрямленного напряжения, позволяют более эффективно производить преобразование параметров электроэнергии.

### 1. ПРИНЦИП ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФАЗ В ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДЕ ORCAD

Рассмотрим принцип такого преобразования на примере преобразования трехфазной системы в девятифазную ( $m=9$ ,  $n=3$ ) [3, 4]. Для формирования выходного девятифазного напряжения необходимо иметь две обмотки с числом витков  $0,396w$ ,  $0,743w$ , смещенных относительно друг друга на  $120^\circ$  с фазовым сдвигом  $40^\circ$ . Принципиальная схема ТПЧФ с девятью фазами выходных напряжений представлена на рис. 1.

От источника симметричной девятифазной электрической системы может быть получено восемнадцать пульсаций за период при использовании девятифазного мостового выпрямителя.

Рассмотрим электромагнитные процессы в трансформаторном преобразователе числа фаз. Пренебрегая токами холостого хода, составим уравнения магнитодвижущих сил (МДС) трансформатора:

$$\left. \begin{aligned} I_A w + I_1 w_1 + I_2 w_3 - I_5 w_2 - I_6 w_2 + I_9 w_3 &= 0 \\ I_B w - I_2 w_2 - I_3 w_2 + I_6 w_3 + I_7 w_1 + I_8 w_3 &= 0 \\ I_C w + I_3 w_3 + I_4 w_1 + I_5 w_3 - I_8 w_2 - I_9 w_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для первичной цепи имеем:

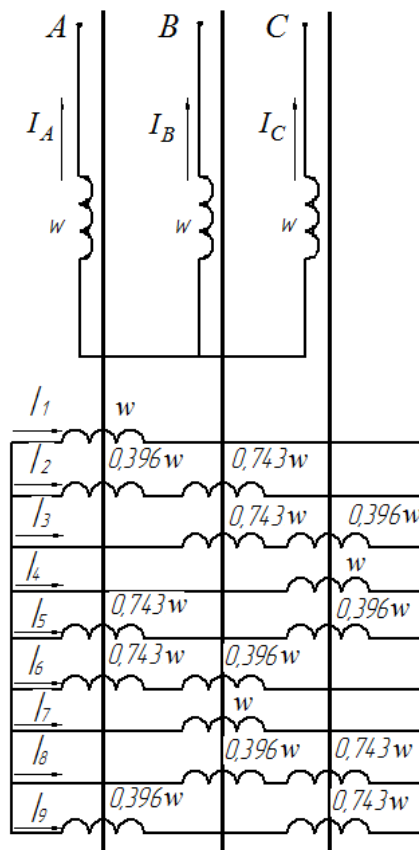
$$I_A + I_B + I_C = 0 \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), получим в окончательном виде выражения, связывающие токи первичной трехфазной и вторичной многофазной цепей:

$$\left. \begin{aligned} I_A w' &= w_2(I_5 + I_6) - I_1 w_1 - w_3(I_2 + I_9) \\ I_B w' &= w_2(I_2 + I_3) - w_3(I_6 + I_8) - I_7 w_1 \\ I_C w' &= w_2(I_8 + I_9) - w_3(I_3 + I_5) - I_4 w_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} I_A w' &= K \left[ 0,742 \cdot (I_5 + I_6) - I_1 - 0,395 \cdot (I_2 + I_9) \right] \\ I_B w' &= K \left[ 0,742 \cdot (I_2 + I_3) - 0,395(I_6 + I_8) - I_7 \right] \\ I_C w' &= K \left[ 0,742 \cdot (I_8 + I_9) - 0,395(I_3 + I_5) - I_4 \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $K = \frac{w'}{w}$  - коэффициент трансформации.



**Рис.1.** Принципиальная электрическая схема



Гармонический состав токов питающей трехфазной сети для многопульсовых выпрямителей определяется в соответствии с двумя принципами:

1. Для  $m$  – пульсового выпрямителя на входе присутствуют гармоники с порядковыми номерами [5]

$$K = m \cdot l \pm 1 \quad (5)$$

где  $l$  – ряд целых чисел (1,2,3...). Для 9-ти фазного выпрямителя на входе будут присутствовать гармоники с порядковыми номерами 17 и 19.

2. Уровень  $n$ -ой гармоники обратно пропорционален ее порядковому номеру. Коэффициент пульсации определяется

$$K_n = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{324 - 1} = \frac{2}{323} = 0,0062 \quad (6)$$

3. Среднее значение выпрямленного напряжения для  $m$  – пульсового выпрямителя

$$U_d = \frac{1}{2\pi / m} \int_{-\frac{\pi}{m}}^{\frac{\pi}{m}} U_m \cos \theta d\theta; \quad (7)$$

где  $U_m$  – максимальное значение выпрямленного напряжения. Для 9-ти фазной системы  $U = 2U_m \cos \pi/m$ .

$$U_d = \frac{9}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{18}}^{\frac{\pi}{18}} U \cos \theta d\theta = \frac{9}{\pi} \sqrt{2} U \phi_9 \cos \frac{\pi}{18} 2 \sin \frac{\pi}{18} = \quad (8)$$

$$= \frac{9}{\pi} 2\sqrt{2} U \phi_9 \sin \frac{\pi}{18} \approx 2\sqrt{2} U \phi_9.$$

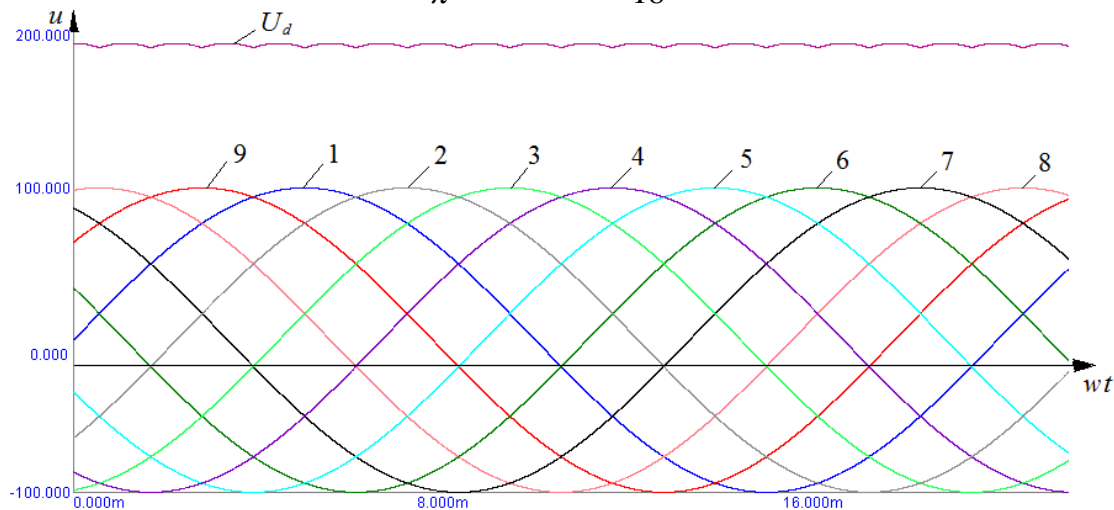
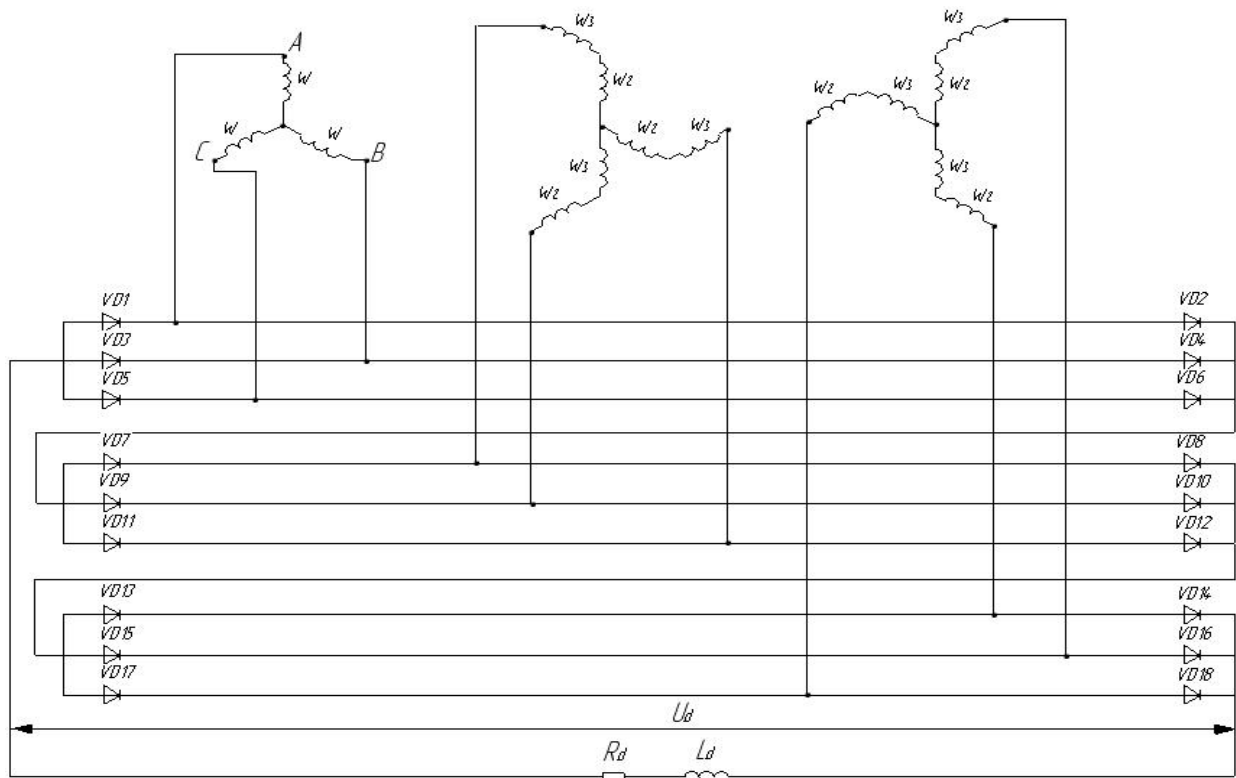
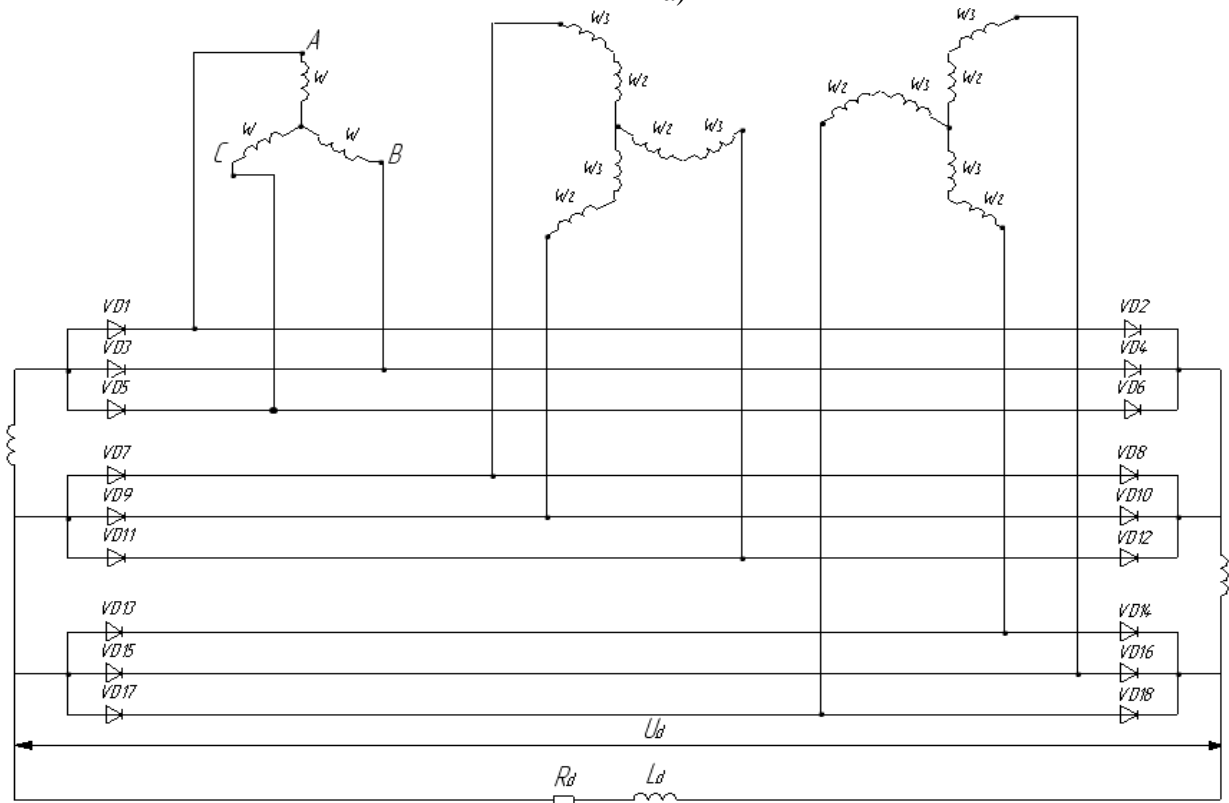


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений на вторичных обмотках



а)



б)

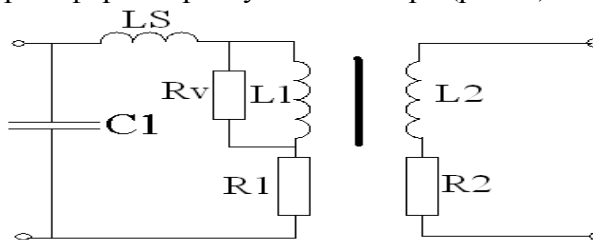
**Рис. 3.** Девятифазная последовательная (а) и параллельная (б) схемы выпрямителей

Принципиальная схема восемнадцатипульсового преобразователя представлена на рис. 3 (а, б).

Таким образом, с помощью трех стержневого трансформатора можно получить в общем случае  $m$  – пульсное выпрямление. Как видим, уже при числе фаз равном 9, пульсации практически отсутствуют (рис.2), а ток близок к синусоидальному.

Исследование характеристик предложенных схем выпрямителей в пакете

схемотехнического моделирования *OrCad*. Первоначальным объектом моделирования стал фазопреобразующий трансформатор, позволяет улучшить гармонический состав потребляемого преобразователем тока. Для изучения трансформатора предложена методика создания модели трансформатора с учетом потерь (рис. 4).



**Рис.4.** Схема замещения высокочастотного согласующего трансформатора

Схема замещения представленная на рис.4 имеет следующие параметры:  $R1$ ,  $R2$  – активные сопротивления первичной и вторичной обмоток, Ом;  $Rv$  – сопротивление, учитывающее потери на вихревые токи, Ом;  $L1$ ,  $L2$  – индуктивности первичной и вторичной обмоток, Гн;  $Ls = Ls_1 + nLs_2$  – индуктивность рассеяния первичной и вторичной обмоток, Гн;  $C1$  – динамическая емкость трансформатора, Ф.

Расчет параметров модели производится при помощи специально созданной программы на Delphi 7 – «Индуктивный модуль с учетом реальных магнитных и электрических параметров» [6]. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: расчет трансформаторов с сердечниками из различных марок электротехнической и аморфной стали, ферритов; расчет обмоток выполненных из ленты, одножильного и многожильного провода; производит расчет основных потерь в трансформаторе, индуктивности рассеяния и эквивалентной емкости.

Модель трансформатора создается как макромодель:

```
.subckt tr 1 2 3 4 PARAMS: d=0.05m M=1.64 f=20k W1=22
W2=11000 R1=0.035 R2=8793 A=10.43 P=19.57 Lp=2uH C1=0.12n
```

```
C1 1 2 {C1}
```

```
Lp 1 14 {Lp}
```

```
R1 11 2 {R1}
```

```
R2 12 4 {R2}
```

```
L1 14 11 {W1}
```

```
Rv 14 11 {200^2/(1.64*M*d^2*f^2*0.01/0.000765)}
```

```
L2 12 3 {W2}
```

```
K1 L1 L2 0.9 3421
```

```
.MODEL 3421 CORE MS=477.21E3 A=39.239 C=.19671 K=59.091 AREA={A} PATH={P}
.ends tr
```

Схема опыта приведена на рис.5, полученные характеристики на рис. 6-8. Питание трансформатора осуществляется от синусоидального источника с частотой 20кГц, амплитудой 200 В и сдвигом по фазе на 90°. Внутреннее сопротивление источника  $Ri$  равно 1 Ом. Трансформатор нагружен активным сопротивлением  $Rn = 2 \cdot 10^6$  Ом.

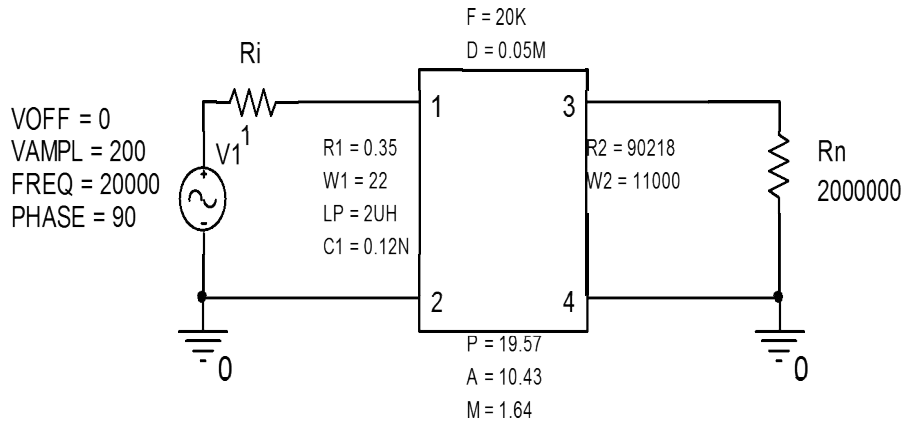


Рис.5. Схема исследования модели трансформатора

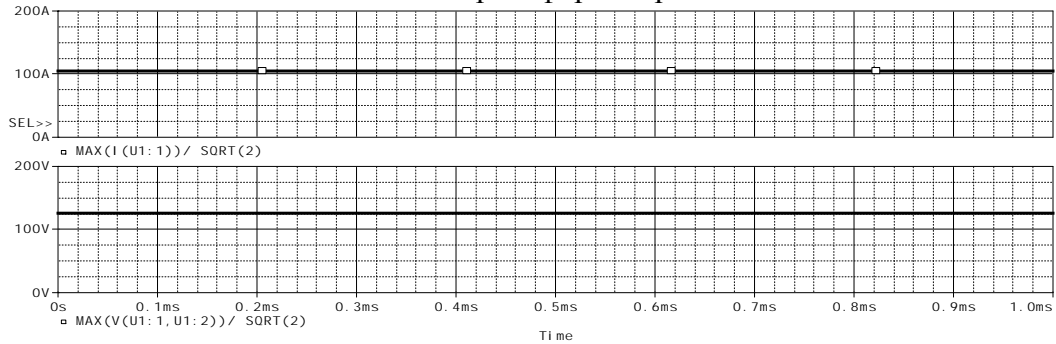


Рис.6. Действующие значения тока и напряжения на входе трансформатора

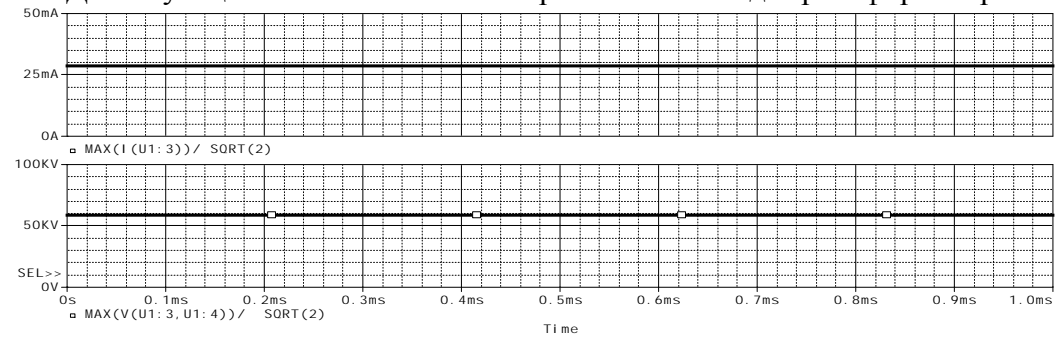


Рис.7. Действующие значения тока и напряжения на выходе трансформатора

В результате опыта было получено, что кривые тока и напряжения имеют синусоидальную форму и действующие значения для первичной обмотки равны 100 А и 125 В, а для вторичной 30 мА и 60 кВ соответственно.

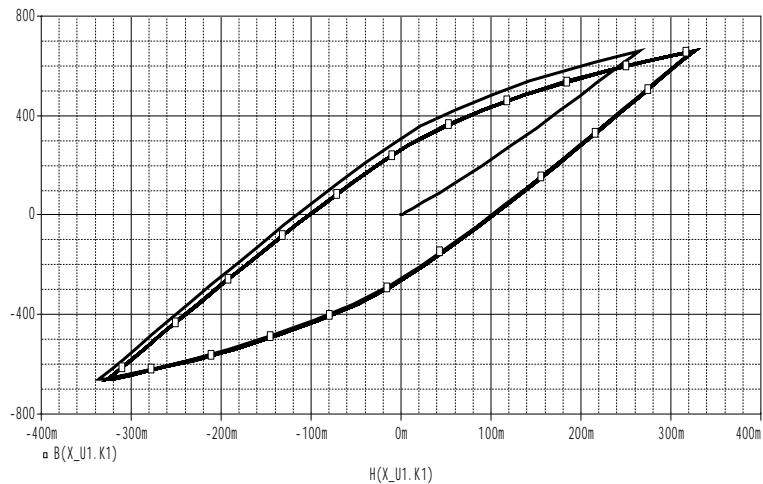


Рис.8. Петля гистерезиса высоковольтного высокочастотного трансформатора

Параметры экспериментальной петли гистерезиса (рис. 8) максимально совпадают с данными, полученными в ходе расчета высокочастотного согласующего трансформатора.

Потери на вихревые токи учитываются путем включения параллельно первичной обмотке эквивалентного сопротивления, равного

$$R_B = \frac{U_1^2}{P_B} \quad (9)$$

Для стали, удельные потери составят

$$P_{By} = \frac{1,64d^2 f^2 B_{max}^2}{\gamma \rho} = \frac{1,64(0,05 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 20000^2 \cdot 0,1^2}{7650 \cdot 10^{-7}} = 21,43 \text{ Вт/кг}, \quad (10)$$

где  $d$  – толщина листа, м;  $f$  – частота, Гц;  $B_{max}$  – максимальная индукция, Тл;  $\gamma$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>; для холоднокатаной стали 7650 кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление, Ом·м.

В нашем случае определим

$$P_B = M \cdot P_{By} = 1,64 \cdot 21,43 = 35.158 \text{ Вт};$$

$$R_B = \frac{U_1^2}{P_B} = \frac{200^2}{35.158} = 1143 \text{ Ом}.$$

Потери на гистерезис в индуктивном модуле учитываются путем расчета площади петли гистерезиса, полученной экспериментальным путем или вычислением баланса мощностей.

По рис.5 производим максимально точный подсчет количества квадратов, с известной площадью, заполняющих экспериментальную петлю гистерезиса. После этого по формуле находим потери (таблица 1):

$$P_g = N \frac{BH}{2} Vf \quad (3)$$

$$P_g = Nm_B m_H fV = 101 \cdot 0,0001 \cdot 100 \cdot \frac{0,02}{0,0125} 20000 \cdot 0,000214 = 6,88 \text{ Вт}.$$

Таблица 1 – Расчет потерь гистерезиса по балансу активной мощности

Устройство	W <sub>a</sub> , Вт
Источник	2542,6
Нагрузка	2070
Сопротивление источника	264
Сопротивление ПО	92,4
Сопротивление ВО	93,4
Вихревые токи	16
Гистерезис	6,8

Таким образом, расчет потерь на гистерезис двумя способами дал одинаковые результаты с погрешностью (1-1,5)%.

### Выводы

1. Фазопреобразующий трансформатор позволяет улучшить гармонический состав потребляемого преобразователем тока, номер высшей гармоники связан с числом фаз трансформатора при мостовой схеме  $K = m \cdot l \pm 1$ .

2. Улучшение электромагнитной совместимости выпрямителя с нагрузкой обеспечивается уменьшением пульсаций по величине  $K_n = 2 / (m^2 - 1)$ .

3. Фазопреобразующий трансформатор можно выполнить на базе обычного трехфазного трансформатора. Число фаз такого трансформатора следует выбирать кратным трем.

4. Исследование фазопреобразующего трансформатора целесообразно проводить при помощи специально разработанной модели учитывающей паразитные составляющие параметров трансформатора, а также позволяющей отдельно рассчитывать потери в сердечнике на гистерезис и вихревые токи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение качества электроэнергии. З.И.Губайдуллина, Ю.В.Рахманова. IV Слет молодых энергетиков Республики Башкортостан: Сборник докладов молодежной научно-технической конференции. – Уфа: Издательство «Скиф», 2010-586 с., илл.

2. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1. – 199 с.

3. Шапиро С.В. Резольвента Лагранжа и ее применение в электромеханике. – М., Энергоатомиздат, 2008 – 155с.

4. Костюкова Т.П., Рогинская Л.Э., Уразбахтина Н.Г., Шапиро С.В. Определение параметров фазопреобразующих трансформаторов. – Электро– технические комплексы и системы: межвузовский научный сборник; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2011. – 267 с.

5. Ялалова З.И., Рогинская Л.Э. Синтез фазопреобразующих трансформаторов для преобразования числа фаз. – Актуальные проблемы в науке и технике. Том 2. Машиностроение, электроника, приборостроение. Сборник трудов 7 Всероссийской зимней школы – семинара аспирантов и молодых ученых, 14 – 16 февраля, 2012 г./ Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2012. – 38 – 41с.

6. Индуктивный модуль с учетом реальных магнитных и электрических параметров: программа / Рогинская Л.Э., Рахманова Ю.В. – Заявка № 2005612797; зарег. 10.01.06.

### ОБ АВТОРАХ



**Рогинская Любовь Эммануиловна**, проф. каф. электромеханика, дипл. инж.-электромех. (Горьковск. политехн. ин-т, 1959). Д-р техн. наук по полупроводн. преобр. электроэнергии (МЭИ, 1994). Иссл. в обл. магн. полупроводн. преобр. комплексов.



**Рахманова Юлия Владиславовна**, к.т.н., доцент, доцент каф. электромеханика, магистр техники и технологии (УГАТУ, 2002), . Иссл. в обл. магн. полупроводн. преобр. комплексов.  
e-mail: [tananda21@yandex.ru](mailto:tananda21@yandex.ru)



**Ялалова Зульфия Илгизовна**, аспирант каф. электромеханика, дипл. инж.-электромеханик (УГАТУ, 2010). Контактор вакуумный. Иссл. в обл. магн. полупроводн. преобр. комплексов.  
e-mail: [yagodka-Z@rambler.ru](mailto:yagodka-Z@rambler.ru)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Давыдов М. Н., Агеев Г. К., Латыпов Э. М.

В статье анализируется эффективность существующих методов идентификации состояния газотурбинных двигателей с использованием математических моделей рабочих процессов. Приведены результаты сравнительной оценки эффективности рассматриваемых методов идентификации и даны рекомендации по повышению достоверности оценки состояния двигателей.

Диагностирование газотурбинных двигателей параметрическими методами является инструментом улучшения тактических и эксплуатационных характеристик силовых установок летательных аппаратов.

Диагностирование, основанное на идентификации математических моделей двигателей позволяет решать следующие задачи [1 - 5]:

- проводить отладку выходных параметров двигателя при его доводке, в том числе с учетом дополнительных требований по ресурсу (минимизация повреждаемости) и по трудоемкости корректировки параметров в эксплуатации;
- обеспечивать информационное обеспечение счетчиков ресурса двигателя;
- диагностировать по отклонениям параметров состояния узлов двигателя.

Внедрение в практику обслуживания техники методов контроля и диагностики на основе идентификации позволяет повысить надежность и снизить эксплуатационные затраты за счет раннего обнаружения деградации характеристик и планирования профилактического обслуживания.

Достоверность диагностирования зависит от следующих основных факторов (рис. 1) [2, 3, 5]:

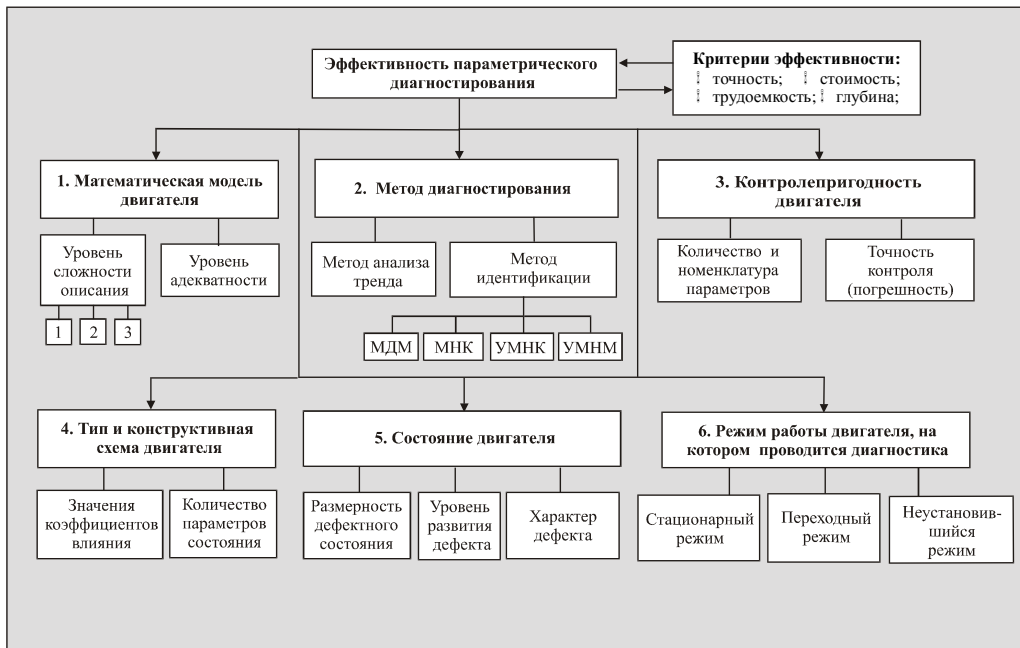
- математической модели двигателя;
- метода идентификации;
- уровня контролепригодности двигателя;
- конструктивной схемы двигателя;
- технического состояния двигателя;
- режимом работы двигателя, на котором проводится диагностирование.

В статье рассматриваются следующие методы идентификации состояния ГТД на стационарных режимах работы, которые условно можно разделить на методы А, Б, В, Г, Д и Е [1-3, 5]:

- идентификация состояния методом диагностических матриц (метод А);
- идентификация состояния решением системы нормальных уравнений (метод Б);
- идентификация состояния нелинейной оптимизацией критерия, характеризующего техническое состояние двигателя (метод В);
- идентификация состояния методом уравнивания на основе метода наименьших квадратов (метод Г);
- идентификация состояния методом уравнивания на основе метода наименьших модулей (метод Д);

Диагностические матрицы представляют собой таблицы, в которых изменения диагностических параметров состояния элементов газоздушного тракта (ГВТ) двигателя (КПД компрессора и турбины, площади характерных проходных сечений, коэффициенты

потерь давления и др.) представлены в виде функций от изменения контролируемых параметров (расход топлива, температура газа и др.).



**Рис. 1.** Факторы, влияющие на достоверность параметрического диагностирования двигателей

Формирование диагностической матрицы проводится аналитической линеаризацией математической термогазодинамической модели двигателя, представляющей собой систему трансцендентных уравнений.

Линейная модель ГТД может быть представлена в матричной форме в виде системы уравнений:

$$A \cdot X = B, \tag{1}$$

где  $X$  – матрица идентифицируемых поправок к параметрам состояния;  $A$  – матрица коэффициентов влияния;  $B$  – матрица отклонений контролируемых параметров.

Методом решения данной системы уравнений является обращение квадратной матрицы  $A$  и умножение ее на матрицу  $B$ :

$$[C] = [A]^{-1} \times [B]. \tag{2}$$

Результатом решения является матрица  $C$ , в которой значения всех переменных представлены как функции отклонений контролируемых параметров двигателя:  $\delta n$ ,  $\delta G_T$ ,  $\delta T_T^*$ .

Диагностическая матрица  $[C]$  позволяет непосредственно определить отклонения параметров состояния двигателя  $\delta x_i$  (общее число которых  $n$ ) по измеренным на выбранном режиме отклонениям контролируемых параметров двигателя  $\delta b_j$  (общее число которых  $m$ ) по формуле:

$$\delta x_i = \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot \delta b_j; \quad i = \overline{1, n}, \tag{3}$$

где  $\delta b_j$  – отклонение  $j$ -го контролируемого параметра;  $c_{ij}$  – коэффициент диагностической матрицы  $[C]$ .

Идентификация состояния решением системы нормальных уравнений (метод Б) проводится уточнением параметров состояния двигателя из условия минимума суммарной квадратичной “невязки” между значениями контролируемых параметров и их расчетными значениями, определенными по модели:



$$\Phi = \min \left\{ \sum_{j=1}^m b_j \cdot \frac{1}{p_j^3(\mathbf{X})} \cdot [p_j^p(\mathbf{X}) - p_j^3(\mathbf{X})]^2 \right\}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \sum_{j=1}^m \frac{[p_j^p(\mathbf{X}) - p_j^3(\mathbf{X})]^2}{p_j^3(\mathbf{X})} \right] = 0,$$

где  $b_j$  – коэффициент, учитывающий погрешность контроля параметра  $P_j$  ( $b_j = T/\sigma$ ,  $T$  – константа;  $\sigma_j$  – среднеквадратичное отклонение погрешности контроля параметра  $p_j^3$ );  $p_j^p$  – расчетное значение параметра  $p_j$ , определенное по модели;  $p_j^3$  – замеренное при контроле значение параметра  $p_j$ ;  $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  – вектор параметров состояния;  $m$  – число контролируемых параметров.

При ограниченном объеме контролируемых параметров задача идентификации становится неоднозначной и объективность решения зависит от выбранных перечней варьируемых и контролируемых параметров.

Обусловленность матрицы системы нормальных уравнений оценивается числом обусловленности Тюринга  $N_T$ .

При плохой обусловленности матрицы, вызванной неправильным выбором варьируемых параметров состояния, число Тюринга возрастает до значений  $10^9 \dots 10^{12}$ . При этом процесс последовательных приближений расходится. При значениях  $N_T \cong 10^2 \dots 10^3$ , процесс последовательных приближений является сходящимся.

При идентификации состояния двигателя оптимизацией критерия технического состояния (метод В) экстремум целевой функции определяется методом нелинейной оптимизации в области параметров состояния, задаваемой системой двусторонних ограничений:

$$\min x_i \leq x_i \leq \max x_i; \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где  $\min x_i$ ,  $\max x_i$  – соответственно нижняя и верхняя границы параметров состояния.

При выходе за одну из границ параметру присваивается граничное значение.

При определенной комбинации варьируемых параметров, данный метод, как и метод, основанный на решении системы нормальных уравнений, не дает однозначного ответа, поэтому, требуется проверка устойчивости решения определением обусловленности системы нормальных уравнений.

Методы уравнивания (методы Г и Д) основаны на детерминированной связи контролируемых параметров между собой. Наличие такой связи является одним из условий определения параметров состояния. Для двигателя в качестве такой взаимосвязи выступают уравнения рабочих процессов.

При уравнивании методом наименьших квадратов (метод Г) минимизируется функция цели вида:

$$\Phi = \min \left\{ \sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot \frac{1}{p_j^3} \cdot (\hat{p}_j^p(\hat{\mathbf{X}}) - p_j^3(\mathbf{X}))^2 + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \frac{1}{x_i^0} \cdot (\hat{x}_i - x_i^0)^2 \right\}. \quad (6)$$

Минимум данной функции определяется при выполнении системы равенств:

$$p_j^p(\mathbf{X}) + \Delta_{jp} = p_j^3(\mathbf{X}) + \Delta_{j3}, \quad (7)$$

где  $p_j^p(\mathbf{X})$  – оценка  $j$ -го контролируемого параметра по модели;  $p_j^3(\mathbf{X})$  – измеренное при контроле значение параметра  $p_j$ ;  $\mathbf{X}$  – вектор параметров состояния;  $x_i$  – оценка  $i$ -го параметра состояния;  $x_i^0$  – исходное значение  $i$ -го параметра состояния;  $\gamma_j$ ,  $\gamma_i$  – соответственно статистические веса величин  $p_j^3$  и  $x_i$ ;  $\Delta_{jp}$ ,  $\Delta_{j3}$  – соответственно суммарные погрешности определения  $p_j^p(\mathbf{X})$  и  $p_j^3(\mathbf{X})$ ;

При наличии аномальных результатов измерений и ошибок в задании характеристик их распределения, применяется уравнивание по методу наименьших модулей (метод Д):

$$\Phi = \min \left\{ \sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot \frac{1}{p_j^3(\mathbf{X})} \cdot |p_j^p(\mathbf{X}) - p_j^3(\mathbf{X})| + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \frac{1}{x_i^o} \cdot |x_i - x_i^o| \right\}. \quad (8)$$

$$p_j^p(\mathbf{X}) + \Delta_{jp} = p_j^3(\mathbf{X}) + \Delta_{j3},$$

Метод диагностических матриц (метод А) основывается на решении систем линейных уравнений. Решение находится в матричном виде. Повышение точности решения систем уравнений возможно применением итерационных процедур. Поэтому для повышения эффективности диагностирования в разработанном модифицированном методе определение параметров состояния проводится методом последовательных приближений. Используемый ранее метод аналитической линеаризации математической модели двигателя является достаточно трудоемким и не поддается автоматизации, что не позволяет реализовать итерационную процедуру уточнения решения. Для исключения данного недостатка необходимо применение численных методов линеаризации. В работе использовался метод однофакторного эксперимента.

Преимуществом данного модифицированного метода (метод Е) по сравнению с известным (метод А) является то, что при поиске решения в каждом приближении формируется обновленная по параметрам состояния линейная система уравнений с новыми значениями коэффициентов влияния, что позволяет повысить достоверность диагностирования.

Для определения наиболее эффективного метода идентификации, как при отсутствии, так и при наличии погрешностей контроля, было проведено исследование на примере одновального газотурбинного двигателя моделированием 100 дефектов, включая как различные комбинации определяемых параметров состояния, так и уровни развития дефектов.

Схема проведения исследований показана на рис. 2.

Эффективность оценки состояния двигателя по  $i$ -му параметру состояния, при отсутствии погрешностей контроля, оценивалась относительной величиной отклонения между истинным  $x_i^o$  и идентифицированным  $x_i^h$  значениями:

$$\delta_i = \left[ \frac{x_i^h - x_i^o}{x_i^o} \right] \times 100\%; \quad i = \overline{1,5}. \quad (9)$$

При  $\delta_i \leq \delta_i^*$  (где  $\delta_i^*$  предельно допустимое значение  $\delta_i$ ) оценка принималась за удовлетворительную.

При отсутствии погрешности контроля параметров значение  $\delta_i^* \neq 0$  обусловлено погрешностью модели двигателя и погрешностью, вносимой целевой функцией, используемой для идентификации. В рассматриваемом примере  $\delta_i^* = 0,2\%$ .

В качестве контролируемых были приняты расход топлива  $G_T$  (кг/ч), температура газа за турбиной  $T_T^*$  (К) и температура воздуха за компрессором  $T_k^*$  (К), а в качестве параметров состояния –  $\sigma_{вх}$ , КПД компрессора  $\eta_k^*$ ,  $\sigma_{к/с}$ ,  $\eta_T^*$  и коэффициент изменения массового расхода в сопле  $\mu_s$ .



**Рис. 2.** Схема исследования эффективности методов параметрического диагностирования

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Все ошибки, возникшие при диагностировании моделируемых дефектов обусловлены двумя факторами:

- особенностями конкретного метода: вид реализуемой целевой функции, применяемый метод решения системы уравнений, исходные предпосылки и т. д.;

- плохой обусловленностью решаемых систем уравнений, которая оценивалась по числу Тюринга и являлась следствием ограниченности исходной информации по числу контролируемых параметров.

2. Наиболее эффективным по степени распознавания состояния двигателя является метод, основанный на нелинейной оптимизации критерия, характеризующего его техническое состояние (метод В). Данный метод позволяет проводить распознавание состояния двигателя с вероятностью 0,51. Причем, в отличие от остальных методов, данный метод позволяет получать однозначное решение даже при критических значениях числа Тюринга.

3. Вторыми по эффективности являются метод, основанный на решении системы нормальных уравнений (метод Б) и модифицированный метод диагностических матриц (метод Е) (вероятность распознавания состояния двигателя равна 0,39).

4. При одном идентифицируемом параметре состояния методы Б, В и Е имеют одинаковую эффективность ( $P^n = 1,0$ ), а при увеличении числа идентифицируемых параметров до двух возрастает преимущество метода В перед методом Б и Е в 1.2 раза.

5. Наименее эффективными по точности идентификации состояния двигателя является метод Г, реализующий идею уравнивания на основе квадратичной целевой функции, а также метод диагностических матриц (метод А). Низкой также является эффективность метода Д, реализующего идею уравнивания на основе модульной целевой функции.

Низкая эффективность обоих методов уравнивания обусловлена видом используемой целевой функции, минимизирующей “невязку”, в первую очередь, по параметрам с большими значениями коэффициентов влияния, что существенно усложняет распознаваемость парных и более высокого уровня дефектов, а также дефектов, имеющих слабую связь с контролируемыми параметрами. Эффективность методов уравнивания снижается по мере развития дефекта, что также объясняется видом используемой для идентификации целевой функции.

6. Низкая эффективность метода диагностических матриц (метод А) обусловлена тем, что в данном методе не учитывается влияние вида дефекта на изменение коэффициентов влияния математической модели двигателя.

При исследовании с учетом погрешностей контроля их моделирование проводилось наложением рассеяния на контролируемые параметры, соответствующие моделируемому дефекту.

Принятые погрешности контролируемых параметров соответствовали метрологическим характеристикам измерительных каналов, применяемых в настоящее время бортовых систем регистрации параметров двигателей.

Точность оценки состояния оценивалась критерием Р, характеризующим вероятность распознавания дефекта:

$$P(\alpha \leq x_i \leq \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2} dx, \quad (10)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  пределы интегрирования, характеризующие рассеяние параметра состояния  $x_i$  обусловленное ошибкой расчета по модели;  $\bar{x}$  – математическое ожидание идентифицируемого параметра;  $\sigma(x_i)$  – среднеквадратичное отклонение идентифицируемого параметра.

При числе идентифицируемых параметров  $n > 1$  для оценки достоверности двигателя в целом использовался обобщенный критерий эффективности метода в виде произведения вероятностей:

$$P = \prod_{i=1}^n P(x_i) \tag{11}$$

где  $n$  – число параметров состояния.

Результаты исследования эффективности методов диагностирования приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Метод	Вероятность распознавания состояния двигателя при количестве параметров состояния равном										$P_{\Sigma}^n$	$P_{\Sigma}^o$	Э
	1		2		3		4		5				
	$P_i^n$	$P_i^o$	$P_i^n$	$P_i^o$	$P_i^n$	$P_i^o$	$P_i^n$	$P_i^o$	$P_i^n$	$P_i^o$			
А	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	4
Б	1.0	0.0	0.8	0.2	0.13	0.87	0.0	1.0	0.0	1.0	0.39	0.61	2
В	1.0	0.0	0.9	0.1	0.53	0.47	0.0	1.0	0.0	1.0	0.51	0.49	1
Г	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	4
Д	0.6	0.4	0.23	0.77	0.13	0.87	0.0	1.0	0.0	1.0	0.19	0.81	3
Е	1.0	0.0	0.8	0.2	0.13	0.87	0.0	1.0	0.0	1.0	0.39	0.61	2

Примечание:  $P_i^n, P_i^o$  – вероятность правильной и ошибочной оценки состояния двигателя ( $i = \overline{1, 3}$ );  $P_{\Sigma}^n = \frac{1}{5} \cdot \sum_1^5 P_i^n$ ;  $P_{\Sigma}^o = \frac{1}{5} \cdot \sum_1^5 P_i^o$ ; Э – балльная оценка эффективности метода (при Э = 1 – эффективность наивысшая, при Э = 4 – эффективность наименьшая).

Таблица 2

Метод	P при числе параметров состояния					$P_{\Sigma}$	Э
	1	2	3	4	5		
А	0	0	0	0	0	0	4
Б	0.43	0.12	0	0	0	0.11	2
В	0.41	0.13	0	0	0	0.11	2
Г	0	0	0	0	0	0	4
Д	0.21	0.03	0	0	0	0.05	3
Е	0.51	0.12	0	0	0	0.13	1

Примечание:  $P_i$  – вероятность распознавания технического состояния двигателя ( $i = \overline{1, 5}$ );  $P_{\Sigma} = \frac{1}{5} \cdot \sum_1^5 P_i$ ; Э – балльная оценка эффективности метода (при Э = 1 – эффективность наивысшая, при Э = 4 – эффективность наименьшая).

В целом проведенное исследование позволило, кроме уже перечисленных, сделать следующие выводы:

1. При  $n = 1$ , наиболее эффективным является метод диагностических матриц ( $P = 0,51$ ). Это объясняется тем, что идентификация данным методом проводится по одному наиболее информативному контролируемому параметру ( $n=m$ ). Снижение числа контролируемых параметров за счет исключения наименее информативных позволяет повысить достоверность диагностирования, т.к. при уменьшении числа контролируемых параметров имеющих ошибку регистрации снижается случайная составляющая при

оценке параметров состояния. Вторым по эффективности является метод, основанный на решении системы нормальных уравнений ( $P = 0,43$ ). Третьим по эффективности является метод, основанный на нелинейной оптимизации критерия, характеризующего техническое состояние двигателя ( $P = 0,41$ ).

2. При  $n = 2$  наиболее эффективным является метод нелинейной оптимизации ( $P = 0,13$ ), что объясняется высокой устойчивостью оценок параметров состояния получаемых данным методом при критических значениях обусловленности системы нормальных уравнений. Модифицированный метод диагностических матриц (метод Е) и метод, основанный на решении системы нормальных уравнений имеют одинаковую эффективность ( $P = 0,12$ ).

3. При  $n = 3, 4, 5$   $P = 0$ , т.к. взаимное влияние плохой обусловленности матрицы системы нормальных уравнений и ошибок контролируемых параметров не позволяет проводить распознавание технического состояния двигателя.

4. При любых сочетаниях идентифицируемых параметров наименее эффективными являются методы уравнивания, что обусловлено видом используемой целевой функции. Метод УМНМ более эффективен чем метод УМНК.

5. С увеличением ошибок регистрации параметров вероятность распознавания состояния двигателя снижается при идентификации любым методом и любого параметра состояния.

6. При  $n = 1$  ошибки регистрации контролируемых параметров распределяются по идентифицируемым параметрам обратно пропорционально коэффициентов влияния на контролируемые параметры. При  $n > 1$  распределение ошибок по идентифицируемым параметрам является случайным и зависит от многих факторов: числа варьируемых параметров и пределов их варьирования, коэффициентов влияния, вида дефекта и др. Поэтому увеличение числа варьируемых параметров при наличии погрешностей контроля параметров приводит к снижению вероятности распознавания состояния двигателя.

7. Влияние числа и номенклатуры контролируемых параметров определяется обусловленностью системы нормальных уравнений, и степенью влияния идентифицируемых параметров на выбранные контролируемые параметры. Повышение вероятности распознавания состояния двигателя в условиях статистического рассеяния контролируемых параметров возможно путем снижения числа контролируемых параметров (до  $m=n$  для метода МСНУ или до  $m < n$  для метода нелинейной оптимизации) путем удаления не информативных параметров или увеличения за счет более информативных параметров. Снижение числа контролируемых параметров оправдано только в том случае если это не приводит к ухудшению обусловленности матрицы нормальных уравнений.

8. Применение квазистационарного подхода позволяет использовать перечисленные методы идентификации для диагностирования в переходных режимах работы двигателя (приемистость, дросселирование) [4].

9. Идентификация математической модели двигателя может проводиться в режиме реального времени в процессе полета, т.е. может быть включена в интеллектуальную адаптивную систему мониторинга состояния ГТД.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1983. 206 с.
2. Гишваров А.С., Приб И.Б. Индивидуальное прогнозирование технического состояния изделий на основе математического моделирования рабочих процессов // Сб.

науч. тр. АН РБ «Наукоемкие технологии машиностроения». – Уфа: Гилем, 2000, С. 200 – 203.

3. Гишваров А.С., Приб И.В. Оценка технического состояния двигателей в условиях ограниченной информации по термогазодинамическим параметрам // Сб. науч. трудов ЦАГИ. – М.: 2001. С. 125-131.

4. Гишваров А.С., Приб И.В. Оценка технического состояния энергетических установок по параметрам переходных процессов // Сб. науч. тр. АН РБ «Технологические проблемы развития машиностроения в Башкортостане». – Уфа: Гилем, 2001, С. 162 – 164.

5. Гишваров А.С., Приб И.В. Параметрическая диагностика газотурбинных двигателей с применением математического моделирования рабочих процессов // Сб. тр. VI Всероссийской научн. техн. Коф. «Компьютерное и математическое моделирование в естественных и технических науках». Вып. 21. – Тамбов: ИМФИ ТГУ, 2002. С. 52 – 54.

## ОБ АВТОРАХ



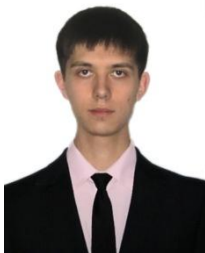
**Давыдов Марсель Николаевич**, доц. каф. авиац. двигателей УГАТУ, инженер-механик по авиационным двигателям, УГАТУ, 2002, к.т.н., специальность "Тепловые и электроракетные двигатели летательных аппаратов", УГАТУ, 2006. Исследования в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

e-mail: [ad@mail.rb.ru](mailto:ad@mail.rb.ru)



**Агеев Георгий Константинович**, ст. преп. каф. авиац. двигателей УГАТУ, инженер-механик по авиационным двигателям, УГАТУ, 2007. Исследования в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

e-mail: [ageevgeo@mail.ru](mailto:ageevgeo@mail.ru)



**Латыпов Эдуард Махмутович**, студ. каф. авиац. двигателей УГАТУ. Исследования в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

e-mail: [ad@mail.rb.ru](mailto:ad@mail.rb.ru)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ СОВМЕСТНО С ЭЛЕМЕНТАМИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.**

В настоящее время газотурбинные технологии получили достаточно широкое распространение как в нашей стране, так и за рубежом в качестве наземных энергетических установок. Энергетические установки – это сложные технические объекты, сочетающие в себе последние достижения и новейшие разработки многих отраслей науки и техники, в тоже время обладающие высокой эффективностью и упрощёнными эксплуатационными характеристиками для различных потребителей. Сложность рабочих процессов, разветвлённость системы автоматического управления (САУ) энергетической установкой, влияние процессов, происходящих на установившихся и неустойчивых режимах работы требует разработку методов и средств совместного моделирования газотурбинных энергетических установок (ГТЭУ) различных схем и элементов их САУ.

Системы имитационного моделирования (СИМ) термогазодинамического цикла ГТЭУ позволяют выполнять проектные и поверочные расчёты, оптимизировать основные параметры цикла для конкретного применения и условий работы на установившихся режимах ([1 – 5]). Разработка СИМ термогазодинамических параметров ГТЭУ совместно с элементами их САУ позволяет изучать переходные процессы, как в самой установке, так и в САУ, оптимизировать их протекание, выбрать законы управления и определить контролируемые и управляющие факторы. Применение имитационного моделирования ГТЭУ и их САУ на переходных процессах (режимах) позволит прогнозировать внештатные ситуации (например, помпаж) и методы их ликвидации.

Разработанная авторами СИМ имитационного моделирования газотурбинных установок и газотурбинных двигателей различных схем и их САУ описана в [6 – 13]. В данной статье рассматриваются вопросы совместного моделирования ГТЭУ и их САУ на установившихся и неустойчивых режимах.

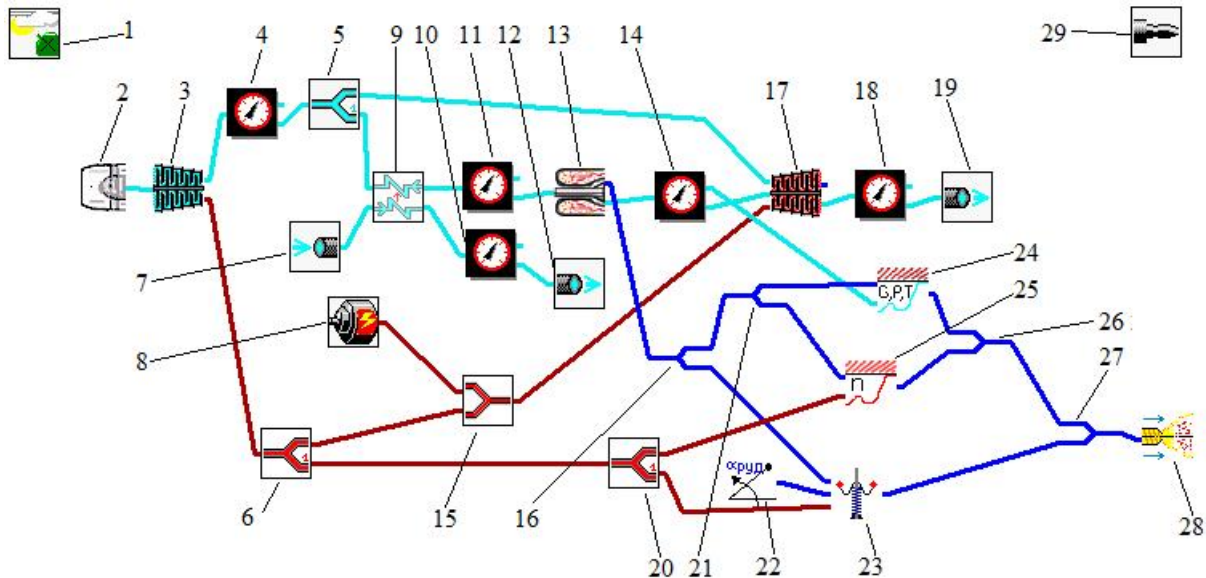
Модель проектируемой малоразмерной энергетической газотурбинной установки МЭГТУ (одновальный одноконтурный двигатель с консольным расположением компрессора и турбины) в СИМ DVIG\_Otladka [6] представлена на рис. 1. Модель представляет собой набор структурных элементов (основных узлов двигателя и элементов САУ), соединённых между собой различными взаимосвязями, по которым информация от структурного элемента (СЭ) передаётся к другому (механический поток, газовый, информационный).

САУ проектируемой ГТЭУ контролирует основные параметры термогазодинамического цикла, осуществляет управление, обеспечивает:

- автономный запуск;
- регулирование подачи топлива;
- поддержание заданного режима работы (поддержание постоянной частоты вращения ротора);
- управление динамическими режимами (перевод из одного установившегося режима в другой);
- защиту по предельным параметрам (температура за камерой сгорания, частота вращения);
- сбор информации по параметрам установки (давления, температуры, частота вращения, расход воздуха, расход топлива, виброускорения корпусов и т.п.);



- контроль текущих значений технологических параметров ГТЭУ (давление масла, стружка в масле и т.п.);
- управление исполнительными механизмами в автоматическом режиме;
- срабатывание автоматических противоаварийных защит и блокировок (помпаж, перегрев, раскрутка, повышенные вибрации, стружка в масле и т.д.);
- осуществлять запуск ГТЭУ на номинальный ( $n=100\%$ ) или промежуточный режим отбора мощности ( $n=60\dots 100\%$ ).



**Рис. 1.** Модель ГТЭУ и элементов её САУ в СИМ DVIG\_Otladka, где 1 – начальные условия; 2 – входное устройство; 3 – компрессор; 4 – датчик 1 (измерение давления и температуры); 5 – отбор газа; 6 – отбор мощности 1; 7 – вход газа; 8 – источник-потребитель мощности; 9 – теплообменник; 10 – датчик (измерение температуры); 11 – датчик (измерение температуры); 12 – выход газа 2; 13 – камера сгорания; 14 – датчик (измерение температуры); 15 – суммирование мощностей; 16 – разветвитель информации; 17 – турбина; 18 – датчик (измерение давления и температуры); 19 – выход газа 1; 20 – отбор мощности; 21 – разветвитель информации; 22 – РУД; 23 – Насос-регулятор; 24 – ограничитель предельных параметров (газодинамический); 25 – ограничитель предельных параметров (механический); 26, 27 – смеситель информационных потоков; 28 – подача топлива; 29 – общие результаты.

Для моделирования установившихся режимов необходим закон расчёта, приведённый в табл. 1. В ней уравнения №№ 1 – 4 необходимы для моделирования системы регенерации тепла – параметры на выходе из турбины (СЭ 19, рис. 1) передаются на вход в теплообменник (СЭ 7 и 9, рис. 1). Уравнения №№ 5 – 7 необходимы для моделирования двигателя. При помощи уравнения № 8 моделируется воздействие оператора на установку – изменяется её режим работы. При помощи уравнения № 9 моделируется изменение нагрузки на генератор. При моделировании установившихся режимов, табулируемых параметров не будет. Для моделирования квазиустановившихся процессов – необходимо табулировать время (как показано в таблице 1). В этом случае, будут моделироваться установившиеся процессы (без инерционности ротора и идеальные динамические характеристики САУ и исполнительных механизмов), время будет параметром, в зависимости от которого будут изменяться режим работы установки ( $\alpha_{руд} = f(t)$ ) и изменение нагрузки на генератор ( $N = f(t)$ ).

Таблица 1

## Условия моделирования установившегося режима

№	Варьируемые параметры	Поддерживаемые параметры	Табулируемые параметры
1	$T_{\text{вх}}^*$ (Вход газа)	$T_{\text{вых}}^*$ (Вход газа) = $T_{\text{вых}}^*$ (Выход газа 1)	$t = 0 \dots 12$ с шаг 0,05 с (Начальные условия)
2	$P_{\text{вх}}^*$ (Вход газа)	$P_{\text{вых}}^*$ (Вход газа) = $P_{\text{вых}}^*$ (Выход газа 1)	
3	$G_{\text{вх}}$ (Вход газа)	$G_{\text{вых}}$ (Вход газа) = $G_{\text{вых}}$ (Выход газа 1)	
4	$\alpha_{\text{вх}}$ (Вход газа)	$\alpha_{\text{вых}}$ (Вход газа) = $\alpha_{\text{вых}}$ (Выход газа 1)	
5	$T_{\Gamma}^*$ (Камера сгорания)	$G_{\Gamma}$ (Камера сгорания) = $G_{\Gamma}$ (Подача топлива)	
6	$\pi_{\text{к}}^*$ (Компрессор)	$\overline{A_{\Gamma}}$ (Турбина)	
7	$G_{\text{в пр}}$ (Входное устройство)	$P^*$ (Выход газа 2)	
8	$\alpha_{\text{руд вх}}$ (РУД)	$\alpha_{\text{руд вых}}$ (РУД) = $f(t)$	
9	$N_{\text{вх}}$ (Источник-потребитель мощности)	$N_{\text{вых}}$ (Источник-потребитель мощности) = $f(t)$	

На рис. 2 – 3 приведены результаты моделирования квазиустановившегося процесса, в котором происходит изменение нагрузки на генератор, ( $N = f(t)$ ). При этом режим работы ГТЭУ не изменяется ( $\alpha_{\text{руд}} = \text{const}$ ), следовательно, согласно выбранным законам управления и регулирования частота вращения ротора двигателя (и генератора) должна остаться постоянной ( $n = \text{const}$ ).

На рис. 2 приведена линия рабочих режимов на характеристике компрессора. На рис. 3 приведены изменения параметров ГТЭУ в квазиустановившемся процессе.

Квазиустановившийся переходный процесс начался с плавного изменения мощности электрогенератора начиная с 1 с и заканчивая 5-й секундой (отключение нагрузки на генератор – отключение потребителя ( $N = f(t)$ )). С 5-й секунды по 7-ю ГТЭУ работало с данной мощностью генератора. Начиная с 7-й секунды до 10-й нагрузка на генератор возобновилась. Как видно из приведённых рисунков, автоматика поддерживала постоянную частоту вращения ротора двигателя (энергоустановки), изменение мощности генератора (нагрузки на генератор) компенсировалось изменением расхода топлива (время выбрано произвольно, дополнительных расчетов не проводилось).

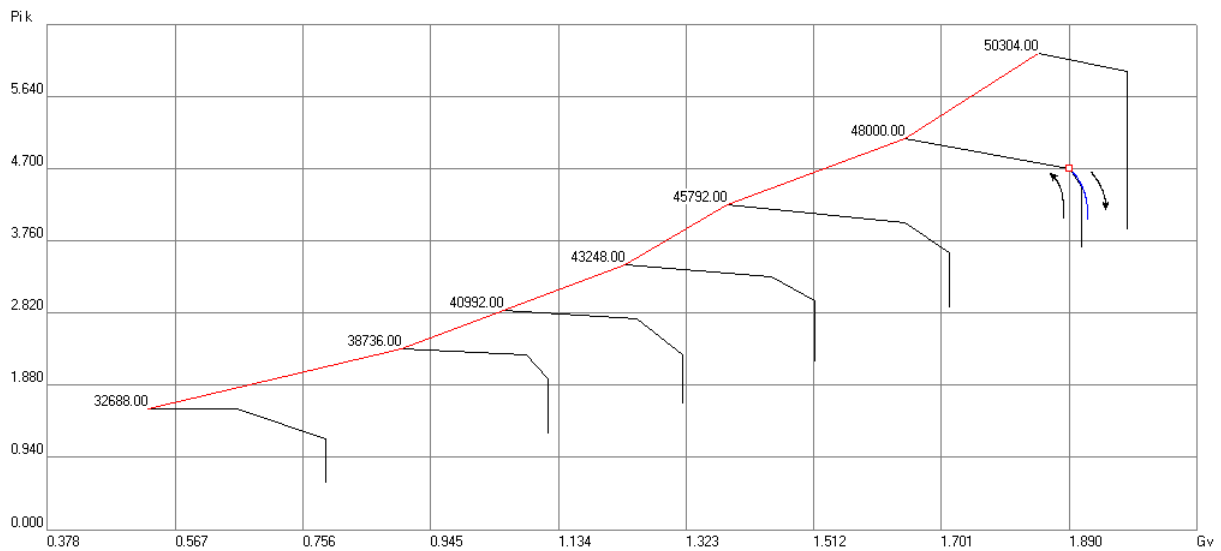


Рис. 2. Квазиустановившийся процесс на характеристике компрессора

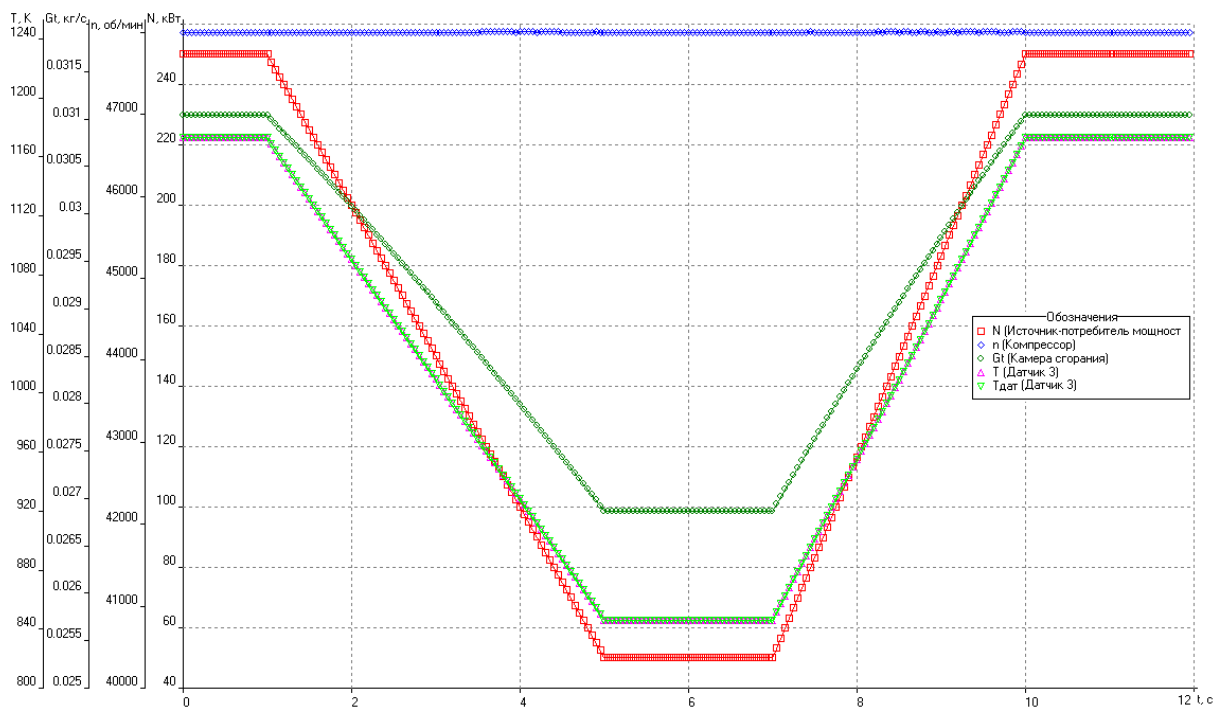
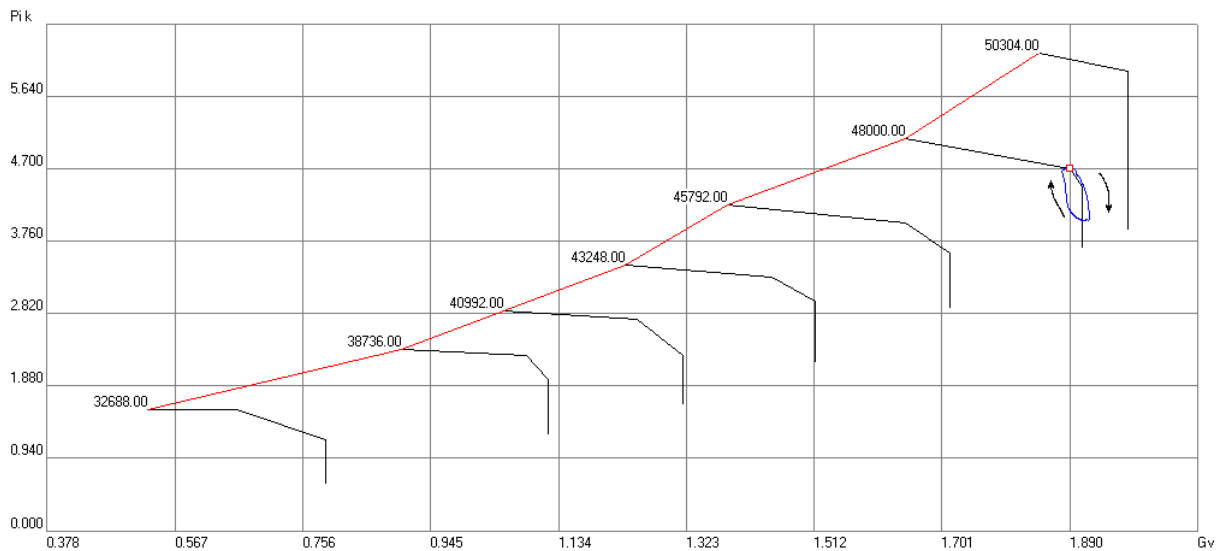


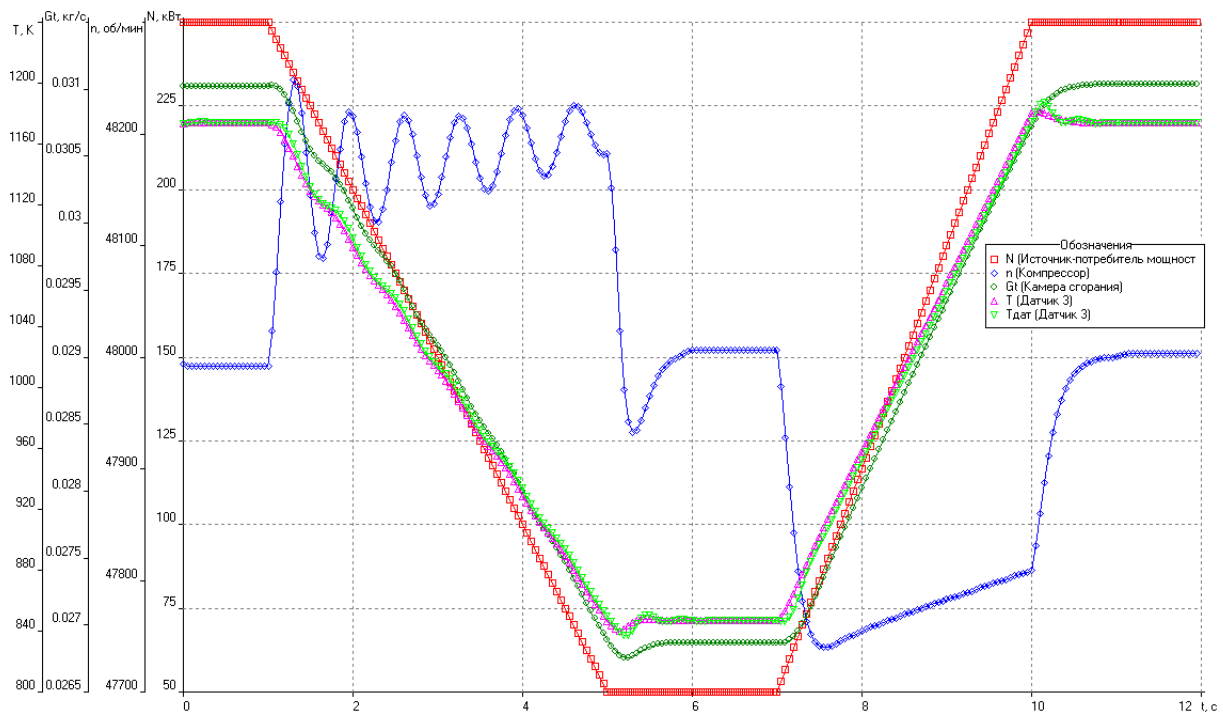
Рис. 3. Изменение параметров ГТЭУ в квазиустановившемся процессе

При моделировании аналогичного ( $N = f(t)$ ) переходного процесса, закон расчёта не изменяется, при этом учитывается инерционность ротора, динамические характеристики элементов автоматики и исполнительных механизмов. На рис. 4 – 5 приведены результаты моделирования переходного процесса.

На рис. 4 приведена линия переходного процесса на характеристике компрессора. На рис. 5 приведены изменения параметров ГТЭУ в указанном переходном процессе.



**Рис. 4.** Переходный процесс на характеристике компрессора



**Рис. 5.** Изменение параметров ГТЭУ в переходном процессе

В данном процессе, при уменьшении нагрузки на генератор начала возрастать частота вращения (появилась положительная избыточная мощность). Сработал ограничитель предельных параметров (механический), расход топлива в камере сгорания начал уменьшаться. При увеличении нагрузки на генератор происходил обратный процесс, для компенсации отрицательной избыточной мощности на турбине автоматика увеличила расход топлива в камере сгорания. Провал и превышение частот вращения в переходном процессе не превысил 0,5% по частоте вращения (требования к качеству управления ГТЭУ соблюдаются). Как видно из рис. 5, по результатам моделирования очень хорошо видна разница между инерционной температурой (зависит от динамических характеристик датчиков) и безинерционной температурой (действительные среднемассовые параметры потока). Так как управление и регулирование двигателем осуществляется по параметрам, измеренным датчиками, то часть погрешности регулирования будет определяться динамическими характеристиками датчиков.

Таким образом, при помощи разработанных авторами методик и технологий

имитационного моделирования возможно исследовать установившиеся режимы и переходные процессы, протекающие в ГТЭУ различных схем и принципов действия с учётом работы и динамических характеристик различных элементов её автоматики. Подобные математические модели позволяют исследовать различные процессы, происходящие в ГТЭУ, оценить влияние различных динамических характеристик на переходные процессы, оптимизировать параметры цикла, определять схему ГТЭУ для конкретного потребителя, выбирать наилучшую программу управления и регулирования, значительно сократить срок выпуска продукции (изготовления ГТЭУ и поставку её потребителю), улучшить качество продукции, облегчить её эксплуатацию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кривошеев И.А., Ахмедзянов Д.А., Власова Е.С.** Система термогазодинамического моделирования газотурбинных двигателей на переходных режимах работы/ свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2004610868, Москва, Роспатент, 2004.

2. **Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Кривошеев И. А.** Имитационное моделирование работы авиационных ГТД с элементами систем управления // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2008. – т.11, №2 (29) серия "Машиностроение". – С. 3–11.

3. **Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.** Автоматизация процесса испытания авиационных ГТД на базе SCADA-системы LabView / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, Р.Р. Ямалиев, А.В. Суханов // Вестник УГАТУ, Уфа, 2009. Т.13, №2 (35). – С.61-69.

4. **Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б., Кишалов А. Е.** Метод термогазодинамического моделирования работы авиационных ГТД / Д. А. Ахмедзянов, А. Б. Козловская, А. Е. Кишалов // Проблемы проектирования, производства и испытаний авиационных двигателей. Уфа: УГАТУ. – 2008. С. 157-161.

5. **Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б., Кишалов А. Е.** Методы и средства структурного и параметрического синтеза и анализа газотурбинных двигателей и энергоустановок / Д. А. Ахмедзянов, А. Б. Козловская, А. Е. Кишалов // Журнал "Молодой ученый", Чита, – 2010. – №4. – С. 53-56

6. **Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Кривошеев И. А.** Система имитационного моделирования DVIG\_OTLADKA // Свидетельство №2009610324 Москва, Роспатент. – 2009.

7. **Кишалов А. Е., Ахмедзянов Д. А.** Комплексный подход к совместному моделированию и исследованию рабочих процессов авиационных ГТД и его автоматики / А.Е. Кишалов, Д.А. Ахмедзянов // Журнал "Молодой ученый", Чита, 2011. - Т1. №10 (33). – С. 16-21.

8. **Кишалов А. Е., Ахмедзянов Д. А.** Моделирование переходных процессов, протекающих при отладке автоматики при испытаниях ТРДДФ / А.Е. Кишалов, Д.А. Ахмедзянов // Вестник ВГУ, Воронеж, 2011. -Т.7(8).- С.152-158.

9. **Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.** Моделирование авиационного ГТД совместно с элементами его автоматики / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов // Молодежный Вестник УГАТУ, Ежемесячный научный журнал № 2 (3) / Уфа: УГАТУ. – 2012. С.54-60.

10. **Ахмедзянов Д. А., Власова Е. С., Кишалов А. Е.** Методология имитационного моделирования неустановившихся режимов работы авиационных ГТД / Д. А. Ахмедзянов, Е. С. Власова, А. Е. Кишалов // Международная НТК "Проблемы и перспективы развития двигателестроения", Самара, 2006. - С.180-181.

11. **Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б., Кишалов А. Е.** Моделирование статических и динамических характеристик двухвальной энергетической установки / Д. А.

Ахмедзянов, А. Б. Козловская, А. Е. Кишалов // Журнал “Молодой ученый”, Чита, – 2010. – №4. – С. 56-59.

12. **Ахмедзянов Д. А., Мусалимов Р. С., Кишалов А. Е.** Моделирование переходных процессов в системе энергоустановки и выхлопной шахты / Д. А. Ахмедзянов, Р. С. Мусалимов, А. Е. Кишалов // Журнал “Молодой ученый”, Чита, 2010. - №9 (20). - С.14-19.

13. **Ахмедзянов Д. А., Михайлов А. Е., Кишалов А. Е.** Формирование подходов к моделированию газотурбинных двигателей совместно с элементами систем автоматического управления, контроля и диагностики / Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Михайлов, А. Е. Кишалов // Журнал “Молодой ученый”, Чита, 2011. - Т.1 №7 (30).– С. 15-19.

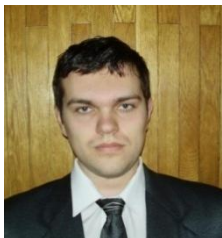
**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки.**

### ОБ АВТОРАХ



Ахмедзянов Дмитрий Альбертович, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД. Дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, автоматизации испытаний.

Тел. (347)2737954, e-mail: [ada@ugatu.ac.ru](mailto:ada@ugatu.ac.ru)



**Кишалов Александр Евгеньевич**, ст. преп. каф. авиац. двигателей и каф. авиац. теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2006). К.т.н. по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2010). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД.

Тел. (347)2737954, e-mail: [kishalov@ufanet.ru](mailto:kishalov@ufanet.ru)

УДК 621.9.02

## ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

**Постнов В. В., Сафин Д. Ш.**

Повышение производительности обработки материалов резанием в первую очередь связано с повышением режимов резания: увеличение скорости резания (HSC - High Speed Cutting) или увеличение сечения срезаемого слоя (HPC - High Productive Cutting).

Высокопроизводительная обработка материалов определяется не только режимами резания, но и требует новых технологических подходов (особенно при обработке современных материалов). Например, во многих областях машиностроения, в частности в аэрокосмической и автомобильных отраслях, все чаще применяются материалы, сделанные специально для получения определенных свойств, таких как износостойкость,

коррозионная устойчивость, высокая термическая и механическая стойкость, низкая плотность. Изготовление деталей из указанных материалов требует специальных технологических приемов (в частности, при обработке больших поверхностей на деталях, имеющих малую жесткость).

Теоретическим обоснованием высокоскоростной обработки являются так называемые кривые Соломона, которые показывают снижение сил резания в некотором диапазоне скоростей. Но наиболее важным фактором является перераспределение тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза, в данном диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку.

Высокоскоростная обработка широко применяется в настоящее время:

- ВСО пресс-форм и штампов концевыми фрезами для получения изделий из материалов, широко применяемых в автомобильной и аэрокосмической промышленности: жаропрочные стали, алюминиевые сплавы, конструкционные оргпластики, армированные стекловолокном и др.;

- высокоскоростное сверление фольгированных печатных плат, широко используемых в электронной промышленности;

- ВСО изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов в аэрокосмической и автомобильной промышленности.

При обработке высокопрочных сталей и сплавов, а так же других труднообрабатываемых материалов возникают следующие проблемы:

- высокое упрочнение материала в процессе деформации резанием, ввиду особенностей строения кристаллической решетки;

- низкая теплопроводность обрабатываемого материала, приводящей к повышенной температуре в зоне контакта и к активизации адгезионных и диффузионных явлений;

- способность сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах, что приводит к высоким удельным нагрузкам на поверхностях контакта детали с режущим инструментом (РИ);

- большая истирающая способность жаропрочных и нержавеющей сталей, обусловленной наличием второй фазы образующей интерметаллидные включения;

- пониженная виброустойчивость движения резания, вызванная повышенной упрочняемостью нержавеющей и жаропрочных материалов при неравномерности протекания процесса их пластического деформирования;

Понятие "высокоскоростное резание" применительно к различным видам обработки, группам обрабатываемых и инструментальных материалов относится к различным по уровню количественным скоростным диапазонам (рис. 1.) [1] и отражает жесткую связь значений скоростного диапазона со свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, технологической среды и видом обработки.

Так, например, вместо проведения сборочных операций для получения деталей авиакосмического назначения из нескольких мелких с соответствующим снижением надежности, их можно фрезеровать из цельного металлического блока, используя технологию HSC.

Физическая природа высокоскоростного резания основывается на фундаментальных закономерностях процессов стружкообразования и изнашивания инструмента в зависимости от скорости резания.

Экспериментальные данные о влиянии скорости, полученные при различных условиях резания, указывают на то, что механизм влияния скорости резания на процесс стружкообразования очень сложен. Скорость резания может влиять на процесс стружкообразования непосредственным и косвенным путями. Важнейшим косвенным влиянием скорости резания является ее воздействие на процесс стружкообразования через изменение среднего коэффициента трения.

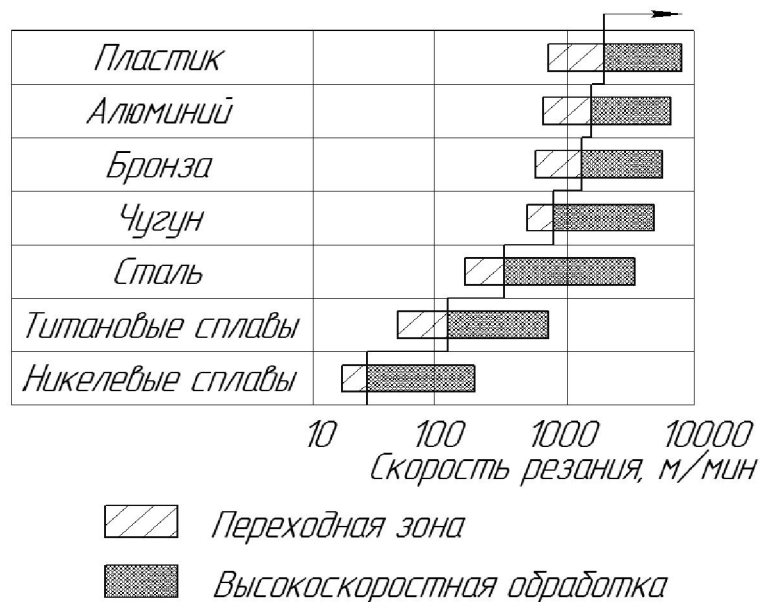


Рис. 1. Характеристики высокоскоростного резания при фрезеровании

Средний коэффициент трения зависит от скорости резания главным образом потому, что она влияет на удельные нормальные давления на поверхности контакта стружки с передней поверхностью, на сопротивление сдвигу в контактном слое стружки и на коэффициент внешнего трения между стружкой и передней поверхностью.

Наряду с косвенным влиянием скорости резания на процесс стружкообразования, существует и непосредственное ее влияние, которое объясняется следующим образом[2]:

В обрабатываемом материале впереди резца под действием силы резания возникает некоторое поле напряжений, которое схематически представлено на рис. 2 [1] в виде семейства характеристик (линий равных касательных напряжений). В процессе резания каждая частица обрабатываемого материала, прежде чем перейти из срезаемого слоя в стружку, должна по очереди пересечь характеристики, на которых действуют различные касательные напряжения. При этом частица обрабатываемого материала испытывает сначала упругие, а затем пластические деформации сдвига. Та часть поля напряжений, в пределах которой происходят пластические деформации, является зоной стружкообразования.

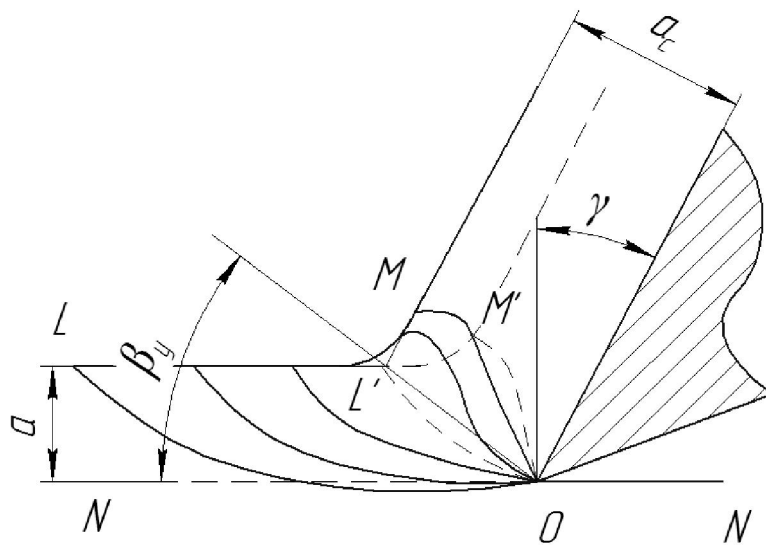


Рис. 2. Схема стружкообразования при высокоскоростной обработке

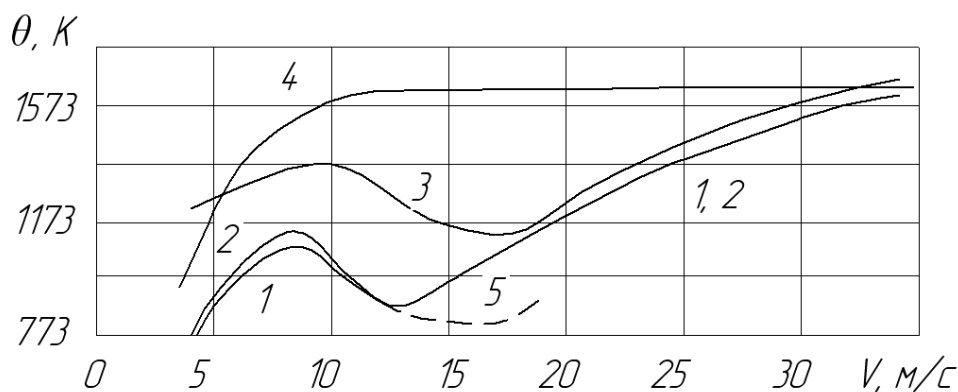


При большой скорости резания частицы обрабатываемого материала столь быстро проходят линию  $OL$ , что пластические деформации не успевают произойти, и начинаются позже, на линии  $OL'$ . Конечная граница стружкообразования (линия  $OM$ ) так же смещается вправо (линия  $OM'$ ). Однако смещение конечной границы зоны стружкообразования значительно меньше, чем начальной, так как распространение пластических деформаций вправо от линии  $OM$  ограничивается падением касательных напряжений. Поэтому при увеличении скорости резания конечная граница зоны стружкообразования мало сдвигается по сравнению с начальной границей, в результате чего зона стружкообразования сильно сужается.

Из сказанного следует, что непосредственное влияние скорости резания на процесс стружкообразования является результатом "запаздывания" пластических деформаций в зоне стружкообразования вследствие сокращения промежутка времени на прохождения частиц обрабатываемого материала через эту зону. Пластическая деформация для полного ее протекания при данном напряжении требует некоторого минимального промежутка времени, который не обеспечивается при большой скорости движения обрабатываемого материала через зону стружкообразования. Обрабатываемый материал проходит через зону стружкообразования, не получив тех деформаций, которые он мог бы получить при малой скорости резания. Стружка получается менее деформированной, имеющей меньшую усадку, а работа и силы резания падают.

На рис. 3 [3] представлены зависимости изменения температуры резания от скорости фрезерования для трех характерных марок обрабатываемых материалов: сталь 40, 12X18H10T и жаропрочный сплав ХН55ВМТКЮ при различных условиях охлаждения зубьев фрезы.

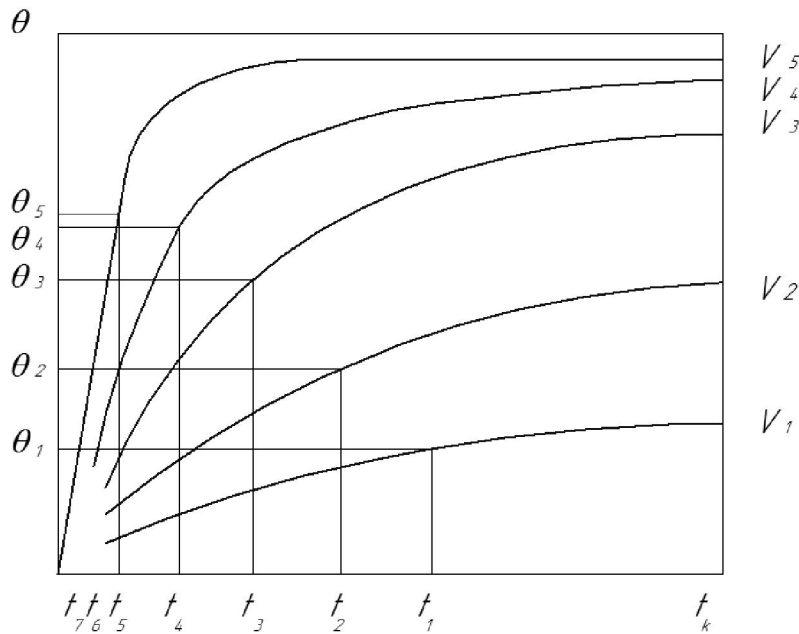
При охлаждении зубьев фрезы водой (кривые 1, 2, 3, 5) зависимость температуры от скорости резания носит горбообразный характер. На этих кривых можно выделить три характерные зоны. В первой зоне температура резания с увеличением скорости возрастает, достигая некоторого максимума, после чего во второй зоне происходит уменьшение температуры резания. В третьей зоне с повышением скорости фрезерования температура резания снова возрастает, приближаясь к температуре плавления обрабатываемого материала.



**Рис. 3.** Зависимость температуры от скорости резания  
1- сталь 40, 2, 4, 5 - 12X18H10T, 3 - ХН55ВМТКЮ

Для выяснения причин немоного изменения температуры от скорости резания во всех трех зонах были проведены специальные эксперименты. Опыты проводились при свободном течении стали 40, нагретой до 1270 - 1320, К [3]. Для исключения влияния изменения толщины среза при врезании инструмента на характер переходного процесса на заготовке предварительно была нарезана ленточная резьба и резание начиналось с полной толщины среза при постоянной ширине.

Экспериментальные данные в виде осциллограмм записи термоЭДС представлены на рисунке 4, для наглядности кривые нанесены без соблюдения масштаба.



**Рис. 4.** Характерная зависимость температуры резания от скорости резания при свободном течении стали 40

Из полученных данных видно, что температура резания монотонно растет во времени, достигая вполне определенной величины в условиях установившегося процесса теплообмена. С повышением скорости длительность переходного процесса выравнивания температуры сокращается. Следовательно, если время контакта зуба фрезы с заготовкой меньше продолжительности переходного процесса, то в этом случае температура резания определяется не только скоростью резания, но и временем контакта. Увеличение скорости при неизменной глубине резания и постоянном диаметре фрезы вызывает уменьшение времени контакта, повышение температуры при установившемся теплообмене и сокращение длительности переходного процесса.

В процессе фрезерования, каждой скорости резания соответствует вполне определенное значение времени контакта и температуры резания. Однако, при таких скоростях резания, когда интенсивность нарастания фронта переходного процесса и его длительность уже мало зависят от изменения скорости (в нашем случае  $v_5$ ), температура резания начинает уменьшаться вследствие сокращения времени контакта, вызванного увеличением скорости фрезерования. Таким образом, следует полагать, что с увеличением скорости резания интенсивность тепловыделения, а следовательно, и температура резания в первой зоне растут в большей мере, чем происходит уменьшение температуры за счет сокращения длительности теплового воздействия на зуб. Во второй зоне функции скорости резания как кинематического фактора возрастают, т.е. с дальнейшим увеличением скорости, температура резания, ввиду сокращения времени контакта, падает в большей мере, чем происходит ее повышение, вследствие интенсивности тепловыделения.

По-видимому, эти обстоятельства и являются причиной горбообразного характера изменения кривых зависимости температуры резания от скорости фрезерования в первой и второй зонах на левом рисунке.

Возрастание температуры резания в третьей зоне, при повышении скорости фрезерования, должно быть связано с аккумуляцией тепла в режущем клине, т.е. зуб не охлаждается до температуры охлаждающей среды. Нарастание температуры, вызванное аккумуляцией, является более интенсивным, чем уменьшение ее, вследствие сокращения времени контакта.

Подтверждением факта о решающем влиянии аккумуляции тепла в режущей части зуба фрезы на температуру резания в третьей зоне является зависимость 5, полученная

при более интенсивном охлаждении зуба фрезы за время холостого пробега. Кривая 4 соответствует обработке коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т без охлаждения зуба фрезы. В этих условиях, аккумуляция тепла, очевидно, имеет место во всем диапазоне исследуемых скоростей резания [3].

В результате проведенного исследования, удалось установить, что:

Увеличение скорости резания обеспечивает более благоприятное перераспределение тепловых потоков в деталь - инструмент - стружку, а именно, способствует увеличению доли теплового потока, поступающего в стружку.

Рост температуры при увеличении скорости резания компенсируется кратковременностью контакта зуба фрезы с обрабатываемым материалом, так как температурное поле локализуется в более тонком слое инструментального материала, контактирующего со стружкой, что уменьшает объем продукта износа режущего клина.

В данном случае использование износостойких покрытий является наиболее эффективным, так как они, выполняя роль теплового барьера, вследствие кратковременного теплового воздействия обеспечивают максимальную защиту инструментального материала режущего клина.

Наиболее благоприятным условием для осуществления ВСО является условие, когда температура плавления обрабатываемого материала не превышает рациональной температуры инструментального материала. Поэтому реализация ВСО при обработке легкоплавких материалов представляет меньше трудностей по сравнению с обработкой тугоплавких материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Н., Боровский Г.В., Боровский В.Г., Григорьев С.Н. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания. М.: Машиностроение, 2010.
2. Армарего И. Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977.
3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982.

### ОБ АВТОРАХ



**Постнов Владимир Валентинович**, Зав. кафедрой «Мехатронные станочные системы». Дипл. инженер-механик (УАИ 1972), Д-р техн. наук по тех-гии и оборудов. механич. и физико-технической обр-ки (УГАТУ, 2005). Исследования в области физической оптимизации нестационарных процессов резания жаропрочных сталей и сплавов.

e-mail: [mss@ugatu.su](mailto:mss@ugatu.su)



**Сафин Денис Шамилович**, студент 5-го курса группы МХ-517 специальности «Мехатроника». Исследования в области высокоскоростного фрезерования труднообрабатываемых материалов.

e-mail: [luck\\_at@mail.ru](mailto:luck_at@mail.ru)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАНГОВ ВЕБ-ДОКУМЕНТОВ В ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ

Нурматов Х. И.

### Введение

Интернет стал частью экономики любой страны мира и практически все субъекты экономической, научной и иной деятельности присутствуют в глобальной сети. Проводниками в таком разнообразии зачастую неструктурированной и разрозненной информации являются поисковые системы, которые позволяют ориентироваться в глобальной сети и находить нужную информацию. Особенностью большинства поисковых систем является метод выявления полезности и важности информации, которую она (поисковая система) выдает пользователю на тот или иной запрос - это так называемое ранжирование. Суть ранжирования состоит в оценке ранга каждой веб-страницы по количеству и качеству гипертекстовых ссылок на нее. Примеры систем ранжирования в глобальной сети: Google PageRank, Яндекс Rank.

Задача поднять популярность и известность сайта среди пользователей сети Интернет информацию стоит практически для всех администраторов веб-ресурсов, и одной из важнейших подзадач этой задачи является продвижение в поисковой системе, что, в свою очередь, предполагает влияние на результаты работы системы ранжирования. Продвижение сайта в поисковой системе — это комплекс мер по обеспечению посещаемости сайта целевыми посетителями. Целевые посетители — это посетители, которые заинтересованы в товаре или услуге, представленной на продвигаемом сайте. Основа метода работы системы ранжирования – подсчет и анализ ссылок на веб-страницу. Так как число сайтов, которое постоянно контролируется поисковой системой, огромно, пересчет рангов веб-страниц подсистемой ранжирования происходит через довольно большие промежутки времени – недели и месяцы. Таким образом, имеется потребность в инструменте, который позволял бы задолго до пересчета оценок веб-сайтов подсистемой ранжирования дать прогноз на будущее значение ранга. Возникает необходимость быстрого (по сравнению со скоростью работы самой подсистемы ранжирования) и относительно точного вычисления вероятного будущего ранга веб-страницы при заданных входных параметрах.

### ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Необходимо разработать алгоритм, который, получив на входе адрес веб-страницы и массив значений,  $i$ -тый элемент которого содержит количество веб-страниц с рангом равным  $i$ , ссылающихся на данную веб-страницу, рассчитывает прогнозируемое значение ранга.

Ранжирование — это алгоритм, который применяется к коллекции документов, связанных гиперссылками (таких, как веб-страницы из сети Интернет), и назначает каждому из них некоторое численное значение, измеряющее его «важность» или «авторитетность» среди остальных документов.

Входные данные: адрес веб-страницы, для которой ведется расчет значения ранга; массив значений,  $i$ -тый элемент которого содержит количество веб-страниц с рангом равным  $i$ , ссылающихся на данную веб-страницу.

Выходные данные: вероятное будущее значение ранга для данной веб-страницы.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Имеется зависимость показателя  $y$  от  $n$  факторов, где  $y$  – это значение ранга, а  $n$  – это количество возможных значений ранга.



Рис.1 Диаграмма «Постановка задачи»

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$x_i$  – это количество страниц со значением ранга равным  $i$ , ссылающихся на данную страницу.

Имеется  $m$  экспериментальных точек:

$(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}, y_k)$ ,  $k \in 1, 2, \dots, m$ , где  $x_{ik}$  – это количество страниц со значением ранга равным  $i$ , ссылающихся на веб-страницу,  $y_k$  – реальное значение ранга веб-страницы, а  $k$  – порядковый номер экспериментальной точки в списке экспериментальных точек.

Задача состоит в аппроксимации функции  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Основная задача аппроксимации – построение функции, наиболее близко проходящей около данных экспериментальных точек.

*Аппроксимация функции* – процесс построения эмпирической функции  $F_{\text{approx}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , приближенной к функциональной зависимости  $y = F_{\text{approx}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Для построения этой функции выбирается приближающая функция, которая содержит некие параметры  $a, b, c$  и т.д. Подзадача заключается в подборе таких параметров  $a, b, c$  и т.д., что отклонение этой функции  $F_{\text{approx}}$  минимально.

*Входные данные:* список экспериментальных точек  $(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}, y_k)$ ,  $k \in 1, 2, \dots, m$

*Выходные данные:* аппроксимированная функция  $y = F_{\text{approx}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$

## ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ

Ключевое значение в дипломном проектировании имеют две подзадачи:

- Построение модели системы ранжирования
- Вычисление ранга

Подзадача построения модели системы ранжирования решается тремя способами:

- Аппроксимация методом МНК
- Аппроксимация методом МГУА
- Распознавание образом по правилу БС

### Метод наименьших квадратов

Даны экспериментальные данные:

$$y_1 = F(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}),$$

$$y_2 = F(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}),$$

...

$$y_k = F(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}).$$

Требуется найти эмпирическую формулу  $F_{\text{approx}} = a \ln x_1 + b \ln x_2 + \dots + k \ln x_n + p$ ,

значения которой при  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$  возможно бы мало отличались от опытных значений  $F_i$ .



Рис.2 Диаграмма «Декомпозиция задачи»

Если в эмпирическую формулу подставить исходные экспериментальные данные, то получим теоретические значения  $F_t$

Разности  $F_i^t - F_i$  называются отклонениями.

Согласно методу наименьших квадратов, наилучшими коэффициентами  $a, b, \dots, p$  считаются те, для которых сумма квадратов отклонений найденной эмпирической функции от заданных значений функции

$$S(a, b, \dots, p) = \sum [F(x_{1i}, \dots, x_{10i}; a, b, \dots, p) - F_i]$$

будет минимальной.

### Метод группового учета аргументов

Заданы экспериментальные точки:

$$y_1 = F(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}),$$

$$y_2 = F(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}),$$

...

$$y_k = F(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}).$$

Необходимо построить наилучшую в определенном смысле модель  $F_{\text{approx}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Шаг 1. Выберем общий вид перебираемых моделей, так называемые опорные функции. Для этого используем полином Колмогорова-Габова:

$$F(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum a_i \ln x_i + \sum \sum a_{ij} \ln x_i \ln x_j + \dots$$

Выбор полиномов обусловлен тем свойством, что согласно теореме Вейерштрасса, любую непрерывную на конечном интервале функцию можно со сколь угодно высокой точностью представить в виде полинома определенной степени. Сложность модели в таком случае определяется количеством коэффициентов  $a_{ij} \dots$

Шаг 2. Используя опорные функции, построим различные варианты моделей для некоторых или всех аргументов. Возможно, построение полиномов с одной переменной, полиномов со всевозможными парами переменных, полиномов со всевозможными тройками переменных и т.д., полиномов со всеми переменными. Для каждой модели определим её коэффициенты  $a_{ij} \dots k$  методом регрессионного анализа.

Шаг 3. Среди всех моделей выберем несколько (от 2 до 10) наилучших. Качество моделей будем определять коэффициентом детерминации, или среднеквадратическим отклонением ошибки, или корреляцией  $Y$  и исходных данных.

Шаг 4. Если найдена достаточно "хорошая" модель или достигнута максимально допустимая сложность моделей, то прекратим алгоритм.

Шаг 5. Иначе, найденные на 3-ем шаге модели используем как аргументы  $(x_1, \dots, x_n)$  для опорных функций следующего этапа итерации (переход на 2-ой пункт). То есть уже найденные модели участвуют в формировании более сложных моделей.

### Распознавание образов.

#### Правило ближайшего соседа

Задана обучающая выборка пар «объект—ответ»

$$X^m = \{(x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, y_1), \dots, (x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, y_m)\}$$

(экспериментальные данные)

Пусть на множестве объектов задана функция расстояния  $p(x, x')$ . Эта функция должна быть достаточно адекватной моделью сходства объектов. Чем больше значение этой функции, тем менее схожими являются два объекта  $x, x'$ .

Для произвольного объекта  $u$  расположим объекты обучающей выборки  $x_i$  в порядке возрастания расстояний до  $u$ :

$$P(u, x_{1,u}) \leq p(u, x_{2,u}) \leq \dots \leq p(u, x_{m,u})$$

где через  $x_{i,u}$  обозначается тот объект обучающей выборки, который является  $i$ -м соседом объекта  $u$ . Аналогичное обозначение введём и для ответа на  $i$ -м соседе:  $y_{i,u}$ . Таким образом, произвольный объект  $u$  порождает свою перенумерацию выборки.

Алгоритм ближайших соседей в данном случае есть  $a(u) = \operatorname{argmax} \sum [x_{i,u}=y] \omega(i,u)$

где  $\omega(i,u)$  — заданная весовая функция, которая оценивает степень важности  $i$ -го соседа для классификации объекта. Эта функция неотрицательна и не возрастает по  $i$ .

Метод	Скорость	Простота	Применимость	Точность
Метод наименьших квадратов	+	+	+	+
Метод группового учета аргументов	+	+/-	+	+/-
Распознавание образов. Правило ближайшего соседа	+	+	+/-	+/-

### РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках данного исследования были реализованы все три метода и проведены экспериментальные испытания. Была взята выборка из более, чем тысячи реальных ранговых данных, на их основе построены модели и проведен эксперимент по расчету вероятного значения 28 веб-страниц. После обновления рангов самими поисковыми системами, результаты работы алгоритмов были сравнены с реальными измененными рангами. На основании этого сравнения была посчитана эффективность работы алгоритмов. Процентные значения эффективности представлены в следующей таблице:

Метод	Оценка эффективности
МНК	67,8%
МГУА	71,42%
Распознавание образов. БС	57,1%

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все три метода, рассмотренные выше подходят по предъявляемым требованиям. Метод распознавания образов по правилу ближайшего соседа применим частично, лишь для тех систем ранжирования, в которых размерность множества всех рангов относительно мала по сравнению с количеством экспериментальных данных и тип ранга целочисленный, например Яндекс Rank.

Разработанные алгоритмы позволяют с приемлемой эффективностью предсказать будущее значение рангов веб-документов в поисковых системах. Существует теоретическая возможность по улучшению эффективности работы алгоритмов, путем подстройки реализаций под конкретные подсистемы ранжирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ивахненко А.Г.** Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наукова думка. 1981.
2. **Горелик А. Л., Скрипкин В. А.** Методы распознавания. — 4-е. — М.: Высшая школа, 1984, 2004.
3. **Каханер Д., Моулер К., Нэш С.** Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир. 1998.



**ОБ АВТОРАХ**

**Нурматов Хуршед Идибекович**, аспирант каф. вычислит. математики и кибернетики УГАТУ, дипл. математик-программист (УГАТУ, 2010). Исследования в области поисковых систем.

e-mail: [hurshed@nurmatov.ru](mailto:hurshed@nurmatov.ru)

УДК 621.45.023

**РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХЛОПНОГО ТРАКТА ТРДД**

**Кишалов А. Е., Маркина К. В.**

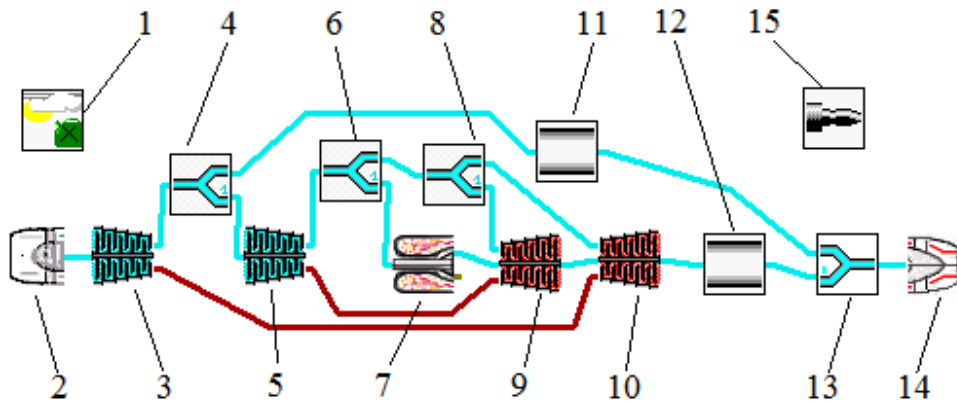
Современные авиационные газотурбинные двигатели - это сложные технические объекты, отличающиеся высоким уровнем удельных показателей, чрезвычайной теплонапряжённостью «горячих» узлов, сложной и разветвлённой системой автоматического управления. Для разрабатываемых современных двигателей важно ещё на стадии проектирования знать протекание характеристик основных узлов и элементов проточного тракта. Правильное согласования работы отдельных элементов определяет высокий КПД и качество всего двигателя.

АЛ-55И – двухконтурный турбореактивный двигатель нового поколения, созданный в России, для учебно-тренировочного самолета ВВС Индии НТ-36. В данной статье рассматривается методика получения характеристик выхлопного тракта для двигателя АЛ-55И.

Выходные устройства силовых установок с ВРД предназначены для преобразования тепловой и потенциальной энергии газов в кинетическую энергию вытекающей струи с учетом структуры потока на входе. Характеристики выходного устройства изменяются на различных режимах работы и оказывают значительное влияние на основные показатели и параметры всего двигателя, такие как тяга и удельный расход топлива. Выходное устройство ТРДДсм АЛ-55И состоит из кольцевого смесителя и реактивного сопла.

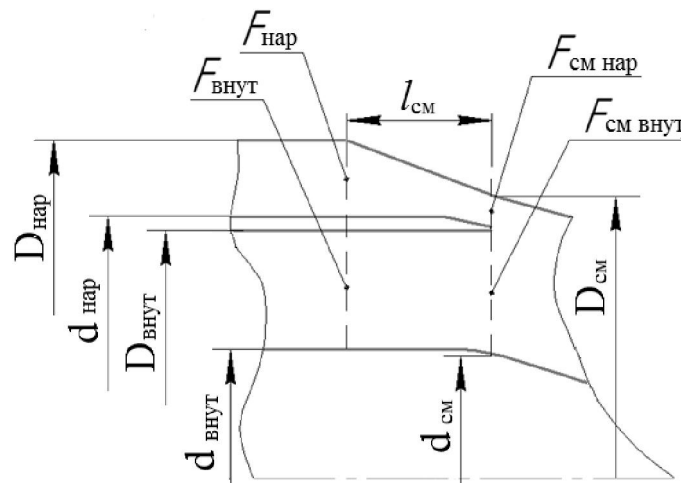
**Расчет характеристик смесителя по инженерной методике**

На рис. 1 приведена топологическая схема АЛ-55И в системе имитационного термогазодинамического моделирования (СИМ) DVIG\_OTLADKA [1, 2]. По результатам термогазодинамического расчёта двигателя принято, что на входе в смеситель на максимальном режиме работы во внутреннем контуре: расход газа  $G_{\text{внут}} = 19,59$  кг/с, полное давление  $P_{\text{внут}}^* = 285241$  Па, полная температура  $T_{\text{внут}}^* = 998,65$  К; в наружном контуре: расход воздуха  $G_{\text{нар}} = 10,52$  кг/с, полное давление  $P_{\text{нар}}^* = 283710$  Па, полная температура  $T_{\text{нар}}^* = 402,07$  К.



**Рис. 1.** Топологическая схема АЛ-55И в СИМ DVIG\_OTLADKA, где 1 – начальные условия; 2 – входное устройство; 3 – компрессор низкого давления; 4 – отбор газа 1; 5 – компрессор высокого давления; 6 – отбор газа 2; 7 – камера сгорания; 8 – отбор газа 3; 9 – турбина высокого давления; 10 – турбина низкого давления; 11 – канал 1; 12 – канал 2; 13 – смеситель; 14 – реактивное сопло; 15 – общие результаты

На рис. 2 приведена схема кольцевого смесителя ТРДДСм АЛ-55И. Основными характеристиками смесителя являются зависимости коэффициента восстановления полного давления от приведённых скоростей потока в наружном и внутреннем контурах на входе в смеситель [3].



**Рис. 2.** Схема камеры смешения

Расчёт коэффициента восстановления полного давления смесителя  $\sigma_{см}^*$  проводится по методике [4]:

$$\sigma_{см}^* = \frac{P_{ВЫХ}^*}{P_{ВХ}^*}, \quad (1)$$

где  $P_{ВХ}^*$  – полное давление на входе в смеситель, Па;  $P_{ВЫХ}^*$  – полное давление на выходе из смесителя, Па.

Полное давление на входе в смеситель определяется по формуле:

$$P_{ВХ}^* = P_{ВНУТ}^{m+1} P_{НАР}^{m+1}, \quad (2)$$

где  $m$  - степень двухконтурности на входе в смеситель,  $m = \frac{G_{нар}}{G_{внут}}$ .

Потери полного давления на смесителе складываются из гидравлических потерь в

кольцевых каналах до среза смесителя и потерь на смешение потоков.

Полное давление на выходе из смесителя определяется по формуле:

$$P_{\text{вых}}^* = \frac{P_{\text{смвнут}}^* f(\lambda_{\text{смвнут}}) F_{\text{смвнут}} + P_{\text{смнар}}^* f(\lambda_{\text{смнар}}) F_{\text{смнар}}}{f(\lambda_{\text{смвых}}) (F_{\text{смвнут}} + F_{\text{смнар}})}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{смвнут}}^*$  и  $P_{\text{смнар}}^*$  – полные давления на срезе смесителя во внутреннем и наружном контурах, Па;  $F_{\text{смвнут}}$  и  $F_{\text{смнар}}$  – площади поперечного сечения на врезе смесителя во внутреннем и наружном контурах, м<sup>2</sup>;  $f(\lambda_{\text{смвнут}})$ ,  $f(\lambda_{\text{смнар}})$  и  $f(\lambda_{\text{смвых}})$  – газодинамические функции от приведённых скоростей потока на срезе смесителя во внутреннем и наружном контурах ( $\lambda_{\text{смвнут}}$ ,  $\lambda_{\text{смнар}}$ ) и от приведённой скорости за смесителем ( $\lambda_{\text{смвых}}$ ).

Полные давления на срезе смесителя по внутреннему и наружному контурам ( $P_{\text{смвнут}}^*$  и  $P_{\text{смнар}}^*$ ) определяются по формулам:

$$P_{\text{смвнут}}^* = P_{\text{внут}}^* \sigma_{\text{внут}}^*, \quad (4)$$

$$P_{\text{смнар}}^* = P_{\text{нар}}^* \sigma_{\text{нар}}^*, \quad (5)$$

где  $\sigma_{\text{внут}}^*$  и  $\sigma_{\text{нар}}^*$  – коэффициенты восстановления полного давления во внутреннем и наружном контурах соответственно.

Коэффициенты восстановления полного давления во внутреннем и наружном контурах определяются по формулам:

$$\sigma_{\text{внут}}^* = 1 - \zeta_{\text{внут}} \frac{k_{\Gamma}}{k_{\Gamma} + 1} \varepsilon(\lambda_{\text{внут}}) \lambda_{\text{внут}}, \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{нар}}^* = 1 - \zeta_{\text{нар}} \frac{k}{k + 1} \varepsilon(\lambda_{\text{нар}}) \lambda_{\text{нар}}, \quad (7)$$

где  $k_{\Gamma}=1,33$  – показатель политропы для газа внутреннего контура;  $k=1,4$  – показатель адиабаты для воздуха внутреннего контура;  $\varepsilon(\lambda)$  – газодинамическая функция;  $\zeta_{\text{внут}}$  и  $\zeta_{\text{нар}}$  – коэффициенты гидравлического сопротивления внутреннего и наружного контуров, соответственно;  $\lambda_{\text{внут}}$  и  $\lambda_{\text{нар}}$  – приведенные скорости потоков внутреннего и наружного контуров на входе в смеситель.

Коэффициенты гидравлического сопротивления внутреннего и наружного контуров определяются по формуле:

$$\zeta = 0,024 \frac{P}{D_{\Gamma}}, \quad (8)$$

где  $P$  – смоченный периметр, м;  $D_{\Gamma}$  – гидравлический диаметр, м.

Приведённая скорость потока за смесителем ( $\lambda_{\text{смвых}}$ ) определяется по из газодинамической функции  $Z(\lambda_{\text{смвых}})$  по формуле:

$$Z(\lambda_{\text{смвых}}) = \frac{Z(\lambda_{\text{смвнут}}) \sqrt{\frac{k_{\Gamma} + 1}{k_{\Gamma}}} R_{\Gamma} T_{\text{внут}}^* + m Z(\lambda_{\text{смнар}}) \sqrt{\frac{k + 1}{k}} R T_{\text{нар}}^*}{\sqrt{\frac{k_{\text{см}} + 1}{k_{\text{см}}} R_{\text{см}} T_{\text{см}}^*}}, \quad (9)$$

где  $R_{\Gamma}$  – газовая постоянная для внутреннего контура  $R_{\Gamma} = 288,3$  Дж/кг К;  $R$  – газовая постоянная для наружного контура  $R = 287$  Дж/кг К;  $R_{\text{см}}$  – газовая постоянная для

смеси,  $R_{см} = \frac{R_{г} G_{внут} + R G_{нар}}{G_{внут} + G_{нар}}$ , Дж/кг·К;  $T_{см}^*$  – температура смеси,

$T_{см}^* = \frac{c_{pг} G_{внут} T_{внут}^* + c_p G_{нар} T_{нар}^*}{c_{pсм} (G_{внут} + G_{нар})}$ , К;  $c_{pг}$  – удельная теплоёмкость газов внутреннего контура

при постоянном давлении  $c_{pг} = 1162$  Дж/кг К;  $c_p$  – удельная теплоёмкость воздуха наружного контура при постоянном давлении,  $c_p = 1004,5$  Дж/кг К;  $c_{pсм}$  – удельная

теплоёмкость смеси,  $c_{pсм} = \frac{c_{pг} G_{внут} + c_p G_{нар}}{G_{внут} + G_{нар}}$ , Дж/кг К.

Для получения характеристики смесителя варьировались приведенные скорости на входе в смеситель наружного ( $\lambda_{нар}$ ) и внутреннего контура ( $\lambda_{внут}$ ). Характеристика смесителя вида  $\sigma_{см}^* = f(\lambda_{нар}, \lambda_{внут})$  приведена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, при низких значениях приведённых скоростей на входе в смеситель, коэффициент восстановления полного давления имеет максимальные значения. С ростом скоростей происходит уменьшение коэффициента. Также, можно отметить, что с увеличением разницы в скоростях наружного и внутреннего контуров коэффициент восстановления полного давления уменьшается. По  $\lambda_{нар}$  характеристика ограничена величиной 0,25, т.к. при больших значениях скорости на входе в смеситель при принятой температуре происходит запирание наружного контура. По  $\lambda_{внут}$  характеристика ограничена эксплуатационным диапазоном скоростей за турбиной низкого давления.

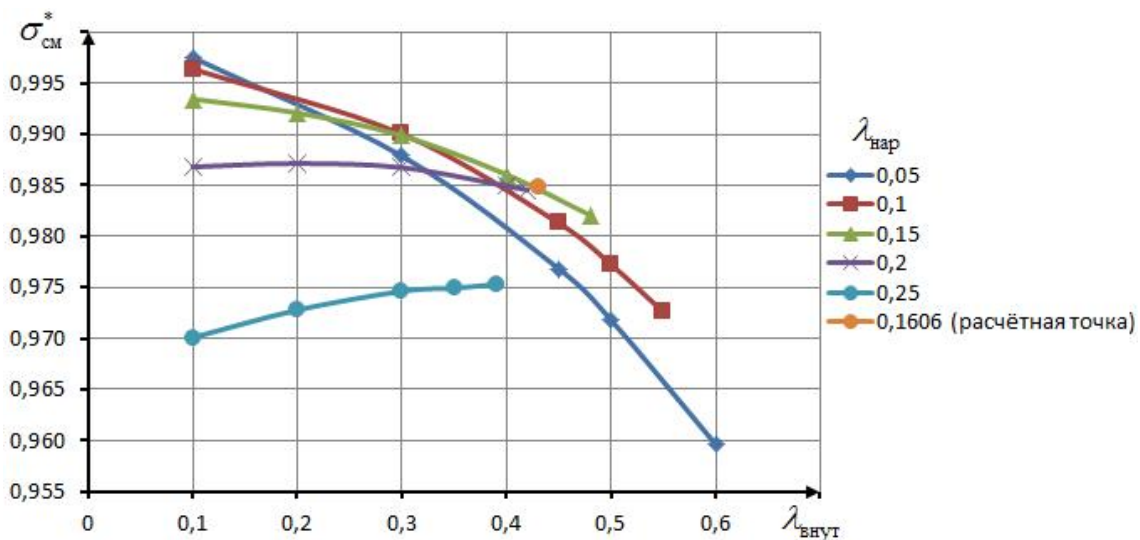


Рис. 3. Зависимость коэффициента восстановления полного давления в камере смешения от приведенных скоростей на входе в смеситель  $\sigma_{см}^* = f(\lambda_{нар}, \lambda_{внут})$

### Расчет характеристик реактивного сопла по инженерной методике

На рис. 4 приведена схема реактивного сопла ТРДДсм АЛ-55И. Основными характеристиками реактивного сопла являются зависимости коэффициента скорости ( $\varphi = f(\pi_{pс}^*)$ ) и коэффициента расхода ( $\mu = f(\pi_{pс}^*)$ ) от располагаемого перепада давления на сопле (степени понижения давления). Коэффициент расхода сопла в термодинамических расчётах влияет только на площадь критического сечения сопла, коэффициент скорости характеризует величину гидравлических потерь, т.е. степень газодинамического совершенства узла [5, 6].

Характеристики реактивного сопла следует поделить на две части: первая – докритический режим работы ( $\pi_{PC}^* < \pi_{PC\text{кр}}^*$ ), скорость в критическом сечении сопла меньше скорости звука) и закритический ( $\pi_{PC}^* > \pi_{PC\text{кр}}^*$ ), скорость в критическом сечении сопла равна скорости звука).

- Расчёт характеристик реактивного сопла на докритическом режиме

Коэффициент скорости определяется по формуле:

$$\varphi = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\left(\sigma_{PC}^* \pi_{PC\text{ид}}^*\right)^{\frac{k_{CM}-1}{k_{CM}}}}{1 - \frac{1}{\pi_{PC\text{ид}}^* \frac{k_{CM}-1}{k_{CM}}}}}, \quad (10)$$

где  $\pi_{PC\text{ид}}^*$  – идеальная степень понижения давления в сопле,  $\pi_{PC\text{ид}}^* = \frac{1}{\pi(\lambda_{кр})}$ ;  $\sigma_{PC}^*$  – коэффициент восстановления полного давления реактивного сопла,  $\sigma_{PC}^* = 1 - \zeta_{PC} \frac{k_{CM}}{k_{CM} + 1} \varepsilon(\lambda_{CM}) \lambda_{CM}$ ;  $\zeta_{PC}$  – коэффициент гидравлического сопротивления реактивного сопла.

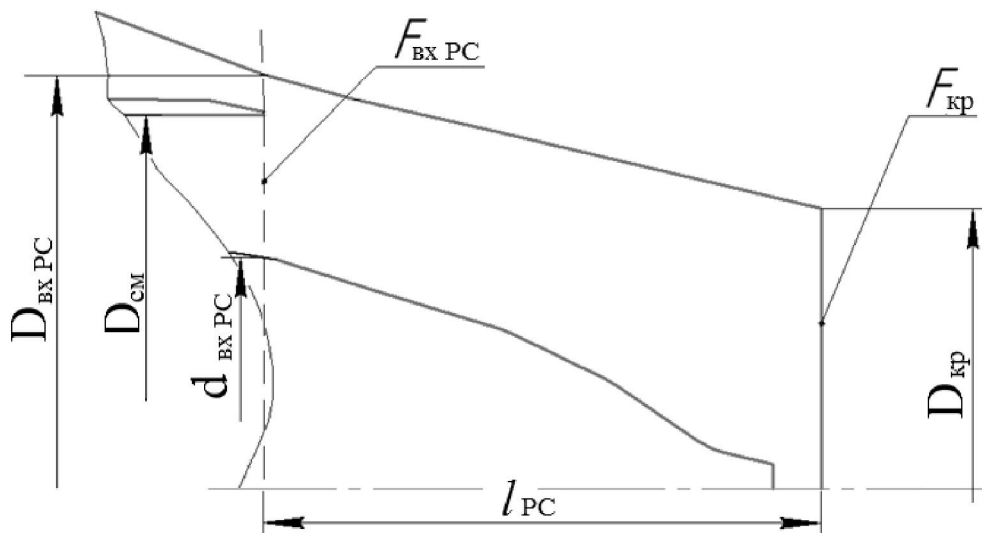


Рис. 4. Схема реактивного сопла

Коэффициент гидравлического сопротивления реактивного сопла складывается из коэффициента гидравлического сопротивления трения ( $\zeta_{TP}$ ) и коэффициента гидравлического сопротивления конфузора ( $\zeta_M$ ):

$$\zeta_{PC} = \zeta_M + \zeta_{TP}. \quad (11)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления трения определяется по формуле:

$$\zeta_{TP} = \varphi_0 \sigma_0 d^*, \quad (12)$$

где  $\varphi_0 = f(l_{PC}; D_T) = 0,62$ ;  $\sigma_0 = 1,43 - 1,3 \frac{F_{кр}}{F_{вх PC}}$ ;  $d^* = \left(1 - \frac{F_{кр}}{F_{вх PC}}\right)^2$ .

Коэффициент гидравлического сопротивления конфузора определяется по формуле:

$$\zeta_M = (-0,0125 \left( \frac{F_{кр}}{F_{вх\ PC}} \right)^4 + 0,0224 \left( \frac{F_{кр}}{F_{вх\ PC}} \right)^3 - 0,00723 \left( \frac{F_{кр}}{F_{вх\ PC}} \right)^2 + 0,00444 \left( \frac{F_{кр}}{F_{вх\ PC}} \right) - 0,00745) \cdot (\alpha_p^3 - 2\pi\alpha_p^2 - 10\alpha_p), \quad (13)$$

где  $\alpha_p$  – угол сужения конфузора, рад.

Варьируя значения приведённой скорости  $\lambda_{см}$  на входе в реактивное сопло, рассчитывается докритическая характеристика (рис. 5). Границей данной характеристики является скорость  $\lambda_{см}$ , при которой скорость в критическом сечении сопла равна скорости звука.

- Расчёт характеристик реактивного сопла на закритическом режиме

Коэффициент скорости определяется по формуле (10). Коэффициент восстановления полного давления реактивного сопла определяется по формуле:

$$\sigma_{PC}^* = \frac{P_{см}^* - \Delta P_{PC}^*}{P_{см}^*}, \quad (14)$$

где  $P_{см}^*$  – давление на входе в реактивное сопло  $P_{см}^* = P_h \pi_{PC}^*$ , Па;  $P_h = 101324$  Па – атмосферное давление;  $\Delta P_{PC}^*$  – гидравлическое сопротивление реактивного сопла, Па.

Гидравлическое сопротивление реактивного сопла определяется по формуле:

$$\Delta P_{PC}^* = \zeta_{PC} \frac{\rho_{см} V_{см}^2}{2}, \quad (15)$$

где  $\zeta_{PC}$  – коэффициент гидравлического сопротивления реактивного сопла, определяется по формуле (11);  $\rho_{см}$  – плотность газа на входе в реактивное сопло, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{см}$  – скорость газа на входе в реактивное сопло, м/с, определяется при помощи газодинамической функции  $\pi(\lambda)$ .

Варьируя значения степени понижения давления в сопле  $\pi_{PC}^*$  рассчитывается закритическая характеристика (рис. 5). Границами данной характеристики является степень понижения давления, при которой скорость в критическом сечении сопла равна скорости звука и эксплуатационным диапазоном давлений.

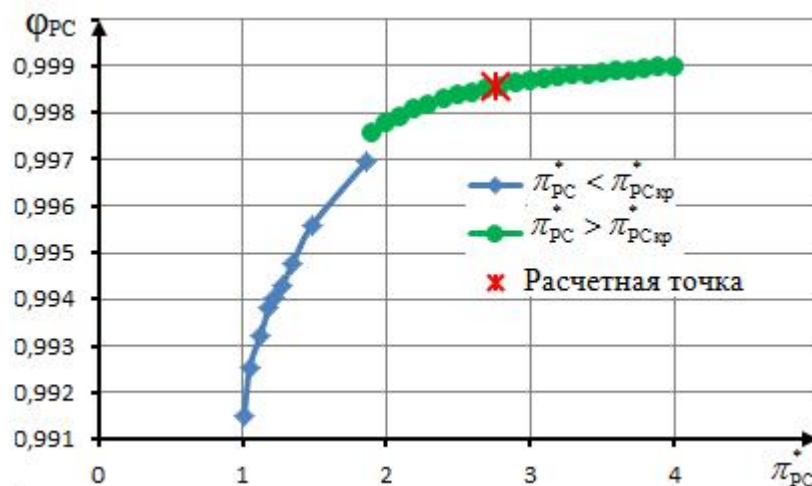


Рис. 5. Характеристика реактивного сопла

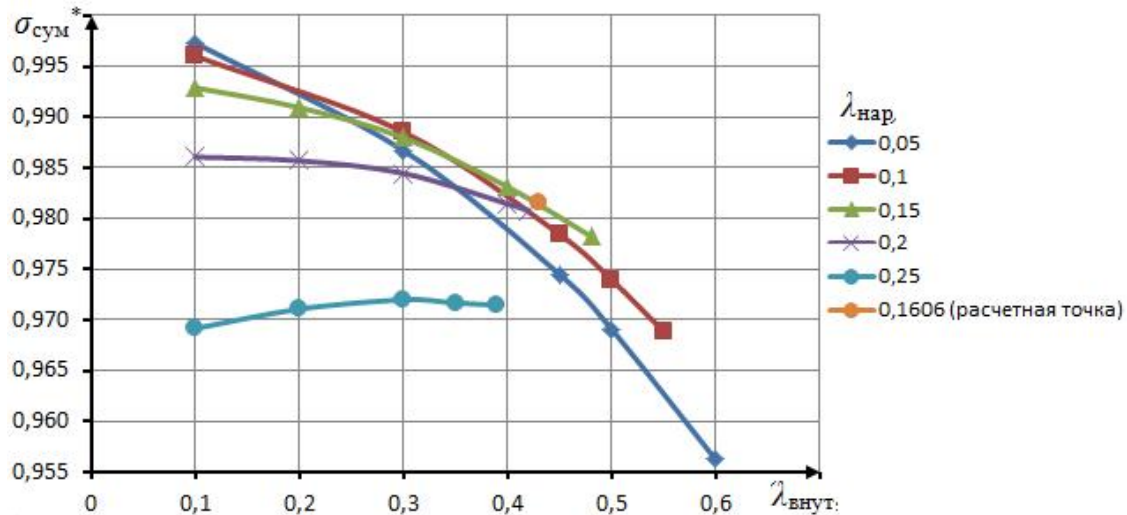
Как видно из рис. 5 с увеличением степени понижения давления в сопле коэффициент скорости увеличивается.

### Расчёт суммарной характеристики выходного устройства

Для построения суммарной характеристики необходимо воспользоваться формулой (16):

$$\sigma_{\text{сум}}^* = \sigma_{\text{см}}^* \cdot \sigma_{\text{РС}}^* \quad (16)$$

На рис. 6 приведена суммарная характеристика выхлопного тракта двигателя АЛ-55И.

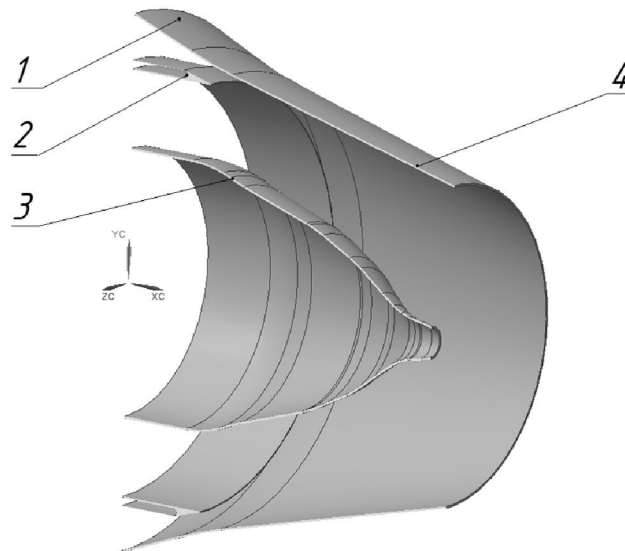


**Рис. 6.** Суммарная характеристика выхлопного тракта двигателя АЛ-55И вида  $\sigma_{\text{сум}}^* = f(\lambda_{\text{внут.}}, \lambda_{\text{нар}})$

Как видно из рис. 6, с возрастанием скорости на входе в выхлопной тракт, сопротивление тракта увеличивается. С ростом разницы скоростей во внутреннем и наружном контурах сопротивление тракта также увеличивается. В отличие от характеристики смесителя (рис. 3) с возрастанием скорости сопротивление тракта увеличивается быстрее.

### Расчёт характеристик смесителя в ANSYS CFX

Для расчёта выхлопного тракта в программе ANSYS CFX, в CAD системе NX построена 3D твердотельная геометрическая модель камеры смешения и реактивного сопла (рис. 7).



**Рис. 7.** Общий вид камеры смешения и реактивного сопла, где 1 – корпус термодар; 2 – кольцо смесителя; 3 – кок; 4 – реактивное сопло

На рис. 8 приведена схема расчётной области выходного тракта АЛ-55И. Для экономии времени расчёта, используется часть модели – сектор в  $20^\circ$ .

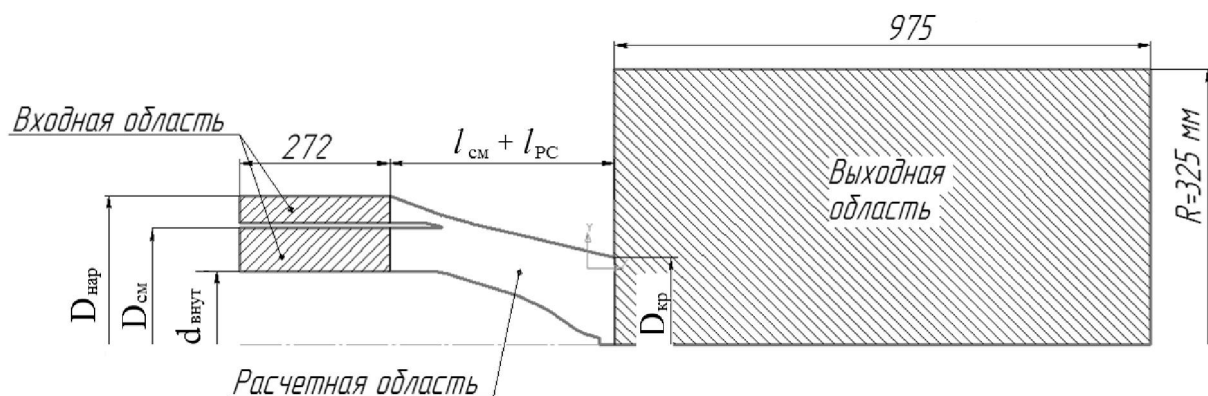


Рис. 8. Схема расчётной области

На рис. 9 представлена конечно-элементная сетка построенная на данной модели. На рис. 10 отображена модель с присвоенными именами поверхностей. Количество элементов на данной модели составило – 562 396.

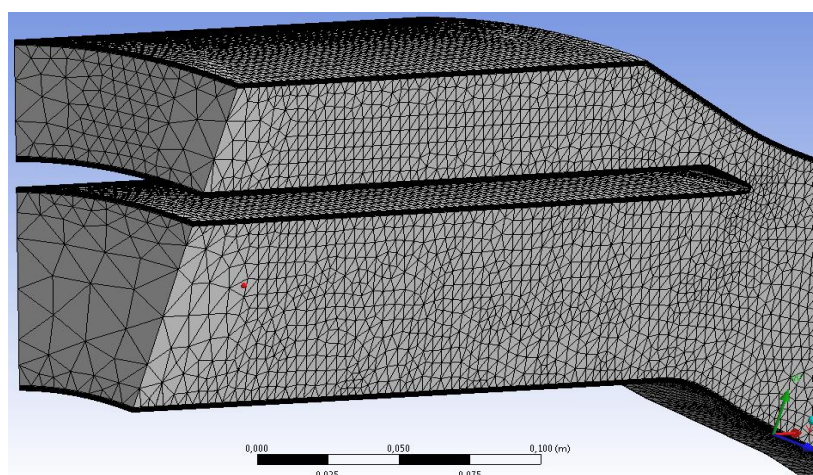


Рис. 9. Конечно-элементная сетка

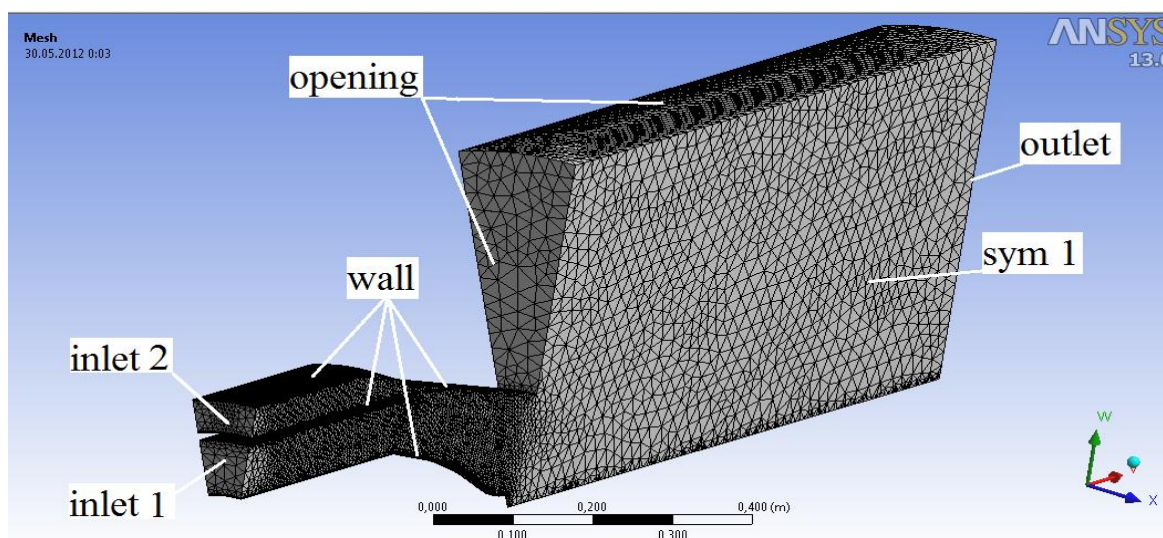


Рис. 10. Схема присвоения имен поверхностям



Модель с граничными условиями для расчета представлена на рис. 11. По наружному контуру (inlet 2) течет воздух с полной температурой  $T_B^* = 402,07$  К – температура воздуха на выходе из вентилятора, с полным давлением на выходе из вентилятора  $P_{нар}^* = 283710$  Па. По внутреннему контуру (inlet 1) течет газ с полной температурой  $T_{внут}^* = 998,65$  К (температура газа на выходе из турбины низкого давления) и с давлением  $p_{внут}^* = 285241$  Па (давление на выходе из турбины низкого давления).

В CFX-Pre задаются следующие граничные условия (физика рабочей среды):

- Для наружного контура (inlet 2):
  - полная температура на входе  $T_{нар}^* = 402,07$  К;
  - полное давление  $p_{нар}^* = 283710$  Па;
  - расход воздуха (с учетом сектора  $20^\circ$ )  $G_{нар} = 0,5844$  кг/с.

Рабочее тело – Air Ideal Gas, с теплоёмкостью  $c_p = 1004,5$  Дж·кг/К, вязкость и теплопроводность среды в зависимости от температуры задаются при помощи формулы Сатерленда.

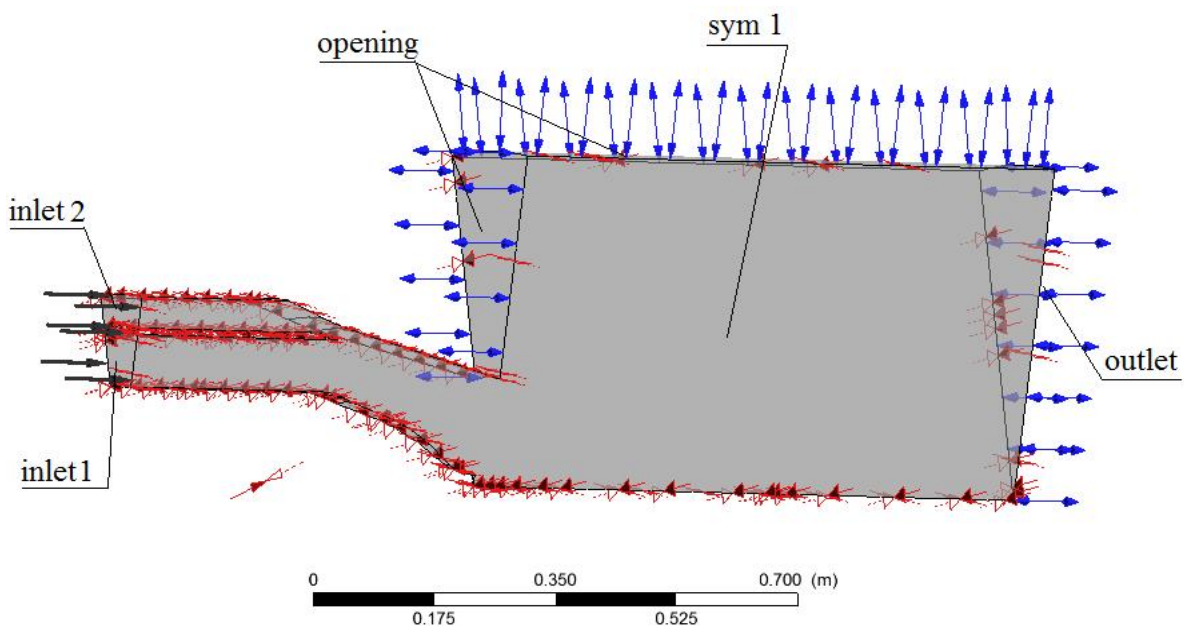
- Для внутреннего контура (inlet 1):
  - полная температура на входе  $T_{внут}^* = 998,65$  К;
  - полное давление  $P_{внут}^* = 285241$  Па;
  - расход воздуха (с учетом сектора  $20^\circ$ )  $G_{внут} = 1,0883$  кг/с;

Рабочее тело – Gas с теплоёмкостью  $c_p = 1161$  Дж·кг/К, вязкость и теплопроводность среды в зависимости от температуры задаются при помощи формулы Сатерленда.

- На выходной области (opening, outlet) задаем параметры окружающей среды:
  - избыточное давление 0 Па;
  - температура окружающей среды 273 К.

Модель с граничными условиями представлена на рис. 11.

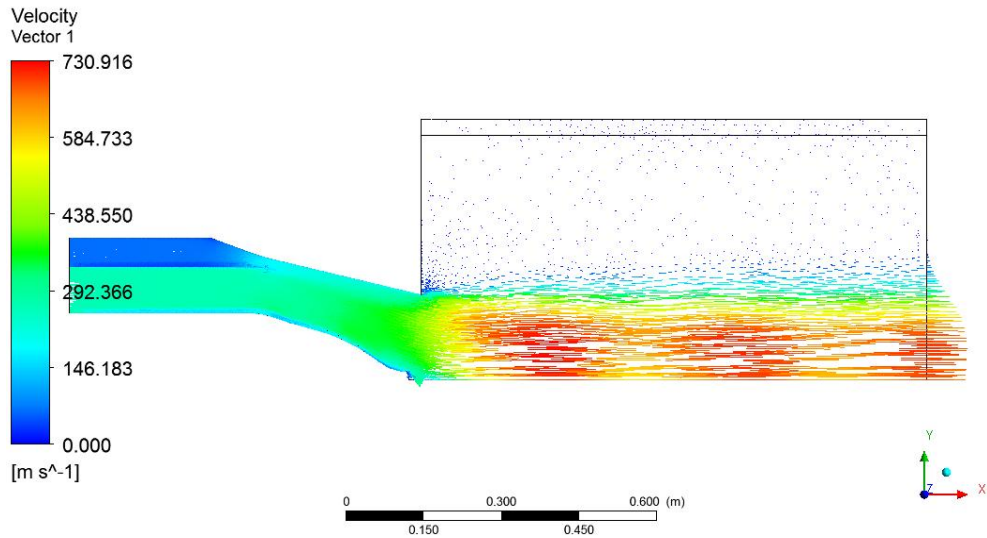
- На боковых гранях сектора (sym 1, sym 2) задаем граничные условия симметрии.



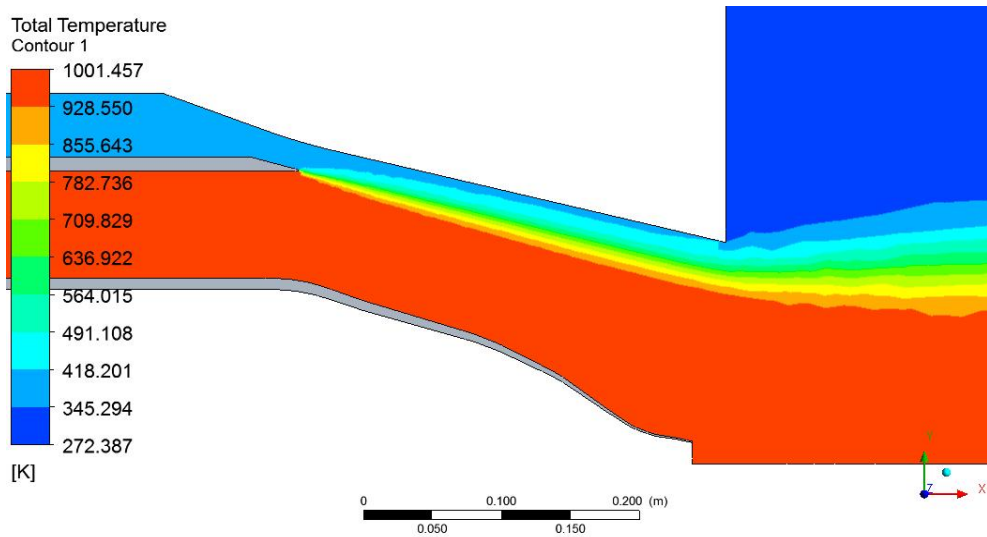
**Рис. 11.** Модель с граничными условиями

Расчёты были остановлены при достижении основных параметров сходимости порядка  $10^{-4}$ .

На рис. 12 – 19 приведены некоторые результаты расчётов.



**Рис. 12.** Векторные поля скоростей



**Рис. 13.** Распределение полной температуры

На рис. 14 приведена характеристика выхлопного тракта АЛ-55И с результатами 3D численного моделирования.

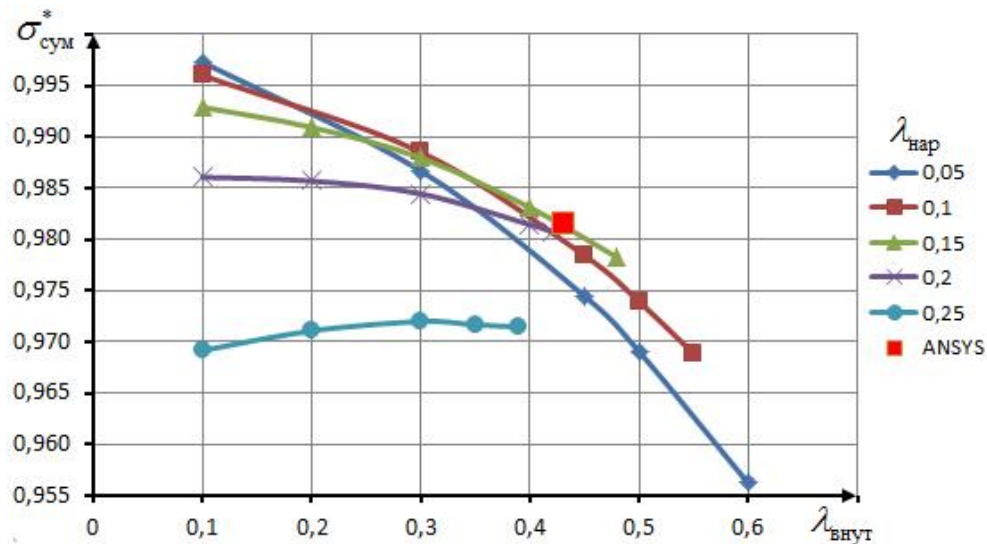


Рис. 14. Суммарная характеристика выхлопного тракта  $\sigma_{сум}^* = f(\lambda_{нар}, \lambda_{внут})$

Как видно из рис. 14 результаты расчётов по инженерным методикам и результаты 3D термогазодинамических расчётов, достаточно хорошо совпадают. Погрешность моделирования в ANSYS CFX по сравнению с инженерными методиками расчёта составляет 0,08 %. Применяя результаты данной работы при имитационном моделировании двигателя можно существенно повысить адекватность расчётов (например, при расчёте высотно-скоростных и дроссельных характеристик), что позволит ещё на этапе проектирования оптимизировать конструкцию и параметры новых изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е. Получение и использование характеристик основных узлов авиационного газотурбинного двигателя в системе имитационного моделирования DVIG\_OTLADKA. / Журнал «Молодой ученый», Чита, 2011. - №6 (29). – С. 20-24.
2. Ахмедзянов Д.А., Кривошеев И.А. Кишалов А.Е. Система имитационного моделирования DVIG\_OTLADKA. / Свидетельство об официальной регистрации, Роспатент, №2009610324 Москва. – 2009.
3. И.Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под общей редакцией М.О. Штейнберга. – 3-е издание, перераб. и доп., М: Машиностроение, 1992 г. – 672 с.
4. Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е. Моделирование авиационного ГТД совместно с элементами его автоматики / Молодежный Вестник УГАТУ Ежемесячный научный журнал № 2 (3) / Уфа: УГАТУ. - 2012. с.54-60.
5. Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е. Повышение эффективности процесса отладки форсажных режимов при испытаниях ТРДДФ / Вестник УГАТУ, Уфа, 2012. Т.16, №2 (47). - С.87-97.
6. Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е. Комплексный подход к совместному моделированию и исследованию рабочих процессов авиационных ГТД и его автоматики / Журнал «Молодой ученый», Чита, 2011. - Т1. №10 (33). - С. 16-21.

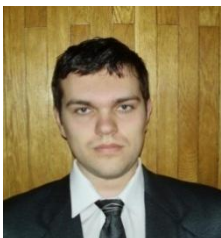
Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-30.2011.8.

## ОБ АВТОРАХ



**Маркина Ксения Васильевна**, дипл. инж. по авиац. теплотехнике и теплоэнергетики (УГАТУ, 2012). Исследования в области процессов, протекающих в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования.

e-mail: [markina\\_kseniya@mail.ru](mailto:markina_kseniya@mail.ru)



**Кишалов Александр Евгеньевич**, ст. преп. каф. авиац. двигателей и каф. авиац. теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2006). К.т.н. по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2010). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неустановившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД.

Тел. (347)2737954, e-mail: [kishalov@ufanet.ru](mailto:kishalov@ufanet.ru)

УДК 621.9.21

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ДИНАМИКУ ФОРМИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ИНСТРУМЕНТОМ И ЗАГОТОВКОЙ

**Постнов В. В., Старовойтов С. В.**

Изучение процесса износа инструмента являлось предметом многих исследований, в результате которых накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал. Износ режущего инструмента принято классифицировать по следующим видам: адгезионно-усталостный, абразивный, химико-абразивный, диффузионный и окислительный. В определенных условиях может преобладать один из этих видов износа, а в других — действовать одновременно несколько видов [1].

Адгезионно-усталостный износ обусловлен непрерывным образованием и разрушением адгезионных связей в зоне контакта, которые приводят к циклическому нагружению тел трения и, как следствие, усталостному разрушению их поверхностных слоев. Эта идея впервые рассматривается в работах И.В. Крагельского [2], а в работах Т.Н. Лоладзе она получила развитие применительно к процессу резания [1].

В немалой степени усталостная прочность поверхностных слоев зависит от значения силы адгезии инструментального и обрабатываемого материалов.

В работах Макарова А.Д. [3] заложены основы выбора оптимального материала режущего инструмента для конкретного обрабатываемого на основе физико-механических свойств и параметров процесса резания.

Адгезия возникает в результате молекулярного взаимодействия двух тел. Характер молекулярных сил, вызывающих адгезию, различен. Силы взаимодействия между поверхностями твердых тел могут иметь физическую природу (Ван дер Ваальсовы силы) или химическую природу (хемосорбция), например, металл-полимер. Между металлами возникают металлические связи [2]. Как показано в работе [4], процесс схватывания металлов под нагрузкой можно представить в виде последовательности двух стадий: пластического смятия неровностей и структурной подстройки, причем лимитирующей является первая стадия. Таким образом, на формирование адгезионной связи затрачивается определенное время. Сейчас в металлообработке наблюдаются тенденции к

значительному увеличению скоростей съема металла и переход к высокоскоростному резанию. Как следствие, уменьшается продолжительность взаимодействия материалов инструмента и заготовки в зоне упругого контакта.

Оценив время, необходимое для формирования адгезионного взаимодействия, и продолжительность нахождения участков резца и обрабатываемой детали в вероятном для схватывания контакте, можно судить о протекании адгезионно-усталостного износа и его интенсивности. Задачей данной работы является определение возможности динамического управления адгезионными процессами при резании металлов, обуславливающими силу резания и износ инструмента.

### Оценка времени формирования единичной адгезионной связи

На поверхности твердого тела атомы или молекулы находятся в неуравновешенном состоянии. Оно характеризуется поверхностной энергией, которая может иметь значительную величину, для металлов – порядка 2000-4000 эрг/см<sup>2</sup>. При соединении двух поверхностей в точках реального контакта существенная доля поверхностной энергии высвобождается. Так, например, поверхностная энергия на границе металл-воздух составляет примерно 10<sup>3</sup> эрг/см<sup>2</sup>, тогда как в зоне контакта она составляет не более 20-30 эрг/см<sup>2</sup> вследствие некоторой дезориентировки контактирующих зерен. Однако для осуществления контакта необходимо наличие площади соприкосновения. Образование этой площади для твердых тел требует затраты значительной работы, обычно на порядок большей, чем высвобождаемая поверхностная энергия.

Для инструмента и заготовки характерна металлическая связь [2], а именно – образование общих электронных облаков при сближении контактирующих материалов на достаточное для этого расстояние. Можно предположить, что процесс формирования адгезионной связи между инструментом и заготовкой при резании сходен по своей природе с аналогичным процессом при сварке двух различных материалов. Существующие в настоящее время способы сварки можно разделить по технологическим признакам на две укрупненные группы: сварка плавлением и сварка давлением. Ко второй группе относят способы сварки, при которых металл непосредственно в зоне шва может иметь температуру ниже или выше точки плавления, но сваривание происходит при действии на соединение статического, ударного или даже высокочастотного вибрационного давления. К этой же группе относится сварка трением, наиболее близкая по своей природе к лезвийной обработке. При резании металлов также происходит сильный нагрев контактной зоны, обусловленный значительным силовым взаимодействием и относительным движением трущихся тел. Все это дает предпосылки для проведения аналогии между процессами, протекающими при сварке трением и при обработке металлов резанием.

Для приближенного расчета диффузионного движения частиц кристаллической решетки внутри целого металла Я.И. Френкель в работе [5] предложил формулу (1), по которой определяется время оседлой жизни атома перед его прыжком в соседнюю вакансию.

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{\Delta U + U}{k \cdot \theta}}, \text{ с.} \quad (1)$$

где  $\tau$ , с – время оседлой жизни атома перед его прыжком в соседнюю вакансию,

$\tau_0$ , с – период собственного колебания атома в кристаллической решетке, численно приблизительно равный для всех атомов всех металлов 10<sup>-13</sup> с;

$\Delta U + U$ , Дж – энергия активации самодиффузии атомов данного металла;

$k \cdot \theta$ , Дж – энергия, сообщаемая металлу в исследуемой зоне при нагреве его до температуры  $\theta$ ;

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ , Дж/К – постоянная Больцмана.

Так как сваривание – это в конечном счете процесс сначала полного разрушения всех связей и затем организации новых, то вполне логично в показатель степени ввести именно значение энергии связи. Однако, формула Я.И. Френкеля не учитывает введения в контакт механической энергии. Эту энергию также нужно принять в расчет. Тогда время формирования сварного соединения  $t_{\phi}$  определяется по формуле [6]:

$$t_{\phi} = \tau_0 \cdot e^{\frac{U_c \cdot \sigma_{сд}}{k \cdot \theta \cdot \sigma_A}}, \text{ с.} \quad (2)$$

где  $U_c$ , Дж – энергия связи металлов при температуре  $\theta$  в зоне свариваемого контакта;

$\sigma_{сд}$ , МПа – сопротивление деформации наиболее мягкого металла при данной температуре  $\theta$  (предел текучести);

$\sigma_A$ , МПа – давление на номинальной площади контакта.

Исходя из представления о подобии процессов контактного взаимодействия материалов при резании и сварке трением, формулы (1) и (2) можно применить для оценки времени схватывания инструмента и заготовки. — —

В работах Н.В. Талантова [7] показано, что при стружкообразовании напряжения на главной режущей кромке превышают предел прочности обрабатываемого материала, а по передней и задней поверхностям участок контакта разделяется на зоны пластического и упругого контакта. Для зоны упругого контакта справедлива формула (2). В свою очередь для зоны пластического контакта в формуле (2) имеет место допущение, что  $\sigma_{сд}/\sigma_A \approx 1$ . Поэтому для участка с пластическим контактом инструмента и заготовки справедлива формула (1).

### **Оценка времени существования локального контакта при резании**

Движения формообразования принято разделять на главное и на движение подачи. Главное движение имеет значительно большую скорость по сравнению со скоростью движения подачи и, как правило, определяет производительность. Появление новых электроприводов позволяет развивать значительно большие скорости резания, нежели скорости традиционной обработки. Резание материалов на скоростях, в несколько раз превосходящих ранее используемые, получило название высокоскоростной обработки (*HSC - High Speed Cutting*).

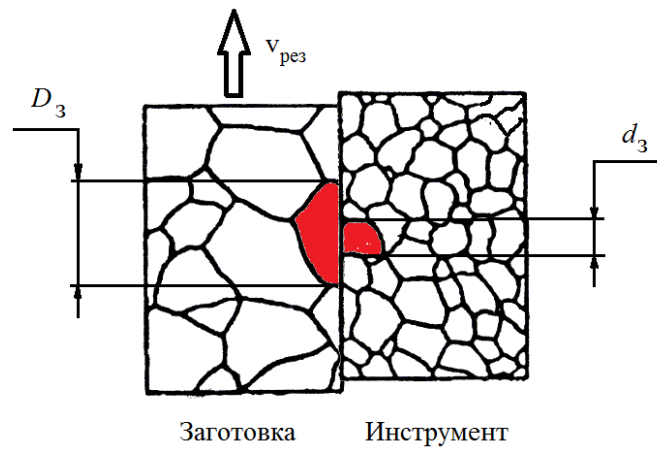
Многokратное увеличение скорости резания может привести к тому, что время взаимодействия материалов инструмента и заготовки в зоне упругого контакта будет соизмеримо с временем формирования связи между ними, оцениваемым по формуле (2). Внешнее трение в зоне упругого контакта осуществляется на отдельных пятнах контакта размером 0.1-30 мкм, которые возникают в результате деформации неровностей. В этих пятнах контакта формируются адгезионные «мостики сварки» [2].

Наиболее оптимальные условия для образования «мостиков сварки» возникают во время взаимодействия пары зерен микроструктуры на контактной поверхности инструментального и обрабатываемого материалов. Это объясняется тем, что в начале формирования локального контакта инструмента и заготовки происходит стадия структурной подстройки атомов, описанная в [4] и предшествующая образованию адгезионной связи. При относительном движении поверхностей инструментального и обрабатываемого материалов пары зерен рекомбинируют, и структурная подстройка атомов происходит снова. Именно поэтому в качестве времени существования локального контакта целесообразно принять время соприкосновения одной пары зерен инструмента и заготовки. Это проиллюстрировано на рис. 1.

Таким образом, выражением для определения времени взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов в зоне контакта является формула:

$$t_k = \frac{D_3 + 2 \cdot d_3}{v_{рез} \cdot 10^6 \cdot 60}, \text{ с}, \quad (3)$$

где  $D_3$ , мкм – средний диаметр зерна обрабатываемого материала;  
 $d_3$ , мкм – средний диаметр зерна инструментального материала;  
 $v_{рез}$ , м/мин – скорость резания.



**Рис. 1.** . Схема локального контакта инструмента и заготовки

При сравнении времени формирования «мостиков сварки» между инструментальным и обрабатываемым материалами, рассчитанного по формуле (2), и времени существования локального контакта в процессе резания, рассчитанного по формуле (3), возможны следующие ситуации:

- 1)  $t_\phi < t_k$  – в пятнах контакта происходит формирование «мостиков сварки» между инструментом и заготовкой;
- 2)  $t_\phi > t_k$  – формирование «мостиков сварки» между инструментом и заготовкой в пятнах контакта маловероятно.

В зоне пластического контакта происходит вязкое течение материала стружки с образованием так называемой «застойной зоны», скорость скольжения на которой значительно меньше, чем в зоне упругого контакта. Поэтому в области пластического контакта вероятность формирования адгезионных «мостиков сварки» намного выше.

**Динамика формирования единичной адгезионной связи в зависимости от температуры резания, модифицированной по скорости деформации приконтактного слоя заготовки**

Известно, что температура в наибольшей степени зависит от скорости резания и может быть представлена в виде эмпирической зависимости [1, 7]:

$$\theta = C_v \cdot v_{рез}^x \cdot s^y \cdot t^z \quad (4) \text{ где}$$

$C_v$  – коэффициент, учитывающий материал заготовки, инструмент и т.д.;

$s$  – подача резания;

$t$  – глубина резания;

$x > y > z$  – показатели степени при элементах режима резания.

Если построить характерные графики для термоактивационной модели формирования адгезионного контакта по выражениям (1) и (2) и для модели существования локального контакта инструмента и заготовки по выражению (3), то их взаимосвязь можно проследить на основании зависимости температуры от скорости резания, представленной выражением (4). Данная взаимосвязь отражена на рис. 2. Как

видно из рис.2, время формирования адгезионного контакта  $t_\phi$  и время существования локального контакта инструмента и заготовки  $t_k$  убывают с ростом температуры  $\theta$ . При малых скоростях резания  $t_\phi \ll t_k$ . С увеличением температуры  $\theta$  время формирования адгезионного контакта  $t_\phi$  асимптотически стремится к  $\tau_0 \cong 10^{-13}$  с, тогда как время существования локального контакта  $t_k$  стремится к нулю. На основании этих рассуждений можно предположить существование такой температуры  $\theta$ , при которой  $t_\phi = t_k$ .

Заломон [8] показал экспериментальную зависимость температуры от скорости резания для фрезерования. В определенном интервале скоростей температура возрастала настолько, что резание было практически невозможно вследствие мгновенного изнашивания инструмента. В областях, лежащих ниже и выше этого интервала скоростей, температура уменьшалась и резание становилось практически осуществимым. Объяснением этого факта может служить эффект изменения масштаба температуры в зависимости от скорости деформации материала. Он заключается в том, что при увеличении тепловыделения с увеличением скорости резания возникает эффект снижения механической прочности деформируемого материала, описанный Макгрегором и Фишером [1], что может привести к снижению температуры. Таким образом, на рис.3 ось температуры при увеличении скорости начинает «сжиматься», и речь идет уже о температуре в зоне контакта, модифицированной по скорости деформации.

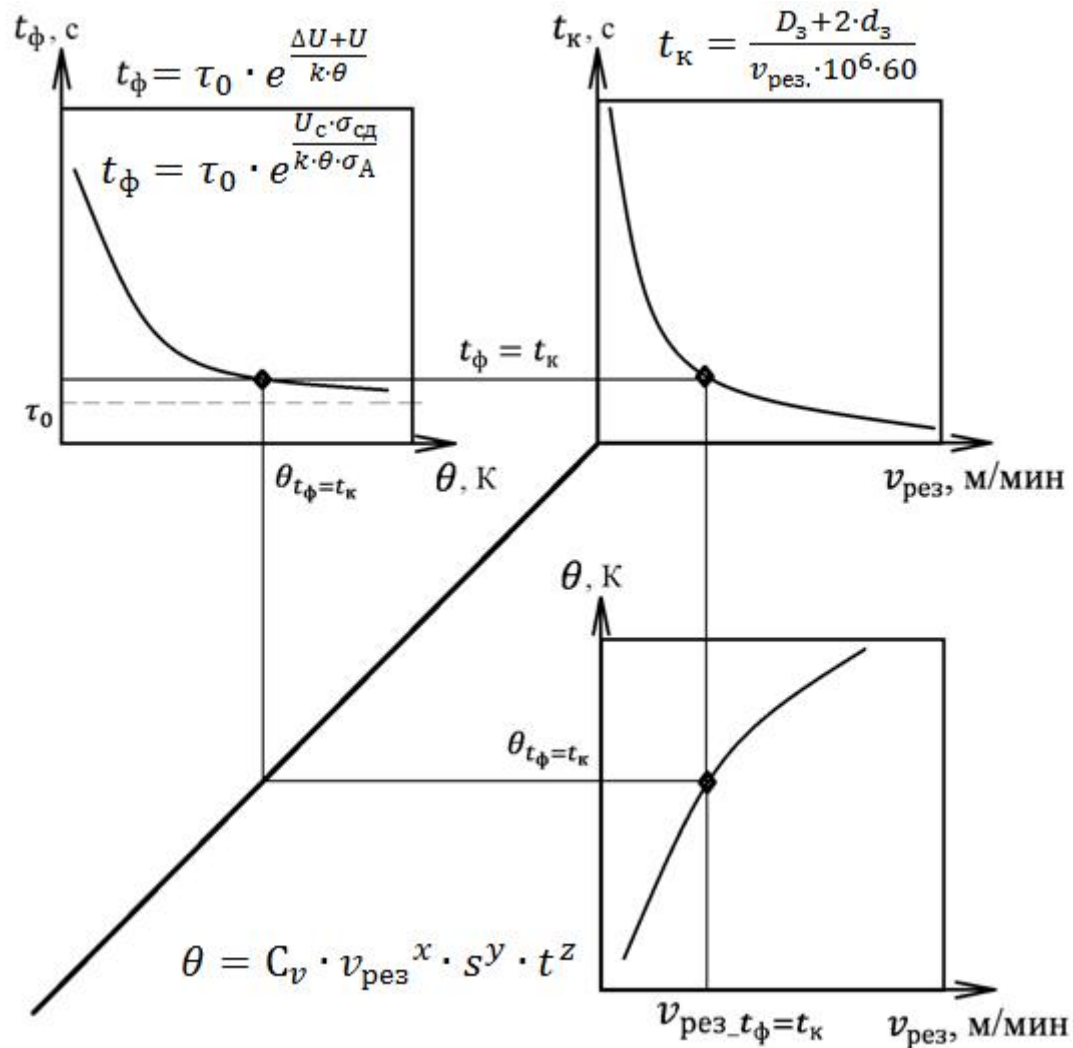
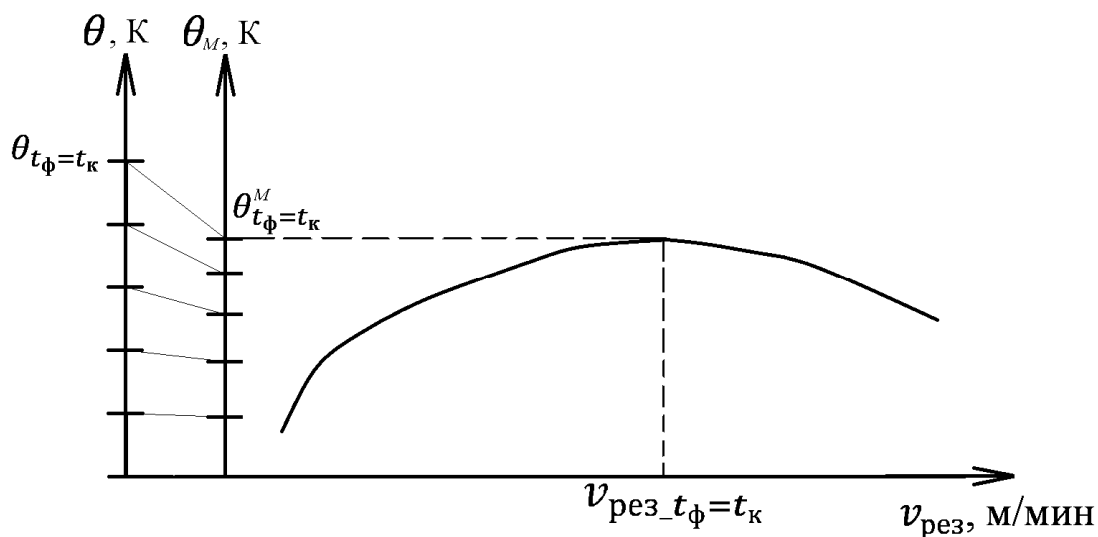


Рис. 2. Взаимосвязь термоактивационной модели формирования адгезионного контакта и модели существования локального контакта инструмента и заготовки





**Рис. 3.** Эффект масштаба температуры в зависимости от скорости резания на кривой Заломона.

Как показано на рис.3, модифицированная температура  $\theta_M$  является функцией температуры и скорости резания и представляет собой обобщенный показатель, характеризующий термодинамическое состояние контакта инструмента и заготовки.

Обобщенной точкой с  $\theta_{t\phi=t_k}$  при  $v_{рез\_t\phi=t_k}$  является модифицированная температура  $\theta_{t\phi=t_k}^M$ , которая служит экстремальной точкой графика зависимости температуры от скорости резания, изображенного на рис.3. Она служит барьером, при переходе через который зависимости силы резания и интенсивности адгезионно-усталостного износа от модифицированной температуры будут менять свой характер.

Таким образом, определив значение  $\theta_{t\phi=t_k}^M$  для контактирующей пары материалов, можно определить температурно-скоростной уровень перехода от высокоскоростного к сверхвысокоскоростному резанию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Крагельский И. В., Любарский И. М., Гусяков А. А. и др. Трение и износ в вакууме. М., «Машиностроение». 1973., 216 с.
3. Макаров, А.Д. Оптимизация процессов резания – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
4. Гегузин Я. Е., Крагельский И. В., Парицкая Л. Н. О взаимном схватывании металлов при высоких температурах под давлением. – В сб.: О природе схватывания твердых тел. М., «Наука», 1968. с. 5-8.
5. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. Издание четвертое. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л., 1972, стр.424.
6. Кочергин К.А. Сварка давлением. – Ленинград: «Машиностроение», 1972г. 216 стр. Табл. 10. Илл. 106. Библ. 27 назв.
7. Талантов Н. В., Пузанов В. В. Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков – Ижевский механический институт, 1969г. – 290с.
8. С.Л. Salomon. Patentschrift №52594. 1931.

## ОБ АВТОРАХ



**Постнов Владимир Валентинович**, Зав. кафедрой «Мехатронные станочные системы». Дипл. инженер-механик (УАИ 1972), Д-р техн. наук по тех-гии и оборудов. механич. и физико-технической обр-ки (УГАТУ, 2005). Исследования в области физической оптимизации нестационарных процессов резания жаропрочных сталей и сплавов.

e-mail: [mss@ugatu.su](mailto:mss@ugatu.su)



**Старовойтов Семен Владимирович**, студент 5-го курса группы МХ-517 специальности «Мехатроника». Исследования в области динамики формирования адгезионной связи инструмента и заготовки.

e-mail: [stayer89@mail.com](mailto:stayer89@mail.com)

УДК 67.05

### ДИАГНОСТИКА ФРЕЗЕРНОГО ПОЛУАВТОМАТА 4ФСЛ-4Б ПО АНАЛИЗУ РАБОТАЮЩЕГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

**Нигматуллин Р. Г., Шмельков Д. А., Галимова И. Р., Шустер Л. Ш.**

#### ВВЕДЕНИЕ

Чаще всего выход из строя машин и оборудования обусловлен износом сопрягающихся поверхностей, при этом собственный ресурс материала конструкции не выработан.

Анализ работавшего масла позволяет предотвратить поломку станка, своевременно сигнализируя о наличии течей в системе охлаждения, разжижении масла и износе деталей.

Качество смазочного материала неизбежно ухудшается в процессе эксплуатации, что приводит к снижению его эксплуатационных показателей, уменьшению ресурса оборудования и загрязнению окружающей среды. Своевременная замена масла является необходимым условием сохранения работоспособности как для двигателя автомобиля, так для станков и другого оборудования.

Таким образом, своевременный контроль качества смазочного материала при эксплуатации техники является актуальной задачей.

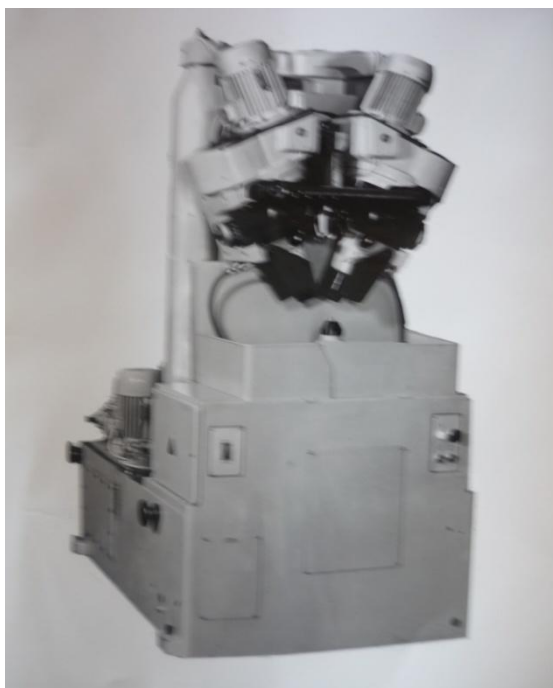
Целью данной работы является диагностика фрезерного полуавтомата модели 4ФСЛ-4Б.

Для достижения данной цели в работе проводится:

- 1) экспресс анализ масла И-40А;
- 2) измерение противоизносных свойств масла на четырехшариковой машине трения;
- 3) анализ СОЖ «Караидель-6».

#### 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНКА

Полуавтомат для фрезерования рабочих лопаток компрессора модели 4ФСЛ-4Б (рисунок 1) предназначен для обработки радиуса перехода пера к замку и косоугольного участка рабочих лопаток компрессора длиной до 270 мм, а также для фрезерования всего профиля пера и радиуса перехода рабочих лопаток компрессора длиной до 160 мм.



**Рис. 1.** Полуавтомат для фрезерования рабочих лопаток компрессора

Лопатка обрабатывается одновременно с обеих сторон методом узких поперечных строчек. Система копирования профиля – механическая по утолщенному копиру.

Условия эксплуатации полуавтомата 4ФСЛ-4Б должна соответствовать исполнению «У» категории 3 по ГОСТ 15150-69.

Для смазки необходимо применять следующие масла:

- жидкая смазка «И-40А» ГОСТ 20799-75;
- густая смазка «ЦИАТИМ 203» ГОСТ 8773-73.

## 2. ОПИСАНИЕ МАСЛА И-40А

Бесприсадочное индустриальное масло И-40А предназначено для использования в машинах и механизмах промышленного оборудования, условия работы которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел. Масло И-40А используют также в легко- и средненагруженных зубчатых передачах, направляющих скольжения и качения станков, и в других механизмах, где не требуются специальные масла. Масло И-40А изготавливают на основе дистиллятных и остаточных базовых масел [1].

Типичные характеристики масла И-40А приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Типичные характеристики масла И-40А**

Характеристики	Значение
Вязкость кинематическая при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	65,43
Кислотное число, мг КОН/г	0,004
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,081
Температура вспышки, °С	222
Температура застывания, °С	- 15
Зольность, %	0,03
Цвет по колориметру ЦНТ, ед	1,5
Массовая доля серы, %	0,75

## 3. ОХЛАЖДЕНИЕ СТАНКА

На станке имеется специальный узел для подачи охлаждающей жидкости

(эмульсия) к режущему инструменту.

Состоит из бака емкостью 80 литров (специальный отсек подставки) со смонтированной в нем электропомпой ПА-22. Для подачи эмульсии от помпы к фрезам проложены два трубопровода со встроенными кранами. Сбор эмульсии в бак происходит через сливную горловину, находящуюся в подставке полуавтомата.

### 3.1. ОПИСАНИЕ СОЖ «КАРАИДЕЛЬ-6»

Смазочно-охлаждающая жидкость «Караидель-6» по ТУ 0258-003-01699574 – это концентрат содержащий минеральные масла, эмульгатор, ингибитор коррозии, противозадирную и антипенную присадки, бактерицид и другие добавки, придающие рабочему раствору СОЖ вид мелко дисперсной эмульсии с необходимым набором эксплуатационных свойств.

СОЖ «Караидель-6» должна соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице 2.

Таблица 2

Нормы и требования к СОЖ «Караидель-6»

Наименование показателей	Норма	Метод испытания
1	2	3
Внешний вид	Густая маслянистая жидкость, коричневого цвета	ГОСТ6243
Запах	Специфический, неразделяющийся	Органолептический
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,90-1,10	ГОСТ 3900
Вязкость кинематическая при 50°С, сСт	30,0-80,0	ГОСТ 33
Стабильность при хранении	Выдерживает	ГОСТ6243
Внешний вид и цвет	Однородная жидкость, молочного цвета	Визуально
Коррозионная агрессивность	Выдерживает	ГОСТ 6243
рН эмульсии	9,0-9,8	ГОСТ 6243
Стабильность эмульсии после 24 часов	Выдерживает	ГОСТ 6243

СОЖ «Караидель-6» предназначена для применения в виде 2-8%-ой водной эмульсии для применения при обработке чугуна, простых, жаропрочных, инструментальных и нержавеющей сталей, цветных металлов и их сплавов.

### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ЧЕТЫРЕХШАРИКОВОЙ МАШИНЕ ТРЕНИЯ

Испытания проводились в лаборатории ХТЦ УАИ. Испытания смазывающих свойств показывают, в какой мере масло выполняет свои основные функции – уменьшает силу трения и предохраняет детали от износа. При испытаниях имитируются реальные условия режимов трения. На практике существует довольно много частных случаев смазывания и поэтому имеется относительно много методов испытаний смазочных свойств [2].

Оценка смазывающих свойств смазочных материалов (противозадирных, противоизносных и антифрикционных) на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (рисунок 2) проводится по ГОСТ 9490 [3].



**Рис. 2.** Общий вид четырехшариковой машины трения ЧМТ-1

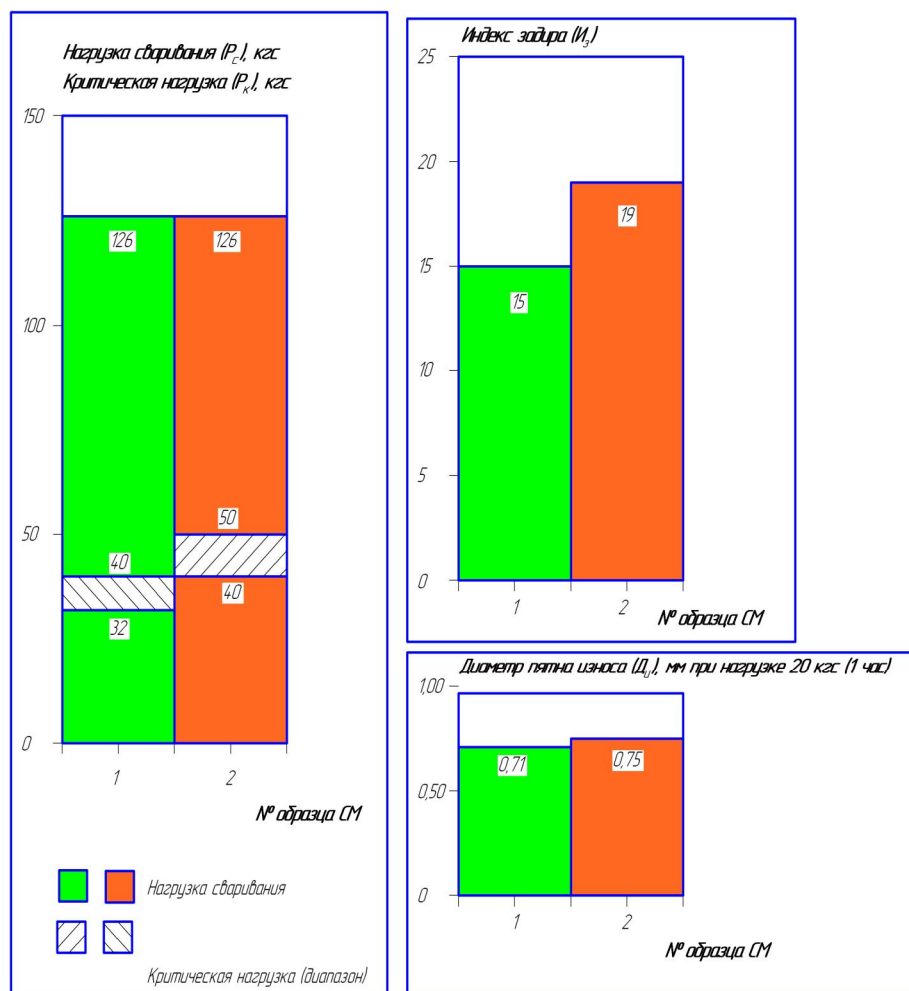
Результаты опыта приведены в таблице 3.

По результатам построены диаграммы (рисунок 3).

**Таблица 3**

**Результаты испытания масла И-40А на четырехшариковой машине трения**

Образцы смазочных материалов	ЧМТ-1			
	Нагрузка сваривания (P <sub>с</sub> ), кгс	Показатель износа (D <sub>и</sub> ), мм (20 кгс; 1 час)	Критическая нагрузка (P <sub>к</sub> ), кгс	Индекс задира (I <sub>з</sub> )
И-40А (новое)	126	0,71	32-40	15
И-40А (отработанное)	126	0,75	40-50	19



**Рис. 3.** Результаты испытаний на четырехшариковой машине трения:  
1- масло И-40 (новое);  
2- масло И-40 (отработанное)

В результате испытаний выявлено, что снизилась износостойкость отработанного масла И-40А, так как наблюдается увеличение пятна износа.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗА МАСЛА

Анализ масел проводился на базе предприятия ООО «Химмотолог».

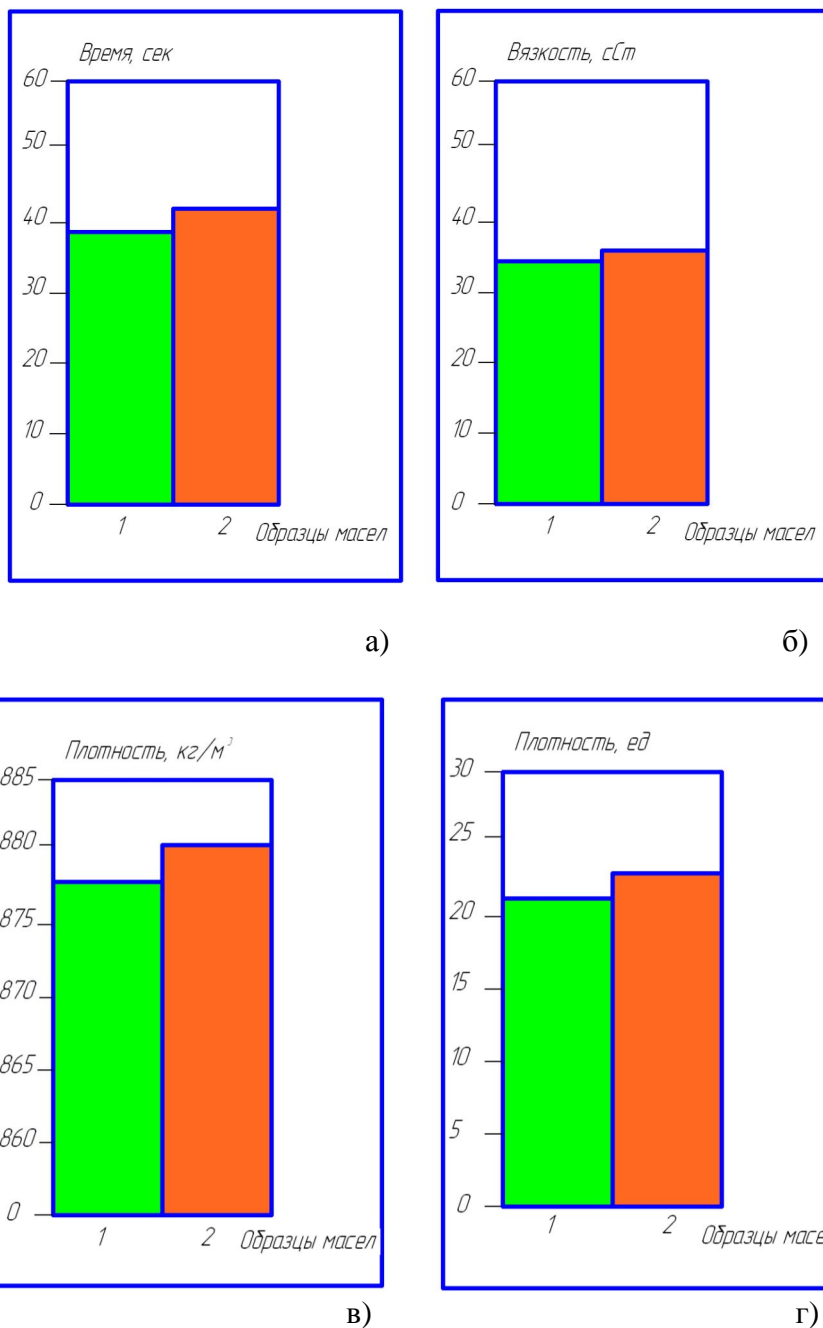
Результаты экспресс анализа образцов масла представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Результаты экспресс анализа образцов масел**

Образцы масла	Вязкость		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Коррозия на меди	Продукты износа
	На вискозиметре, сСт	На маслотестере, сек	На ареометре, кг/м <sup>3</sup>	На маслотестере, ед		
И-40А (нов.)	34,5	38,7	878	21	нет	-
И-40А (отр.)	36	41,8	880	23	нет	есть

Экспресс анализ [4] масла И-40А (рисунок 4) показал, что вязкость и плотность отработанного в течении 6000 часов масла увеличилась, что свидетельствует об ухудшении его свойств, но для такого периода работы является нормальным явлением. Были обнаружены также продукты износа размером 10-15 мкм, что свидетельствует о незначительном износе станка.



**Рис. 4.** Результаты экспресс-анализа масла:

а — вязкость на вискозиметре; б — вязкость на маслотестере;  
 в — плотность на ареометре; г — плотность на маслотестере;  
 1 — масло И-40 (новое); 2 — масло И-40 (отработанное)

## 6. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОЖ «КАРАИДЕЛЬ-6»

Анализ СОЖ проводился в химической лаборатории ХТЦ УАИ. Результаты по проведенным опытам приведены в таблице 5.

Таблица 5

## Результаты анализа СОЖ «Караидель-6»

Название эксперимента	Результаты по новой СОЖ	Результаты по отработанной СОЖ
Определение pH эмульсии	7,75	6,95
Определение стабильности эмульсии	Нестабильная	Нестабильная
Определение содержания масла утечки, % от 100 мл	-	6
Определение коррозионной агрессивности	Агрессивная	Агрессивная
Микробиологический контроль, балл	4	2
Определение концентрации эмульсии, % от 100 мл	11	11
Определение содержания механических примесей, % от 10 мл	-	0,05

Проведенный анализ технологической смазки показал, что как новая, так и отработанная СОЖ имеет плохое качество.

**ВЫВОДЫ**

В результате выполненной работы был проведен экспресс анализ работающего масла И-40А фрезерного полуавтомата 4ФСЛ-4Б с помощью маслотестера [4] по следующим показателям:

- 1) вязкость;
- 2) плотность;
- 3) наличие продуктов износа;
- 4) коррозионное воздействие.

Маслотестер [2] был установлен в картер станка и за короткое время были получены необходимые результаты.

Также взяты образцы нового и отработанного масла и проведены испытания по тем же показателям в лаборатории. В результате выяснили, что вязкость отработанного масла увеличилась по сравнению с новым, но для 6000 часов работы это нормальный показатель. Для полноты исследований были проведены испытания масла на четырехшариковой машине трения, что выявило уменьшение износостойкости отработанного масла, но в допустимых значениях. Поэтому рекомендуется увеличить ресурс работы масла до 7000 часов.

Анализ технологической смазки показал, что как новая, так и отработанная СОЖ обладают плохим качеством (низкое pH эмульсии, нестабильность и высокая коррозионная агрессивность). Вследствие этого рекомендуется усилить входной контроль новой СОЖ и не допускать попадания некачественной СОЖ в станок.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. [www.tnk-oil.ru](http://www.tnk-oil.ru).
2. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника (износ и безызносность). – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
3. **Шолом В.Ю., Казаков А.М., Тюленев Д.Г.** Методы оценки эффективности технологических смазочных материалов для процессов металлообработки // Приводная



техника. – 2004. – № 1. – С. 5-12.

4. **Нигматуллин Р.Г. и др.** Патент на изобретение РФ № 2392607, G01N11/02, 20.06.2010.

## ОБ АВТОРАХ



**Нигматуллин Ришат Гаязович**, профессор кафедры оборудования и технологии сварочного производства. Дипломированный инженер (УНИ, 1974). Докт. техн. наук (УГНТУ, 1999). Иссл. в обл. нефтепереработки и химмотологии.



**Шмельков Денис Александрович**, аспирант кафедры основ конструирования механизмов и машин. Дипломированный инженер (УГАТУ, 2011). Готовит канд. диссерт. в обл. динамической экспресс-диагностики трибосопряжений.



**Галимова Ирина Рифхатовна**, студентка 5 курса (УГАТУ, гр. РМП-514), кафедры оборудования и технологии сварочного производства.



**Шустер Лёва Шмульевич**, профессор кафедры основ конструирования механизмов и машин. Дипломированный инженер (УАИ, 1962). Докт. техн. наук (ГАНГ им. Губкина, 1991). Иссл. в обл. триботехники.

УДК 620.9

### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РФ И ОЦЕНКА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Мураева М. А., Усов Д. В., Ахмедзянов Д. А., Горюнов И. М.**

В настоящее время по данным Министерства Энергетики электроэнергетический комплекс России включает около 600 электростанций общей установленной мощностью 218 145,8 МВт, единичная мощность которых свыше 5 МВт. Установленная мощность действующих электростанций по типам генерации имеет следующую структуру: тепловые электростанции 68,4%, гидравлические – 20,3%, атомные – около 11,1 %. [5].

Наибольшее развитие и распространение в России получили тепловые электростанции общего пользования, работающие на органическом топливе (газ, уголь),

преимущественно паротурбинные. В настоящий момент основной задачей развития тепловой генерации является обеспечение технического перевооружения и реконструкции действующих электростанций, а также ввод новых генерирующих мощностей с использованием передовых технологий в производстве электроэнергии.

Второе место по доле выработки электроэнергии в РФ занимают гидроэлектростанции. Гидроэнергетика предоставляет системные услуги (частоту, мощность) и является ключевым элементом обеспечения системной надежности Единой Энергосистемы страны, располагая более 90% резерва регулировочной мощности. Из всех существующих типов электростанций именно ГЭС являются наиболее маневренными и способны при необходимости быстро существенно увеличить объемы выработки, покрывая пиковые нагрузки. У России большой гидроэнергетический потенциал, что подразумевает значительные возможности развития отечественной гидроэнергетики. Однако сейчас освоено лишь 20% этого потенциала.

На территории России работают 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт, общая установленная мощность гидроагрегатов которых составляет примерно 46 000 МВт (5 место в мире). В общем объеме производства электроэнергии в России в 2011 году гидроэлектростанциями выработано 153,3 млрд. кВт/ч, что составило 15,2% [5].

Немалую долю в производство электроэнергии вносит ядерная энергетика. В нашей стране реализуется полный цикл производства ядерной электроэнергии от добычи урановых руд до выработки электроэнергии. На сегодняшний день России эксплуатируется 10 атомных электростанций – в общей сложности 33 энергоблока установленной мощностью 23,2 ГВт. В стадии строительства – еще 5 АЭС. В 2011 году атомными электростанциями выработано рекордное количество электроэнергии — 172,5 млрд. кВт/ч, что составило около 1,5% прироста по сравнению с 2010 годом [5].

На данный момент развитие топливно-энергетического комплекса России определяется концепцией энергетической стратегии России на период до 2030 г (далее ЭС-2030), сформированной на базе концепции энергетической стратегии России на период до 2020 г в условиях повышенного темпа роста экономики страны. Ниже кратко изложены основные положения ЭС-2030 касательно электроэнергетики.

Как известно, Россия обладает значительной долей мирового запаса полезных ископаемых – это 12% разведанных запасов нефти, 45% запасов природного газа и почти 25% запасов угля. Энергетический сектор играет определяющую роль в обеспечении надежного функционирования экономики и социальной сферы страны, укреплении ее позиций на международной арене [3].

Энергетический сектор удовлетворяет внутренний и внешний спрос на топливно-энергетические ресурсы и, по-прежнему, является ведущей промышленной отраслью, обеспечивающей социально-экономическое развитие страны. Это утверждение подтверждают данные, приведенные в таблице 1.

Анализ основных показателей развития ТЭК (согласно ЭС-2030) показывает, что необходимые темпы развития электроэнергетики превышают прогнозные оценки ЭС-2020, о чем свидетельствуют данные, приведенные в таблице 2. Поэтому энергетический комплекс, для обеспечения роста экономики страны в целом, нуждается в усовершенствовании.

В связи с этим, согласно ЭС-2030, выделяется ряд проблем. Ключевой проблемой развития энергетики страны является недоинвестированность развития отраслей энергетического сектора. Износ основных фондов отраслей ТЭК крайне высок. В электроэнергетике и газовой промышленности он достигает 58%. Проектный ресурс оборудования электростанций уже почти выработан (на 50%, в 2010 г.), а действующая технологическая база отраслей ТЭК не только изношена физически, но и морально устарела по своим техническим и экономическим параметрам. Анализ показывает, что имеет место серьезное отставание объемов инвестиций от необходимого, в соответствии с ЭС-2020, уровня. В 2004 г. объем капитальных вложений по сравнению с необходимыми в

электроэнергетике составил 65%, в 2005 г. инвестиции в электроэнергетику составили 54,1%. В то время как спрос на электроэнергию превышает оценки ЭС-2020 более чем на 2,5% [3].

Таблица 1 – Доля ТЭК в экономике России, 2005 г [2]

Показатели функционирования и состояния экономики и промышленности	Доля ТЭК, в %	В том числе доля:	
		электроэнергетики	топливной промышленности
Производство промышленной продукции	31,9	10,5	21,4
Наличие основных фондов основного вида деятельности	58,7	31,2	27,5
Налоговые поступления в бюджеты России			
Консолидированный	29,1*	3,3	24,3
Федеральный	54,5*	5,7	46,1
Региональные	2,6*	0,8	1,7
Валютные поступления страны от экспорта	57,6	0,2	57,4
Среднесписочная численность работников промышленности	15,56	8,22	7,34
Доходы работников промышленности	27,0	10,5	16,5
Инвестиции в основной капитал:			
экономики в целом	30,7**	5,6	17,8
промышленности	57,1	13,7	43,4
Выброс промышленностью вредных веществ в окружающую среду	56,4	19,5	36,9

\* В том числе поступления от трубопроводного транспорта ТЭК: в консолидированный бюджет России — 1,5%, в федеральный — 2,7%, в региональные — 0,1%.

\*\* В том числе трубопроводного транспорта ТЭК — 7,3%.

Таблица 2 - Сопоставление основных макроэкономических параметров развития экономики и электроэнергетики России в 2005 г. с прогнозными показателями ЭС-2020

Показатели	2005 г.	
	по ЭС-2020	факт
Рост ВВП, в % к 2000 г.	127,0	134,7
Рост цен (тарифов), в % к предыдущему году:		
на газ	24,6	20,4
на электроэнергию	20,1	10,1
Объем производства электроэнергии, млрд. кВтч	936	952
Объем потребления электроэнергии, млрд. кВтч	920	940,7

В числе прочих, приоритетами энергетической политики, призванной решить проблемы ТЭК страны, являются: обеспечение экономически обоснованных энергетических потребностей страны наиболее эффективными путями и обеспечение инновационного развития экономики и энергетики, включая развитие энергосберегающих технологий.

Согласно ЭС-2030 в число основных составляющих государственной энергетической политики входит региональная энергетическая политика. Она должна учитывать принципиальные различия в условиях энергообеспечения и в структуре энергообеспечения различных географических зон страны, и сообразно с этими различиями проводить оптимизацию территориальной структуры производства и потребления топливно-энергетических ресурсов. Во всех федеральных округах должна осуществляться модернизация основных производственных фондов секторов ТЭК, в том числе особенно изношенных и морально устаревших.

Стратегической целью развития электроэнергетики и теплоснабжения, в числе прочих, является повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития электроэнергетики и теплоснабжения на базе новых современных технологий. Для достижения этой цели предусматривается, в числе прочих мер, опережающая модернизация и снижение темпов износа основных фондов электроэнергетики и теплоснабжения, обеспечение развития энергомашиностроения для удовлетворения потребностей электроэнергетики и теплоснабжения, а также внедрение парогазовых установок (ПГУ), обеспечивающих более эффективное и экономное потребление газа в отрасли.

Таким образом, можно сделать вывод, что согласно официальным данным ЭС-2030 существующая система производства тепла и электроэнергии не обеспечивает установившиеся темпы развития экономики страны и растущие потребности населения и нуждается в модернизации. Развитие энергетики является перспективным направлением государственной деятельности.

Рассмотрим существующую систему потребления тепла и электроэнергии. Разделим всю систему потребления на два больших сектора: промышленность и домашние хозяйства.

Очевидно, что основная доля потребляемой электроэнергии приходится на промышленность, это подтверждает график, приведенный на рисунке 1.

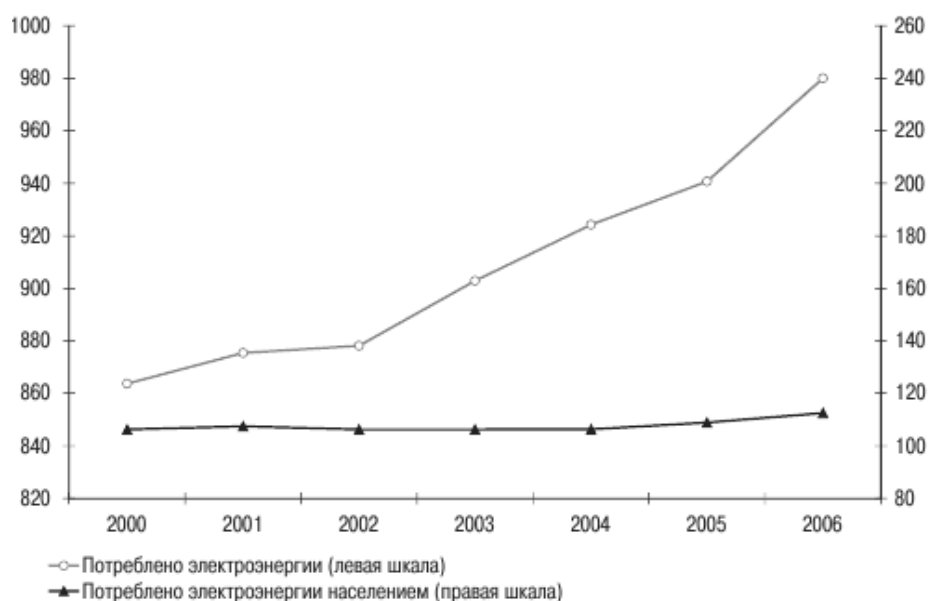


Рисунок 1 – Динамика потребления электроэнергии в целом по РФ и потребления населением [2]

В среднем по России на промышленные предприятия приходится около 82% потребляемой энергии. Крупные промышленные предприятия обеспечиваются теплом и электроэнергией за счет мощных тепло-, гидро- и атомных электростанций, что во многом стало возможно за счет их размещения вблизи этих объектов. Однако основной рост потребления электроэнергии происходит не за счет увеличения потребностей крупных предприятий, а за счет появления большого числа более мелких производств. Это подтверждается ростом количества зарегистрированных предприятий - с 26,9 тысяч в 1990 году до 145 тысяч в 2003 [4], и уменьшением концентрации производства в различных отраслях. В целом это приводит к появлению множества малых и средних потребителей электроэнергии, многие из которых расположены вдали от крупных электростанций.

Доля потребления тепла и электроэнергии населением в среднем по России составляет около 12% и является существенной статьей энергобаланса. Главной особенностью рассматриваемого сектора потребления является его пиковый характер: неподдающееся директивному регулированию путем сокращения потребления циклическое изменение потребляемой мощности (суточное, сезонное). Отрасль должна обеспечивать население электроэнергией, иметь достаточный запас прочности и мощностей, чтобы покрывать пики потребления.

В условиях экономического роста в Российской Федерации и сопровождающего его увеличения доходов населения меняется структура энергопотребления домохозяйств, отмечается существенный рост энергопотребления (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика потребления электроэнергии в РФ 2000-2005 гг. [2]

Показатель	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Все население							
Валовое потребление, млн. кВт ч в месяц	106263	107448	106302	104481	106320	108924	112500
Потребление электроэнергии в расчете на душу населения, млн. кВт ч в месяц	60,3	61,2	60,8	60,1	61,5	63,3	65,7
Потребление электроэнергии в расчете на домохозяйство, млн. кВт ч в месяц	163,3	165,7	164,7	162,7	166,4	171,3	177,8
Городское население							
Валовое потребление, млн. кВт ч в месяц	82035	83522	82772	81380	82929	85629	—
Потребление электроэнергии в расчете на душу населения, млн. кВт ч в месяц	63,6	65,0	64,6	63,8	65,3	68,1	—
Потребление электроэнергии в расчете на домохозяйство, млн. кВт ч в месяц	169,6	173,3	172,3	170,0	174,1	181,6	—
Сельское население							
Валовое потребление, млн. кВт ч в месяц	24449	23927	23530	23101	23391	23295	—
Потребление электроэнергии в расчете на душу населения, млн. кВт ч в месяц	51,2	50,8	50,4	49,8	50,8	50,1	—
Потребление электроэнергии в расчете на домохозяйство, млн. кВт ч в месяц	144,9	144,0	142,7	141,1	144,0	141,9	—

Анализируя влияние развития экономики на потребление электроэнергии населением можно выявить ряд закономерностей. Так, начиная с 2000 г., наблюдается рост потребления электроэнергии населением на бытовые нужды, однако, потребление электроэнергии другими секторами экономики увеличивается более быстрыми темпами. Рост потребления электроэнергии в расчете на душу населения происходит за счет городского населения, а сельское, напротив, сокращает объемы потребления (таблица 3). Доля потребления электроэнергии сельским населением в ряде регионов России значительна (рисунок 2): по результатам переписи до 21,7% населения проживает в малых городах, и до 25,9% в сельских населенных пунктах [2]. Электроснабжение таких населенных пунктов связано с необходимостью создания разветвленной сети ЛЭП, трансформаторных подстанций и т.д., а также затратами на их обслуживание. Кроме того передача энергии в таких сетях происходит со значительными потерями.

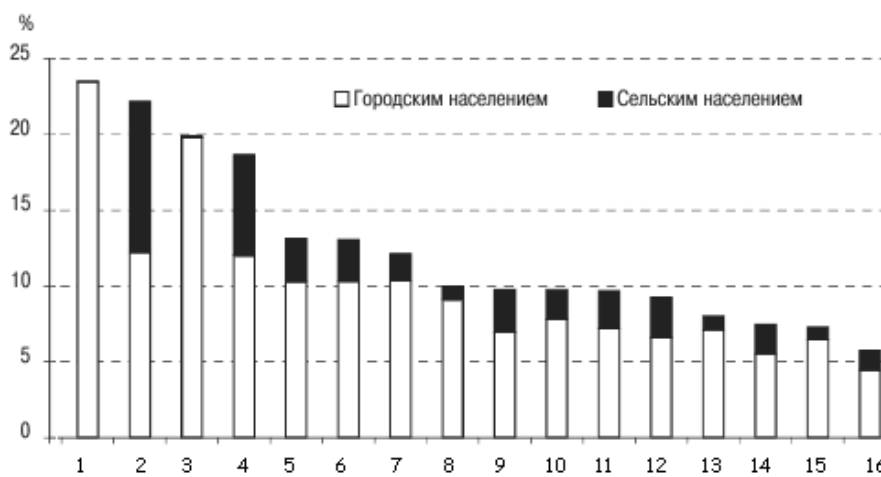


Рисунок 2 – Средняя доля потребления электроэнергии городским и сельским населением в совокупном потреблении региона, в % [3]:

1 – г. Москва; 2 – Краснодарский край; 3 – г. Санкт – Петербург; 4 – Ростовская обл.; 5 – Нижегородская обл.; 6 – Московская обл.; 7 – Самарская обл.; 8 – Свердловская обл.; 9 – Калининградская обл.; 10 – Челябинская обл. 11 – Республика Татарстан; 12 – Волгоградская обл.; 13 – Тюменская обл.; 14 – Иркутская обл.; 15 – Кемеровская обл.; 16 – Красноярский край

Потребление электроэнергии по регионам сильно дифференцировано, и лидерами являются Москва, Санкт-Петербург, Краснодарский край и Ростовская область, где доля населения в совокупном потреблении региона составляет 18—24%. Средний уровень доходов семей в регионе напрямую не влияет на уровень потребления электроэнергии.

Структура потребления определяется многими факторами. Существенно влияют традиции и сложившийся стиль жизни, климатические условия. Однако развитие сравнительно энергоемкой сервисной отрасли экономики в ряде регионов, представленных преимущественно в зоне теплого и умеренного климата, снижает приоритетность последнего фактора. Устойчивый рост жилищного строительства так же положительно сказывается на динамике увеличения потребления электроэнергии. Кроме того за последние годы, согласно данным официальной статистики, существенно возрос уровень продаж бытовой техники, что безусловно увеличивает уровень потребления электроэнергии.

Рассмотрим динамику потребления тепла российским населением. Технически, теплоснабжение населения России реализуется за счет централизованных источников, которые представлены ТЭЦ и котельными мощностью свыше 20 Гкал/ч и децентрализованных источников тепла (малых котельных и индивидуальных теплогенераторов).

Потребление тепла от централизованных источников в последние годы составляет

порядка 510 млн. Гкал в год и не имеет выраженной тенденции к изменению (рисунок 3).

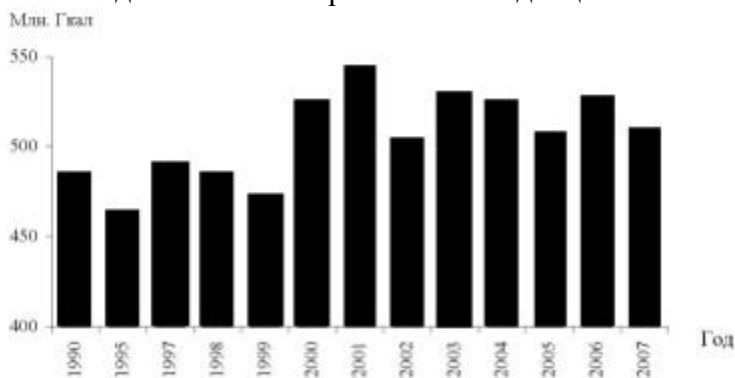


Рисунок 3 –Динамика потребления населением тепла от СЦТ [4]

Индивидуальное теплоснабжение происходит от устройств, работающих на сетевом и сжиженном газе, дровах, угле и электроэнергии, другие виды топлива (например, дизельное или печное бытовое топливо) практически не используются. Особенностью индивидуального отопления является отсутствие потерь при передаче тепла, связанное с отсутствием его транспортировки.

В два последних десятилетия более чем в полтора раза возросло потребление тепла от децентрализованных источников. Этот рост сопровождается существенным увеличением эксплуатации отопительных устройств, работающих на газе (рисунок 4) [4]. Таким образом, для значительной части населения страны произошла замена дров и угля более качественным газовым топливом. Это существенно снизило трудоемкость индивидуального теплоснабжения и улучшило санитарное состояние и экологию жилищ.

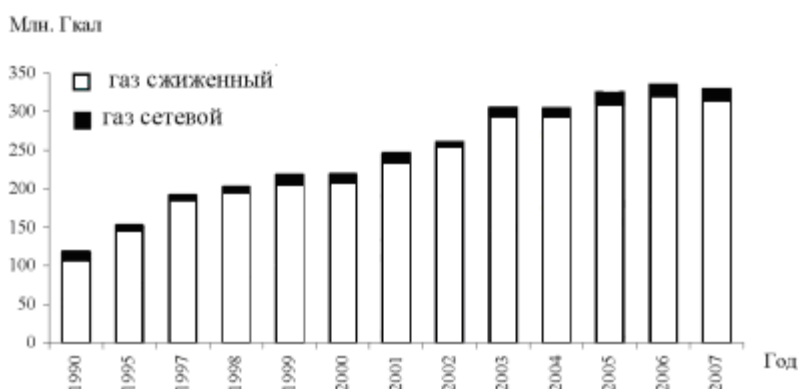


Рисунок 4 –Потребление тепловой энергии населением РФ от децентрализованных установок на сетевом и сжиженном газе [4]

Как видно из таблицы 5, потребление тепла домохозяйствами от СЦТ за период 1990-2007 гг. возросло всего на 5%, а рост производства и потребления тепла в сфере децентрализованного теплоснабжения (ДТ) составил более 60% и продолжает динамично увеличиваться.

Таблица 5 - Потребление тепла населением России, млн. Гкал.

Ист.	1990	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2007/2000 %
<b>СЦТ</b>	485	463	491	484	471	525	543	504	528	524	507	528	509	105
<b>ДТ</b>	221	201	226	230	246	245	274	295	335	333	353	367	357	162
<b>Всего</b>	706	664	716	713	717	770	818	799	863	857	861	895	866	123
<b>Доля ДТ, %</b>	31	30	31	32	34	32	34	37	39	39	41	41	41	132

Подводя итог, можно выделить следующие тенденции, действующие в системе тепло- и электроснабжения России:

- Рост потребления электроэнергии как промышленностью так и домохозяйствами.
- Моральное и физическое устаревание основных производственных фондов энергетических компаний, без существенного обновления оборудования потребности страны в электроэнергии в скором времени не будут обеспечиваться.
- Появление новых средних и малых потребителей электроэнергии, расположенных вдали от основных электростанций, что приводит к увеличению нагрузки на электросеть и росту потерь.
- Стабильный рост производства тепла в сфере децентрализованного теплоснабжения, свидетельствующий о недостаточном обеспечении потребителей теплом от централизованных источников.

Одним из способов развития энергосети РФ является разработка и внедрение малоразмерных газотурбинных электростанций, производящих электричество и тепло, которые позволяют:

- Разгрузить существующие электростанции за счет предоставления дополнительных мощностей.
- Разгрузить электросети и снизить потери в них за счет размещения миниэлектростанций вблизи средних потребителей (промышленных предприятий) и на минимальном расстоянии от малых (домашних хозяйств).
- Предоставить потребителям децентрализованный источник теплоснабжения и избавить их от необходимости покупать и обслуживать теплогенерирующее оборудование.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.С. Гринкруг, В.А.Соловьев Проблемы и характеристики систем электроснабжения малых населенных пунктов./ Журнал «Дальневосточный энергопотребитель». - № 9.- 2005; сайт: [www.dalenergy.ru](http://www.dalenergy.ru)
2. Бурдяк А.Я. Анализ региональных тенденций электропотребления в секторе домашних хозяйств /Журнал «SPERO». - №9.- 2008. - С.165-186.
3. Концепция Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (проект) / Прил. к научн. обществ.-дел. журналу "Энергетическая политика". — М.: ГУ ИЭС, 2007.
4. "Российский статистический ежегодник", 2011; сайт: [www.gks.ru](http://www.gks.ru)
5. «Основные виды производства электроэнергии на территории России.»; сайт: <http://minenergo.gov.ru>

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки.**

#### ОБ АВТОРАХ



**Мураева Мария Алексеевна**, студент каф. авиац. двигателей УГАТУ, специальность: проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Исследования в области проектирования камер сгорания, проектирования малоразмерных ГТД.

e-mail: [she\\_les\\_t@mail.ru](mailto:she_les_t@mail.ru)





**Усов Дмитрий Владимирович**, студент каф. авиац. двигателей УГАТУ, специальность: проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Исследования в области проектирования центробежных компрессоров, проектирования малоразмерных ГТД.

e-mail: [dmitrius91@gmail.com](mailto:dmitrius91@gmail.com)



**Ахмедзянов Дмитрий Альбертович**, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД. Дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неустановившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, автоматизации испытаний.

Тел. (347)2737954, e-mail: [ada@ugatu.ac.ru](mailto:ada@ugatu.ac.ru)



**Горюнов Иван Михайлович**, проф. каф. авиац. двигателей УГАТУ, зав. НИЛ САПР-Д. Дипл. инж. –мех. (УАИ, 1974). Канд. техн. наук по тепл. двигателям ЛА (УАИ, 1984). Д-р техн. наук по тепл. двигателям ЛА (УГАТУ, 2007). Исследование в области автоматизации проектирования, доводки, изготовления и эксплуатации ГТД и ЭУ.

УДК 62-9

## ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОГО ГТД В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ САМОЛЕТА

**Батыршина А. Г., Фатхутдинова Л. Р.**

Под математической моделью двигателя и самолета понимается система уравнений и аналитических связей, характеризующих движение летательного аппарата (ЛА) и описывающих рабочий процесс в авиационном двигателе (АД).

Математическая модель двигателя замыкается условиями оптимизации полета при наивыгоднейшем согласовании параметров АД и ЛА. При этом осуществляется согласование узлов и элементов двигателя, обеспечивающее наивыгоднейшее удовлетворение требований максимальной топливной экономичности и наименьшей взлетной массы при заданной полезной нагрузке и дальности полета или достижения максимальной дальности полета при заданной взлетной массе.

В соответствии с современным подходом к разработке двигателя как подсистемы самолета с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) общая задача формулируется следующим образом: при известных тактико-технических требованиях определить компромиссное сочетание параметров двигателя и самолета, позволяющее при естественных физических ограничениях и наименьших энергетических затратах достичь требуемых или наилучших проектных решений и лётно-технических показателей [1, с. 2].

Общая задача содержит три основных элемента:

- 1) наивыгоднейшее согласование основных расчетных параметров;
- 2) траекторный анализ при наивыгоднейшем регулировании и управление двигателем, а также исследование энерговооруженности самолета в динамике полета;
- 3) исследование условий существования самолета на основании анализа баланса масс и определение области наивыгоднейших проектных решений с оценкой отклонений.

Важнейшим этапом проектирования, в значительной степени определяющим успех решения задач оптимизации параметров АД и ЛА на стадии разработки, является этап подготовки исходных данных.

Для того, чтобы представить себе конкретно объем вводимой в САПР информации, можно рассмотреть содержание исходных данных для решения задачи определения расчетных параметров АД в самом общем случае, т. е. при согласовании двигателя и самолета, траекторном исследовании и анализе динамики полета, с выходом на баланс масс и условия существования.

Современный самолет представляет собой сложную систему, в составе которой при анализе массового баланса обычно выделяются следующие основные элементы (подсистемы):

1. Планер, служащий для размещения груза, топлива, оборудования и т. д., создающий при взаимодействии с воздухом подъемную силу и включающий в себя фюзеляж, крыло, оперение и шасси.
2. Силовая установка, предназначенная для создания тяги.
3. Оборудование, включающее пилотажно-навигационное, гидравлическое, электро- и радиооборудование, пассажирское оборудование и т. д.
4. Снаряжение, включающее экипаж с его багажом, съемное кухонное оборудование, запас продуктов, контейнеры для грузов, аварийное снаряжение.
5. Топливо и топливная система, включающая топливные баки (или их герметизацию в случае кессонной конструкции баков), узлы их крепления, системы заправки и подачи, а также аварийного слива топлива, системы дренажа.
6. Полезный (коммерческий или боевой – для военной авиации) груз.

В соответствии с этой классификацией взлетная масса самолета  $M_0$  может быть представлена в виде суммы масс отдельных элементов (уравнение массового баланса самолета):

$$M_0 = M_{пл} + M_{св} + M_{об} + M_{сн} + M_T + M_{тс} + M_{пн}. \quad (1)$$

Поделив все члены уравнения (1) на  $M_0$ , получим в относительных величинах уравнение массового баланса, которое известный авиационный конструктор В. Ф. Болховитинов назвал уравнением существования самолета

$$1 = \overline{M}_{пл} + \overline{M}_{св} + \overline{M}_{об} + \overline{M}_{сн} + \overline{M}_T (1 + q_{тс}) + \overline{M}_{пн}, \quad (2)$$

где  $q_{тс}$  - масса топливной системы, отнесенная к массе топлива.

Примерные данные массового баланса современного дозвукового пассажирского самолета приведены ниже:

$$\overline{M}_{пл} = 0,25; \overline{M}_{св} = 0,12; \overline{M}_{об} = 0,11; \overline{M}_{сн} = 0,02; \overline{M}_{т,тс} = 0,35; \\ \overline{M}_{пн} = 0,15; q_{тс} = 0,02.$$

Масса планера самолета с оборудованием, служебной нагрузкой и снаряжением при известной взлетной массе самолета  $M_0$  может быть найдена по формуле

$$M_{пл,об,сн} = \overline{M}_{пл,об,сн} \cdot M_0 \text{ [кг]}, \quad (3)$$

где  $\overline{M}_{пл,об,сн}$  может быть принята в соответствии с табл. 1.4 [2, с. 21].

Масса одного двигателя может быть оценена с учетом соотношений:

$$M_{\text{дв}} = \mu_{\text{дв}} \cdot P_0 \text{ [кг]} - \text{для ТРД, ТРДФ, ТРДД, ТРДДФ, ЖРД}, \quad (4)$$

$$M_{\text{дв}} = \mu_{\text{дв}} \cdot N_{\text{э0}} \text{ [кг]} - \text{для ТВД ТВВД}, \quad (5)$$

$$M_{\text{дв}} = \mu_{\text{дв}} \cdot N_{\text{е0}} \text{ [кг]} - \text{для ПД}, \quad (6)$$

где  $\mu_{\text{дв}}$  принимается в соответствии с табл. 3.1 [2, с. 60].

Масса топлива, необходимого для полета самолета, с использованием одних и тех же двигателей при взлете и крейсерском полете на заданное расстояние  $L$ , может быть определена с учетом следующих отношений:

$$M_T = \alpha \cdot n_{\text{дв}} \cdot Y \cdot M_{\text{Ткр}}, \quad (7)$$

где  $\alpha = 1,1$  - коэффициент, учитывающий аэронавигационный запас топлива,

$n_{\text{дв}}$  - число двигателей на самолете,

$M_{\text{Ткр}}$  - масса топлива, необходимого для питания одного двигателя в полете на заданное расстояние на крейсерском режиме,

$Y$  - коэффициент, учитывающий повышенный расход топлива при взлете, наборе высоты и скорости и при посадке самолета.

Величина  $Y$  может быть принята  $Y \cong 1,025$  при  $L \geq 6000$  км,  $Y \cong 1,04$  при  $L = 2500 \dots 6000$  км,  $Y \cong 1,08$  при  $L < 2500$  км.

Значение  $M_{\text{Ткр}} = G_{\text{Ткр}} \cdot \tau$  может быть определено по формулам:

$$M_{\text{Ткр}} = P_{\text{кр}} \cdot C_{\text{удкр}} \cdot \tau \text{ [кг]} - \text{для ТРД, ТРДФ, ТРДД, ТРДДФ}, \quad (8)$$

$$M_{\text{Ткр}} = N_{\text{Экр}} \cdot C_{\text{Экр}} \cdot \tau \text{ [кг]} - \text{для ТВД, ТВВД}, \quad (9)$$

$$M_{\text{Ткр}} = Ne_{\text{ном}} \cdot Ce_{\text{ном}} \cdot \tau \text{ [кг]} - \text{для ПД}, \quad (10)$$

$$M_{\text{Ткр}} = \frac{3600 \cdot P_{\text{кр}} \text{ [H]}}{J_{\text{уд}} \text{ [M/c]}} \cdot \tau_{\text{кр}} \text{ [кг]} - \text{для ЖРД, ПВРД}, \quad (11)$$

где  $\tau$  [час] – время полета на заданную дальность  $L$

$$\tau = \frac{L \text{ [км]}}{\mathcal{G}_{\text{н.р}} \text{ [км/ч]}} = \frac{L \text{ [км]}}{3,6 \cdot \mathcal{G}_{\text{н.р}} \text{ [M/c]}} = \frac{L \text{ [км]}}{3,6 \cdot \overline{\mathcal{G}}_{\text{н.р}} \cdot M_{\text{Пкр}} \cdot a_{\text{н}}}; \quad (12)$$

$$\tau \cong \frac{L \text{ [км]}}{3,6 \cdot M_{\text{Пкр}} \cdot a_{\text{н}}} - 0,25 \text{ [ч]} - \text{для ЖРД, ПВРД}, \quad (13)$$

где  $M_{\text{Пкр}}$  - число  $M_{\text{П}}$  на крейсерском режиме полета,

$a_{\text{н}}$  [м/с] – скорость звука на высоте  $H = H_{\text{кр}}$  [2, с. 98, прил. 4],

$\overline{\mathcal{G}}_{\text{н.р}}$  - коэффициент, учитывающий отличие средней рейсовой скорости (с учетом взлета, набора высоты, крейсерского полета, снижения и посадки) от скорости крейсерского полета, может быть принят равным  $\overline{\mathcal{G}}_{\text{н.р}} = 0,93$  при  $L > 6000$  км,  $\overline{\mathcal{G}}_{\text{н.р}} = 0,9$  при  $L = 2500 \dots 6000$  км,  $\overline{\mathcal{G}}_{\text{н.р}} = 0,85$  при  $L < 2500$  км.

В случае применения комбинированной силовой установки, включающей в свой состав ТРД, ТРДФ или ТРДД, которые работают при взлете, наборе высоты, снижении и посадке, и ПВРД или ЖРД в качестве маршевых двигателей, масса топлива, необходимого для полета самолета на заданное расстояние, может быть приближенно оценена с учетом следующего соотношения:

$$M_T = \alpha \cdot n_{ов} \cdot (G_{Тнаб} \cdot \tau_{наб} + M_{Ткр} + G_{Тсниж} \cdot \tau_{сниж}), \quad (14)$$

где  $G_{Тнаб} \cong P_{\max} \cdot C_{уд}$  [кг/ч] - средний часовой расход топлива при работе двигателей на максимальном режиме в процессе набора высоты включения маршевых двигателей  $H \cong 10000$  м (значения  $P_{\max}$  и  $C_{уд}$  можно взять для «промежуточной» высоты  $H \cong 5000$  м и при  $M_{П}=0,5$ ),

$\tau_{наб} \cong 0,1$  ч – время набора высоты включения маршевых двигателей (на пассажирских самолетах вертикальная скорость набора высоты лимитируется допустимым темпом изменения давления в пассажирской кабине),

$G_{Тсниж} \cong P_{ор} \cdot C_{уд.ор}$  [кг/ч] - средний часовой расход топлива при работе турбореактивных двигателей на дросселированном нефорсированном режиме после включения маршевых двигателей в процессе снижения с высоты  $H=10000$  м (значения  $P_{ор}$  и  $C_{уд.ор}$  можно взять для «промежуточной» высоты  $H = 5000$  м для режима  $\bar{P}_{ор} = 0,5$  при  $M_{П}=0,5$ ),  $\tau_{сниж} \cong 0,15$  ч.

Масса силовой установки самолета может быть определена по формуле:

$$M_{CV} = n_{ов} \cdot k_1 \cdot M_{ов} \text{ [кг]}, \quad (15)$$

где  $n_{ов}$  - число двигателей на самолете,

$k_1$  - коэффициент, учитывающий массу мотогондолы (а для ПД, ТВД и ТВВД также массу редуктора и винта),

$k_1 = 1,4 \dots 1,6$  для дозвуковых самолетов с ТРД, ТРДФ, ТРДД, ПД,

$k_1 = 1,53 \dots 1,75$  для самолетов с ТВД, ТВВД,

$k_1 = 1,7 \dots 2,0$  для сверхзвуковых самолетов с ТРД, ТРДФ, ТРДД, ТРДФ.

В случае применения ЖРД в качестве маршевых двигателей в составе комбинированной силовой установки к массе силовой установки с ТРД необходимо добавить массу ЖРД

$$M_{CV} = M_{CV} + M_{ЖРД}. \quad (16)$$

Масса топлива с топливной системой самолета

$$M_{Т,ТС} = k_2 \cdot M_T \text{ [кг]}, \quad (17)$$

где  $k_2 = 1,02 \dots 1,1$  - коэффициент, учитывающий массу топливных баков и систем.

Масса полезной нагрузки составляет

$$M_{ПН} = M_0 - M_{пл.об.сн} - M_{CV} - M_{Т,ТС} \text{ [кг]}. \quad (18)$$

Относительная масса силовой установки

$$\bar{M}_{CV} = \frac{M_{CV}}{M_0}. \quad (19)$$

Относительная масса топлива с топливной системой самолета

$$\bar{M}_{Т,ТС} = \frac{M_{Т,ТС}}{M_0}. \quad (20)$$

Относительная масса полезной нагрузки

$$\overline{M}_{\text{ПН}} = \frac{M_{\text{ПН}}}{M_0}. \quad (21)$$

На базе взлетного режима определяются параметры, определяющие облик самолета и силовой установки. Усложненная модель подразумевает двумерную систему дифференциальных уравнений движения в вертикальной плоскости с двумя кинетическими уравнениями и уравнением массы ЛА с учетом выгорания топлива:

$$\left. \begin{aligned} m_{\text{П}} \cdot \dot{V} &= P_{\text{CV}} \cdot \cos(\alpha - \varphi) - Q - m_{\text{П}} \cdot g \cdot \sin \theta; \\ m_{\text{П}} \cdot V \cdot \dot{\theta} &= P_{\text{CV}} \cdot \sin(\alpha - \varphi) + Y - m_{\text{П}} \cdot g \cdot \cos \theta; \\ \dot{H} &= V \cdot \sin \theta; \\ \dot{L} &= V \cdot \cos \theta; \\ \dot{m}_{\text{П}} &= -q_c. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Математическая модель двигателя в системе математических моделей самолета должна иметь иерархическую структуру, отражающую, по крайней мере, два основных уровня разработки АД на стадии технических предложений: верхний уровень разработки с решением сложных комплексных задач согласования двигателя и самолета и уровень разработки облика АД как подсистемы ЛА.

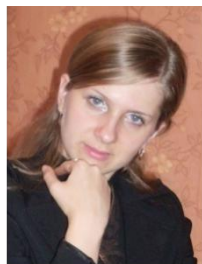
Область применимости рассматриваемых математических моделей двигателя и самолета на стадии разработки технических предложений с помощью САПР определяется, тем, на сколько полно отражены в этих моделях принципиальные, наиболее существенные связи параметров и характеристик АД и ЛА.

В работе используется система автоматизированного моделирования сложных технических объектов (САМСТО). Система предназначена для моделирования технических объектов - таких как авиационные газотурбинные двигатели, парогазовые установки, ракетные двигатели, редукторы, турбины, плоские механизмы. Содержит встроенный язык программирования Паскаль с возможностью пошаговой отладки алгоритмов [3]. С помощью технологии САМСТО создается модель ЛА.

Наличие математических моделей существенно облегчит процесс проектирования параметрического и конструктивного облика двигателя и ЛА исходя из назначения самолета и с учетом большого числа параметрических и функциональных ограничений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системное проектирование авиационного двигателя. – Румянцев С. В., Сгилевский В. А., М.: Изд-во МАИ, 1991. – 80 с.
2. Выбор силовой установки самолета: Учебное пособие / Арьков Ю. Г., Уфимск. авиац. ин-т. Уфа. 1992. – 100 с.
3. <http://www.ad.ugatu.ac.ru/camcto.htm>

**ОБ АВТОРАХ**

**Батыршина Альбина Газинуровна**, дип. бакалавра техники и технологии по направлению «Авиа- и ракетостроение» (УГАТУ, 2011). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД, мат. моделей сложных технических объектов.

e-mail: [ablina.89@mail.ru](mailto:ablina.89@mail.ru)



**Фатхутдинова Ляйсан Рахимьяновна**, дип. бакалавра техники и технологии по направлению «Авиа- и ракетостроение» (УГАТУ, 2011). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД, мат. моделей сложных технических объектов.

e-mail: [fatlesya@yandex.ru](mailto:fatlesya@yandex.ru)

УДК 666.1.031

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

**Садыков Е. Б.**

Создание высокопроизводительной газозлектрической стекловаренной печи предполагает создание системы дополнительного электроподогрева (ДЭП) стекломассы. Необходимость установки дополнительного электроподогрева стекломассы в промышленной продиктована увеличением удельной производительности стекловаренной печи: при этом в печь загружается большее количество сырья, следовательно, возрастает потребление тепла, как на осуществление физико-химических превращений, так и на подогрев шихты. Температура расплава в ванне снижается, вследствие этого повышается вязкость расплава, что в конечном итоге недостаточному провару стекла и, как следствие ухудшению качества готового продукта.

Для определения параметров работы системы дополнительного электроподогрева (напряжение, плотность и сила тока между электродами) необходимо учесть как геометрические параметры ДЭП (расстояние между электродами, высоту электродов, диаметр) так и свойства расплава.

Общее количество тепла, вводимое посредством ДЭП, составляет 5 – 15 % от общей тепловой мощности печи (причем доля электрической энергии в тепловом балансе ограничивается в первую очередь экономическими факторами):

$$Q_{\Sigma} = (5 \div 15) B Q_{\text{нр}}^p \quad (1)$$

где:  $Q_{\Sigma}$  – общая мощность ДЭП стекловаренной печи, Вт;

$B$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/сек

$Q_{\text{нр}}$  – низшая рабочая теплотворная способность топлива, Вт/м<sup>3</sup>.

Рассмотрим систему из трех одинаковых цилиндрических вертикально установленных электродов (Рис.1), расположенных в виде равностороннего треугольника,

и подключенных к источнику трехфазного тока.

$$Q_3 = \sum_{i=1}^n P_i^{mp} \quad (2)$$

где:  $P_i^{mp}$  – мощность трансформатора, питающего  $i$  – ю группу электродов.

Для подогрева стекломассы в условиях промышленной печи необходимо установить несколько подобных трехэлектродных групп. В стекловаренной печи электроды соединены между собой треугольником, следовательно, для каждого электрода имеем:

$$U_l = U_\phi \quad (3)$$

$$I_\phi = \frac{P_{mp}}{(U_l \sqrt{3})} \quad (4)$$

где:  $U_l, U_\phi$  – соответственно линейное и фазное напряжения, В;  
 $I_\phi$  – фазный ток, приходящийся на один электрод, А;  
 $P_i^{mp}$  – номинальная мощность трансформатора, кВт.

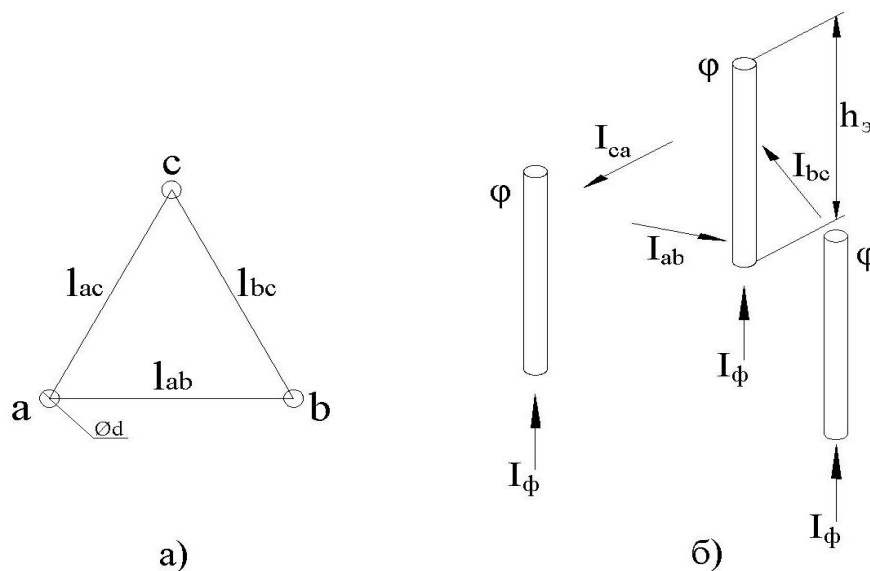


Рис 1 Система ДЭП из трех электродов расположенных в виде равностороннего треугольника. а) вид сверху б) схема расположения.

Далее необходимо вычислить мгновенные значения силы тока, текущего между электродами, для этого один полный период разбиваем на 6 частей и для каждой части путем сложения векторов определяем значение силы тока при соответствующем данному периоду времени разности потенциалов между электродами:

$$\vec{i}_{ab} = \vec{i}_a + \vec{i}_b \quad (5)$$

где:  $\vec{i}_{ab}$  – мгновенное значение силы тока между электродами  $a$  и  $b$ , А;

$\vec{i}_a$  – мгновенное значение силы тока в электроде  $a$ , А;

$\vec{i}_b$  – мгновенное значение силы тока в электроде  $b$ , А;

Для каждой пары электродов рассчитываем величину тока, текущего между ними в определенный период времени. Предполагаем, что электрический ток течет по проводнику длина которого – расстояние между электродами, площадь поперечного сечения данного проводника  $s$ . Площадь сечения  $s$  вычисляем исходя из параметров электрического тока проходящего через расплав между электродами, геометрических параметров системы ДЭП (расстояния между электродами, диаметра и высоты

электродов), а также удельной проводимости расплава, являющейся функцией температуры.

Общее сопротивление между двумя электродами:

$$R_{ab} = \frac{U_{\phi}}{i_{ab}} \quad (6)$$

где:  $R_{ab}$  – сопротивление стекломассы между электродами, Ом.  
Величину области прохождения тока находим исходя из закона Ома для участка цепи с учетом сопротивления стекломассы.

$$s = \frac{i_{ab} \rho_{\text{ст}} l_{ab}}{U_{\phi}}$$

где:  $i$  – остаточный ток, А;  
 $s$  – площадь сечения, м<sup>2</sup>  
 $l_{ab}$  – расстояние между электродами

Из площади находим координату  $y$ , которая показывает размер зоны стекломассы, где проходит электрический ток:

$$\zeta = \frac{s}{h_y}$$

где:  $h_y$  – высота электрода, м;  
 $\zeta$  – область течения электрического тока, м.

Для оценки изменения величины тепловыделения в расплаве разобьем полученную область на  $n$  проводников (Рис 2), величину удельного тепловыделения в каждом проводнике будем оценивать как:

$$q_i = J_i E \quad (10)$$

где:  $q_i$  – величина удельного тепловыделения в некоторой ячейке, В/м<sup>3</sup>;

$$J_i = \frac{i_{ab}}{s} \text{ – плотность тока в данной ячейке, А/м}^2;$$

$$E = \frac{U_{\phi}}{l_{ab}} \text{ – напряженность электрического поля (одинакова для всех ячеек), В/м.}$$

Электроды, используемые в системах ДЭП, могут изготавливаться из различных материалов, для каждого материала существуют максимально допустимые нагрузки. Одним из самых распространенных материалов для электродов является молибден высокой чистоты, согласно рекомендациям производителей [2] величина плотности тока на электроде не должна превышать 1 А/см<sup>2</sup>. Для этого рассчитываем плотности тока исходя из площади поверхности электрода:

$$J = \frac{I_{\phi}}{\pi d_y h_y}$$

где:  $J$  – плотность тока на электроде, А/см<sup>2</sup>;  
 $d_y$  – диаметр электрода, см;

Мощность тепла, выделяемого в расплаве не должно превышать общую мощность электрического тока подаваемого в расплав. Для проверки необходимо вычислить тепловыделение между всеми электродами за полный период:

$$P_o = P_{12} + P_{23} + P_{34} \quad (13)$$

$$P_{12} = P_{23} = P_{34} = \sum_{i=1}^n k p_i V_i dT \quad (14)$$

где:  $P_{12}$ ,  $P_{23}$ ,  $P_{31}$  – тепловыделение между первым и вторым, вторым и третьим, первым



и третьим электродами соответственно, Вт

$k = 0,842$  – коэффициент неравномерности нагрузки системы ДЭП;

$p_i$  – удельное тепловыделение  $i$ -й ячейки, Вт/м<sup>3</sup>;

$V_i$  – объем  $i$ -й ячейки, м<sup>3</sup>.

Рассчитаем удельное тепловыделение в расплаве при использовании системы ДЭП, состоящей из трех электродов: диаметр каждого  $d_э = 0,04$  м, высота электродов  $h_э = 1$  м, расстояние между электродами  $l_{ab}=l_{bc}=l_{ac}= 1$  м, электропроводность стекломассы рассчитана для  $t=1151$  С и составляет  $\rho_{см} = 0,10319$  Ом · см. Группа электродов подключена к трансформатору мощностью 100 кВА и номинальным напряжением  $U_n = 230$  В. Определим фазные значения силы тока и напряжения:

$$I_\phi = \frac{P}{U_\phi \sqrt{3}} = 250 \text{ А}; U_\phi = U_n$$

Далее необходимо определить значения силы тока и напряжения между электродами в различные периоды времени, для этого обратимся к Таблице 1. Из Таблицы 1 видно, что в различные промежутки времени сила тока изменяется от 0 до  $I_\phi$ , а напряжение от 0 до  $1,5 U_\phi$ . Заметим, что в промежутке  $(0; \pi/3)$ , присутствуют все значе-

Таблица 1. Значения напряжения и силы тока между электродами

период	I $\phi$ между электродами			U $\phi$ между электродами			Ток		
	1 и 2	2 и 3	1 и 3	1 и 2	2 и 3	1 и 3	1 и 2	2 и 3	1 и 3
0	$I_\phi \sqrt{3}/2$	0	$I_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	да	нет	да
$\pi/6$	$I_\phi$	$0,5 I_\phi$	$0,5 I_\phi$	$1,5 U_\phi$	$1,5 U_\phi$	0	да	да	нет
$\pi/3$	$I_\phi \sqrt{3}/2$	$I_\phi \sqrt{3}/2$	0	$U_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	да	да	нет
$\pi/2$	$0,5 I_\phi$	$I_\phi$	$0,5 I_\phi$	$1,5 U_\phi$	0	$1,5 U_\phi$	да	нет	да
$2\pi/3$	0	$I_\phi \sqrt{3}/2$	$I_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}$	нет	да	да
$5\pi/6$	$0,5 I_\phi$	$I_\phi$	$0,5 I_\phi$	0	$1,5 U_\phi$	$1,5 U_\phi$	нет	да	да
$\pi$	$I_\phi \sqrt{3}/2$	0	$I_\phi \sqrt{3}/2$	$U_\phi \sqrt{3}/2$	0	$U_\phi \sqrt{3}/2$	да	нет	да

ния напряжения, силы тока и мгновенной мощности, т.е. распределение мощности в личном удалении от электродов при всех значениях мгновенной мощности. Расчеты величины зоны тепловыделения в зависимости от напряжения приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Значения удельного тепловыделения системы ДЭП при различном номинальном напряжении трансформатора

Момент времени	Электроды	230 В		400 В	
		қуд, Вт/м <sup>2</sup>	Площадь, м <sup>2</sup>	қуд, Вт/м <sup>2</sup>	Площадь, м <sup>2</sup>
t=0	1 и 2	1939,141	0,1113895	3372,42	0,0372
	2 и 3	0	0	0	0
	3 и 1	1939,141	0,1113895	3372,42	0,0372
t= $\pi/6$	1 и 2	3343,347	0,0747754	5814,517	0,0248
	2 и 3	3343,347	0,0373877	5814,517	0,0124
	3 и 1	0	0	0	0
t= $\pi/3$	1 и 2	3860,565	0,0559504	6714,026	0,0187
	2 и 3	1939,141	0,1113895	3372,42	0,0428
	3 и 1	0	0	0	0

Анализируя данные Таблицы 2 можно отметить, что при высоком напряжении  $U_n = 400$  В

тепло выделяется более локально, т.е. на меньшей площади. Следовательно, подобный режим более оправдан при использовании системы ДЭП в качестве теплового барьера, при необходимости нагрева больших площадей целесообразнее использовать трансформаторы с низким напряжением.

Данный метод расчета в совокупности с граничными условиями II – го рода, являющимися результатами расчетов по численной модели внешнего теплообмена в газозлектрической печи [3], позволяет оценить влияние геометрических параметров системы ДЭП на распределение тепла в варочном бассейне. Для решения внутренней задачи в рамках моделирования тепловой работы стекловаренной печи также необходимо задать граничные условия по тепловыделению через ограждающие конструкции [4] и затрат тепла на физико-химические процессы протекающие при образовании расплава стекла [5].

Это позволит создать газозлектрическую печь, имеющую более высокие показатели удельной производительности, при сохранении надлежащего качества готовой продукции и без сокращения срока компании печи.

#### Список Литературы

1. Дзюзер В.Я, Швыдкий В.С. Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей/ М.: Теплотехник – 340 с.
2. High performance molybdenum glass melting electrodes (по материалам компании Plansee (Австрия)/ электронный ресурс: [www.plansee.com](http://www.plansee.com), 12 с.
3. Дзюзер В.Я. Швыдкий В.С. Садыков Е.Б. Численная модель внешнего теплообмена в газозлектрической стекловаренной печи // Стекло и керамика. 2012. №2. С 8 – 13.
4. Дзюзер В.Я. Швыдкий В.С. Садыков Е.Б. Граничные условия теплопередачи через кладку стекловаренной печи// Стекло и керамика. 2012. №5. С 28 – 33.
5. Дзюзер В.Я. Швыдкий В.С. Садыков Е.Б. Теоретические затраты теплоты на стекловарение// Стекло и керамика. 2012. №7. С 3 – 5.

#### ОБ АВТОРАХ



**Садыков Егор Борисович**, аспирант каф. Оборудования и автоматизации силикатных производств УрФУ им. первого президента России Б.Н. Ельцина, дипл. инж. по оборудованию для производства строительных материалов. Исследования в области математического моделирования тепловой работы стекловаренных печей.

e-mail: EgorSadykov@yandex.ru

УДК 621.9.06-229

#### **ВИБРОДИАГНОСТИКА ПРИВОДОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Басманов М. С., Басманов А. С., Идрисова Ю. В., Фецак С. И.**

Диагностика станочных узлов может применяться на разных стадиях их жизненного цикла. На стадии изготовления применение методов диагностики вообще и методов вибродиагностики, в частности, очень важны. Прогрешности элементов приводов станка, закладываемые на этой стадии, не сразу вызывают параметрические отказы узла, но дальнейшее развитие дефекта может идти ускоренными темпами, вызывая

преждевременный отказ уже у потребителя. При эксплуатации узлов в составе технологического оборудования необходимо периодически контролировать состояние узла, стремясь определить момент обнаружения зарождающихся дефектов. Это важно для предупреждения параметрических отказов во время обработки деталей, для своевременного проведения профилактических мероприятий, необходимых регулировок и ремонтов.

Влияния развития отдельных дефектов, характерных для элементов станочных механизмов, на параметры вибросигнала изучены достаточно хорошо. Однако сочетание этих дефектов в различных узлах может создавать сложную картину, которая не обязательно будет представлять сумму влияний каждого дефекта на параметры диагностического сигнала. Тут надо учитывать взаимное влияние дефектов друг на друга, которое нарушает принцип суперпозиции.[1]

Таким образом, диагностика технического состояния оборудования является задачей распознавания образов. При этом все неисправности можно разбить на классы, в соответствие которым выделены области в пространстве технических параметров. Использование алгоритма созданного на базе элементов нечеткой логики позволит соотнести техническое состояние оборудование подклассу возможных неисправностей.

### **ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Искусственные нейронные сети индуцированы биологией, так как они состоят из элементов, функциональные возможности которых аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона. Эти элементы затем организуются по способу, который может соответствовать (или не соответствовать) анатомии мозга. Несмотря на такое поверхностное сходство, искусственные нейронные сети демонстрируют удивительное число свойств присущих мозгу. Например, они обучаются на основе опыта, обобщают предыдущие прецеденты на новые случаи и извлекают существенные свойства из поступающей информации, содержащей излишние данные. [2]

**Обучение.** Искусственные нейронные сети могут менять свое поведение в зависимости от внешней среды. После предъявления входных сигналов (возможно, вместе с требуемыми выходами) они самонастраиваются, чтобы обеспечивать требуемую реакцию. Было разработано множество обучающих алгоритмов, каждый со своими сильными и слабыми сторонами.

**Обобщение.** Отклик сети после обучения может быть до некоторой степени нечувствителен к небольшим изменениям входных сигналов. Эта способность, видеть образ сквозь шум и искажения, жизненно важна для распознавания образов. Она позволяет преодолеть требование строгой точности, предъявляемое обычным компьютером, и открывает путь к системе, которая может иметь дело с реальным миром.

**Абстрагирование.** Некоторые из искусственных нейронных сетей обладают способностью извлекать сущность из входных сигналов. В некотором смысле она научится порождать то, что никогда не видела.

**Применимость.** Искусственные нейронные сети широко используются для целого ряда задач: классификация, прогнозирование, распознавание образов и т.д. Однако, с их помощью возможно решать далеко не все задачи. Например, с точными вычислениями лучше и эффективнее справится классический компьютер.

Особенности искусственных нейронных сетей позволяют устранить недостатки системы нечёткого вывода, т.е. однажды обученная сеть всегда выдаёт правильный на её взгляд вывод, вне зависимости от степени достоверности входного вектора; при изменении структуры сети достаточно провести процесс переобучения, чтобы снова получить рабочую систему вывода.

### **СОЗДАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ**

Рассмотрим работу нейронной сети при диагностики технического состояния

шпиндельного узла многоцелевого станка модели 500 VS.

Для решения задачи вибродиагностики с применением нейронной сети необходимо первым делом сформировать обучающую выборку.

Обучающая выборка – это набор входных векторов вида, в соответствие которым поставлены выходные вектора, где  $n$  и  $m$  – количество нейронов во входном и выходном слое сети. Входные вектора  $X$  поочередно подаются на вход сети, а выход её сравнивается с заданным парным входному выходным вектором  $D$ , затем параметры сети корректируются таким образом, чтобы сократить различие между фактическим и желаемым выходом сети. Искусственная нейронная сеть обучается таким образом, чтобы соотносить входной вектор значений из пространства параметров определённому классу в пространстве неисправностей, а для этой задачи хорошо подходит многослойный перцептрон.

К возможным неисправностям, возникающим при работе электрошпинделя металлообрабатывающего станка, можно отнести: дисбаланс ротора двигателя; расцентровка; задевания; дефекты подшипников качения; дефекты редукторов и мультипликаторов. Каждый из перечисленных дефектов имеет свой вид вибросигнала, отличный от вибросигнала других дефектов, что позволяет использовать эти особенности в качестве диагностических признаков оборудования. [3]

В качестве параметров входных векторов  $X$  предлагается взять амплитуды гармоник с наиболее значимыми частотами спектра вибрации. Выходными векторами  $D$  в таком случае будут вектора с шестью элементами (по числу диагностируемых неисправностей) вида, в которых не равным нулю будет лишь тот элемент, номер которого соответствует номеру неисправности.

Исходя из этого, можно построить матрицу входных векторов  $X$  (рис. 1) и матрицу выходных векторов  $D$  (рис. 2)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$	$X_{20}$
	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	<b>550</b>	<b>600</b>	<b>650</b>	<b>700</b>	<b>750</b>	<b>800</b>	<b>850</b>	<b>900</b>
<b>1</b>	0	7	0	1	2	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	0	0	12	1	8	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0	8	1	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4</b>	0	6	0	7.5	3	1.5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>5</b>	0	4	0	2.5	1	1	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>6</b>	0	2	0	3.5	1	0.75	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7</b>	4	7.5	3.5	7.5	5	7.5	4.5	3	4	3	1.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>8</b>	1	6	2	6.5	3.5	5	3	2	4	1.5	2	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>9</b>	3	12	3	8	4	6	3.5	3	5	2	3	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0
<b>10</b>	2.79	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11</b>	0	5.01	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>12</b>	0	0	2.68	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>13</b>	0	0	0	0	3.68	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>14</b>	0	0	0	5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>15</b>	5	3	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>16</b>	5	3	0	1.5	4	2	1	0.75	1	3	4.5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>17</b>	7	6	6	3	2	4	5	4	3	2	1	2	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0
<b>18</b>	0	0.5	0	0	0	0	1	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>19</b>	0	1	0.75	1	0.5	0	0	0	1	2	0	0	0	1	2	5	3	6	7	6
<b>20</b>	0.2	0.75	0.8	1.5	1	2	1.5	1	1	2.3	1.5	2	1	3	2	4	9	13	10	12

Рисунок 1 - Матрица входных векторов  $X$

	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$
1	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	1	0	0
15	0	0	0	0	1	0
16	0	0	0	0	1	0
17	0	0	0	0	1	0
18	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	1

Рисунок 2 - Матрица выходных векторов D

### ВЫБОР СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Структура нейронной сети, используемой при диагностике, имеет вид многослойного персептрона, т.е. является сетью прямого распространения, в которой каждый нейрон текущего слоя связан со всеми нейронами предыдущего.

Количество входных и выходных элементов нейронной сети определяется условиями задачи. В данном случае, очевидно, что входной слой должен содержать 20 нейронов, по количеству компонентов входных векторов X, а выходной слой – 6 нейронов, по количеству классов диагностируемых неисправностей (рис. 3). Рекомендаций по составу и количеству промежуточных слоёв не существует, эти параметры определяются опытным путём. Так, в процессе разработки и обучения сети было выяснено, что оптимальной структурой является двуслойный персептрон с двадцатью нейронами в промежуточном слое. Входной слой нейронов не учитывается, т.к. он служит только для передачи информации на последующие слои и не производит никаких действий.

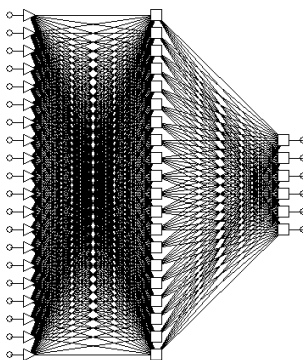


Рисунок 3 - Структура многослойного персептрона для диагностики рассматриваемых неисправностей

## АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Описанную выше сеть предлагается обучить по алгоритму обратного распространения ошибки. Это алгоритм градиентного спуска, минимизирующий суммарную квадратичную ошибку:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^P \sum_i (d_k^i - y_k^i)^2, \quad (1)$$

где  $i$  – номер выхода нейронной сети.

Основная идея алгоритма обратного распространения ошибки состоит в том, чтобы вычислять чувствительность ошибки сети к изменениям весов. Для этого нужно вычислить частные производные от ошибки по весам. Пусть обучающее множество состоит из  $P$  образцов, и входы  $k$ -го образца обозначены через  $\{X_{i...k}\}$ . Вычисление частных производных осуществляется по правилу цепи: вес входа  $i$ -го нейрона, идущего от  $j$ -го нейрона, пересчитывается по формуле:

$$\Delta W_{ij} = -\varepsilon \sum_{k=1}^P \frac{\partial E_k}{\partial W_{ij}} = -\varepsilon \sum_{k=1}^P \delta_k^i x_k^j, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  - длина шага в направлении, обратном к градиенту.

Если рассмотреть отдельно  $k$ -ый образец, то соответствующее изменение весов равно:

$$\Delta W_{ij} = -\varepsilon \frac{\partial E_k}{\partial W_{ij}} = -\varepsilon \delta_k^i x_k^j, \quad (3)$$

Множитель  $\delta_k^i$  вычисляется через аналогичные множители из последующего слоя, и ошибка, таким образом, передается в обратном направлении.

Для выходных элементов получим:

$$\delta_k^i = -(d_k^i - y_k^i) f'(v_k^i). \quad (4)$$

Алгоритм обучения был реализован в программном пакете MATLAB.

Обучение, построенной сети, по алгоритму обратного распространения даёт хорошие результаты: ошибка сети достигает минимума в течение примерно 800 эпох. График изменения ошибки сети и результат её работы на исходных данных приведены на рис. 4, 5.

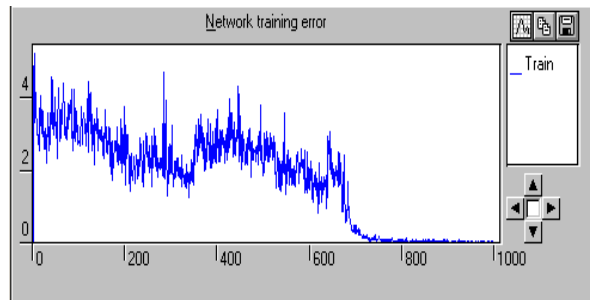


Рисунок 4 - График изменения ошибки

0.9577	0.0223	0.0214	0.0669	0.0002	0.0160
0.9855	0.0469	0.0140	0.0540	0.0006	0.0489
0.9655	0.0165	0.0455	0.0058	0.0013	0.0535
0.0071	0.9643	0.0082	0.0037	0.0027	0.0254
0.0253	0.9506	0.0078	0.0020	0.0013	0.0595
0.0101	0.9603	0.0462	0.0026	0.0012	0.0257
0.0198	0.0110	0.9532	0.0955	0.0053	0.0004
0.0035	0.0326	0.9831	0.0362	0.0046	0.0003
0.0225	0.0253	0.9847	0.0381	0.0065	0.0012
0.0168	0.0093	0.8273	0.0887	0.0173	0.0023
0.0125	0.0069	0.2044	0.9351	0.0234	0.0005
0.0110	0.0014	0.0513	0.9184	0.1006	0.0004
0.0185	0.0015	0.0403	0.9013	0.1151	0.0007
0.0085	0.0031	0.0251	0.5945	0.3814	0.0046
0.0066	0.0043	0.0351	0.3804	0.6366	0.0089
0.0045	0.0195	0.0804	0.0246	0.8359	0.1604
0.0028	0.0132	0.0174	0.0664	0.8845	0.1019
0.0140	0.0460	0.0569	0.0003	0.0856	0.9390
0.0113	0.0551	0.1085	0.0003	0.1584	0.9171
0.0130	0.0449	0.0591	0.0003	0.1061	0.9269

Рисунок 5 - Результат работы сети

## ВЫВОДЫ

Сравнение приведённого результата работы сети, с матрицей выходных параметров обучающей выборки наглядно демонстрирует, что сеть корректно распознаёт типы неисправностей по характерным гармоникам спектра.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барков А.В.** Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Учеб. Пособие./ А.В. Барков, Н.А.Баркова, Ю.А.Азовцев.- СПб.: Питер. - 2000.-158 с.
2. **Тэрano Т.** Прикладные нечёткие системы/ Тэрano Т.,Асаи К., Сугэно М. -М.:Мир. -1993.-368 с.
3. **Перевертайло, Ю.В.** Определение параметрических отказов станочного оборудования / Ю.В. Перевертайло, Р.Г. Кудояров, С.И. Фецак // СТИН. – 2007. – №11. – С. 9 – 13.
4. **Козочкин, М.П.** Оперативная диагностика при металлообработке – проблемы и задачи / М.П. Козочкин, Ф.С. Сабиров // Вестник МГТУ «Станкин», 2008. – №3. – С. 14 – 18.

### ОБ АВТОРАХ



**Басманов Максим Сергеевич.** Дипл. инж. по мехатронике (УГАТУ, 2012)  
e-mail: [maximon81@yandex.ru](mailto:maximon81@yandex.ru)



**Басманов Артем Сергеевич.** Дипл. инж. по мехатронике (УГАТУ, 2012)

e-mail: [art-men@list.ru](mailto:art-men@list.ru)



**Идрисова Юлия Валерьевна,** старший преподаватель кафедры мехатронных станочных систем УГАТУ. Дипл. инж. по автоматизации (УГАТУ, 2001). Исследования в области динамики и диагностики металлообрабатывающих станков.

e-mail: [yu.v.idrisova@mail.ru](mailto:yu.v.idrisova@mail.ru)



**Фецак Сергей Игоревич,** доцент кафедры мехатронных станочных систем технологических систем УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1985). Канд. техн. наук по технологиям и оборудованию механической и физико-технической обработки (защ. в ЭНИМСе, 1990). Исследования в области динамики мехатронных станочных систем.

e-mail: [for\\_in@bashnet.ru](mailto:for_in@bashnet.ru)

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Михайлова А. Б., Ахмедзянов Д. А.

Проектирование авиационных газотурбинных двигателей и наземных газотурбинных энергетических установок, а также их основных узлов и систем базируется на комплексе фундаментальных и прикладных исследований в аэро- и термодинамике, материаловедении, механике жидкости и газа и других науках.

В настоящее время ведутся работы над созданием газотурбинных энергетических установок нового поколения, демонстрирующих качественно новый уровень показателей эффективности рабочего процесса. Среди основных направлений развития компрессоров следует отметить сокращение числа ступеней при одновременном повышении суммарной степени повышения давления и адиабатического КПД. Это может быть достигнуто за счет значительного повышения аэродинамической нагруженности и адиабатического КПД отдельных ступеней. Ведутся работы по снижению акустического шума ступеней компрессора.

Характерные особенности компрессоров для газотурбинных энергетических установок обуславливаются особенностями применения газотурбинной энергетической установки, как системы более высокого уровня для проектируемого компрессора. Методология газодинамического проектирования компрессоров [1] представлена на рис. 1.

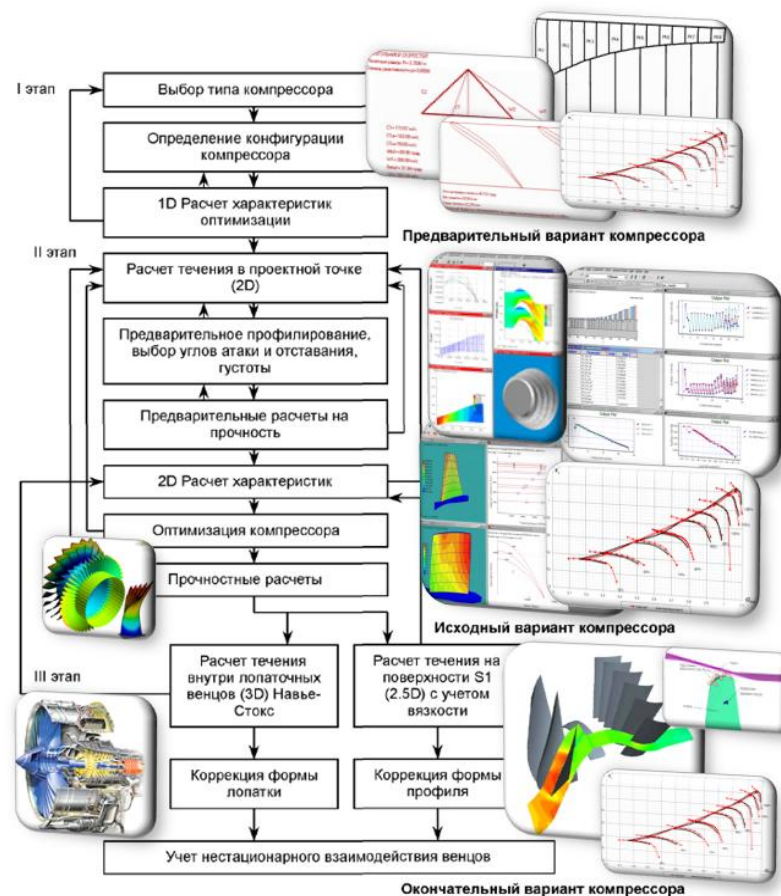


Рис. 1 Методология проектирования компрессоров

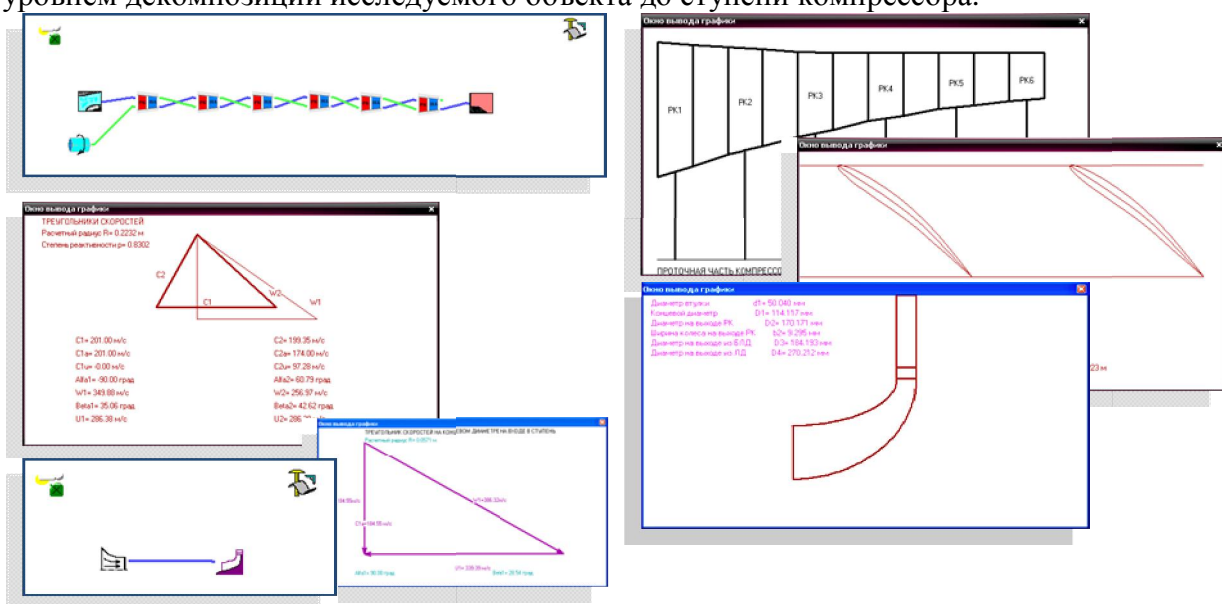


Повышение показателей эффективности газотурбинных энергетических установок достигается за счет повышения параметров термодинамического цикла тепловой машины. Одним из направлений повышения показателей эффективности является значительное повышение суммарной степени повышения полного давления в компрессоре. Перспективным направлением исследований является применение в газотурбинных энергетических установках центробежных компрессоров. Главным достоинством центробежного компрессора является возможность достижения в одной ступени высоких степеней повышения полного давления (в перспективных разработках ЦИАМ им. Баранова [2] и NASA  $\pi_{сг}=10..16$ ) при умеренном уровне адиабатического полного КПД, что обеспечивает значительное повышение суммарной степени повышения полного давления. Основным недостатком центробежных компрессоров является существенное увеличение диаметральных размеров относительно осевых ступеней, однако при использовании газотурбинного двигателя в составе энергетической установки ограничения по диаметральным размерам основных узлов не являются критичными. В результате в перспективных конструктивных схемах газотурбинных энергетических установок используются высоконагруженные центробежные компрессоры.

Авторами разрабатывается программный комплекс для информационного обеспечения и поддержки процесса проектирования компрессоров газотурбинных энергетических установок. Программный комплекс включает в себя системы имитационного моделирования компрессоров в одномерной и двухмерной постановках с возможностью интеграции с системой имитационного моделирования газотурбинных двигателей и энергетических установок, а также с программными комплексами для трехмерного компьютерного анализа.

Для разработки системы имитационного моделирования компрессоров авиационных ГТД и ГТЭУ в одномерной постановке использована разработанная в НИИ САПР-Д кафедры авиационных двигателей технология MetaСАПР САМСТО [3, 4]. В технологии САМСТО (Система автоматизированного моделирования сложных технических объектов) реализован объектно-ориентированный подход к построению информационных систем, в том числе средств имитационного моделирования технических объектов.

Для решения 1-D обратной и прямой задач разработана система имитационного моделирования COMPRESSOR [5]. В системе реализована математическая модель с уровнем декомпозиции исследуемого объекта до ступени компрессора.



**Рис. 1.** Внешний вид и визуализация результатов в СИМ COMPRESSOR при решении 1-D обратной задачи

Система моделирования позволяет в автоматизированном режиме решать широкий спектр работ на ранних стадиях проектирования компрессоров ГТД и ГТЭУ: оптимизация распределения теоретического напора и КПД по ступеням многоступенчатого компрессора; оптимизация распределения компонентов скоростей потока и кинематических параметров по ступеням компрессора; оптимизация геометрии проточной части компрессора исходя из различных целевых функций; разработка геометрических моделей компрессора исходя из обеспечения подобия режимов течения. Таким образом, система моделирования позволяет проводить на ранних стадиях проектирования при ограниченном количестве исходных данных сравнительный анализ большого количества проектных технических решений с последующим выбором оптимального варианта. Решение обратной задачи в СИМ COMPRESSOR является предварительным этапом для решения прямой задачи в одномерной постановке, позволяющей получить характеристику компрессора.

В СИМ COMPRESSOR разработана математическая модель для решения прямой задачи для многоступенчатого осевого компрессора в одномерной постановке [5, 7]. Математическая модель базируется на обобщенных характеристиках ступеней компрессора, предложенных впервые Л. Е. Ольштейном в ЦИАМ им. Баранова.

Суть метода заключается в определении двух безразмерных комплексов, зависящих от соотношения коэффициентов расхода в «расчетной» и текущей точках. Метод имеет ограниченный ( $M_u = 0,4 \dots 0,8$ ) диапазон применения, что делает невозможным его применение в компрессорах, имеющих сверхзвуковые ступени.

Авторами предложен метод решения прямой задачи, отличающийся от существующих более широким диапазоном применения с учетом современных тенденций в компрессоростроении (увеличение числа Маха в окружном направлении). На рис. 3 приведены полученные по результатам обработки экспериментальных характеристик высоконагруженных ступеней зависимости безразмерных комплексов  $K_1$  и  $K_2$  от режима работы ступени, характеризуемого безразмерным комплексом  $\bar{c}_a/\bar{c}_{a0}$ . Безразмерные комплексы, зависящие от кинематики потока, выражаются следующими зависимостями:

$$K_1 = \frac{\bar{H}}{\eta_{\text{к}}^*} \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}} \frac{\bar{H}_0}{\eta_{\text{к}0}^*}, \quad K_2 = \bar{H} - \bar{H}_0 \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}}. \quad (1)$$

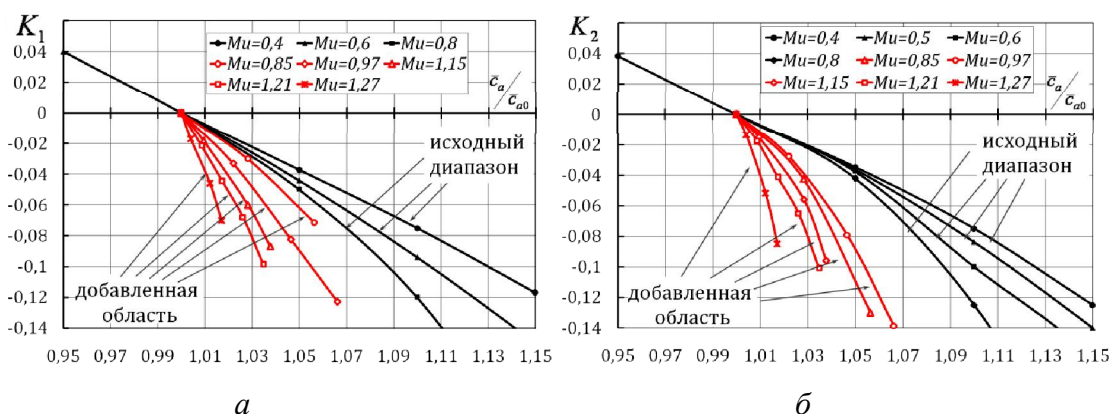


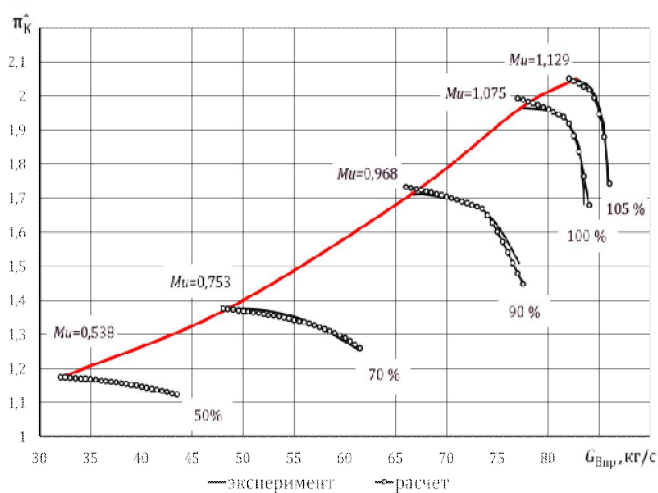
Рис. 3. Обобщенные характеристики ступени компрессора,  $a - K_1 = f(\bar{c}_a/\bar{c}_{a0}, M_u)$ ,  $b - K_2 = f(\bar{c}_a/\bar{c}_{a0}, M_u)$  при  $M_u = 0,4 \dots 1,27$

Безразмерные комплексы позволяют рассчитать КПД и степень повышения давления при различных режимах работы ступени по частоте вращения и расходу воздуха. Для прогнозирования характеристик многоступенчатых осевых компрессоров используется метод сложения характеристик отдельных ступеней.

Метод обобщенных зависимостей наряду с очевидными преимуществами (небольшой объем исходных данных) обладает одним существенным недостатком –

необходимостью наличия всех данных в «расчетной» точке. Под «расчетной» понимается точка на ветви характеристики с максимальным КПД. Таким образом, для расчета каждой конкретной ветви характеристики необходимо задаваться «расчетными», то есть соответствующими точке с максимальным КПД, значениями следующих параметров: частота вращения, расход воздуха, углы входа потока в РК по абсолютной скорости и углы выхода потока из РК по относительной скорости. Однако задача существенно упрощается, если одновременно с прямой задачей решать обратную, проектировать компрессор под заданные условия, но с неизменной геометрией. Для определения КПД в «расчетной» точке на каждой ветви характеристики используется модель, предложенная в ЦИАМ Г. А. Комиссаровым по результатам обобщения экспериментальных характеристик компрессоров [8].

На рис. 4 представлены результаты верификации СИМ COMPRESSOR на примере высоконагруженной ступени компрессора. Можно отметить высокую сходимость расчетных и экспериментальных результатов в широком диапазоне чисел Маха по окружной скорости. Разработанная математическая модель адекватно отражает физическую природу процессов, протекающих в компрессоре, что подтверждается характерным изменением кривизны напорных веток при повышении окружной скорости.



**Рис. 4.** Верификация СИМ COMPRESSOR на примере высоконагруженной ступени компрессора

Для решения 2-D прямой задачи для многоступенчатого осевого компрессора разработана система имитационного моделирования COMPRESSOR\_2D, в которой реализована двумерная осесимметричная модель рабочего процесса. В двумерной математической модели течение представляется в виде совокупности каналов между двумя поверхностями тока на различном уровне по высоте проточной части компрессора.

Согласно двумерной осесимметричной математической модели рабочий процесс в межлопаточном канале на произвольном уровне по высоте проточной части определяется углом поворота и потерями полного давления. Потери полного давления выступают функцией параметров геометрии лопаточного венца, числа Маха на входе в межлопаточный канал, коэффициента диффузорности, радиального положения в лопаточном венце и осевого положения лопаточного венца. Угол поворота потока в межлопаточном канале является функцией параметров геометрии лопаточного венца, числа Маха на входе в межлопаточный канал, радиального положения в лопаточном венце.

На рис. 5 представлена структурная схема ступени осевого компрессора в СИМ COMPRESSOR\_2D, можно отметить, что уровень декомпозиции изменился до лопаточного венца по сравнению с СИМ COMPRESSOR.

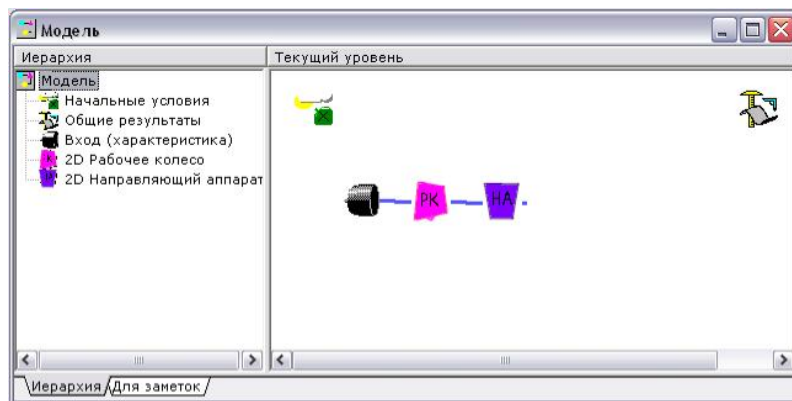


Рис. 5. Структурная схема модели ступени осевого компрессора в СИМ COMPRESSOR\_2D

Для верификации разработанной математической модели и системы моделирования использована высоконагруженная экспериментальная осевая ступень компрессора. На характеристике выбраны три характерные расчетные точки на напорной ветви: 1– точка в устойчивой области; 2– точка на границе устойчивой работы компрессора; 3– точка с максимальным расходом воздуха на ветви.

В каждой расчетной точке проведено моделирование рабочего процесса с использованием СИМ COMPRESSOR\_2D. Проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных эпюр радиального распределения параметров за лопаточными венцами, результаты сравнения представлены на рис. 6-8.

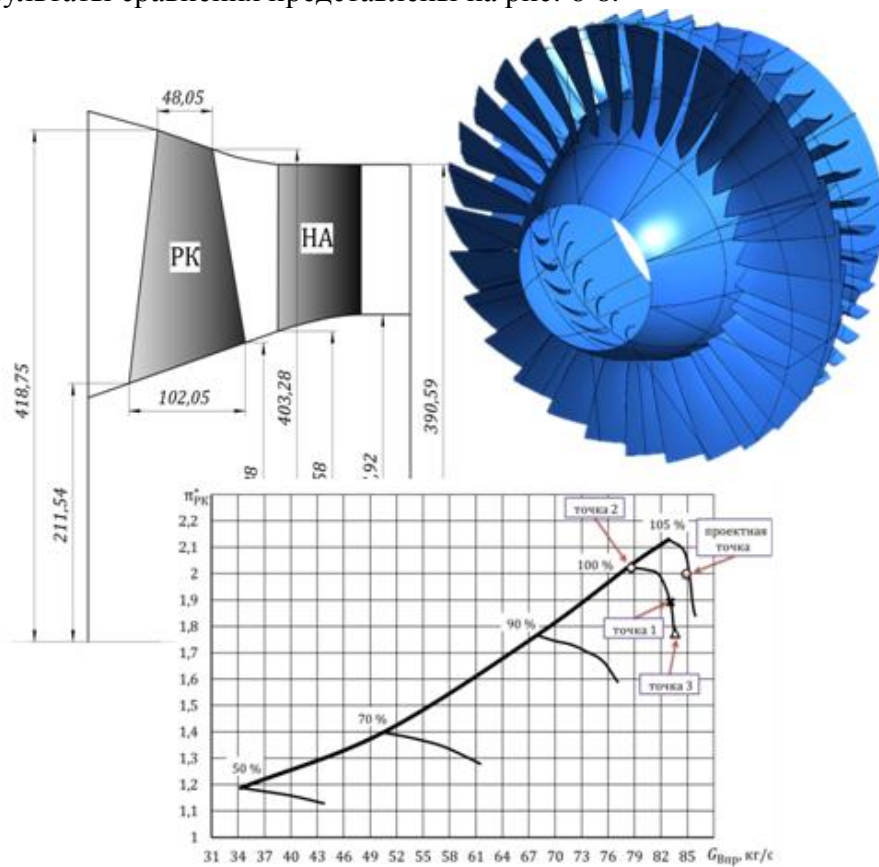


Рис. 6. Внешний вид исследуемой ступени и напорная характеристика с характерными расчетными точками

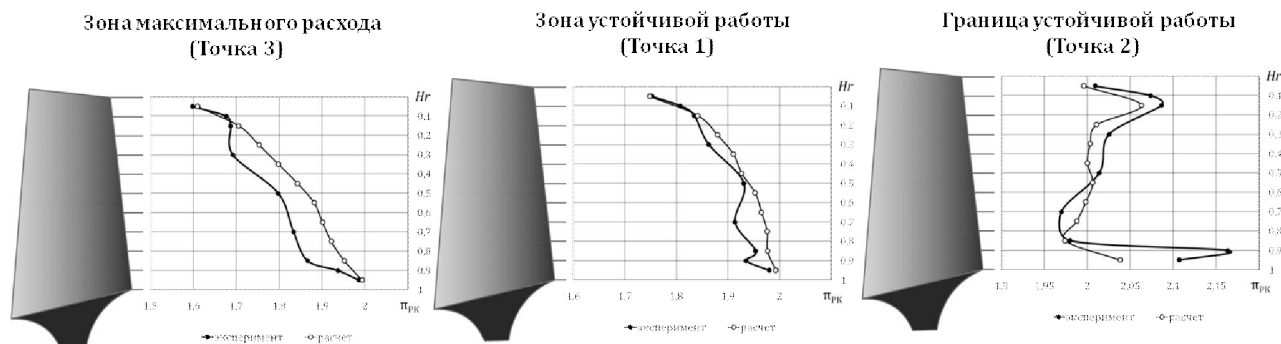


Рис. 7. Радиальное распределение степени повышения полного давления за рабочим колесом

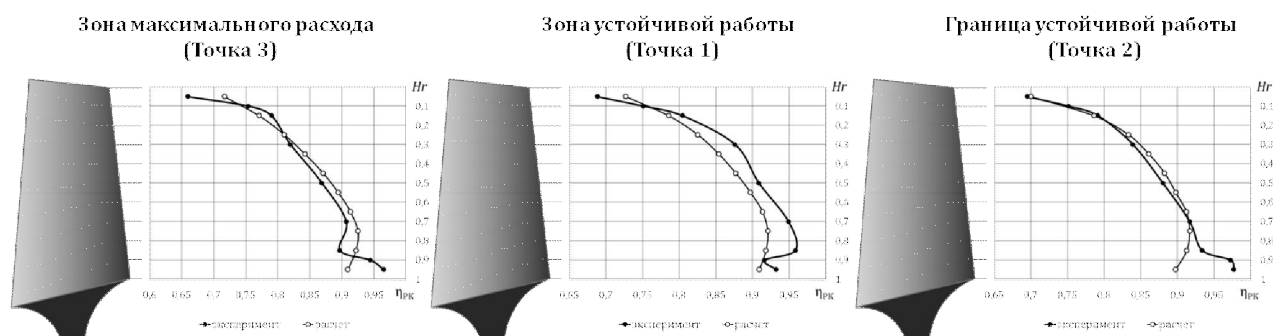


Рис. 8. Радиальное распределение адиабатического КПД за рабочим колесом

Одним из ключевых вопросов при проектировании компрессора на различных стадиях является обеспечение необходимых запасов газодинамической устойчивости рабочего процесса. Соответственно, особую актуальность приобретает вопрос прогнозирования границы устойчивой работы компрессора при решении прямой 1-D и 2-D задачи на ранних стадиях проектирования с высокой степенью точности.

Для решения поставленной задачи разработана методика определения границы устойчивой работы многоступенчатого осевого компрессора в одномерной и двухмерной постановках с помощью дискретного ограничения по критическому углу атаки для отдельных венцов и ступеней компрессора.

Для прогнозирования границы устойчивой работы используются оригинальные безразмерные комплексы, характеризующие отклонение режима течения в межлопаточном канале от номинального режима, характеризующегося минимальным значением коэффициента потерь полного давления в решетке.

Анализ обобщенной характеристики плоской решетки профилей позволяет определить два безразмерных критерия для границы зарождения срывных зон на спинке профиля и развитого срыва потока со спинки профиля [9-11].

Зарождение срывных зон на спинке профиля:

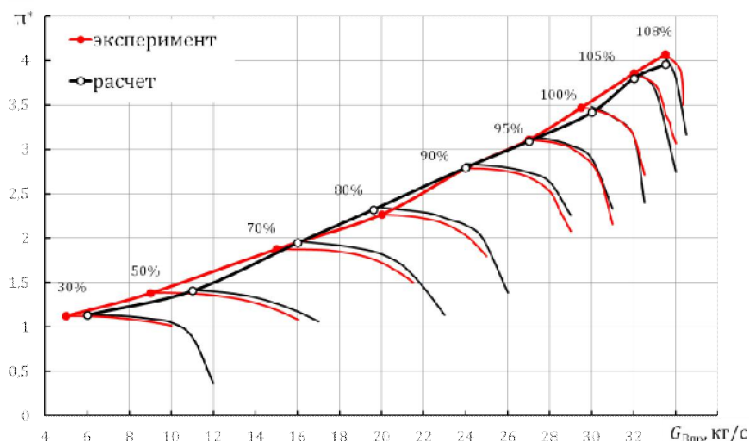
$$\left( \frac{i - i_{ref}}{\varepsilon_{ref}} = 0,2 \right) \quad (2)$$

Развитый срыв потока со спинки профиля:

$$\left( \frac{i - i_{ref}}{\varepsilon_{ref}} = 0,4 \right) \quad (3)$$

Предложенные безразмерные комплексы позволяют разработать методику

прогнозирования границы устойчивой работы многоступенчатого компрессора в одномерной и двухмерной постановках, которая была реализована в системах COMPRESSOR и COMPRESSOR\_2D. На рис. 9 представлены результаты верификации предложенных методик и математических моделей.



**Рис. 9.** Верификация методики определения границы устойчивой работы трехступенчатого компрессора

В качестве заключения следует отметить, что решенные в работе задачи, разработанные методики, математические модели и системы моделирования COMPRESSOR и COMPRESSOR\_2D позволяют повысить эффективность ранних стадий проектирования, а также сократить сроки и трудоемкость последующих стадий проектирования и экспериментальной доводки компрессоров авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А. А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. В 5 т. Т. 2 / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. – М. : Машиностроение, 2008. – 366 с.
2. ЦИАМ 1980-2000. Научный вклад в создание авиационных двигателей: в 2 кн. / Центр.ин-т авиац.моторостроения им. П. И. Баранова / Под общ. ред. В. А. Скибина, В. И. Солонина. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2000. – 724 с.
3. Ахмедзянов Д. А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011611712. САМСТО / Д. А. Ахмедзянов, И. А. Кривошеев, Д. Г. Кожин. М.: Роспатент, 2011.
4. Тунаков А. П. САПР газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов – Уфа: УГАТУ, 2005. – 272 с.
5. Михайлова А. Б. Методики и компьютеризированная технология двухуровневого газодинамического моделирования компрессоров авиационных ГТД: дисс. канд. техн. наук/ А. Б. Михайлова; Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2011.– 242 с.
6. Ахмедзянов Д. А. Методика расчета и моделирование осевых компрессоров авиационных ГТД / Д. А. Ахмедзянов, А. Б. Козловская (Михайлова) // Вестник УГАТУ. – Уфа : УГАТУ, 2009. – №1 (34). – с. 9-20.

7. Ахмедзянов Д. А. О применении метода Ольштейна для расчета характеристик осевых многоступенчатых компрессоров / Д. А. Ахмедзянов, Ю. М. Ахметов, А. Б. Козловская (Михайлова), А. Е. Михайлов. Уфа: Вестник УГАТУ. Т14. -№3 (38) - 2010. с.16-31.
8. Комиссаров Г. А. Методика газодинамического расчета осевого компрессора / Г. А. Комиссаров, В. М. Микиртичан, М. В. Хайт. – М. : ЦИАМ, 1961. С 132 с.
9. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1 / Г. Н. Абрамович. – М. Наука, 1991. – 600 с.
10. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1967. – 428 с.
11. Козловская А. Б. (Михайлова) Расчет характеристик осевых компрессоров совместно с границей устойчивой работы / А. Б. Козловская (Михайлова) и др. // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2010. – №5 (40). – С. 15-26.
12. Хронин Д. В. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / [С. А. Вьюнов и др.] ; под общ. ред. Д. В. Хрониной. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

## ОБ АВТОРАХ



**Михайлова Александра Борисовна**, кандидат техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2011), дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2008). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования

e-mail: [alexandra11112007@yandex.ru](mailto:alexandra11112007@yandex.ru)



**Ахмедзянов Дмитрий Альбертович**, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД

УДК 621.45.037

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Михайлов А. Е., Нигматуллин Р. Р.**

Характерные особенности газотурбинных двигателей, применяемых в беспилотных летательных аппаратах, во многом определяются целевым функциональным назначением летательного аппарата. Для поддержки ранних стадий проектирования газотурбинных двигателей беспилотных летательных аппаратов необходимо провести классификацию

беспилотных летательных аппаратов с определением характерных особенностей, обуславливающих выбор типа, структуры, параметров термодинамического цикла, конструктивных особенностей, применяемых материалов деталей и технологий их изготовления, а также алгоритмов управления на установившихся и неуставившихся режимах работы.

Исходя из функционального назначения, беспилотные летательные аппараты можно классифицировать следующим образом:

- Системы управления, контроля, связи, вычисления, сбора информации, наблюдения и разведки (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance – C4ISR) – беспилотные летательные аппараты, основной задачей которых является наблюдение и разведка. Летательные аппараты данного класса характеризуются большой дальностью и длительностью полета, высоким уровнем высоты полета, высокой дозвуковой скоростью полета, в качестве полезной нагрузки используется коммуникационное и разведывательное оборудование. Типичным современным представителем является C4ISR БПЛА RQ-4 Global Hawk [1], разработанный в Northrop Grumman (США) в 1998 году (рис. 1).



**Рис. 1.** Внешний вид беспилотного летательного аппарата RQ-4 Global Hawk

- Ударно-разведывательные беспилотные летательные аппараты (Unmanned Combat Aerial Vehicles -UCAV). Главной задачей летательных аппаратов данного типа является обнаружение, распознавание и уничтожение заданных целей. Ударно-разведывательные беспилотные летательные аппараты характеризуются средним уровнем дальности и длительности полета, средним уровнем высоты полета и высоким уровнем скорости полета. В качестве полезной нагрузки беспилотного летательного аппарата может выступать разведывательное оборудование и различное вооружение. Типичным представителем данного класса можно считать ударно-разведывательный летательный аппарат MQ-1 Predator [2], разработанный в General Atomics (США) в 1994 году. В качестве вооружения MQ-1 Predator используются противотанковые управляемые ракеты AGM-114 «Hellfire» (рис. 2).





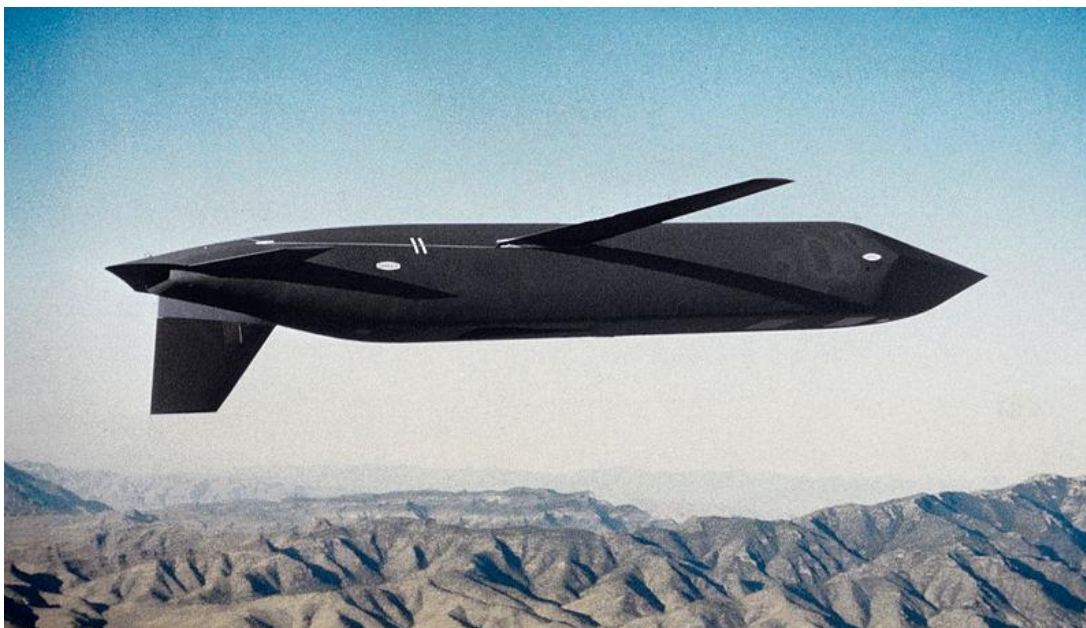
**Рис. 2.** Внешний вид беспилотного летательного аппарата MQ-1 Predator

- Беспилотные летательные аппараты поля боя (Battlefield unmanned aerial vehicle). Основной задачей летательных аппаратов данного класса также являются наблюдение и разведка. Летательные аппараты данного класса характеризуются относительно малой дальностью и длительностью полета, низким уровнем высоты и дозвуковой скоростью полета. В качестве полезной нагрузки выступает компактное и легкое разведывательное оборудование. Типичным представителем данного класса является тактический разведывательный беспилотный летательный аппарат RQ-2 Pioneer [3], разработанный в AAI Corporation (США) в 1986 году (рис. 3).



**Рис. 3.** Внешний вид беспилотного летательного аппарата RQ-2 Pioneer

- Крылатые ракеты (cruise missile). Главная задача состоит в уничтожении объектов наземного, воздушного и надводного базирования. Классификация крылатых ракет производится по типу поражаемых объектов и крейсерской скорости полета. По величине скорости полета крылатые ракеты подразделяются на гиперзвуковые (крейсерская скорость полета свыше 5М), сверхзвуковые (скорость полета свыше 1М, дальность полета как правило 100-500 км), дозвуковые ракеты большой дальности (дальность полета как правило свыше 1000км при скорости полета около 800 км/ч, взлетный вес ракеты составляет около 1500 кг, ракета может иметь боевую часть с ядерным зарядом), дозвуковые ракеты средней дальности (имеют схожие размеры и вес, однако дальность полета составляет менее 1000 км), дозвуковые крылатые ракеты низкой дальности полета (дальность полета составляет менее 300 км, взлетный вес может достигать 500 кг). На рис. 4 представлена дозвуковая крылатая ракета AGM-129 ACM [4]. Беспилотный летательный аппарат AGM-129 ACM разработан Raytheon Missile Systems (США)



**Рис. 4.** Внешний вид беспилотного летательного аппарата AGM-129 ACM

Остановимся более детально на характеристиках беспилотных летательных аппаратов, обуславливающих применяемый тип силовой установки и ее характерные особенности. Беспилотные летательные аппараты поля боя как правило имеют компактные размеры и взлетную массу менее 100 кг. Это ограничивает возможность применения газотурбинных двигателей в тактических беспилотных летательных аппаратах поля боя. В летательных аппаратах данного типа в качестве силовой установки могут использоваться поршневые двигатели с аэродинамическим винтом, либо высокоэффективные турбовинтовые и микрогазотурбинные двигатели.

Современные С4ISR беспилотные летательные аппараты проектируются с номинальной взлетной массой на уровне 10-12 тонн, существуют перспективные схемы С4ISR летательных аппаратов с взлетной массой 40-45 тонн. Этот факт обуславливает сходство силовых установок С4ISR беспилотных летательных аппаратов с пилотируемыми летательными аппаратами аналогичного функционального назначения. Отличительной особенностью С4ISR беспилотного летательного аппарата является снижение размеров и взлетной массы относительно пилотируемого летательного аппарата за счет отсутствия систем жизнеобеспечения экипажа и кабины пилота. Это обеспечивает снижение размерности и стоимости силовой установки с газотурбинным двигателем.

Существуют три характерные особенности С4ISR и ударно-разведывательных летательных аппаратов, которые отличают их от пилотируемых летательных аппаратов с

аналогичным функциональным назначением:

1) Длительность полета беспилотного летательного аппарата может быть намного выше чем у пилотируемого летательного аппарата, поскольку отсутствует ограничение выносливости экипажа летательного аппарата.

2) Сценарий применения беспилотного летательного аппарата может включать в себя длительный период консервирования беспилотного комплекса, что обуславливает характерные конструктивные особенности, а также снижение ресурса относительно пилотируемого летательного аппарата аналогичного функционального назначения.

3) Повышенный отбор мощности от силовой установки на нужды полезной нагрузки и систем летательного аппарата.

Сценарий применения C4ISR беспилотных летательных аппаратов подразумевает полет на высокой дозвуковой скорости (до 0.9-0.95 М) [2] и большой высоте (12-15)км, а также высокая дальность полета обуславливают применение двухконтурных турбореактивных двигателей, которые являются более энергоэффективными с точки зрения удельного расхода топлива. Большое значение взлетной массы (от 10-12 до 40-45 тонн) обуславливает применение двухконтурных турбореактивных двигателей с высокой степенью двухконтурности. В качестве подтверждения следует отметить, что на C4ISR беспилотном летательном аппарате RQ-4 Global Hawk установлен двухконтурный турбореактивный двигатель AE3007H [6], разработанный компанией Rolls-Royce North America. Двигатель AE3007H имеет тягу 42кН при степени двухконтурности 5 и суммарной степени повышения давления 23. Двигатель имеет одноступенчатый вентилятор, 14-ти ступенчатый компрессор высокого давления, двухступенчатую турбину высокого давления и трехступенчатую турбину низкого давления. Следует отметить характерную особенность, двигатель AE3007H устанавливается на ряд региональных и коммерческих самолетов гражданского назначения, таких как Cessna CitationX и Embraer ERJ 145.

Для ударно-разведывательных беспилотных летательных аппаратов не подходят классические двухконтурные двигатели с высокой степенью двухконтурности и низким удельным расходом топлива, которые нашли широкое применение в гражданской авиации из-за большого лобового сопротивления и габаритных размеров. При этом турбореактивные двигатели с низкой степенью двухконтурности и высоким удельным расходом топлива, которые нашли применение в боевой авиации не обеспечивают потребный уровень экономичности. Можно заключить, что перспективные схемы ударно-разведывательных беспилотных летательных аппаратов требуют проведения поисковых исследований для обеспечения оптимальных параметров силовой установки исходя из выбранного сценария применения.

Следует отметить, что сценарий применения C4ISR и ударно-разведывательных беспилотных летательных аппаратов предполагает полет на большой высоте (до 30 км), что обуславливает необходимость учета при проектировании ряда специфических явлений [7], таких как:

- Учет влияния числа Рейнольдса на рабочий процесс в основных узлах ГТД. Снижение числа Рейнольдса при увеличении высоты приводит к повышению толщины пограничного слоя на элементах проточной части, и соответственно к увеличению потерь полного давления в элементах проточной части основных узлов.

- Увеличение эксплуатационного диапазона работы топливоподающей аппаратуры по расходу топлива в основной камере сгорания. Увеличение высоты полета приводит к расширению диапазона работы топливного автоматики за счет снижения расхода топлива на крейсерском режиме полета. Это вызывает определенные проблемы с устойчивостью процессов горения, распылением топлива и высотным запуском камеры сгорания.

- Снижения теплообмена корпуса двигателя с атмосферой при увеличении высоты полета, что приводит к ухудшению охлаждения корпуса. Это может приводить к

перегреву корпуса двигателя, а также вызывать увеличения радиального зазора в турбине, что негативно сказывается на эффективности рабочего процесса.

- Работа системы смазки, пневматических клапанов и системы измерения тяги двигателя могут зависеть от абсолютного перепада давления, который снижается по мере увеличения высоты полета.

Отдельным классом беспилотных летательных аппаратов боевого назначения являются крылатые ракеты различных типов. Крылатые ракеты являются летательными аппаратами одноразового применения, что накладывает свои специфические требования на силовую установку, причем основным из них следует считать низкую стоимость. Принципы проектирования, испытания и эксплуатации ГТД одноразового применения существенно отличаются от методов создания двигателей для пилотируемых либо многократно применяемых летательных аппаратов.

Применение классического при создании авиационных двигателей подхода к созданию ГТД одноразового применения привело бы к появлению для беспилотных летательных аппаратов двигателей с относительно высоким уровнем характеристик и ресурсом, но большой стоимости.

Основной путь снижения стоимости двигателя – максимальное упрощение его конструкции и технологии изготовления. Разработка конструкции и технологии изготовления наиболее дорогостоящей части ГТД – его турбокомпрессора основывается на концепции максимальной экономии [8].

При создании ТРД одноразового применения необходимо соблюдать следующие требования [9]:

- использование термодинамического цикла с умеренными параметрами, в частности  $\pi_K^* = 5..6$ , что существенно уменьшает число ступеней турбокомпрессора, позволяя применить одноступенчатую турбину и компрессор с малым числом ступеней; температура газа выбирается из условия отсутствия охлаждения лопаток турбины;

- тщательный выбор характеристик элементов двигателя, в связи с чем применение центробежного компрессора необязательно, так как осевой компрессор с малым числом ступеней при практически одинаковом с центробежным компрессором КПД имеет меньший диаметр;

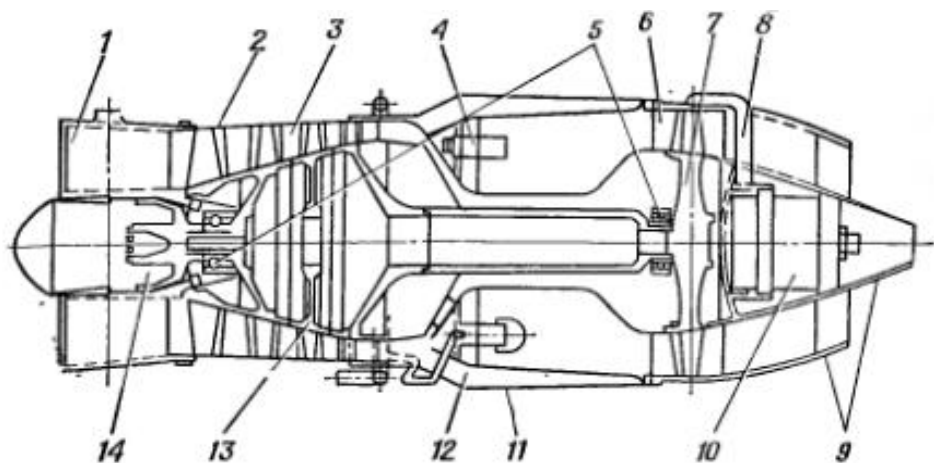
- минимальный объем механической обработки деталей и узлов, что достигается, прежде всего, упрощением конструкции, т.е. снижением числа мелких деталей, снижением требуемой точности изготовления, уменьшением числа резьбовых соединений и т.п., при этом целесообразно применение литых деталей, в том числе роторов, использование высокопроизводительных технологических процессов – холодной штамповки лопаток и камер сгорания, сварки, формовки и др.;

- упрощение систем двигателя, прежде всего топливной, смазки и управления, установка устройства для запуска двигателя на стартовой платформе, исключение привода агрегатов от двигателя;

- тщательное проектирование производственной оснастки, обеспечивающее снижение до минимума амортизационных расходов.

Следует отметить, что параметры ТРД одноразового применения по удельной тяге и удельному расходу топлива получаются хуже, чем у авиационных ТРД, хотя удельная масса их ниже, однако такие газотурбинные двигатели в целом остаются более экономичными, чем ракетные.

На рис. 5 представлен конструктивный облик перспективного турбореактивного двигателя для сверхзвуковой крылатой ракеты. В качестве характерных особенностей двигателя следует отметить четырехступенчатый осевой компрессор, испарительную камеру сгорания, одноступенчатую неохлаждаемую турбину и укороченное сужающееся сопло с центральным телом.

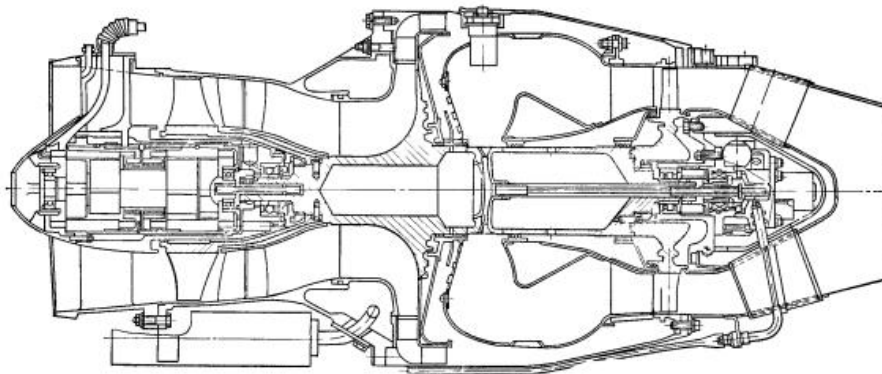


**Рис. 5** Внешний вид ТРД для сверхзвуковой крылатой ракеты фирмы «Curtiss-Wright» [8]

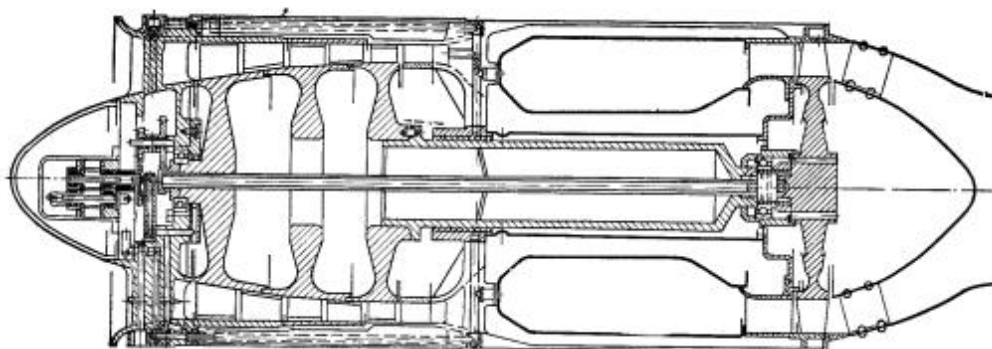
где 1- входное устройство, 2-корпус компрессора, 3- направляющие лопатки и кольца, 4- пиропатрон, 5- подшипник с консистентной системой смазки, 6- сопловой аппарат турбины, 7- неохлаждаемый ротор турбины, 8- газовая камера стартера и опорная стойка, 9- сопло и кок, 10- патрон пускового газогенератора, 11- корпус камеры сгорания, 12- входная часть камеры сгорания и испарительные трубки, 13- диски с лопатками ротора компрессора, 14- генератор с непосредственным приводом от вала двигателя

В качестве одного из современных короткоресурсных двигателей для крылатых ракет следует отметить двигатель Teledyne J402 (США). Данный двигатель устанавливается на противокорабельную дозвуковую крылатую ракету «Harpoon», разработанную в McDonnell Douglas (США). Двигатель выполнен в классе тяги 3кН при стандартных атмосферных условиях, что является характерной величиной для дозвуковых крылатых ракет малой дальности полета. Двигатель J402 имеет умеренные параметры термодинамического цикла, суммарная степень повышения полного давления составляет 5.6-5.8, температура газов за камерой сгорания составляет 1285К. Характерной особенностью двигателя J402 (рис. 6) является двухступенчатый компрессор, выполненный по комбинированной схеме – первая ступень осевая трансзвуковая, вторая ступень центробежная – с односторонней крыльчаткой рабочего колеса. Камера сгорания выполнена по кольцевой схеме, имеет центробежную систему подачи топлива в жаровую трубу через вращающийся вал турбокомпрессора. Турбина является одноступенчатой, сопловой аппарат охлаждается вторичным воздухом из-за камеры сгорания, рабочее колесо неохлаждаемое. Реактивное сопло с центральным телом, длина укорочена. Уменьшенная длина двигателя позволяет использовать двухопорную схему ротора, что позволяет упростить конструкцию и снизить себестоимость двигателя. Для запуска двигателя используется пороховой стартер, продукты сгорания которого направляются на рабочее колесо центробежного компрессора.

Для семейства дозвуковых короткоресурсных беспилотных летательных аппаратов фирмой Microturbo разработан короткоресурсный одновальный ТРД TRI.60-1. Данный двигатель имеет тягу 3.5кН при стандартных атмосферных условиях и характерно отличается умеренным уровнем термодинамических параметров, степень повышения полного давления составляет 3.7, температура газов за камерой сгорания составляет 1198К. Двигатель TRI.60-1 имеет трехступенчатый осевой компрессор, кольцевую бездымную камеру сгорания и одноступенчатую неохлаждаемую турбину. Внешний вид двигателя TRI.60-1 представлен на рис. 7.



**Рис. 6** Внешний вид ТРД Teledyne J402 для сверхзвуковой крылатой ракеты [8]

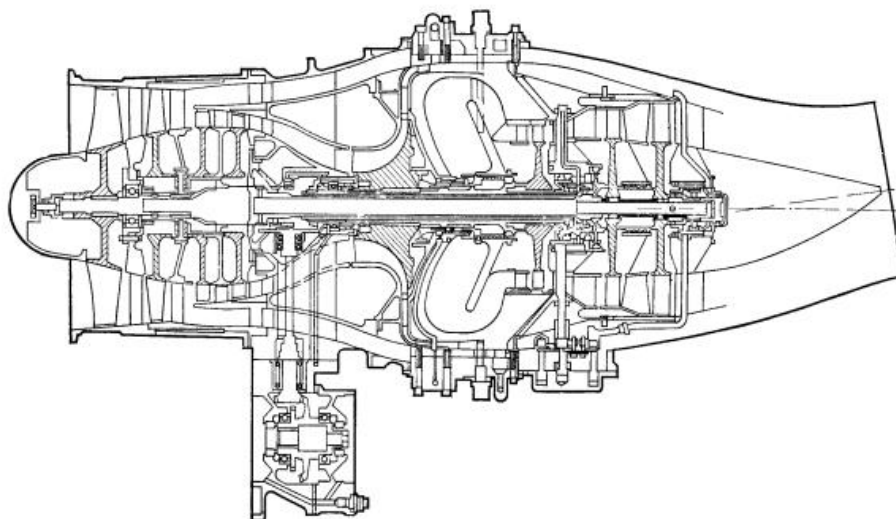


**Рис. 7** Внешний вид ТРД Microturbo TRI.60-1 для сверхзвуковой крылатой ракеты [10]

Анализ схем двигателей на рис. 6 и 7 позволяет выявить принципиальное сходство подходов к созданию короткоресурсных двигателей для дозвуковых крылатых ракет малой дальности.

Одной из современных тенденций в разработке силовых установок для дозвуковых крылатых ракет является применение двухконтурных турбореактивных двигателей с низкой степенью двухконтурности, что позволяет снизить величину удельного расхода топлива и повысить дальность полета летательного аппарата. Одним из представителей семейства двухконтурных турбореактивных двигателей для дозвуковых крылатых ракет в классе до 3кН является двигатель F107-WR-100, разработанный компанией Williams Research (США). Двигатель F107-WR-100 имеет степень двухконтурности 1.03, суммарную степень повышения полного давления в компрессоре 13.8, температуру газов за камерой сгорания 1280К. Эта совокупность параметров цикла обеспечивает тягу двигателя на уровне 2.8кН. Двигатель имеет двухступенчатый вентилятор, трехступенчатый компрессор, выполненный по комбинированной осецентрибежной схеме. Камера сгорания выполнена по кольцевой схеме, имеет центростремительную систему подачи топлива в жаровую камеру. Турбина высокого давления одноступенчатая, нехлаждаемая, турбина низкого давления двухступенчатая. Двигатель выполнен по схеме со смешением потоков, реактивное сопло сужающееся, с центральным телом. Меридиональное сечения двигателя F107-WR-100 представлено на рис. 8.

Отдельно следует отметить, что уровень параметров, определяющих эффективность рабочего процесса в основных узлах ГТД следует выбирать на ранних стадиях проектирования с учетом особенностей технологического обеспечения производства элементов проточной части. Проектирование короткоресурсного ГТД требует поиска компромисса между уровнем эффективности рабочего процесса в основных узлах ГТД и уровнем термического КПД цикла, а также стоимостью и технологичностью производства ГТД.



**Рис. 8** Внешний вид ТРД Williams Research F107-WR-100 для сверхзвуковой крылатой ракеты [8]

Описанные подходы к проектированию и характерные особенности короткоресурсных двигателей для дозвуковых крылатых ракет различной дальности могут быть использованы при проектировании силовых установок для сверхзвуковых крылатых ракет. На сверхзвуковых крылатых ракетах нашли применение прямоточные реактивные двигатели и высокоскоростные турбореактивные двигатели. Особенности выбора типа силовой установки связаны с компоновкой и особенностями применения сверхзвуковой крылатой ракеты. Применение турбореактивных двигателей на сверхзвуковых крылатых ракетах требует повышения уровня параметров термодинамического цикла. Рост параметров термодинамического цикла отражается в росте массы и сложности конструкции, однако сценарий применения крылатой ракеты оправдывает рост себестоимости силовой установки.

В качестве заключения следует отметить, что представленный обзор может быть использован на этапе функционального проектирования силовых установок для беспилотных летательных аппаратов различного назначения и повышает эффективность и достоверность принимаемых решений.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. High-Altitude, Long-Endurance Unmanned Aircraft Systems: [сайт]. URL: <http://www.as.northropgrumman.com/products/globalhawk/index.html>.
2. Richard Nelson. Development of Engines for Unmanned Air Vehicles: Some Factors To Be Considered / J. Richard Nelson, Donald M. Dix. – Alexandria: Institute for Defense Analyses. – 90 p.
3. Unmanned Systems: [сайт]. URL: [http://www.aaicorp.com/products/uas/uas\\_main.html](http://www.aaicorp.com/products/uas/uas_main.html).
4. Raytheon Missile Systems: [сайт]. URL: <http://www.raytheon.com/capabilities/products/>
5. Rolls-Royce AE3007H: [сайт]/ URL: [http://www.rolls-royce.com/Images/ae3007\\_tcm92-6713.pdf](http://www.rolls-royce.com/Images/ae3007_tcm92-6713.pdf).
6. U.S. Air Force Guide Specification AFGS-87271, “Engines, Unmanned Air Vehicle, Airbreathing Gas Turbine, Expendable,” 18 June 1993
7. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учеб./ под общей ред. В. А. Сосунова, В. М. Чепкина. М.: МАИ, 2003. – 688 с.

8. Пономарев Б.А. Настоящее и будущее авиационных двигателей.- М.: Воениздат, 1982.- 240 с.
9. Wilson F., Lehnhardt D. Propulsion system requirements for expendable low cost turbine engines for missile application.- The 3rd International Symposium on Air Breathing Engines. Munich, Germany, 1976, paper n 39.
10. The Market for Missile/Drone/UAV Engines. Product Code #F655. A special focused Market segment analysis by Forecast International. 2010, 18 p.

## ОБ АВТОРАХ



**Кривошеев Игорь Александрович**, проф. каф. авиац. двигателей, декан ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УАИ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2001). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей



**Ахмедзянов Дмитрий Альбертович**, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД

e-mail: [ada@ugatu.ac.ru](mailto:ada@ugatu.ac.ru)



**Михайлов Алексей Евгеньевич**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2010). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД



**Нигматуллин Руслан Радикович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бакалавра техники и технологии по специальности «Авиаракетостроение» (УГАТУ, 2012). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД



## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТАХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Кривошеев И.А., Ахмедзянов Д.А., Михайлов А.Е., Нигматуллин Р. Р.**

Беспилотный летательный аппарат – разновидность летательного аппарата, управление которым не осуществляется пилотом на борту. Различают следующие беспилотные летательные аппараты: неуправляемые; автоматические; дистанционно пилотируемые летательные аппараты.

Широкое применение для БПЛА различного назначения (мишени, фоторазведчики, корректировщики боевых действий, боевые ракеты и др.) получили как маломощные газотурбинные двигатели (ТРД, ТРДД и ТВД с  $G_{В\text{пр}} \leq 10$  кг/с) для дозвуковых скоростей полета, так и достаточно мощные ГТД (ТРД с  $G_{В\text{пр}} \geq 30$  кг/с) для транс- и сверхзвуковых скоростей полета и диапазоном изменения расхода топлива на максимальных режимах (по частоте вращения)  $G_{Т\text{max}}/G_{Т\text{min}} = 10..20$ .

С учетом специфики применения силовых установок для БПЛА одноразового применения стоимость двигателей и их разработки должна быть минимизирована, но при этом необходимо учитывать и сопоставление стоимостей одноразового БПЛА и выполняемой им функции (например, стоимость крылатой ракеты и авианесущего крейсера, для уничтожения которого ракета и ее силовая установка разрабатываются), что оправдывает достаточно высокую стоимость силовой установки для крылатых ракет специального назначения.

Тем не менее, проблема минимизации затрат на этапе проектирования силовой установки является чрезвычайно актуальной. Особенно это касается начальных этапов проектирования, на которых возможна замена физических экспериментов и опережающих испытаний натурных объектов проведением математического моделирования.

В настоящей работе рассматривается вопрос выбора силовой установки для БПЛА одноразового применения для дозвуковых скоростей полета с помощью средств имитационного моделирования различного уровня и функционального назначения.

Одним из интенсивно развивающихся направлений в отечественном авиадвигателестроении является широкое внедрение на этапах НИОКР расчетных методов исследования, базирующихся на использовании возрастающей производительности ЭВМ и современных прикладных программ, которые позволяют моделировать сложные физические процессы, происходящие в ГТД и его основных узлах. Такой путь требует значительно меньших финансовых затрат, чем экспериментальная отработка авиационных двигателей и их элементов, и позволяет в современных условиях проводить научно-исследовательские работы с высокой эффективностью. Кроме того, сочетание современных расчетных методов и численных методов оптимизации дают возможность проведения целенаправленного поиска технических проектных решений, обеспечивающих предельные значения показателей эффективности разрабатываемых авиационных газотурбинных двигателей.

Вопросам проектирования газотурбинных двигателей различного назначения посвящено множество работ [1, 3–6].

Решение рассматриваемой авторами задачи относится к этапу концептуального проектирования ГТД, на котором ведется поиск типа, структуры и основных режимно-конструкторских параметров проектируемого газотурбинного двигателя исключительно на основе особенностей и целевых признаков надсистемы, в которой он будет применяться [2]. Множество вариантов, среди которых ведется поиск, должно охватывать

все принципиально возможные схемы и типы двигателей. Выбор «нужного» типа должен осуществляться с учетом целого ряда условий и критериев, накладываемых целевым назначением летательного аппарата как надсистемы, что, естественно, усложняет поиск [5]. На начальных стадиях проектирования особую актуальность приобретают системы поддержки принятия решения. Согласно современным концепциям CALS-технологий обосновывается целесообразность применения CAE-систем, в частности, систем имитационного моделирования различного уровня и функционального назначения на этапе концептуального проектирования ГТД различного целевого назначения. Возможно построение базы данных для системы поддержки принятия решений на основе различных систем имитационного моделирования авиационных ГТД.

Определяющим фактором, согласно [5], для выбора силовой установки при концептуальном проектировании является надсистема, представляющая собой БПЛА одноразового применения для дозвуковых скоростей полета. Летательный аппарат подобного класса накладывает на силовую установку определенные специфические требования, обусловленные особенностями целевого применения.

В настоящее время описанию и подробной классификации беспилотных летательных аппаратов посвящено множество работ, например [7, 8]. Данные работы позволяют произвести выбор параметров беспилотного летательного аппарата, необходимых для обоснования выбора силовой установки.

Среди определяющих факторов при анализе выборе параметров цикла силовой установки БПЛА следует отметить траекторию полета ЛА, а также требуемые характеристики силовой установки на основных режимах полета, имеющих наибольшую наработку, особенно на крейсерском режиме полета. Вопросам определения траектории полета посвящены следующие работы [9–11]. Анализ представленных работ позволяет выбрать типовую траекторию летательного аппарата. В 70-х годах была описана концепция нового типа БПЛА одноразового применения, реализующего полет на предельно малой высоте с «огибанием» рельефа поверхности (рис. 1, 2). В настоящее время подобная концепция находит широкое применение на крылатых оперативно-тактических ракетах класса «воздух-поверхность». Траектория полета с «огибанием» рельефа поверхности обеспечивает низкую радиолокационную заметность БПЛА, однако полет на сверхмалых высотах является неоптимальным для силовой установки с точки зрения топливной экономичности. Подобная концепция управления БПЛА накладывает на силовую установку специфические требования. На рис. 1 представлена трехуровневая модель БПЛА и силовой установки с декомпозицией до уровня газотурбинного двигателя.

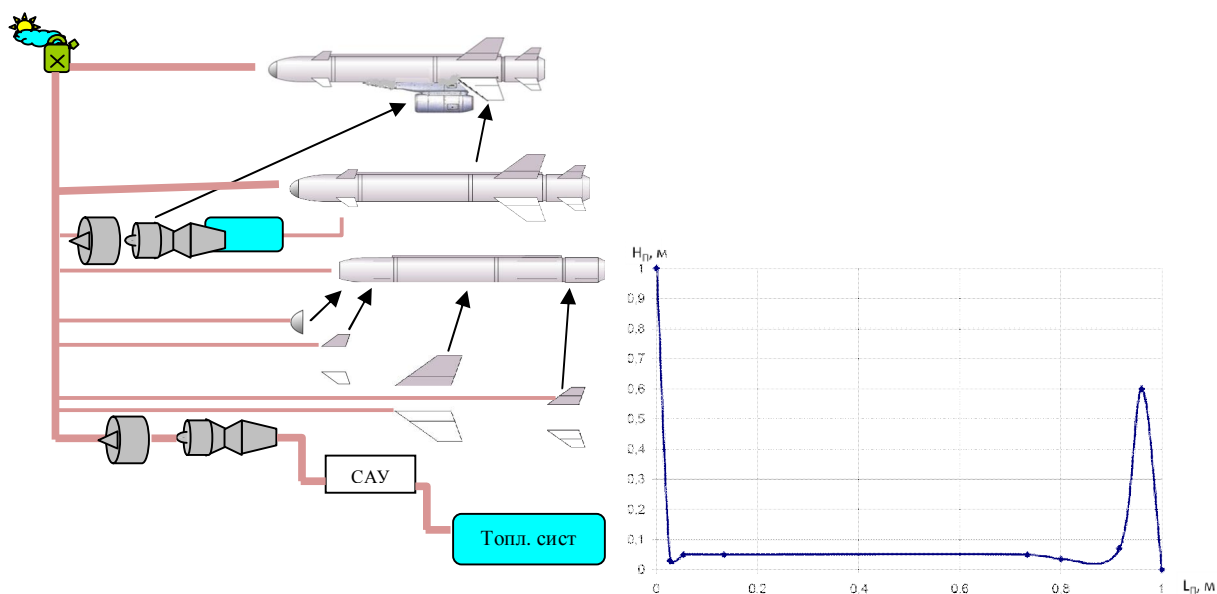
Данные, представленные на рис. 1 позволяют проанализировать функциональную взаимосвязь моделей летательного аппарата с различным уровнем декомпозиции, а также представлена типовая обезразмеренная траектория полета БПЛА с «огибанием» рельефа поверхности.

Определяющим для силовой установки БПЛА, реализующего полет с «огибанием» рельефа поверхности, является крейсерский участок полета. Выбор силовой установки рассматривается исходя из обеспечения требуемых характеристик на крейсерском режиме полета БПЛА. В качестве примера в табл. 1 приведены необходимые данные для выбора силовой установки.

Исходя из данных табл.1, расчетной точкой для проектировочного расчета являются следующие внешние условия:  $H=25\text{м}$ ,  $M=0,7$ .

Таблица 1

Параметры ЛА на крейсерском режиме полета	
Высота полета, м	25
Масса БПЛА, кг	1150
Потребная тяга двигателя, кН	3,25
Крейсерская скорость полета	$M_{кр}=0,7$
Дальность полета, м	750000



**Рис. 1.** Трехуровневая функциональная модель БПЛА и силовой установки на основе газотурбинного двигателя, а также типовая траектория полета летательного аппарата

Выбор силовой установки для беспилотного летательного аппарата производится согласно IDEF0-диаграмме представленной на рис. 2. Диаграмма отражает функциональную взаимосвязь этапов решения рассматриваемой задачи, относящейся к этапу концептуального проектирования силовой установки. Выбор силовой установки беспилотного летательного аппарата одноразового применения производится в системе имитационного моделирования авиационных ГТД DVIGwr.

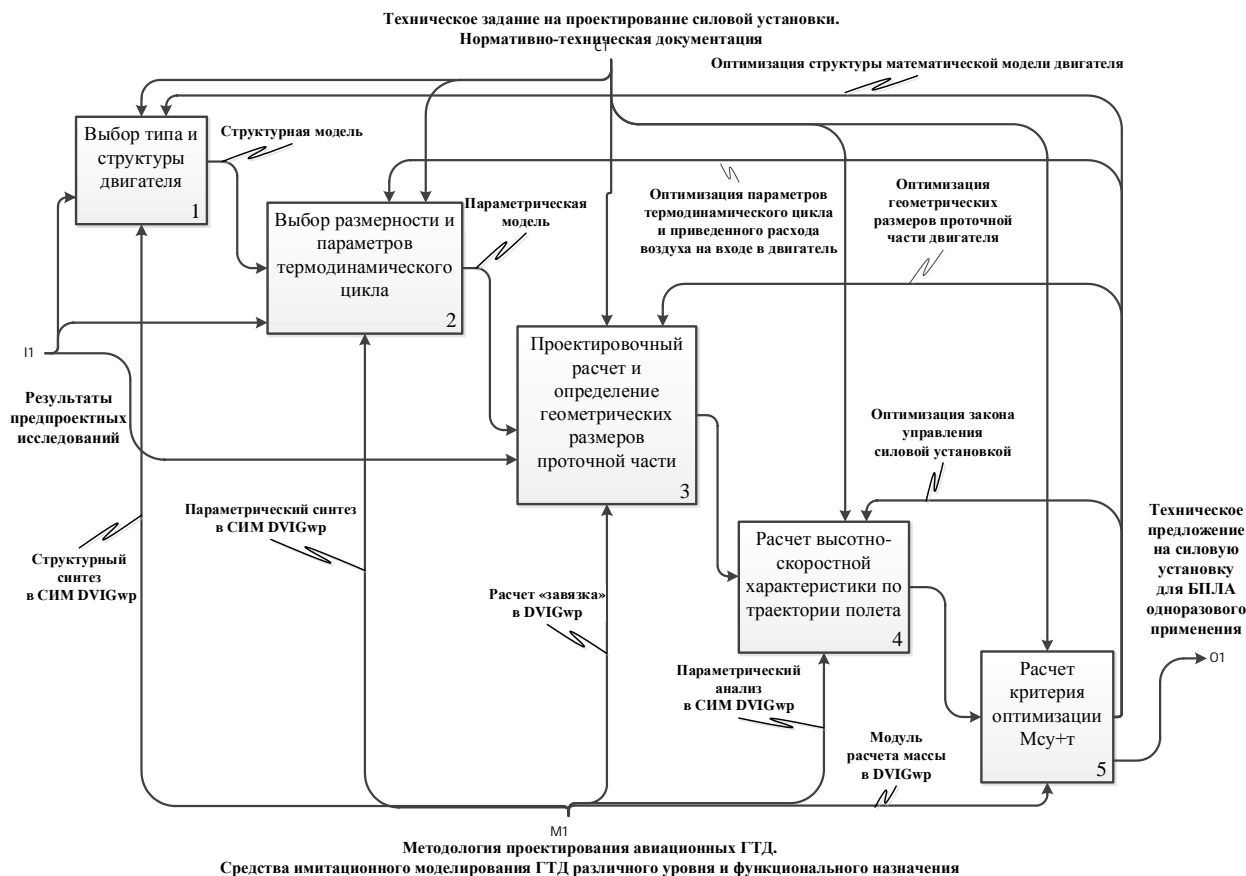
В рассматриваемом диапазоне высот и скоростей полета летательного аппарата наилучшей топливной экономичностью обладает семейство двухконтурных турбореактивных двигателей. В настоящей работе рассматривается схема ТРДД с отдельными соплами.

Согласно [3, 12], наиболее обоснованным критерием для оптимизации термогазодинамических параметров авиационных ГТД является масса силовой установки и запас топлива на борту летательного аппарата.

Масса силовой установки  $M_{cy}$  определяется следующим образом:

$$M_{cy} = (M_I + M_{II} + M_{КСМ}) \cdot k_c \cdot k_{рес}, \quad (1)$$

где  $M_I$  – масса газогенератора внутреннего контура двигателя (без вентилятора и турбины вентилятора);  $M_{II}$  – масса турбовентиляторного и обечайки наружного контура;  $M_{КСМ}$  – масса камеры смешения у ТРДДсм;  $k_c$  – коэффициент совершенствования массы ГТД по годам;  $k_{рес}$  – коэффициент, учитывающий изменение массы ГТД в зависимости от величины назначенного ресурса. Особенности методики расчета проектной величины массы силовой установки изложены в [12].



**Рис. 2** IDEF-0 диаграмма процесса выбора параметров ТРДД для БПЛА с применением имитационного моделирования

Отличительной особенностью силовой установки беспилотного летательного аппарата класса «воздух-поверхность» является отсутствие взлетного режима «Максимал», являющегося типичной проектной точкой для ТРДД. В настоящей работе рассматривается оптимизация термогазодинамических параметров ГТД в проектной точке крейсерского полета летательного аппарата. Потребный запас топлива на борту ЛА  $M_T$  рассчитывается исходя из дальности полета с условием полной выработки запаса топлива в полете без учета различных эволюций ЛА на начальном и конечном участках траектории.

$$M_T = \frac{L_{\Pi}}{M_{кр} \cdot a} \cdot G_T, \quad (2)$$

где  $L_{\Pi}$  – дальность полета ЛА,  $M_{кр}$  – число Маха по скорости крейсерского полета ЛА,  $a$  – скорость звука на высоте крейсерского полета ЛА,  $G_T$  – массовый секундный расход топлива силовой установки на крейсерском режиме полета ЛА.

Критерий оптимизации ГТД – масса силовой установки и топлива на борту ЛА:

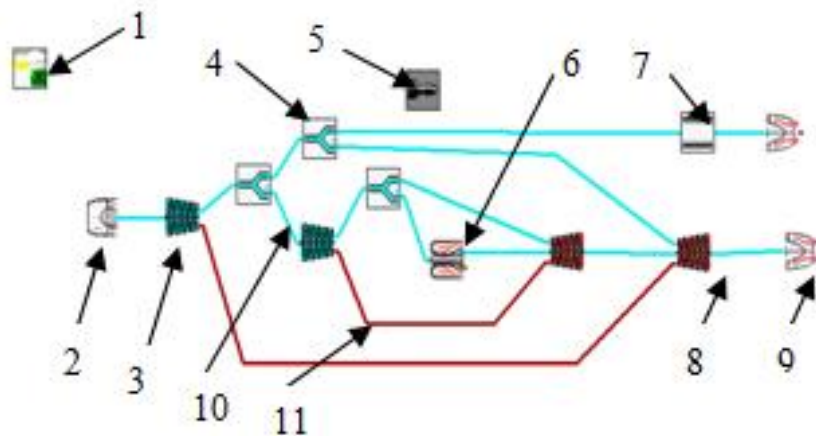
$$M_{cy+t} = n_{дв} \cdot M_{дв} \cdot k_{cy} + \bar{M}_{тс} \cdot M_T, \quad (3)$$

где  $n_{дв}$  – количество двигателей,  $k_{cy}$  – коэффициент увеличения массы СУ за счет элементов крепления и конструкции мотогондолы,  $\bar{M}_{тс}$  – коэффициент, учитывающий массу топливной системы ЛА.

Представленная методика расчета массы силовой установки и потребного запаса топлива на борту ЛА реализована в системе имитационного моделирования DVIGwr для оптимизации параметров термодинамического цикла ГТД.

На рис. 3 представлены результаты структурного синтеза модели в СИМ DVIGwr. Следующим этапом является параметрический синтез, заключающийся в определении параметров, характеризующих эффективность рабочего процесса в узлах ГТД согласно рекомендациям [3–5, 12].

Система уравнений, описывающих рабочий процесс двухвального ТРДД замыкается с помощью четырех параметров, определяющих термодинамический цикл ГТД как тепловой машины – степень повышения давления в вентиляторе  $\pi_v^*$ , степень повышения давления в компрессоре  $\pi_k^*$ , степень двухконтурности  $m$ , температура газов на выходе из камеры сгорания  $T_r$ .



**Рис. 3.** Топологическая схема модели двухвального ТРДД в СИМ DVIGwr

1–начальные условия, 2– входное устройство, 3–компрессор, 4– отбор газа, 5–общие результаты, 6– камера сгорания, 7–канал, 8–газовая турбина, 9– реактивное сопло, 10– газовый поток, 11–механический поток

Как правило, температура газов на выходе из камеры сгорания определяется достигнутым технологическим уровнем или иными специфическими ограничениями. В случае проектирования ГТД для БПЛА одноразового применения для снижения стоимости производства температура газов на выходе из камеры сгорания ограничивается исходя из требования применения неохлаждаемых лопаток соплового аппарата и рабочего колеса первой ступени турбины высокого давления. Соответственно, температура газов на выходе из камеры сгорания ограничивается величиной  $T_r = 1325$  К.

При выбранной величине температуры газов на выходе из камеры сгорания систему уравнений ГТД замыкают три параметра оптимизации:  $\pi_v^*$ ,  $\pi_k^*$ ,  $m$ .

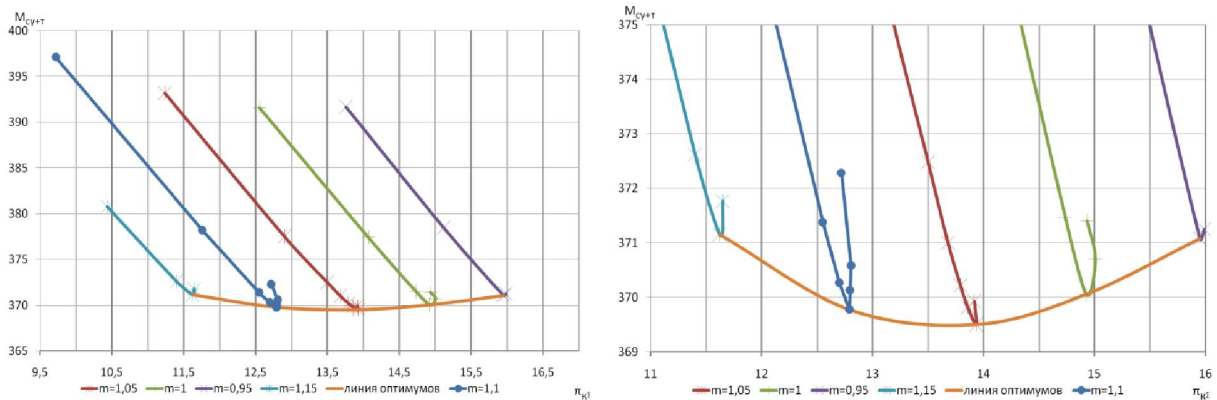
В СИМ DVIGwr проведена совокупность проектировочных расчетов при различных сочетаниях  $\pi_v$ ,  $\pi_k$ ,  $m$ . Основным требованием является обеспечение потребного уровня тяги ГТД на крейсерском режиме полета. Основные результаты моделирования в СИМ DVIGwr представлены на рис. 4 и 5.

На рис. 6 представлена сетка изолиний функции  $M_{сy+т} = f(\pi_{к\epsilon}^*, m)$  при различных значениях степени двухконтурности. Критерием оптимизации термодинамического цикла является минимизация критерия  $M_{сy+т}$ . Рассматриваемый процесс выбора оптимальных параметров термодинамического цикла представляет собой трехпараметрическую оптимизацию. Однако в действительности существует взаимосвязь между параметрами каскадов компрессора при выбранной температуре газов за камерой сгорания и степени двухконтурности для обеспечения потребного уровня тяги. Таким образом, в СИМ DVIGwr осуществляется двухпараметрическая оптимизация параметров термодинамического цикла ГТД в координатах  $\pi_{к\epsilon}^*, m$ . Оптимизация согласно рис. 4,

производится в два этапа: выбор оптимальной точки на изолинии  $m = \text{const}$  последующим определением оптимальной степени двухконтурности ТРДД. Анализ кривых, представленных на рис. 6, позволяет определить линию оптимумов термодинамического цикла ГТД с точки зрения оптимизации системы «силовая установка – летательный аппарат».

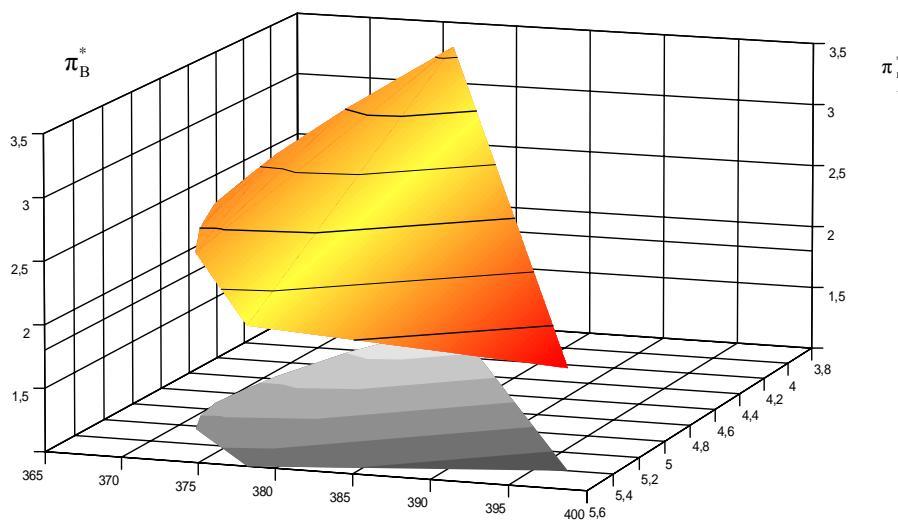
На рис. 5 представлена изоповерхность функции  $\pi_B^* = f(\pi_K^*, M_{\text{СУ+Т}})$  при  $m = 1,05$ , а также проекция поверхности на плоскость  $\pi_K^*, M_{\text{СУ+Т}}$ , что позволяет выявить минимум функции  $M_{\text{СУ+Т}} = f(\pi_K^*, \pi_B^*)$ .

В результате проведенных исследований определены оптимальные параметры термодинамического цикла (табл. 2).



**Рис. 4.** Оптимизация термогазодинамических параметров ТРДД с использованием

$$M_{\text{СУ+Т}} = f(\pi_{\text{к}\Sigma}^*, m)$$



**Рис. 5.** Изоповерхность  $\pi_B^* = f(\pi_K^*, M_{\text{СУ+Т}})$  при  $m = 1,05$

Таблица 2

**Основные параметры термодинамического цикла оптимального ТРДД**

Температура газов на выходе из камеры сгорания $T_T$ , К	1325
Степень двухконтурности, $m$	1,05
Степень повышения давления в компрессоре, $\pi_K^*$	5,16
Степень повышения давления в вентиляторе, $\pi_B^*$	2,7

Авторами рассмотрены особенности методики определения оптимального типа, структуры и параметров силовой установки для беспилотного летательного аппарата

одноразового применения. Представлены особенности беспилотного летательного аппарата как надсистемы, определяющей выбор силовой установки.

В СИМ DVIGwr проведен выбор параметров термодинамического цикла ГТД с точки зрения оптимизации системы «силовая установка – летательный аппарат». В качестве критерия оптимизации выбрана проектировочная масса силовой установки и топлива на борту летательного аппарата.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев Б.А. Настоящее и будущее авиационных двигателей. М.: Воениздат, 1982. 240с.
2. Wilson F., Lehnhardt D. Propulsion system requirements for expendable low cost turbine engines for missile application. // The 3rd International Symposium on Air Breathing Engines. Munich, Germany, 1976. p.39.
3. Сосунов В. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. / под общей ред. В. А. Сосунова, В. М. Чепкина. М.: МАИ, 2003. 688 с.
4. Кулагин В. В. Теория расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термодинамический анализ. Кн. 1. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. Кн. 2. М.: Машиностроение, 2002. 616 с.
5. Ахмедзянов А. М. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей : учебник / А. М. Ахмедзянов [и др.] ; под ред. А. М. Ахмедзянова .— М. : Машиностроение, 2000 .— 454 с.
6. Арьков Ю. Г. Методические указания по выбору основных параметров рабочего процесса авиационных ГТД с применением ЭВМ / Ю. Г. Арьков, И. А. Кривошеев, В. Н. Кружков, Л. Ф. Шайхинурова Уфа: изд. Уфимского ордена Ленина авиационного института им. Серго Орджоникидзе, 1985. 33 с.
7. Евстафьев Г. А. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития/ М. Г. Павлушенко, Г. А. Евстафьев, И. И. Макаренко – М.:Права человека, 2005. 611 с.
8. Ганин С. М. Беспилотные летательные аппараты / С. М. Ганин, А. В. Карпенко, В. В. Колногоров, Г.Ф. Петров – Санкт-Петербург.:Невский бастион, 1999. 161 с.
9. Лебедев А. А. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов / А. А. Лебедев, Л. С. Чернобровкин М.: Оборонгиз, 1962. 549 с.
10. Нестеров В. А. Основы проектирования ракет класса «воздух-воздух» и авиационных катапультных установок для них: учебник / В. А. Нестеров, Э. Е. Пейсах, А. Л. Рейдель и др.; под общей ред. В. А. Нестерова М.: изд-во МАИ, 1999. 792 с.
11. Остославский И. В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов/ И. В. Остославский, И. В. Стражева М.: Машиностроение, 1969. 501 с.
12. Григорьев В.А. Выбор параметров и термогазодинамические расчеты авиационных газотурбинных двигателей: учеб.пособие/ В. А. Григорьев и др. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. Ун-та, 2009. 202 с.

## ОБ АВТОРАХ



**Кривошеев Игорь Александрович**, проф. каф. авиац. двигателей, декан ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УАИ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2001). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей



**Ахмедзянов Дмитрий Альбертович**, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД

e-mail: [ada@ugatu.ac.ru](mailto:ada@ugatu.ac.ru)



**Михайлов Алексей Евгеньевич**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2010). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД



**Нигматуллин Руслан Радикович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бакалавра техники и технологии по специальности «Авиаракетостроение» (УГАТУ, 2012). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД



## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 378.14

### КОНЦЕПЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЦЕЛЕВОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Ахмедзянов Д. А., Кривошеев И. А., Месропян А. В., Михайлова А. Б.

В настоящее время проблемы высшего образования, его качества, способы улучшения и поддержки настолько актуальны по той причине, что именно с уровнем подготовки выпускников высших учебных заведений (вузов) непосредственно связано социальное, экономическое и техническое развитие государства.

Рассматривая современную систему российского образования можно отметить одну характерную черту – образование находится в режиме постоянных реформ, непрерывно меняются приказы, законы, правила и структура. На сегодняшний день определена цель современного российского высшего образования – подготовка специалистов мирового уровня. На первый взгляд «мировой уровень образования» подразумевает, что специалист с таким образованием может с легкостью устроиться на работу в компанию международного уровня и достичь определенного успеха в своей карьере. При этом рядовые специалисты в России, уехав за рубеж, зачастую устраиваются в крупные компании и успешно там трудятся. Это значит, что базовое инженерное образование в России в целом соответствует международному уровню. Однако выпускникам вузов для успешной реализации своих знаний и способностей в России базовой подготовки недостаточно. Многие из них получают второе высшее образование по экономическим и юридическим специальностям. Наличие второго высшего образования сегодня воспринимается как норма. Но все-таки - это не ответ об уровне образования, который должна обеспечить современная система российского образования. Поэтому перед системой российского образования стоит сложная задача – организовать образовательный процесс таким образом, чтобы выпускник успешно смог реализовать себя на профессиональном поприще. Это значит, что необходимо сформировать четкое представление о совокупности таких знаний и умений, которые и формируют «мировой уровень образования».

В последние годы постепенно складывается представление об уровне высшего образования, и в первую очередь речь идет о том, что оно должно быть инновационным. Согласно [1, 2] **инновация** - это нововведение, конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам. То есть инновация – это всегда новый взгляд и новый подход, это достижения науки, которые внедряются не только в космические технологии, но и в повседневную жизнь обычных людей. Однако данное определение «инновации» базируется на понятии «инновационной деятельности». **Инновационная деятельность** - это комплекс научных, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, направленный на коммерциализацию накопленных знаний, технологий и оборудования. Результатом инновационной деятельности являются новые или дополнительные товары/услуги или товары/услуги с новыми качествами.

В этом ключе возникает вопрос: «Что же может являться инновацией в системе высшего образования?» Ответ напрашивается сам собой на основе вышеприведенных

понятий и определений. Инновация высшего образования – это новая технология образования, которая бы смогла обеспечить подготовку специалистов способных к самостоятельной исследовательской и инновационной деятельности. Или другими словами это «инновации для инноваций».

Вопрос инновационного образования на сегодняшний день невероятно актуален, о чем говорил в своем ежегодном Послании Президент Российской Федерации Д.А. Медведев [5]: «<...> Будет сформирована комфортная среда для осуществления в России исследований и разработок мирового уровня. В своё время французский ученый Луи Пастер очень точно заметил: "Наука должна быть самым возвышенным воплощением Отечества, ибо из всех народов первым будет всегда тот, кто опередит другие в области мысли и умственной деятельности". Прекрасные слова. В нашей стране всегда было много талантливых, открытых к прогрессу и способных создавать новое людей. Именно на них и держится инновационный мир и надо сделать всё, чтобы такие специалисты были заинтересованы работать в своей стране. <...>».

Таким образом, на сегодняшний момент наиболее значимая задача высшей школы – это подготовка дипломированных молодых специалистов (бакалавров, магистров, инженеров) способных обеспечить успех любой фирмы, предприятия, отрасли, на которых им предстоит работать. С другой стороны в современном мире успешной может быть только та компания, которая активно занимается инновационной деятельностью. А вести эту работу должны специалисты, обладающие набором специальных знаний и умений, а также определенных личностных качеств.

Рассуждая об инновационной составляющей современного российского образования, сначала определимся с перечнем знаний и умений, которыми должен обладать специалист, чтобы быть востребованным крупными и успешными предприятиями. При этом будем иметь в виду, что все передовые предприятия международного уровня ведут активную инновационную деятельность. В результате получим следующий перечень [3, 4]:

- во-первых, выпускник вуза должен быть специалистом в своей области;
- во-вторых, должен владеть необходимым набором знаний из области экономики и юриспруденции;
- в-третьих, владеть иностранным языком;
- в-четвертых, должен знать принципы проведения научно-исследовательских и опытно конструкторских работ (НИОКР);
- в-пятых, обладать знаниями основных принципов коммерциализации результатов НИОКР;
- в-шестых, умение принимать нестандартные решения или решать нестандартные задачи.

Личностные качества выпускника, такие как инициативность, ответственность и др. не вошли в этот список, так как являются свойствами характера и темперамента. В последнее время специалисты инновационной деятельности говорят о необходимости формирования у выпускников вузов не только определенных знаний и умений, но и особых "компетенций", которые бы позволили специалисту успешно реализоваться в реальном деле, при создании новой конкурентоспособной продукции.

В современной ситуации в обществе накоплена значительная масса знаний и информации, но большинство этих знаний никак не проявляются в повседневной жизни человечества. Поэтому как никогда становится актуальным вопрос создания новой конкурентоспособной продукции и новых рынков за счет умелого управления своим интеллектуальным богатством. Все современные инновации в технике и технологии формируются на междисциплинарной основе, как результат умелой комбинации знаний и умений из одной области деятельности в другую. При этом главной задачей молодого специалиста – выпускника вуза (бакалавра, инженера, магистра) становится умение использовать знания "неожиданным образом" в практических целях, то есть решать

нестандартные задачи.

В рамках реализации проекта коллективом авторов предполагается системотехническая разработка новых методов креативной педагогики на основе формирования системы непрерывной инновационной подготовки студентов, аспирантов, молодых ученых в технических вузах, которая позволяет использовать результаты интеллектуальной деятельности для коммерциализации НИОКР, внедрения их на предприятиях авиадвигателестроительного комплекса региона и создания малых предприятий при вузах для формирования у выпускников вузов технических компетенций общеевропейского уровня.

Формирование глобального инновационного общества возможно посредством развития и интеграции трех элементов «треугольника знаний» (образование, исследования и инновации), инвестирования в человеческие ресурсы, развития науки, системы образования и промышленности для обеспечения соответствия потребностям глобальной экономики, основанной на знаниях. Развитие и интеграция элементов «треугольника знаний» неразрывно связаны с развитием высоких технологий, внедрением современных подходов к управлению инновациями и вложением средств в формирование «человеческого капитала».

На основе изложенного в ходе выполнения данного проекта будет создана образовательная инновационная технология целевой подготовки студентов и магистрантов технических вузов под конкретные задачи и рабочие места работодателей на основе современных средств CAD/CAE/SCADA/PDM-информационных технологий с учетом постоянного мониторинга потребностей предприятий (с использованием методологий SADT и RUP).

Для воспитания в студентах творческого начала была разработана методика, названная функционально-целевой технологией подготовки специалистов (ФЦТПС), которая успешно реализуется в Уфимском государственном авиационном техническом университете в течении 20 лет [3]. Суть этой методики состоит в том, что в учебный план с первого семестра обучения вводится индивидуальная исследовательская работа, которая длится весь период обучения, с ежесеместровыми зачетами и регулярной работой с консультантом. Содержание (тема) индивидуальной исследовательской работы и научный руководитель выбирается студентом самостоятельно в первом семестре. Студентам предлагается ряд нестандартных задач, тематика которых находится в рамках научно-исследовательской деятельности кафедры, а также опытно-конструкторских работ по созданию перспективной техники. Решая порученную задачу, студенты изучают специальную литературу, статьи, монографии и диссертации по теме индивидуальной исследовательской работы. Необходимые пояснения и консультации они получают у научного руководителя, а также у студентов старших курсов, которые работают у того же консультанта. Результат решения научно-исследовательской задачи оформляется и защищается в конце четвертого курса в виде выпускной квалификационной работы (для бакалавров) или в виде отчета по научно-исследовательской практике (для студентов, обучающихся по специальности).

Исследования, проводимые студентами, в большей мере базируются на фундаментальных дисциплинах. При необходимости студенты изучают также специальную литературу. Основываясь на многолетнем опыте использования ФЦТПС можно утверждать, что наличие индивидуального задания мотивирует студентов к изучению дисциплин учебного плана. К тому же в учебный план введены дисциплины, знакомящие студентов с методами и приемами научно-технического творчества, например «Основы инженерного проектирования». Кроме того, в процесс индивидуальной исследовательской работы студенты самостоятельно знакомятся с основами научного метода, планирования и проведения экспериментов, математическими методами обработки результатов экспериментов.

Работа студентов по индивидуальной исследовательской работе ведется в рамках

выполнения заказов с предприятиями, грантов (различных фондов), федеральных целевых программ (ФЦП) и т.д. в учебно-научных лабораториях, студенческих конструкторских бюро, которые возглавляют преподаватели выпускающей кафедры. Таким образом, постепенно, от семестра к семестру, происходит прививание студентам основных навыков научно-исследовательской и инновационной деятельности.

Результатом такого подхода к воспитанию творческой личности в вузе стал целый ряд инновационных разработок и проектов в рамках различных конкурсов. Многих студентов увлекает творческая научная работа и они продолжают обучение в магистратуре, аспирантуре. Магистрантам и аспирантам, прошедшим обучение по ФЦТПС во многом легче, чем другим студентам: во-первых, они уже знакомы с основами научных исследований; во-вторых, к моменту поступления в магистратуру (аспирантуру) они имеют некоторый научный задел.

Более чем двадцатилетний опыт использования методики ФЦТПС показывает высокую эффективность ее использования при обучении студентов. Достоинство этой технологии заключается еще и в том, что студенты получают представление о процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Что важно для специалиста, так как НИОКР – это на настоящий момент неотъемлемый фактор успеха любой фирмы (рис. 1).

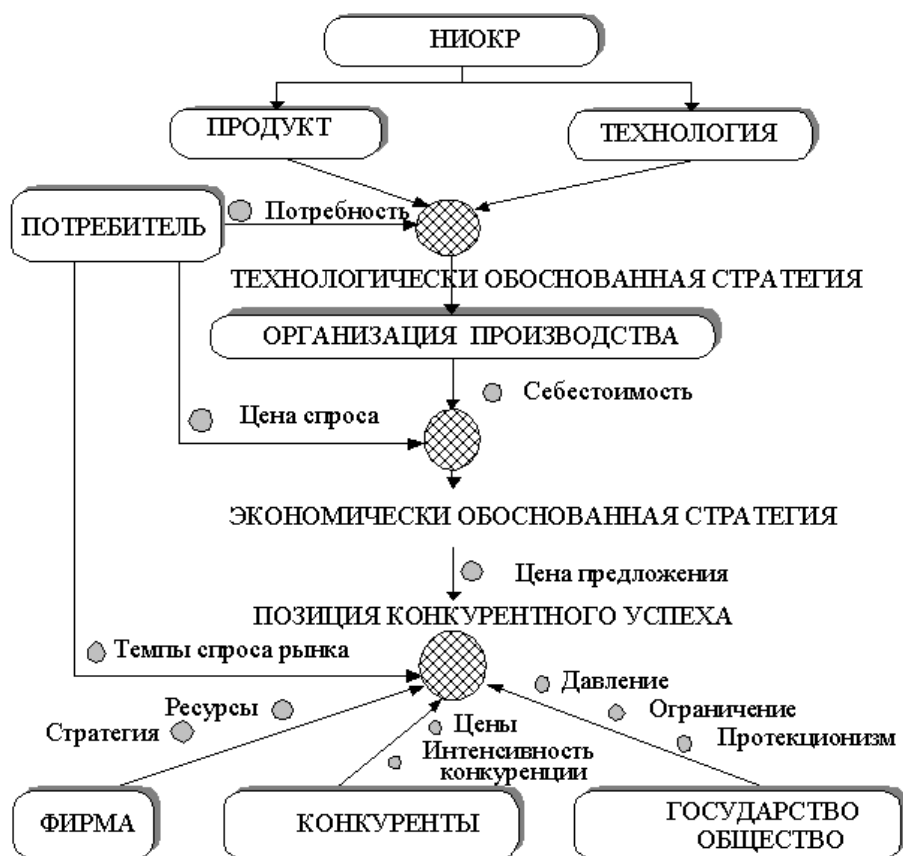


Рис. 1. НИОКР как фактор конкурентного успеха фирмы [4]

Внедрение ФЦТПС в образовательный процесс является необходимым этапом, но только этого недостаточно для формирования инновационной составляющей высшего образования. В современном вузе должны научить студента не только осваивать знания и проводить научные исследования, но обучить методикам, позволяющим получать, перерабатывать и внедрять новую информацию, коммерциализировать новые научные знания. Для этого образовательный процесс необходимо дополнить дисциплинами, направленными на изучение принципов и методов инновационной деятельности. Значит в учебные планы подготовки специалистов технического профиля необходимо ввести такие

дисциплины, как «**Инноватика**», «**Управление инновационными проектами**» и «**Коммерциализация результатов НИОКР**», «**Инновационный менеджмент**», «**Стратегический менеджмент**», «**Инвестиционный менеджмент**», «**Ценообразование инноваций**». Эти дисциплины могут быть дисциплинами по выбору в планах подготовки специалистов и в обязательном порядке изучаться магистрантами. Такой подход позволит студентам, нацеленным на дальнейшую инновационную деятельность, выбирать дисциплины, которые помогут им реализоваться в дальнейшем в области инноваций. Магистранты же должны изучать эти дисциплины в обязательном порядке, так как именно эта категория учащихся изначально нацелена как на проведения научных исследований, так и на разработку инновационных проектов. При этом следует учитывать тот факт, что исследовательская и инновационная деятельность должны быть неразделимы между собой.

Таким образом, для реализации проекта коллективом проекта решены следующие задачи:

Установлены основные научные законы инновационного развития производства (на примере авиадвигателестроительного комплекса региона), которые должны использоваться в инновационном проектировании для совершенствования процессов технической подготовки машиностроительного производства.

Определены важнейшие методы инновационных исследований и разработок на основе применения современных средств системотехники, которые призваны дополнить известные стандарты и методики технической подготовки машиностроительного производства и их развитие в направлении создания Единой системы инновационной подготовки производства в машиностроении (ЕС ИПП). Такая проблемно-ориентированная система подготовки производства обеспечивает интеграцию конструкторской, технологической и организационной подготовки производства на принципах системотехнической (взаимосвязанной) инновационной деятельности, ориентированной на создание продуктовых и технологических инноваций высокого научно-технического уровня и эффективности.

Разработаны информационные технологии инноватики и инновационной деятельности для реализации системного подхода, математического моделирования и оптимизации проектных решений, что обеспечивает на всех этапах и стадиях НИОКР, научно-технологической и организационно-технологической подготовки машиностроительного производства разработку ориентированных на инновационную деятельность специализированных АСТПП, САПР и АСНИ на основе широкого применения средств искусственного интеллекта.

Обоснованы методы математического моделирования и многокритериальной оптимизации продуктовых и технологических инноваций с использованием экспертных систем, искусственных нейронных сетей, методов нечеткой логики и генетических алгоритмов для применения в инновационной деятельности, обеспечения конкурентоспособности техники новых поколений, разработки эффективных проектов технологического перевооружения машиностроительного производства;

Разработаны специальные методы управления инновационными проектами подготовки производства в машиностроении на основе использования имитационного моделирования и других методов компьютерного моделирования, что обеспечивает высокую эффективность инвестиций в инновационной деятельности с учетом сокращения рисков инновационных проектов.

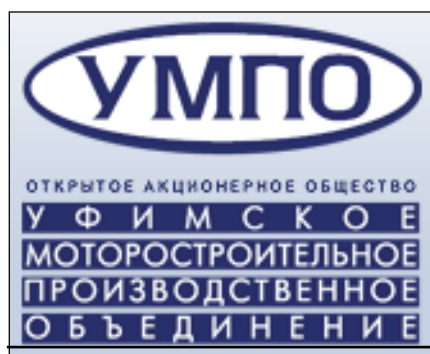
Анализируя все вышеперечисленные аспекты воспитания специалистов, можно говорить, что для успешного вуза необходимо вести активную научно-исследовательскую работу под руководством преподавателей, привлекать к этой работе студентов в рамках ФЦТПС и обеспечить студентов базовыми знаниями в области инновационной деятельности. Нужно, чтобы студент, еще находясь за партой, был знаком с процессом

производства новой продукции. Желательно, чтобы такое внедрение проходило не в рамках учебных практик, а при выполнении студентами реальной работы на предприятиях в рамках своей научной работы. Такую работу должна обеспечить политика вуза в рамках совместной деятельности с предприятиями. При организации работы с предприятиями университетам необходимо определить своих партнеров как в сфере научных, так и в сфере производственных связей. С такими предприятиями работа должна строиться на базе долгосрочных программ сотрудничества и договоров. Конечно же, прежде необходимо тщательно проанализировать реальные возможности такого сотрудничества и выделить те организации, работа с которыми может быть долгосрочной и наиболее плодотворной для университета.

Например, в УГАТУ многие кафедры тесно взаимодействуют с промышленными предприятиями, на которые приходят работать выпускники. Это такие промышленные гиганты, как ОАО «УМПО», ОАО «НПП «Мотор», ФГУП УАП «Гидравлика», ФГУП «Молния» и др. Студенты за время обучения проходят несколько практик на этих предприятиях, знакомятся с оборудованием, с производственным процессом, с новейшими техническими разработками в производстве и проектировании авиационных двигателей. Часть студентов старших курсов получают научного руководителя из числа работников предприятия, устраиваются на работу на эти предприятия и выполняют выпускную квалификационную работу по темам, важным для производства. После защиты эти студенты приходят на предприятия более подготовленными, знающими специфику своего места работы.

Коротко охарактеризуем ряд ведущих предприятий Республики Башкортостан и других регионов Российской Федерации, с которыми активно сотрудничает УГАТУ:

- 1) ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение».



<http://www.umpo.ru>

ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» является крупнейшим производителем авиационных двигателей в РФ. Предприятие основано в 1925 году. В объединении работают более 15 тысяч человек. Выручка от реализации в 2010 году составила 20 376 млн. рублей. Основными видами деятельности ОАО «УМПО» являются производство, сервисное обслуживание и ремонт турбореактивных авиационных двигателей, производство и ремонт узлов вертолетной техники, выпуск оборудования для нефтегазовой промышленности. ОАО «УМПО» серийно выпускает турбореактивные двигатели для самолетов семейства Су-35С (изделие 117 С), Су-27 (двигатель АЛ-31Ф), семейства Су-30 (двигатель АЛ-31Ф и АЛ-31ФП), семейства Су-25 (Р95Ш и Р195), узлы вертолетной техники на вертолеты «Ка» и «Ми».

- 2) ОАО «НПП «Мотор».



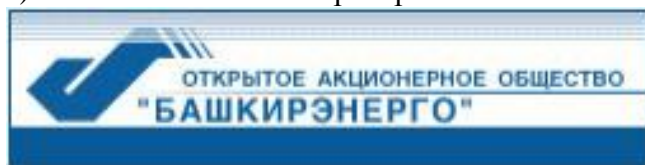
Предприятие занимается разработкой конструкций авиационной техники, конструкторским сопровождением и модификацией авиационных двигателей, разработкой газотурбинных установок, выполнением конструкторских и производственных задач в интересах топливно-энергетического комплекса, выпуском товаров народного потребления.

3) ФГУП «УАП «Гидравлика».



Предприятие является крупным производителем оборудования для авиационного двигателя, лидером в сфере авиационного двигателестроения.

4) ФГУП «ОАО «Башкирэнерго».



«Башкирэнерго» – одна из крупнейших региональных энергетических систем России. Сфера деятельности – производство электрической и тепловой энергии, ремонт и техническое обслуживание энергетического оборудования. Предприятие учреждено 30 октября 1992 года.

5) ФГУП «УНПП «Молния».



Аккредитовано в качестве научной организации и обладает пакетом лицензий и сертификатов для разработки и изготовления авиационной техники, а также газового оборудования. ФГУП УНПП «Молния» ведет свою историю с 1941 года. Располагаемые производственные мощности и испытательная база завода полностью удовлетворяют потребности авиационной промышленности России и СНГ в изделиях, спроектированных на предприятии.

6) Открытое акционерное общество «Международный аэропорт «Уфа».



На сегодняшний день Международный аэропорт «Уфа» является одним из крупнейших аэропортов в Российской Федерации. Через уфимский аэропорт осуществляются связи с десятками городов на территории России, стран СНГ, а также Греции, Китая, ОАЭ, Пакистана, Турции.

Богатый опыт работы с предприятиями имеется на кафедре двигателей внутреннего сгорания (УГАТУ). На базе кафедры был создан научно-технический центр, в рамках функционирования которого осуществлялась НИР и НИОКР. Многие студенты старших курсов совмещали работу в НТЦ и учебу в университете. При этом студенты работали на должностях конструкторов или ведущих конструкторов, приобретая опыт инженерной деятельности еще не получив диплом специалиста. То есть те шаги, в которых заключается приобретение первичного опыта, и которые обычно совершают выпускники вузов, только пришедшие на предприятие, этими студентами к моменту окончания вуза, уже были пройдены. Совмещение работы на предприятии с учебой имеет еще одну положительную сторону – это значительная материальная поддержка для студента, помимо стипендии.

Подобный опыт имеется и на кафедре прикладной гидромеханики. Многие студенты-старшекурсники (особенно магистранты) работают на предприятии ФГУП УАП «Гидравлика», получая при этом бесценный опыт. Проекты, над которыми трудятся студенты, зачастую совпадают с темами НИР и ОКР, которые проводят ведущие преподаватели кафедры.

Сегодня современным и наиболее перспективным способом интеграции университета в производственную деятельность являются технопарки, и зачастую технопарки представляют собой способ ведения университетами инновационной деятельности.

Первые технопарки в России были образованы в конце 1980-х – начале 1990-х гг. Большая их часть была организована на базе вузов. Первые технопарки не имели развитой инфраструктуры, недвижимости, подготовленных менеджеров, и создавались в качестве структурного подразделения вуза и не были реально действующими организациями, которые иницируют, создают и поддерживают малые инновационные предприятия.

Первый технопарк в Российской Федерации был создан в 1990 году, это был «Томский научно-технологический парк». На сегодняшний день в России создано около 80 технопарков, и почти все они функционируют при вузах, но реально действующих технопарков в России значительно меньше.

Общий перечень услуг, предоставляемых технопарками, следующий:

- предоставление производственных и офисных помещений в льготную аренду;
- информационные услуги малым предприятиям;
- консультационные услуги в области бизнес-планирования;
- содействие выполнению НИОКР и реализации их результатов;
- подготовка и переподготовка кадров для научно-технологического предпринимательства;
- организация семинаров, выставок, конференций и других мероприятий;
- оценка и правовая защита интеллектуальной собственности;
- разработка и реализация программ приоритетного развития регионов;
- помощь в поиске инвестиций и получении кредитов;
- содействие внешнеэкономической деятельности;
- предоставление стипендий студентам, работающим на малых фирмах;
- создание центров коллективного пользования оборудованием;
- создание новых предприятий по конкретным направлениям деятельности.

Наиболее успешным является опыт создания технопарков не при образовательных учреждениях, а при промышленных предприятиях. На базе производства можно создать множество малых и средних компаний, которые используют инфраструктуру базового предприятия и сосуществуют с ним, сотрудничая с предприятием в качестве поставщиков и подрядчиков. Помимо базового предприятия такие компании могут поставлять свою продукцию и на другие предприятия. Технопарки при промышленных предприятиях в России были созданы на таких заводах как КАМАЗ, АвтоВАЗ и Уралмашзавод (ОМЗ). Например, на сегодняшний день в технопарке «Уралмашевский» существует 27



предприятий малого и среднего бизнеса. Преимущественно это промышленные предприятия, занимающиеся производством, оказанием услуг по механообработке и ремонтом промышленного оборудования. Кроме того, технопарки, созданные на основе промышленных предприятий, оказывают большее влияние на развитие региона.

Для того чтобы оценить деятельность российских технопарков, в 2000 г. была проведена их аккредитация. Из всего количества технопарков аккредитацию сумели пройти лишь 30 технопарков. И только чуть более десяти из них были признаны отвечающими международным стандартам. Оценка технопарков проводилась по нескольким критериям:

- степень связи технопарка и университета;
- уровень вовлеченности студентов в работу технопарка;
- число созданных и реализованных на промышленных предприятиях технологий;
- степень заинтересованности региона, промышленности и населения в работе технопарка, и др.

Самые высокие показатели оказались у 10 технопарков [4]. Один из крупнейших – Научный парк МГУ – оказался на одиннадцатом месте. Технопарк УГАТУ – на 5-м месте.

Высокие показатели технопарка, созданного при УГАТУ, обусловлены тем, что в данном случае был реализован наиболее оптимальный и прогрессивный вариант существования технопарков – этот технопарк был создан на базе университета и предприятия одновременно. «Технопарк авиационных технологий» является учебным центром Уфимского государственного авиационного технического университета и расположен на территории завода ОАО «УМПО», в бывшем цехе товаров народного потребления. Технопарк представляет собой совместный проект УГАТУ и УМПО. Как отметил ректор УГАТУ М. Б. Гузаиров: «...технопарк – это своеобразный «инкубатор» молодых специалистов из числа перспективных и энергичных студентов. Здесь они знакомятся с новейшими достижениями техники, приобретают навыки работы на сложнейшем оборудовании...» [4]. Благодаря технопаркам становится возможным привлечь и воспитать высококвалифицированные кадры для производства.

Подводя итоги этого раздела, можно сказать, что образовательный процесс должен базироваться на сильных научных школах и при тесном контакте с предприятиями. Анализ мировой ситуации говорит о том, что технические университеты в государствах с развитой экономикой являются центрами научно-технического развития регионов и даже целых стран. И, конечно, создание инновационного вуза невозможно без создания на его основе научно-исследовательских и научно-производственных центров государственного уровня. В качестве таких центров зачастую выступают технопарки, которые направлены на инновационную деятельность и в тоже время интегрированы в учебный процесс университета.

**Таким образом, основными составляющими концепции функционально-целевой технология подготовки являются:**

1. Эффективная исследовательская деятельность. Процесс НИРС должен быть гармонично вписан в образовательный процесс. Наиболее оптимальной системой в данном случае является функционально-целевая подготовка специалистов, которую необходимо интегрировать во все программы подготовки студентов.

2. Содействие деятельности Советов по НИРС, студенческих научных обществ (СНО), проведение конференций, олимпиад, конкурсов и других мероприятий, способствующих развитию НИРС. Активное участие университета в различных мероприятиях Всероссийского и международного уровней. Поддержка в вузах Советов молодых ученых.

3. Тесное сотрудничество вуза с предприятиями в виде совместных работ, проектов, создания технопарков при активном привлечении студентов.

4. Создание системы инновационной подготовки студентов.

5. Оснащение лабораторий современным исследовательским оборудованием для

проведения научных исследований на высоком мировом уровне, что невозможно без поддержки государства.

6. Международная деятельность, направленная на привлечение иностранных студентов и интеграции вуза в европейскую и мировую систему образования.

Основной целью перестройки учебного процесса является переход к инновационному образованию, обеспечивающему целенаправленное формирование знаний, умений и методологической культуры, а также комплексную подготовку к инновационной инженерной деятельности.

Необходимо формирование бакалавра, инженера, магистра, как широко образованной, гуманной, внутренне свободной и общественно-активной личности, способной осуществлять самостоятельную профессиональную, инновационную и научную деятельность.

Основным направлением перестройки учебного процесса в вузах является научно-организационный поиск, экспериментальная проверка и внедрение систем и средств, которые позволяют повысить эффективность форм и методов организации и управления учебным и научным процессом.

С целью эффективного вхождения в мировое научно-образовательное пространство осуществить международную аккредитацию основных образовательных программ университета.

Разработка новых программ и методов реализации фундаментальной подготовки, позволяющих уже на ранних этапах обучения студентов формировать навыки самостоятельного изучения нового материала и творческие способности.

Основной целью перестройки системы научных исследований является существенное повышение эффективности НИОКР, обеспечение конкурентоспособности ее результатов с лучшими достижениями мировой и отечественной науки, выход на отечественный и мировой рынок наукоемкой продукции, повышение качества подготовки специалистов за счет создания принципиально новой обучающей среды, построенной на интеграции учебного процесса и науки.

Разработанная концепция функционально-целевой подготовки специалистов с использованием результатов анализа (по методологиям SADT и RUP) необходимых для предприятий и организаций знаний и умений специалистов, анализа жизненного цикла (ЖЦ) выпускаемой продукции и соответствующей поддержки ЖЦ специалистов, в т. ч. на этапе обучения, выполнения ими НИР и дальнейшей профессиональной деятельности, содействует подготовке кадров новой формации, отвечающих современным требованиям рынка труда.

Развитие и дальнейшее внедрение разработанной методологии и концепции функционально-целевой подготовки специалистов и научно-методического обеспечения для разработки и внедрение в различные сферы экономики региона высоких технологий (критических технологий федерального уровня – нанотехнологии, информационные технологии, авиа- и ракетостроение...) на основе создания сквозной подготовки научных и инженерных кадров от студента до докторанта и специалиста в ведущих вузах Республики Башкортостан (УГАТУ, УГНТУ, БГУ, БГАУ и др.) содействует подготовке кадров, отвечающих современным требованиям рынка труда (таких промышленных гигантов, как ОАО УМПО, ОАО “НПП “Мотор”, ФГУП УАП “Гидравлика”, ФГУП “Молния”, ТЭК и др.).

### **Список литературы**

1. Селиванов С.Г., Гузаиров М.Б., Кутин А.А. Инноватика. Учебник для вузов. 2-е изд. –М.: Машиностроение. 2008. - 721 с.
2. Коммерциализация результатов НИОКР: учебное пособие / М. П. Галимова, З. Ж. Гумерова, Е. Р. Исламова, Н. А. Сухова, К. А. Хисматуллин; Уфимск. гос. авиац. Техн. ун-

т. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 180 с.

3. Никитин, Р. В. Технология подготовки специалистов: Практическое пособие/ Р. В. Никитин, Б. П. Рудой. - Уфа: УГАТУ, 2002. - 61 с.

4. Ахмедзянов, Д. А., Дударева, Н. Ю. Концепция инновационного развития технических вузов России. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 74 с.

5. Текст Послания Президента Российской Федерации (извлечение) // [Электронный ресурс]. – URL: <http://mon.gov.ru/> (12.11.09).

**Статья подготовлена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009-2013 гг.)" Министерства образования и науки РФ.**

#### ОБ АВТОРАХ



**Ахмедзянов Дмитрий Альбертович**, проф. каф. авиац. двигателей, зам. декана ФАД УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1997). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2007). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неустановившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД

e-mail: [ada@ugatu.ac.ru](mailto:ada@ugatu.ac.ru)



**Кривошеев Игорь Александрович**, декан факультета авиац. двиг., проф., науч. рук. НИЛ САПР-Д. Дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976). Канд. техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (по управлению РДТТ, 1981). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (по САПР АД, 2000). Иссл. в обл. инф. технологий в двигателестроении.



**Месропян Арсен Владимирович**, нач. НИЧ, проф. каф. приклад. гидромеханики. Дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1996). Д-р техн. наук по гидромашинам и гидропневмоагрегатам (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. гидроприводов систем управления летательн. аппаратов и гидрофицированных систем испытаний и вскрытия нефтеносных пластов.



**Михайлова Александра Борисовна**, ст. преподаватель каф. авиац. двигателей, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2008). Кандидат техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2011). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования

e-mail: [alexandra1112007@yandex.ru](mailto:alexandra1112007@yandex.ru)

## СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА УГАТУ

Китабов А. Н., Тимофеев А. О., Давыдов И. П.

### ВВЕДЕНИЕ

Студенческое научное общество является добровольной общественной организацией студентов, магистрантов и аспирантов, имеющих склонность к научной деятельности, активно участвующих в научно-исследовательской, научно-организационной работе и направлена на раскрытие, развитие, поддержку и стимулирование указанных видов деятельности.

В соответствии с приказом ректора УГАТУ в университете создано студенческое научное общество (СНО) – научное объединение студентов, призванное содействовать созданию и развитию условий, обеспечивающих возможность для каждого студента реализовать свое право на творческое развитие личности, участие в научных исследованиях и научно-техническом творчестве в соответствии с его способностями и потребностями.

Создания работоспособного подразделения университета, которым является СНО, требует огромных организационных мероприятий, связанных составлением устава общества, определения его руководства, а также синтез структуры СНО, которая способна обеспечить все необходимые условия для организации, работы и развития подразделения, а также способна выполнять все поставленные цели и задачи, отраженные в уставе СНО.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА

Как отмечалось выше, структура СНО должна полностью соответствовать целям и задачам СНО, кроме того, структура не должна быть «перегруженной» и не иметь в своем составе потенциально бесполезных структурных подразделений.

Целями СНО являются повышение активности студентов и уровня их работы в научно-исследовательской, конструкторской и инновационной сфере.

Задачами СНО являются:

1. повышение престижа научной деятельности, активизация научно-исследовательской работы, технического творчества и инновационной деятельности студентов. Привлечение студентов к университетским проектам и исследованиям;
2. повышение количества и качества научно-исследовательских и практических работ студентов, публикаций в научных журналах и сборниках;
3. оказание организационной и информационной помощи подразделениям университета в проведении олимпиад, конференций и других научно-практических мероприятий, информировании студентов о предстоящих мероприятиях, и т. д.;
4. представление интересов студентов и аспирантов по вопросам науки, образования и инноваций перед администрацией университета, проведение аналитических исследований и разработка соответствующих предложений;
5. ведение баз данных активных студентов и разработок, обеспечение обратной связи между студентами и администрацией университета, развитие информационных процессов необходимых для реализации СНО своих задач;
6. стимулирование более качественного и творческого освоения студентами учебного материала, активной самостоятельной работы в рамках учебного процесса и изучения дополнительных материалов, развитие научного мышления у студентов, а также их личного развития;

7. помощь студентам и аспирантам в реализации собственных инициатив и проектов, участии в мероприятиях, конкурсах и программах, консультирование по базовым вопросам, отнесенным к компетенции СНО;

8. организация совместно с администрацией университета условий для выполнения студентами и аспирантами научно-практических работ и другой деятельности отнесенной к компетенции СНО;

9. проведение собственных научных мероприятий факультетского, университетского и межвузовского уровня;

10. представление достижений молодежной науки университета на городском, всероссийском и международном уровне;

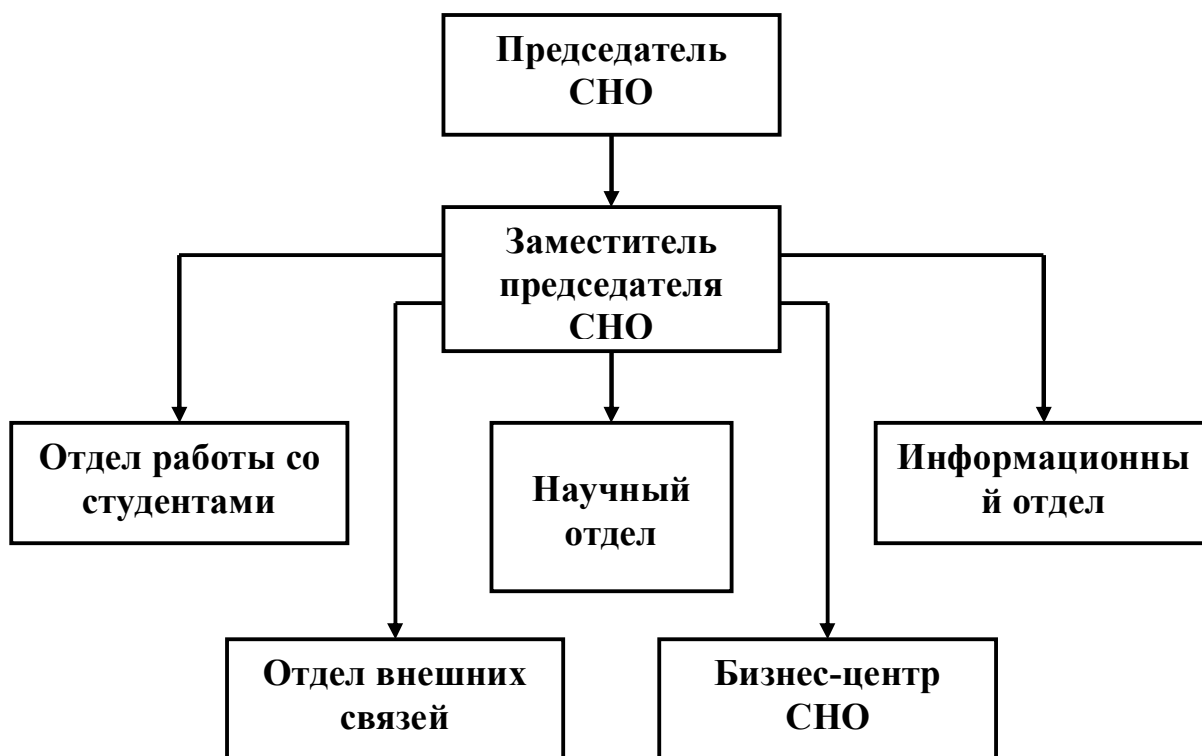
11. взаимодействие со студенческими научными обществами других учебных заведений, а также российскими и зарубежными предприятиями и организациями.

## 2. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА УГАТУ

Для достижения целей и задач, был проведен анализ существующих научных студенческих обществ других учебных заведений, и на основе этого анализа была составлена структура СНО УГАТУ (рис.1).

СНО было предложено разделить на пять подразделений.

1) Информационный отдел – осуществляет донесение решений Совета СНО УГАТУ до членов СНО факультета, а также студентов, магистрантов и аспирантов, не являющихся членами СНО. Написание статей для публикации в университетской газете «Авиатор», развешивание объявлений на информационных стендах кафедр факультета и на стенде СНО возле деканата. Создание телепередач для телевидения УГАТУ посвящённых СНО, а также научной деятельности студентов университета.



**Рис. 1.** Организационная структура СНО УГАТУ

2) Отдел работы со студентами – Курирует вопросы приёма новых членов и ведения списков членов СНО факультета. Совместно с научным отделом СНО факультета предоставляет Совету СНО списки студентов рекомендуемых к присвоению стипендий.

Регистрирует студентов УГАТУ, ведущих научную работу. Составляет базу данных на основе этой информации. Поддерживает связь с зарегистрированными членами СНО. Работа со студентами – членами СНО, касающаяся обращений и запросов студентов, направленных в СНО (в индивидуальной форме)

3) Научный отдел – Отвечает за планирование и проведение научных конференций (конференции УГАТУ, других российских ВУЗов, международных конференций). Координирует работу студенческих научных кружков. Осуществляет связь с СКБ. Осуществляет сбор информации от руководителей научных отделов о научной деятельности кафедр, особенно об участии в ней студентов: дата и тематика проведения научных кружков при кафедрах, публикации студентов в научных российских и зарубежных журналах (статьи, тезисы), участие студентов в конференциях. Занимается поддержкой талантливых молодых ученых - предоставляет им возможности участвовать в мероприятиях (конференциях, съездах, олимпиадах и т.п.) регионального, федерального и международного уровня.

4) Бизнес-центр – Курирует вопрос материальной поддержки студентов с согласия Совета СНО УГАТУ. Ведёт поиск и переговоры с предприятиями заинтересованными в заключении договоров с кружками кафедр и СКБ УГАТУ. Помощь в заключении контрактов (юридическая и экономическая).

5) Отдел внешних связей – Налаживает и углубляет сотрудничество с СНО других ВУЗов России и зарубежья. Ведёт разработку и создание рекламных материалов об УГАТУ и Уфе для предоставления их гостям нашего города, приезжающим на мероприятия, организуемые СНО УГАТУ. Проводит выяснение научно-технической базы и основных научных направлений деятельности кафедр других ВУЗов России и стран зарубежья.

Следует отметить, что эффективная деятельность любого студенческого научного общества невозможна без его взаимодействия с администрацией учебного заведения. Для достижения этого, была составлена схема взаимодействия структурных подразделений студенческого научного общества УГАТУ с административным аппаратом ВУЗа, которая показана на рис.2.

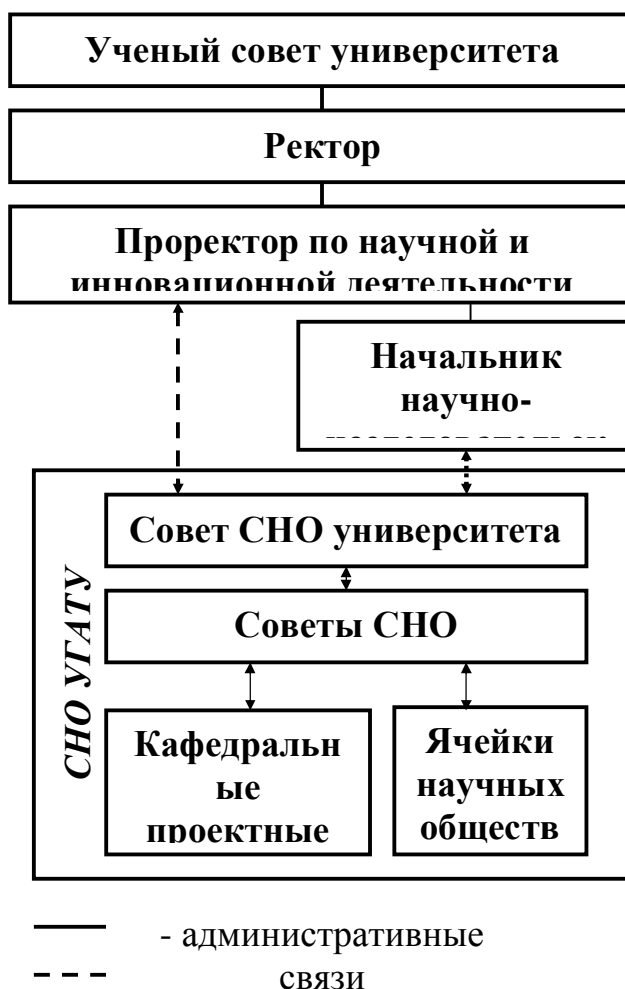
Как видно из приведенной структуры, кафедральные проектные группы и ячейки научных обществ связаны с советом СНО своего факультета. На этом уровне осуществляется непосредственная научная деятельность студенческого научного общества, все рабочие моменты и вопросы регулируются либо старостой ячейки (или руководителем проектной группы), либо советом СНО факультета.

Совет СНО университета является представительным органом, в котором все члены студенческого научного общества представлены выбранными ими представителями (председателями СНО факультетов). На данном совете решаются вопросы, касающиеся деятельности студенческого научного общества всего университета. Деятельность этого совета курируют проректор по научной и инновационной деятельности и начальник научно-исследовательской части. По просьбе членов совета СНО университета на отдельные заседания могут быть приглашены и другие участники.

Результаты деятельности студенческого научного общества университета рассматриваются на совете СНО университета, а также на расширенном заседании ученого совета университета.

## ВЫВОДЫ

В целом организационная структура СНО и структура взаимодействия СНО с подразделениями университета являются оптимальными в достаточной степени для реализации всех вышеперечисленных функций и задач. Кроме того, при такой структуре обеспечивается быстрое взаимодействие между всеми подразделениями как внутри СНО так и с подразделениями университета, что способствует оперативной и плодотворной работе общества.



**Рис. 2.** Взаимодействие СНО со структурными подразделениями УГАТУ

Таким образом, в Уфимском государственном авиационном техническом университете было создано студенческое научное общество с оптимальной структурой, способной выполнять все обозначенные в уставе цели и задачи.

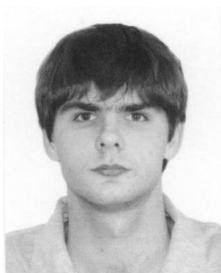
### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Студенческое научное общество МосГУ [Электронный ресурс]. [2011] URL: <http://www.mosgu.ru/nauchnaya/ss/sss/> (дата обращения: 7.09.2012).
2. Студенческое научное общество БГУ [Электронный ресурс]. [2011] URL: <http://www.bsu.ru/?src=220> (дата обращения: 3.09.2012).
3. Студенческое научное общество ВГУ [Электронный ресурс]. [2011] URL: <http://new.volsu.ru/socorg/socscience/> (дата обращения: 6.09.2012).
4. Студенческое научное общество БГМУ [Электронный ресурс]. [2011] URL: <http://www.studmednet.narod.ru> (дата обращения: 5.09.2012).

### ОБ АВТОРАХ



**Китабов Андрей Николаевич**, аспирант кафедры электроники и биомедицинских технологий (ЭиБТ), бакалавр техники и технологии по направлению «Приборостроение» (УГАТУ, 2009), магистр техники и технологии по направлению «Приборостроение» (УГАТУ, 2011). Исследования в области программно-аппаратных средств диагностики погружного оборудования и информационных систем для нефтяных компаний. e-mail: andrey.ugatu@mail.ru



**Тимофеев Александр Олегович**, магистрант кафедры информационно-измерительной техники (ИИТ), бакалавр техники и технологии по направлению «Приборостроение» (УГАТУ, 2011). Исследования в области аппаратно-программных средств диагностики процессов электролитно-плазменной обработки.  
e-mail: aleck90@gmail.com



**Давыдов Иван Павлович**, студент кафедры электромеханики (ЭМ) по специальности «Электроэнергетические системы и сети». Исследование в области защиты линий электропередачи от климатических воздействий.  
e-mail: styi@mail.ru

УДК 338.001.36

## **ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ВЫГОДЫ ОТ ПРОВЕДЕНИЯ СПОРТИВНЫХ СОРЕВНОВАНИЙ**

**Кидрачев Р. Н., Валетдинова Э. Н.**

Целью исследования данной работы является изучение социального и экономического аспекта от проведения крупных спортивных событий (особенно международных), в российских (с учетом развитости спорта) и мировых условиях.

Выделим основные задачи, которые будут рассмотрены в данной работе.

Во-первых, сформулировать актуальность данной темы.

Во-вторых, описать основные аспекты (экономический, социальный и психологический) от проведения крупных спортивных мероприятий (таких как олимпийские игры или чемпионаты мира и Европы по разным видам спорта).

В-третьих, сформулировать выводы.

Далее перейдем к рассмотрению выше поставленных задач.

В ближайшее десятилетие Россия станет страной организатором крупнейших спортивных мероприятий. Чемпионаты мира по биатлону (Ханты-Мансийск), фигурному катанию (Москва), и хоккею (Москва), а также олимпийские игры в Сочи в 2014 году, чемпионат мира по футболу в 2018 году, открытие трассы формулы - 1 и всемирная универсиада в Казани в 2013 году - лишь некоторые из них.

С момента распада Советского союза, Россия как независимое государство фактически не обладает ни опытом проведения и организаций крупных мировых спортивных соревнований, ни – соответствующей инфраструктурой.

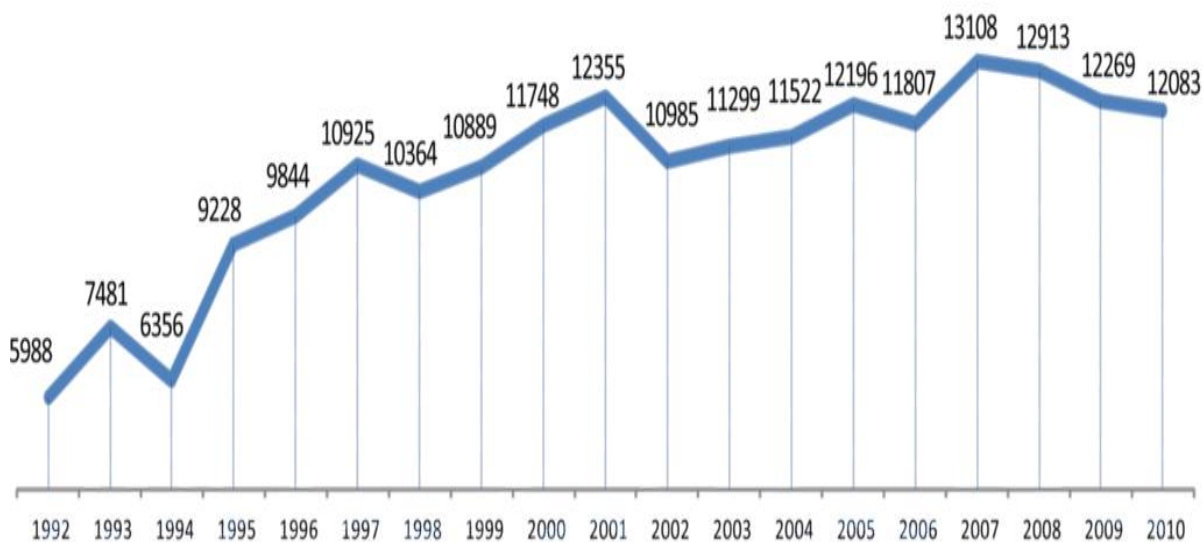
В то же время зрительский интерес к внутрироссийским спортивным соревнованиям не велик. Для доказательства этого факта рассмотрим самый популярный вид спорта в России – футбол. Так, в частности на рисунке 1 (по данным сайта [futebolfinance.com](http://futebolfinance.com)) приведена средняя посещаемость и средняя заполняемость футбольных стадионов разных стран мира. Согласно данной таблице Россия занимает 19-е место, при том, что рядом с ней расположились такие страны как: Австралия (18-е место), Бельгия (20-е место) и Вьетнам (22-е место). Отметим что численность населения данных стран в несколько раз меньше численности населения России.



Место	Страна	Средняя вместимость тыс. чел.	Средняя посещаемость тыс. чел.	Средняя заполняемость %	Рейтинг ФИФА	Рейтинг футбольных ассоциаций (УЕФА)
1	Германия	47,642	42,833	89,9	6	4
2	Англия	37,083	34,082	91,9	9	1
3	Испания	37,509	28,568	76,2	1	2
4	Мексика		25,379		17	
5	Италия	42,904	23,877	55,7	4	3
6	Аргентина		20,866		8	
7	Франция	27,847	19,983	71,8	7	5
8	Япония		19,278		45	
9	Нидерланды	21,779	19,251	88,4	3	8
10	Англия (Чемпионат)	26,164	18,114	69,2		
11	Бразилия		17,601		2	
12	Китай		16,482		85	
13	США		16,460		14	
14	Германия (2-я Бундеслига)	28,912	15,129	52,3		
15	Шотландия	21,298	15,000	70,4	44	13
16	Турция		14,058		33	11
17	Южная Корея		13,242		47	
18	Австралия		12,966		23	
19	Россия	25,134	12,426	49,44	13	6
20	Бельгия	17,175	11,888	69,2	62	14
21	Швейцария	19,493	11,395	58,5	18	15
22	Вьетнам		10,326		118	
23	Португалия	23,475	10,141	45,3	5	10
24	Колумбия		9,552		34	
25	Иран		9,216		60	
26	Англия (League One)	16,196	9,073	56		
27	Украина		9,052		24	7
28	Австрия	17,016	8,443	49,6	64	20
29	Дания	16,266	8,410	51,7	35	16
30	ЮАР		7,526		90	

**Рис. 1.** Средняя посещаемость и средняя заполняемость футбольных стадионов разных стран мира

В то же время по данным рисунка 2 (сайт <http://www.sports.ru/>) можно заметить, что зрительский интерес к чемпионату России по футболу остается на одном и том же уровне, начиная с середины 90-годов прошлого века



**Рис. 2.** Средняя посещаемость чемпионата России по футболу за период с 1992 по 2010 год

Не стоит также забывать и то, что такие спортивные состязания как чемпионат мира по футболу и зимние олимпийские игры в Сочи пройдут впервые на территории России.

В других массовых видах спорта (за исключением хоккея), наблюдаются аналогичные тенденции. Так, в частности средняя посещаемость чемпионатов России по волейболу, гандболу, баскетболу, плаванию, биатлону и легкой атлетике не растет, что

свидетельствует о низком спросе со стороны болельщиков на данные виды спорта. Эксперты выделяют множество причин, основными из которых являются:

- несовременность спортивных арен;
- невысокий уровень обеспечения безопасности на стадионе;
- невысокая зрелищность спортивных состязаний;

- неудачные выступления россиян (за исключением чемпионатов мира по хоккею, и чемпионатов Европы по баскетболу) на крупных спортивных соревнованиях. Так в частности за последние 6 лет Россия, как правопреемница Советского союза в прямом смысле слова провалила множество крупнейших спортивных состязаний. Приведём лишь некоторые из них: Олимпийские игры в Пекине (2008), Ванкувере (2010), систематическое непопадание футбольной сборной России на чемпионаты мира 2006 и 2010 годов, неудачные выступления пловцов, поражения биатлонистов на чемпионатах и кубках мира и т.д.

При таком состоянии спортивной системы и всего профессионального спорта в целом невозможно проведение вышеуказанных соревнований на мировом уровне. В связи с этим формируется необходимость изменения отношения к спорту, как со стороны государства, так и со стороны профессиональных спортивных обществ (спортивных клубов). Эти изменения также связаны со сменой политической системы в 1991 году, поскольку при советском союзе любительский и профессиональный спорт находился под патронажем государства, в то время как в нынешней России – под управлением частных лиц.

Далее, перечислим функции, которые выполняет спорт в современных капиталистических условиях. Так, в частности спорт выполняет социальную, воспитательную, нравственную функцию, а также является видом коммерческой деятельности с целью получения прибыли и т.д.

Таким образом, в современных условиях произошла переориентация ценностей в спорте, которая должна учитываться соответствующими управляющими (президенты спортивных федераций, правительственные органы (в частности министерство спорта) и т.д.).

При проведении крупных спортивных мероприятий, регионы (в данном случае подразумевается руководство (государственные органы власти) и спонсоры) способны получать не только прямой экономический эффект (то есть прибыль), который связан с непосредственной организацией спортивного события (доходы от продажи билетов, продажа прав на теле вещание, реализация спортивной атрибутики и т.п.). Отметим, что в последнее время особенно выделяют и так, называемые «косвенные» выгоды от проведения спортивных событий (особенно международных).

Не стоит недооценивать их роль, ведь именно они в большинстве случаев являются более значительными и прибыльными, чем прямые. Так, в Южно Африканской республике доход от проведения чемпионата мира по футболу в 2010 году, только от «прямых» выгод составил около 5 миллиардов долларов США (при том, что ВВП ЮАР составляет порядка 500 млрд. \$), в то время как доход от косвенных выгод момент составил порядка 21 млрд. \$.

Далее, перечислим лишь некоторые примеры косвенных выгод, получаемых странами, которые являются организаторами крупных спортивных мероприятий.

Во-первых, проведение спортивных соревнований на международном уровне способствует повышению политического престижа региона или страны (в данном случае эти слова являются синонимами). Для этого достаточно вспомнить олимпийские игры 2008 года прошедшие в столице Китая – Пекине, когда высшее руководство Китая неоднократно заявляло, что проведение Олимпийских игр является одной из главных составляющих политического влияния Китая. Так в частности, член постоянного комитета Политбюро ЦК КПК, Ли Ланьцин отметил, что «победа Пекина в конкуренции за приобретение права организации Олимпиады - 2008 - это признание международным

сообществом общественной стабильности, социального прогресса и экономического процветания Китая».

В то же время взаимный бойкот олимпийских игр 1980 года (СССР) и 1984 года (США) показал, что спорт и политические и геополитические интересы стран не совсем далекие друг от друга понятия.

Помимо этого следует отметить, что далеко не всем странам предоставляют право проведение олимпийских игр или чемпионатов мира по футболу. За более чем столетнюю историю профессионального спорта право проведения таких турниров как Олимпийские игры и Чемпионат мира по футболу было предоставлено не более чем 25 странам. При том, что абсолютное большинство стран «хозяев» являются самыми развитыми странами мира и являются членами, крупных экономических и политических организаций, например большой восьмерки (Италия, Великобритания, Германия, США, Российская Федерация, Франция и ряд других). Остальные страны, принимавшие крупные спортивные состязания находятся на подступах к мировому экономическому лидерству (Китай, ЮАР, Голландия, Южная Корея, Мексика, Бразилия и т.д.).

Таким образом, данный фактор значительно увеличивает косвенный эффект от проведения крупных спортивных мероприятий, поскольку сам факт проведения тех же олимпийских игр значительно повышает международный авторитет страны и признает за ней статус не только мощного экономического и инвестиционного центра, но и лидера мирового спортивного движения.

Во-вторых: проведение спортивных состязаний мирового уровня способно значительно увеличить узнаваемость города (а соответственно и страны) в мире. Ведь именно во многом при «помощи» олимпийских игр стали узнаваемы такие города как: французский Альбервиль (олимпийские игры 1992) ставший впоследствии одним из самых известных зимних курортов Европы, японский город Саппоро, который становился столицей целых двух зимних олимпийских игр, итальянский город Кортина-Ампеццо, проводивший олимпийские игры в 1944 году, и ставший благодаря этому крупнейшим горнолыжным центром Европы XX века и т.д.

Таким образом, косвенные выгоды значительно повышают инвестиционную привлекательность не только конкретного субъекта, в котором проводятся спортивные мероприятия, но и в целом всей страны.

В-третьих, организация подобных мероприятий активизирует строительство объектов городской инфраструктуры (возведение станций метро и международных аэропортов и т.д.).

Так, например, благодаря Олимпийским играм в Японии, в небольшом городе Нагано построили железную дорогу, а в Южно Африканской республике возвели 12 международных аэропортов, что значительно укрепило её экономическую мощь и т.д.

Не стоит также забывать, что к моменту проведения крупного спортивного состязания в стране активно строятся отели, развивается ресторанный, туристический и рекреационный бизнес...

В-четвертых, благодаря спортивным мероприятиям происходит увеличение количества приезжих туристов с других стран. Так в частности на прошедшем чемпионате Европы по футболу в Украине и Польше побывало порядка 800 тысяч болельщиков из разных стран мира, которые по разным данным могут оставить в данных государствах от 500 млн.\$ до 1,5 млрд \$.

В-пятых, проведение спортивных состязаний способствует созданию дополнительных рабочих мест. В частности министр финансов ЮАР в одном из интервью заявил, что в момент подготовки к чемпионату мира в ЮАР в 2010 году в стране было создано около 150 тысяч рабочих мест.

В то же время замечено, что значения фондовых индексов в странах, которые в будущем принимают крупные спортивные события, увеличиваются значительно быстрее.

Во время крупных спортивных состязаний значительно увеличивается

телевизионная аудитория соревнований, что способствует увеличению притока инвестиций в некоторые области экономики и стимулирует к увеличению спроса со стороны населения на товары (как правило, это бытовая техника и спортивная одежда). Так, в частности полуфинальный матч чемпионата Европы между футбольными сборными России и Испании по футболу смотрел каждый второй россиянин.

Помимо экономического эффекта можно выделить также социальный, психологический и культурный эффект.

Очевидно, что страна, которая проводит спортивные состязания, вкладывает денежные средства не только в вышеуказанные объекты, но также и в развитие самого спорта, как на любительском, так и на профессиональном уровне. Это проявляется в том, что возрастает количество детских тренеров (а так же их профессионализм, и их заработная плата), количество спортивных секций, видов спорта которыми занимаются граждане страны, увеличивается и количество профессиональных спортсменов, но самое главное это то, что растет авторитет самого спорта, который в данном случае рассматривается как инструмент нравственного и физического развития людей.

Психологический эффект связан с тем, что в стране проводящей, (к примеру) олимпийские игры резко возрастает популярность многих видов спорта. Что в свою очередь, может являться частичным решением некоторых довольно острых социально-психологических проблем. Например: занятость молодежь, борьба с наркоманией и курением и т.д. А ведь успешное решение данных проблем весьма положительно влияет на здоровье наций: увеличивается продолжительность и качество жизни, формируются новые интересы. «В здоровом теле – здоровый дух», слова А.П. Чехова очень четко показывают роль спорта в социальном и психическом развитии общества.

Отметим, что многие великие философы древней Греции считали, что физическое развитие тела должна переплетаться как с умственным, так и с нравственным воспитанием. Жители Японии и Кореи с большим удовольствием отдают своих детей всекций восточных боевых искусств, считая, что именно они формируют и вырабатывают такие черты, как целеустремленность, жизнерадостность, уверенность в себе и т.д.

Культурный аспект связан с тем, что меняется отношение к спорту как таковому. Ведь крупные спортивные мероприятия являются одними из самых запоминающихся событий в жизни большинства граждан, в странах, где проходили Олимпийские или Чемпионаты мира, и нередко впоследствии служат приятными ностальгическими воспоминаниями. Для доказательства этого факта, достаточно вспомнить то с какими эмоциями и с каким отношением, граждане бывшего советского союза вспоминают олимпиаду, прошедшую в Москве в 1980 году (даже не смотря на бойкот некоторых спортивных сверхдержав).

Таким образом, данная проблематика исследования в современных рыночных условиях, когда регионы поставлены в условия рыночной самокупаемости, и просто завалены многими социальными проблемами, является актуальной, поскольку она затрагивает практические (не только экономические, и социальные) аспекты функционирования региона (страны).

В завершении отметим, что далеко не всегда страна, которая занимается проведением крупных спортивных мероприятий, получает в дальнейшем ощутимые экономические выгоды. Так в частности достаточно вспомнить олимпийские игры в Афинах в 2004 году, которые впоследствии стали одной из причин финансового кризиса в Греции. В 1976 году летнюю Олимпиаду принимал канадский Монреаль. Аналитики считали, что затраты на олимпийские игры составят \$124 млн. В итоге, они составили \$2,8 млрд. \$(около \$10 млрд. в долларах 2009 года), которые впоследствии город выплачивал на протяжении 30 лет. Основными факторами, влияющими на прибыль, которую получают инвесторы (в том числе и государство) в результате спортивных состязаний являются:

-экономическое положение страны (наличие в государстве достаточного

количества денежных ресурсов, для инвестирования в активы);

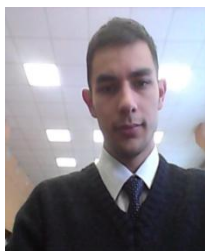
- привлекательные условия для инвестирования;
- наличие организаторского опыта;
- наличие соответствующей инфраструктуры (как спортивной, так и городской);
- международный авторитет страны;
- развитость туристического бизнеса;
- обеспечение безопасности на спортивных сооружениях и т.д.;

В начале работы было отмечено, что Россия станет хозяйкой большого количества крупных спортивных мероприятий. К сожалению, в нашей стране еще не сформировались условия, которые бы позволили её получить экономические выгоды (как косвенные, так и прямые) от проведения спортивных состязаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Деева А.И. Инвестиции:** Учебное пособие для вузов. 2-е изд. М.: Экзамен, 2005.
2. **Лившиц В.Н., Виленский П.А., Смоляк С.А.** Теория и практика оценки инвестиционных проектов в условиях переходной экономики. М.: Дело, 2000.
3. **Фатхутдинов Р.А.** Инновационный менеджмент. – СПб.: Питер, 2002.
4. **Шарп Уильям Ф.** Инвестиции: Учебник для вузов / Пер. с англ. - М.: ИНФРА-М, 1999.

### ОБ АВТОРАХ



**Кидрачев Руслан Наилевич**, студент каф. Финансы денежное обращение и Экономическая безопасность УГАТУ. Исследования в области психологии (значение брэнда), экономики (проблемы построения инновационной экономики), банковского дела и инвестиций.

e-mail: kidrachev@myrambler.ru



**Валетдинова Эльвира Наилевна**, старший преподаватель кафедры ФДОиЭБ, кандидат экономических наук.

e-mail: Elvira-valet@mail.ru

УДК 657.372.5

### ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ КОМПАНИИ: СУЩНОСТЬ И ФОРМИРОВАНИЕ

**Гурина М. Е.**

В настоящее время главенствующей парадигмой в теории стратегического управления стал ресурсный подход, согласно которому успех компании зависит от наличия у нее уникальных ресурсов и организационных компетенций, недоступных конкурентам. Принципиальная новизна этого подхода состоит в определении условий, при которых фирмы имеют конкурентное преимущество в состоянии экономического

равновесия. В данном случае в отличие от традиционных концепций фирмы акцент делается на организационные, а не на отраслевые причины различий между предприятиями.

Актуальность ресурсного подхода к управлению фирмой обусловлена тем, что классические школы стратегического планирования сегодня уже не способны объяснить существование некоторых феноменов современного бизнеса, когда компании, работая в традиционных отраслях экономики на зрелом рынке, могут занимать лидирующие позиции за счет своих внутренних возможностей. Решение задач идентификации и использования уникальных внутренних ресурсов и способностей фирмы нашло отражение в развитии ресурсоориентированного стратегического анализа и управления, ставших основой для развития идей об организационных компетенциях.

Устойчивым называется конкурентное преимущество, которое трудно (долго и/или дорого) воспроизвести конкурентам. Основой устойчивости конкурентного преимущества является, прежде всего, возрастание потребительской ценности (улучшенное качество, лучшее обслуживание, более тесный контакт с потребителями и сокращения времени цикла) [1, 3]. Наличие устойчивого конкурентного преимущества является залогом конкурентоспособности фирмы на рынке. В соответствии с основными положениями ресурсной школы стратегического планирования, важнейшим источником формирования конкурентных преимуществ предприятия являются его ресурсы и способности. При этом самыми ценными ресурсами, обеспечивающими конкурентоспособность фирмы, являются нематериальные активы.

Нематериальные ресурсы (НМР) предприятия – совокупность явных и неявных, формализованных и неформализованных знаний, объединяющих все, что имеет стоимость для предприятия и заключено в работающих на нем людях, или возникает из производственных процессов, систем или организационной культуры. Существуют различные подходы к определению структуры НМР. Традиционно выделяют три составляющие: человеческий, организационный и рыночный капиталы. Объединяющим началом служит идея кругооборота нематериальных ресурсов: знания и способности работников воплощаются в организационные процессы и связи с деловыми партнерами, которые, в свою очередь, создают базу для устойчивых отношений с клиентами. Сотрудничество с клиентами и партнерами ведет к накоплению опыта, развитию знаний и способностей работников компаний. Обобщенная структура НМР предприятия, сформированная в результате анализа различных источников, и ориентировочный перечень оценочных показателей приведены в таблице 1.

Однако, на наш взгляд, есть еще одна составляющая НМР, играющая важную роль в основном на знаниях развитии предприятий: организационные компетенции.

Одним из первых компетенции предприятия стал рассматривать И. Ансофф, построивший «профиль компетенций» предприятия, коррелированный с его «конкурентным профилем» с целью выявления источников получения синергетического эффекта. Дальнейшее развитие этот подход получил в работах Г. Хамела и К. Прахалада, в соответствии с которыми компетенция представляет собой совокупность умений и технологий, которая позволяет компании обеспечивать своим потребителям существенную выгоду.

НМР такие как история организации, накопленный опыт, сильные стороны и способности, особая технология производства или сбыта и другие, как правило, становятся единственным реальным источником конкурентного преимущества, которое компании может сохранить в течение долгого времени. Способность управлять ресурсами и приобретать новые навыки формирует компетенции компании, которые создают устойчивое конкурентное преимущество. В рамках ресурсной теории выделяют следующие категории, представленные в таблице 2 [4].

Таблица 1

**Структура нематериальных ресурсов предприятия  
(традиционный подход)**

Группа НМР	Вид НМР	Рекомендуемые оценочные показатели
1. Человеческий капитал	Образование	процент служащих с высшим образованием
	Профессиональная компетентность	профиль компетенций (когнитивные – общие и специальные; функциональные; личностные; этические)
	Удовлетворенность работников	результаты анкетирования по группам показателей: удовлетворенность содержанием работы, условиями труда, заработной платой, социальной средой, перспективами роста и карьеры; текучесть кадров (в том числе – квалифицированных)
	Развитие персонала	инвестиции в образование одного работника; социальные инвестиции
2. Капитал клиента (рыночный капитал)	Имидж, репутация предприятия	динамика стоимости предприятия и курса акций; доля затрат на маркетинг в прибыли
	Бренды, корпоративная и товарные марки	стоимость брендов, торговых марок, эффективность рекламы
	Приверженность клиентов	индексы удовлетворенности и приверженности потребителей; процент повторных заказов; объем продаж, приходящийся на постоянных клиентов
	Деловое сотрудничество	процент благоприятных контрактов, теснота связей с инвестиционно-финансовыми структурами; лицензионные и франшизные соглашения
3. Организационный капитал	Корпоративная культура	результаты анкетирования по вопросам наличия философии и миссии предприятия, общих целей и ценностей, кодекса поведения, норм взаимоотношений и др.
	Интеллектуальная собственность	стоимость объектов интеллектуальной собственности (патентов, авторских прав, производственных секретов, ноу-хау, программного обеспечения, товарных знаков и др.); количество зарегистрированных патентов; сроки юридической защищенности; процент продаж, приходящихся на запатентованные продукты
	Технологии: – управления; – информационные	процент доходов, инвестируемых в информационные технологии (в том числе – в разработку корпоративной базы знаний); вклад в базу знаний на одного работника (в год); коэффициенты использования базы знаний
	Инновационный капитал	доля инновационной продукции в общем объеме произведенной; затраты на исследования и разработки и их удельный вес в общей сумме инвестиций (или в прибыли) предприятия; инвестиции в освоение новых рынков, в подготовку и переподготовку персонала; количество рационализаторских предложений на одного работника

## Категории ресурсов

Вид ресурсов	Примеры
1. Основные ресурсы - это ресурсы, которые могут быть приобретены на рынке (сюда включаются как материальные ресурсы, так и навыки, необходимые для выполнения определенных функций, «приобретаемые» в результате найма работников).	ресурсы, связанные с обеспечением логистики, включают материальные ресурсы (грузовики, инвентарь) и навыки (навыки погрузочных работ, навыки упаковки).
2. Активы - являются совокупностями доступных факторов, которыми фирма владеет или управляет.	осязаемые (материальные - оборудование) или неосязаемые (нематериальные - патенты, информационные системы), но в любом случае это "видимые" ресурсы.
3. Способности - совокупность индивидуальных навыков, ресурсов и аккумулированных знаний, которые позволяют предприятиям координировать деятельность и использовать ресурсы.	- система предоставления отсрочек компании Hewlett-Packard; - умение работать в команде, умение организовывать закупки, разрабатывать новые продукты и выполнять заказы.
4. Стратегические активы (отличительные способности) - ресурсы компании, которые обеспечивают создание устойчивых конкурентных преимуществ.	Их отличительные способности основаны на процессах, сочетающих физические активы и сотрудничество людей и включают как явные (формализованные), так и неявные (неформализованные) знания. Признаки стратегических активов: ценность для фирмы, сложность воспроизведения или копирования, редкость среди конкурентов;
5. Источники конкурентных преимуществ - это объекты, доступ к которым или способности которых по отношению к фирме позволяют создать стратегические активы и на их основе - устойчивые конкурентные преимущества.	- особенности инфраструктуры рынков ресурсов; - внутренняя организационная среда.

Ресурсная теория исходит из того, что конкурентное преимущество должно базироваться на опережающем создании уникальных ресурсов и способностей, что позволит предприятию разработать и реализовать проактивную стратегию, которая не может быть скопирована ни одним из ее конкурентов. Таким образом, наиболее эффективным способом обеспечения конкурентоспособности организации становится ее способность мобилизовать и в полной мере использовать свои внутренние условия, которые представляют собой совокупность взаимосвязанных ресурсов, способностей и компетенций, направленных на создание набора свойств товара, определяющих его полезность для потребителя. Таким образом, *организационные компетенции* можно определить как совокупность навыков, способностей и технологий, которая позволяет компании обеспечить потребителям конкретную выгоду [1, 3, 4].

Организационные компетенции не являются однородными. Одни из них в большей степени ориентированы на специализированные умения компаний (для фирмы Canon это коллективные знания и навыки в сферах точной механики, оптики, микроэлектроники и создания цифровых образов, для Honda - производство двигателей), другие носят более общий характер.



В связи с этим одной из главных задач управления нематериальными ресурсами предприятия является объединение ресурсов и компетенций организации, создание и использование синергетического эффекта. Синергия разнообразных компетенций создает уникальный, неподдающийся копированию ресурс, – *ключевые компетенции* – основной источник устойчивых конкурентных преимуществ предприятия в условиях экономики знаний.

*Ключевая компетенция* (по Г. Хамелу) – это совокупность навыков, обладание которыми является главным условием того, чтобы компания могла успешно конкурировать с другими компаниями, а также основой ее процветания в долгосрочном периоде. При этом она должна обладать тремя основными свойствами: давать потенциальный доступ к широкому спектру рынков; добавлять значительную потребительскую стоимость конечному продукту, воспринимаемую покупателем; не поддаваться копированию (или – быть трудно копируемой) конкурентами.

При этом ключевая компетенция не является:

- каким-либо единственным умением или продуктом;
- способностью, которой обладают все конкуренты;
- чем-то таким, чем обладает лишь одно небольшое подразделение данной

компании.

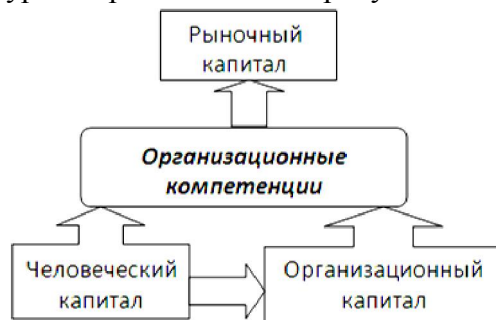
На основе анализа различных источников, можно выделить следующие типы компетенций [1, 3, 4]:

– по степени осознания – подразумеваемые (неосознанные) и четко формулируемые компетенции;

– по стадии жизненного цикла – "отработавшие" компетенции, которые используются основными конкурентами и превратились в своего рода "стандарт отрасли"; ключевые компетенции, которые на данный момент сохраняют свою "силу", но в ближайшем будущем могут стать широко доступными; устойчивые компетенции, которые имеют стратегическое значение и могут быть защищены на длительное время;

– по сфере проявления – компетенции, связанные с доступом к рынку, с доверием со стороны потребителей, с функциональностью (внутренними ресурсами и навыками предприятия).

Одним из важных свойств нематериальных ресурсов является возможность их одновременного использования для решения разных задач, а также возможность получения синергетического эффекта от создания правильных комбинаций как друг с другом, так и с материальными ресурсами. Место организационных компетенций в структуре нематериальных ресурсов представлено на рисунке 1.



**Рис. 1.** Предлагаемая структура нематериальных ресурсов предприятия

Организационные компетенции как самостоятельный вид НМР формируются как комбинация элементов человеческого и организационного капиталов и, являясь по определению источником создания потребительской стоимости, служат основой укрепления рыночного капитала. Синергия разнообразных компетенций создает уникальный, неподдающийся копированию ресурс, – *ключевые компетенции* – основной источник устойчивых конкурентных преимуществ компании в условиях экономики знаний.

Для того чтобы обеспечить сочетание ресурсов предприятия с потребительскими предпочтениями и заложить основу формирования компетенций предприятия, предлагается использовать аналитический инструмент стратегического менеджмента, направленный на выявление критических (ключевых) факторов успеха [3].

Критические, или ключевые факторы успеха (КФУ) – это:

– ограниченное количество областей, в которых получение удовлетворительных результатов гарантирует успех в конкурентной борьбе;

– факторы, которым предприятие должно уделять особое внимание, так как они определяют его успех (или провал) на рынке. Примерами КФУ являются:

– в производстве: низкая себестоимость продукции; качество продукции; высокая степень использования производственных мощностей; выгодное местонахождение предприятия; доступ к квалифицированной рабочей силе; высокая производительность труда; гибкость производства;

– в технологиях: масштаб и качество проводимых научных исследований; инновации в производственном процессе; степень новизны технологии; возможность разработки новых товаров;

– в маркетинге: разнообразие моделей (видов) продукции; благоприятный имидж предприятия, известная торговая марка; искусство продаж; высокая квалификация торгового персонала; привлекательные дизайн и упаковка; высокий уровень обслуживания; гарантии для покупателей;

– в управлении: высокий профессиональный уровень менеджеров и работников; умение предвидеть изменения внешней среды и быстро реагировать на них; умение быстро выводить товар на рынок со стадии НИОКР; наличие хорошо защищенной интеллектуальной собственности; совершенные информационные системы; доступ на финансовые рынки и др.

В качестве критериев оценки организационных компетенций и выявления тех из них, которые являются ключевыми, могут быть использованы критерии, предложенные в работе [1]: создание дополнительной ценности для потребителя, конкурентоспособность, потенциал, долговечность и устойчивость.

Таким образом, определив совокупность потребительских предпочтений (требований к производимым товарам и/или услугам), проанализировав ключевые факторы успеха и нематериальные ресурсы предприятия, можно идентифицировать основные организационные компетенции. Проведя их оценку по представленной выше совокупности критериев, можно выделить те из них – ключевые – которые следует использовать и развивать как основу создания устойчивых конкурентных преимуществ компании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрессен Д., Тиссен Р. Невесомое богатство. Определите стоимость вашей компании в экономике нематериальных активов. – М.: Олимп-Бизнес, 2004. – 304 с.
2. Битеряков Ю.Ф. Особенности стратегического анализа ключевой компетенции в период финансового кризиса// [www.ispu.ru/files/%2028-30\\_0.pdf](http://www.ispu.ru/files/%2028-30_0.pdf)
3. Гилева Т.А. Компетентностно-ориентированное управление нематериальными ресурсами предприятия. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2008. –124 с.
4. Катъкало В.С. Эволюция теории стратегического управления. – СПб.: СПб ун-та, 2008. –548 с.

## ОБ АВТОРЕ



**Гурина Мария Евгеньевна**, магистрант каф. экономики предпринимательства УГАТУ, дипл. бакалавр по экономике (УГАТУ, 2011).

Исследования в области стратегического управления.

e-mail: [gurina.mariya@yandex.ru](mailto:gurina.mariya@yandex.ru)

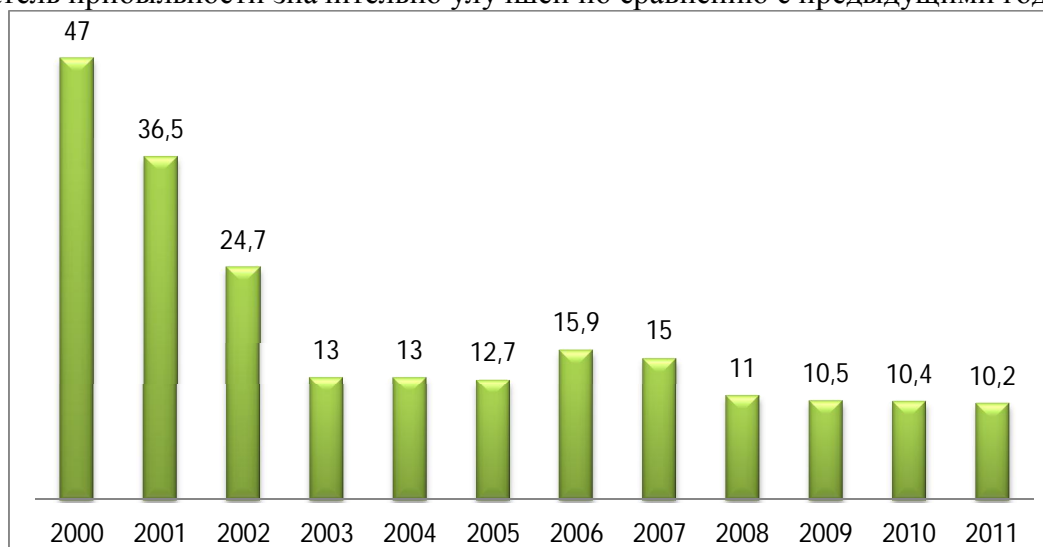
УДК 332.8 (450.57)

## ПРОБЛЕМЫ РЕФОРМИРОВАНИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН: ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

**Мансурова Ю. Т., Очерднюк Е. К.**

В августе 2011 года был опубликован план действий Правительства Российской Федерации в области развития жилищно-коммунального хозяйства. На данный момент в ряде Министерств идет работа по созданию законопроектов, главной целью которых является повышение инвестиционной привлекательности ЖКХ. Однако приватизация отрасли фактически остановлена: вместо нее предлагается концессионные соглашения по эксплуатации инфраструктурных объектов. Запрет на приватизацию в ведомствах объясняют опасениями правительства по поводу "социальных катастроф" в случае банкротства собственников при переходе систем жизнеобеспечения в частные руки [2].

Опасения чиновников нельзя считать бесосновательными: согласно официальной статистике 10,2% организаций жилищно-коммунального хозяйства в Республике Башкортостан на 2011 год являются убыточными, а уровень износа коммунальной инфраструктуры равен 55,8% [5]. Однако стоит отметить, что как видно на рис.1, показатель прибыльности значительно улучшен по сравнению с предыдущими годами:



**Рис.1** Динамика удельного веса убыточных предприятий жилищно-коммунального хозяйства Республики Башкортостан по годам

Складывается довольно странная ситуация: с одной стороны – в нынешних экономических условиях существует жесткая потребность в привлечении инвестиций в сферу ЖКХ. Как показывает опыт ряда европейских стран, это направление

предпринимательской деятельности может быть прибыльным. С другой стороны владение отраслью ЖКХ в нашей стране всегда являлось прерогативой государства, а МУПы и ГУПы (которые являются основной организационно-правовой формой предприятий ЖКХ) в большей степени рассчитаны на финансирование из бюджетных источников. В чем же причины такой «убыточности» сферы ЖКХ?

Первой проблемой, которая остро стоит для предприятий, функционирующих в сфере жилищно-коммунального хозяйства, является высокая себестоимость услуг, порождающая, в свою очередь, высокую тарифную ставку. Эксплуатационные затраты предприятий ЖКХ в 3-4 раза больше, чем в Европе. Каждый год тарифы в стране возрастают на 15-20%, при этом качество услуг заметно падает [1].

Вполне очевидно, что необходимо снижать себестоимость услуг ЖКХ: это будет выгодно, как и самим предприятиям, так и может иметь положительный социальный эффект в виде уменьшения средне отпускных тарифов на жилищно-коммунальные услуги, а также уменьшения бюджетных дотаций в сфере ЖКХ.

Таблица 1

### Финансовый результат отраслей ЖКХ по Республике Башкортостан за 2011

год

Отрасль ЖКХ	Финансовый результат за 2011 год по Республике Башкортостан
По жилью	- 95 137 970 р.
По теплоснабжению	- 115 006 567 р.
По водоснабжению	- 82 064 750 р.
По водоотведению	- 16 281 122 р.
По электрическим сетям (транспортировка)	7 454 133 р.

Высокая себестоимость обусловлена во многом применением отсталых технологий, большими потерями во время транспортировки и эксплуатации оборудования. Все это объясняется бессистемностью и непродуманностью политики амортизации основных фондов и обслуживающих инфраструктур в целом.

Анализируя существующую статистику, можно сделать печальный вывод: нормативный срок отслужили на 1 января 2009 г. около 60% основных фондов коммунального хозяйства. Более 90% существующих сооружений ЖКХ были введены в эксплуатацию в 60-70 годах прошлого века, износ оборудования в среднем приближается к 75%, в то время как экологические нормативы, действующие в настоящее время, значительно ужесточены по сравнению с существовавшими в Советском Союзе [1].

Модернизация служб ЖКХ фактически полностью легла на плечи государства. Из бюджетов разных уровней постоянно выделяются средства для их поддержки [4]. Необходимо создать такие условия, при которых это будет происходить за счет повышения финансовой и общей результативности работы предприятий, а так же за счет снижения издержек.

В современных условиях в качестве решения данного аспекта проблемы можно предложить два основных направления: применение инновационных и энергосберегающих технологий. Рассмотрим их возможную реализацию в одной из существующих областей.

Применение инновационных технологий убедительнее всего выглядит на водоподаче и водоотведении, для них необходим следующий ряд мероприятий:

- замена существующей инфраструктуры на новую, с применением новейших материалов (себестоимость современных полимерных труб довольно низкая, и при правильном монтаже срок из службы составляет около 50 лет без дополнительного обслуживания);

- установка электронных датчиков по длине водопровода, что позволит выявлять

незаконные врезки, а также упростит и удешевит процесс ремонта;

– установка новейших очистительных сооружений, модульных канализационных насосных станций, станций биологической очистки сточных вод и т.п. Для сравнения, установленная в пос. Чесноковка насос «Лавара» при энергопотреблении в 3-4 раза меньше чем у старых советских установок, она обеспечивает очищение и подачу в 2 раза большего объема воды.

Также все вышеперечисленное позволит уменьшить штат обслуживающих сотрудников и снизить тем самым себестоимость услуг, но нужно отметить, что это также будет являться социально негативным эффектом.

Нельзя сказать, что в РФ законодательно уделяется мало внимания проблеме энергосбережения. Однако, в сущности, мало что делается для реального введения в жизнь существующих разработок. Наиболее остро этот вопрос стоит для сферы теплоснабжения: потери коммунальных ресурсов, которые оплачивают потребители, составляют до 40%. Темп замены тепловых паровых сетей составляет менее 3% в год по РФ в целом [4].

В качестве решения этой проблемы выделим несколько пунктов:

– утепление домов эффективным утеплителем (например такими, как минераловые плиты, пенопласт, сип-панели), использование технологии «мокрого фасада» помогают снизить энергопотери до 50%;

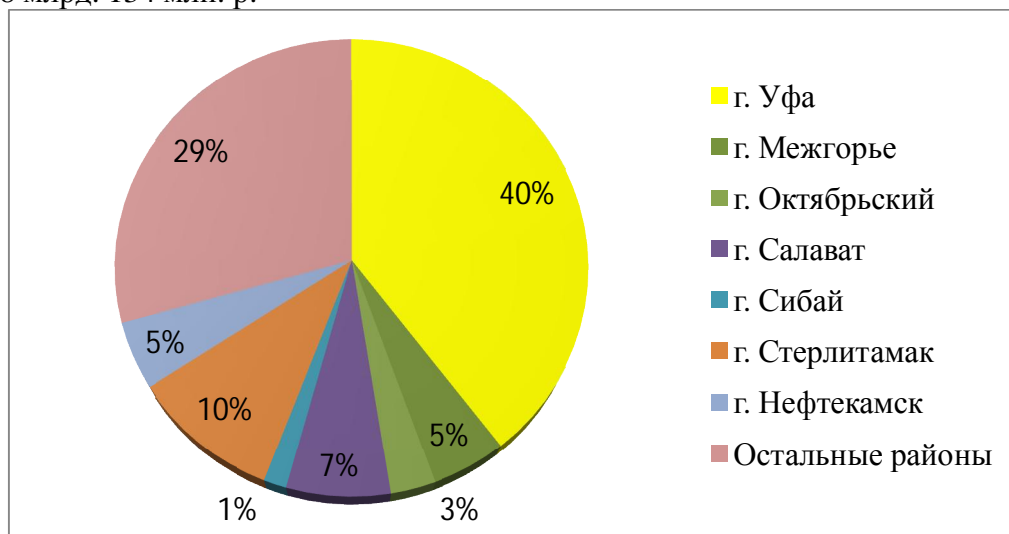
– замена всех «заполнителей» на энергосберегающие. Приведет к снижению потерь тепла на 15-20%, увеличивает температуру помещения на 4-6 градусов;

– установка современных отопительных приборов на основе биметалла, что поможет снизить расходы на отопление дома в 2-3 раза.

Одним из самых больших «тормозов» в развитии применения этих технологий являются безынициативные менеджеры среднего звена фирм ЖКХ в ГУПах и МУПах. Имея определенный оклад, не зависящий от результативности деятельности предприятия, они не имеют мотивации к поиску и внедрению методов совершенствования системы (премирование же зависит от выслуги лет). В существующих условиях необходимо добавить стимулы в виде премий, надбавок, путевок и других поощрений, именно за поддержание ввода новейших разработок.

Второй существенной проблемой является отсутствие эффективного механизма взыскивания задолженностей по услугам ЖКХ. Дебиторская задолженность населения предприятиям ЖКЖ на 1 января 2012 года составляет 2 млрд. 181 млн. 20 т. р., при чем около 40% от этой суммы (862 т. 327 р.) задолжали жители Уфы[3].

Для сравнения бюджет г. Уфа 2012 года по собственным доходам утвержден в объеме 8 млрд. 134 млн. р.



**Рис.2** Распределение дебиторской задолженности предприятиям ЖКХ по Республике Башкортостан

Вполне очевидно, что это задолженность накоплена не за один год, но также показательна также статистика оплаты МУПам и ГУПам г. Уфы за 2011 год:

**Таблица 2**

**Статистика оплаты муниципальным и государственным предприятиям ЖКХ  
г. Уфа**

Название предприятия	Начислено	Оплачено	Оплачено в процентном соотношении
МУП "УЖХ г.Уфы"	8287617	7951805	<b>95,9%</b>
МУП "Уфаводоканал"	32921	26501	<b>80,5%</b>

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что существующие методы не приносят должного результата. Вполне логично, что предприятия ЖКХ «подстраховываются» на случай неуплаты и на практике выходит, что добропорядочные граждане платят за своих нерадивых соседей.

Пеня, как вид штрафной санкции, помогает лишь в ряде случаев. К 2012 году количество задолжников составляет 211 664, из них 53 144 допустили задолженность на срок более чем 6 месяцев, что составляет около 25%. С остальными приходится вести долговую судебную тяжбу, но даже после вынесения судом решения в пользу предприятий ЖКХ, непосредственное исполнение приговора сталкивается с рядом юридических трудностей. Среди них чаще всего встречается отсутствие денежных средств у семьи, имущества для конфискации, а также трудность реализации уже конфискованного имущества. Еще сложнее переселить семью по нормам общежития. Объясняется это с одной стороны не гуманностью данного решения, с другой – юридическими тонкостями. В 2011 году в республике Башкортостан было выселено 9 семей [3].

Что можно предложить взамен? Согласно пункту «к» ст. 72 Конституции РФ жилищное законодательство находится в совместном ведении РФ и субъектов РФ. Это означает, что необходимо совместно пересмотреть существующие меры наказания:

- ужесточить наказания за систематическую неуплату услуг ЖКХ (начисление повышенных штрафов юридическим лицам, обязать выплачивать задолженности напрямую из заработной платы для физических лиц);

- ввести назначение наказания в виде обязательных, исправительных работ на предприятии ЖКХ для малоимущих семей, безработных, и лиц, уклоняющихся от уплаты начисленной задолженности.

Так же возможно создание сетки тарифов с льготными условиями для малообеспеченных семей при условии экономичного использования ресурсов (поощрительная мера).

В качестве еще одного важного аспекта решения проблемы можно выделить отсутствие культуры потребления ресурсов среди населения.

Необходимо проведение «просветительской» компании, формирующей имидж предприятий ЖКХ. Распространение ее можно осуществлять с помощью совместного финансирования из бюджетов разных уровней и уже приватизированных предприятий ЖКХ.

На наш взгляд, наиболее эффективными будут:

- рекламные ролики, распространяемые как по телевидению, так и в социальных сетях;

- размещение плакатов на уличных стендах;

- поддержание традиции субботников;

- проведение уроков «экологической культуры» у школьников на таких предметах как природоведение, этика, экология и т.п.

Подводя итог, отметим, что в сложившихся условиях главным и для привлечения инвестиций, и для финансовой результативности системы ЖКХ является общность

действий составляющих ее предприятий, не смотря на то, что часть из них стали частными. Для этого также можно создать Ассоциацию предприятий ЖКХ, которая будет координировать их функционирование, проводить научные исследования, собирать необходимую статистику, обеспечивать прозрачность деятельности, вносить предложения в существующие законопроекты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция федеральной целевой программы "Комплексная программа модернизации и реформирования жилищно-коммунального хозяйства на 2010 - 2020 годы" утверждена Распоряжением Правительства РФ от 2.02.10 № 102р.

2. Газета "Коммерсантъ", №158 (4699), 26.08.2011 / Издательский дом «Коммерсантъ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kommersant.ru/> (дата обращения 06.06.2012).

3. Официальный сайт Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Башкортостан [Электронный ресурс] / Статистка. Режим доступа: <http://www.mgkhrb.ru/> (дата обращения 06.06.2012).

4. Официальный сайт Министерства регионального развития Российской Федерации [Электронный ресурс] / Основные направления деятельности. Режим доступа: <http://www.minregion.ru/activities/gkh> (дата обращения 06.06.2012).

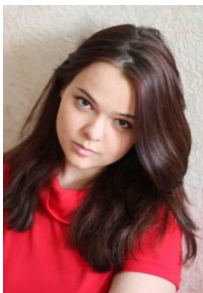
5. Официальный сайт Министерства экономического развития Республики Башкортостан [Электронный ресурс] / Целевые показатели деятельности республиканских министерств и государственных комитетов Республики Башкортостан. Режим доступа: <http://minecon.bashkortostan.ru/> (дата обращения 06.06.2012).

### ОБ АВТОРАХ



**Мансурова Юлия Талгатовна**, доцент кафедры «Финансы, денежное обращение и экономическая безопасность» ФИРТ УГАТУ, дипл. экономист-математик (УГНТУ, 2002). Кандид. эконом.наук(Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, 2005). Исследования в области математического обеспечения решения экономических задач.

e-mail: [Mansurova.j@mail.com](mailto:Mansurova.j@mail.com)



**Очереднюк Елена Константиновна**, студентка 2 курса группы ФДО-207 кафедры «Финансы, денежное обращение и экономическая безопасность» ФИРТ УГАТУ

e-mail: [MusaElenaO@gmail.com](mailto:MusaElenaO@gmail.com)

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ, ВОЗНИКАЮЩИМИ ПРИ  
ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР****Ярин Д. Н.**

В экономике народного хозяйства активно формируются и функционируют различные формы и виды интегрированных структур (ИС). В их числе: консорциумы; холдинги; финансово-промышленные группы; научно-производственные корпоративные объединения (КНПО); квазиинтегрированные объединения и др. В зависимости от их форм собственности, целей, миссий и других характеристик в процессе формирования и функционирования ИС возникают и действуют различные риск-факторы или риск-события. Они (риски) могут проявляться и действовать системно в виде вероятностных, детерминированных и иных закономерностей. В свою очередь, одно риск-событие может определяться единственным или множеством риск-факторов. А от этого зависит значимость или эффект влияния риска на проявление интегрированного эффекта синергии и формирование конечных результатов деятельности в виде устойчивого функционирования ИС. Эти результаты, прежде всего, зависят от методов и механизмов создания ИС, в частности, использования механизмов слияния или поглощения.

Как показывают исследования [4,6] в ИС, особенно квазиинтегрированного и консорциумного характера (КНПО) в процессе формирования и функционирования действуют множество вероятностных риск-факторов, вызванных недостатками использования механизмов слияний или поглощений. Поэтому для управления такими рисками требуется использовать методы интегрированного менеджмента, прежде всего основанного на вероятностно-экспертной, системно-целевой, ситуационной и функционально-стоимостной (ФСА) методологиях [1, 4].

Для этой цели целесообразно использовать систему интегрированного менеджмента. Такая задача была поставлена еще в 2002 году, однако, не все проблемы решены до настоящего времени.

Вероятностно-экспертный метод оценки рисков нами был использован в процессе планирования мероприятий по слиянию научных подразделений УГАТУ (технопарк НИЧ) и производственных подразделений (УАПО, УМПО, УППО и др.) в рамках Авиационного Холдинга (АХ) под эгидой Росавиакосмоса (г.Москва). По поручению Кабинета Министров Республики Башкортостан была создана группа для экспертной оценки вероятностных рисков при формировании квазиинтегрированного НПО.

Для этой цели нами была предложена методика комплексной оценки вероятностных рисков, связанных с получением синергического эффекта интеграции как характеристики дополнительной прибыли в процессе функционирования КНПО. При этом для исследования были выбраны 12 (двенадцать) риск-факторов с учетом их приоритетов и вероятного отрицательного влияния на ожидаемую дополнительную прибыль в процессе функционирования КНПО (Табл. 1).



Таблица 1

**Риск-факторы, действующие в процессе функционирования КНПО**

Риск-факторы			Факторы отрицательных эффектов	
№ п/п	Характеристики	Усл. обозн.	Параметры	Усл. обозн.
1	2	3	4	5
1	Отсутствие задела инноваций	$P_1$	Разные сроки создания инноваций	$P_1$
2	Неравномерный инновационный потенциал	$P_2$	Разные сроки создания потенциала	$P_2$
3	Слабые научно-производственные связи	$P_3$	Недостаточный уровень интеграции	$P_3$
4	Слабые конкурентные преимущества	$P_4$	Низкий уровень качества	$P_4$
5	Отсутствие стратегии интеграции	$P_5$	Несогласованное бюджетирование	$P_5$
6	Неуверенность топ-менеджеров	$P_6$	Недостаточная эффективность менеджмента	$P_6$
7	Нежелание реструктуризации	$P_7$	Невозможность расширенного воспроизводства	$P_7$
8	Неотработанность общекорпоративных стандартов	$P_8$	Значительная вариация издержек	$P_8$
9	Сложность ориентации на общую цель	$P_9$	Недостаточный уровень вклада в общий доход	$P_9$
10	Неравномерный технический уровень производств	$P_{10}$	Значительные издержки амортизации	$P_{10}$
11	Трудности набора квалифицированных кадров	$P_{11}$	Низкое качество результатов труда	$P_{11}$
12	Нестабильность количества и качества поставки сырья	$P_{12}$	Значительная вариация объемов производства и сроков сбыта товаров	$P_{12}$

Далее, в соответствии с методологией экспертной оценки, специалисты (эксперты) пользуясь таблицей вероятностей (Табл. 2) проявления риск-факторов выбрали возможные значения рисков ( $P_1 - P_{12}$ ) с учетом параметров эффектов ( $P_1 - P_{12}$ ) (Табл. 3).

Таблица 2

**Расчетные значения рисков**

№ п/п	Характеристика вероятности рисков	Значения рисков в %
1	Несущественный риск	0
2	Нереализуемость риска	25
3	Неопределенность проявления риска	50
4	Значительная вероятность проявления риска	75
5	Полная вероятность проявления риска	100

Таблица 3

**Вероятные значения рисков по факторам, установленные экспертами**

Виды рисков	Данные экспертов			Средняя вероятность рисков
	Первый	Второй	Третий	
1	2	3	4	5
P <sub>1</sub>	20	10	30	30
P <sub>2</sub>	30	35	25	30
P <sub>3</sub>	15	13	12	10
P <sub>4</sub>	40	45	35	40
P <sub>5</sub>	65	75	80	74
P <sub>6</sub>	25	35	30	30
P <sub>7</sub>	75	80	85	80
P <sub>8</sub>	68	76	80	74
P <sub>9</sub>	55	60	65	60
P <sub>10</sub>	71	75	80	72
P <sub>11</sub>	60	65	55	60
P <sub>12</sub>	55	60	65	60
Итого:				51,5

Как показали исследования, наибольшую вероятность проявления риска имеют P<sub>5</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> и P<sub>10</sub>. В целом при формировании интегрированной КНПО вероятность проявления совокупности рисков вместе не велико (около 0,5). Следовательно при использовании эффективных механизмов управления этим процессом возможно решение поставленной задачи.

Интеграционный подход к управлению рисками предполагает комплексное использование логически построенной системы методов выявления, анализа, оценки и т.д. всех возможных риск-факторов и их вероятных рисков связанных, прежде всего, с организационными ситуациями. Такая методология должна обеспечить решение множества теоретических и практических задач, таких как: определение типа (однотипный, дифференцированный, интегрированный и т.д.) риска; интегральной монотонности и адекватности риск ситуаций; взаимосвязанности и взаимозависимости различных рисков; динамичности, воспринимаемости, моделируемости, однозначности информации о рисках и риск-факторах и т.д. Решение этих задач, в свою очередь, требует разработки адекватных методов, алгоритмов и моделей систематизации рисков и их факторов, проявляемых в различных ситуациях. В этой связи следует отметить, что использование основ предполагаемой системно-целевой и комплексно-ситуационной методологии исследования рисков позволяет по новому взглянуть на риск-факторы, действующие в ИС. Как показали наши исследования [4] интеграционный подход позволяет организовать эффективное выявление, измерение и управление. Для этого естественно требуется мобилизовать значительный арсенал теории управления, экономико-математического моделирования, статистического анализа и методологии интегрированного менеджмента (МИМ). В частности, МИМ при решении разных интеграционных задач использует методы ФСА, стратегического планирования, проведения эксперимента, интегрального метода «дерево решений», а также систему логических интеграционных моделей. Поэтому для реализации процесса управления рисками, связанными с формированием ИС, прежде всего требуется сформировать логические и вероятностные модели, характеризующие взаимосвязи факторов и рисков ситуаций, проявляемых при функционировании различных хозяйственных процессов.

Как известно [3, 4], существует множество типов моделей анализа, прогнозирования и управления различными риск-факторами, ситуациями и рисками в экономике. Однако, они, преимущественно, построены на дифференцированных подходах к управлению рисками и факторами их побуждающими в хозяйственной практике. Для

реализации МИМ и системного управления риск-факторами и риск-ситуациями требуются модели построенные на системно-интеграционных подходах. Такие модели должны быть направлены на решение следующего комплекса задач: во-первых, определение интегрированных и квазиинтегрированных групп факторов и сценариев, ситуаций и событий, а также вероятности их проявления в различных диапазонах вариации возможных рисков; во-вторых, определение взаимосвязанности параметров состояния и результатов проявления рисков в различных группах событий, а также в совокупности объектах ИС, функционируемых в заданных пределах эффективности; а также различных уровнях вероятности положительных или отрицательных изменений объектов в рамках рискованных ситуаций и т.д.; в-третьих, построение моделей для решения оптимизационных задач связанных с планированием процессов формирования ИС, а также реализации МИМ при управлении рисками и их факторами.

При решении всех этих задач на базе интеграционных, системно-аналитических и имитационных моделей достигается переход от однофакторных и однокритериальных подходов к многофакторным и многокритериальным подходам. Для этой цели, в частности, используются многофакторные аналитические модели Л.С. Понтрягина [5], позволяющие решать задачи оптимизации интегральных внутрикорпоративных и внешних рискованных ситуаций, связанных прежде всего с повышением затрат и снижением эффектов синергии

Другая группа моделей, основанных на интеграционном подходе – это модели стратегического и бюджетного, а также финансового планирования и оптимального распределения денежных активов между участниками ИС, получившее название риск-задачи использования интегрированного капитала компаний [4].

Следует отметить, что интеграционный процесс в экономике представляет собой рисковую и сложную систему, управление состоянием и развитием которой осуществляется по макро- и микроэкономическим законам, основанным на теориях интегрированного управления (МИМ), с использованием совокупности инструментов, а также на механизмов слияний и поглощений. Эффективное использование этих положений при функционировании ИС, прежде всего, заключается в организации оптимально управления системным и взаимосвязанным движением множества факторов и процессов. Поскольку они осуществляются по различным стратегическим траекториям с корректировкой наиболее значимых «стандартных» параметров при отклонении от запланированных ранее, то требуется эффективная система мониторинга. Как известно из опыта [4] важнейшими параметрами, характеризующими отклонения от выбранной стратегической траектории формирования и функционирования ИС являются различные эффекты риск-факторов и риск-ситуаций, то главным критерием для корректировки стратегической траектории их функционирования целесообразно использовать характеристики риск-эффектов, в частности, эффектов синергии

При этом следует учесть, что такие критерии в основном являются векторными величинами. В их числе основные:

- 1) Контролируемые риск-параметры, используемые при стратегическом планировании в ИС;
- 2) Этапы корректировки и оказания корректирующих воздействий на различных этапах;
- 3) Критерии, используемые для осуществления управляющих воздействий на объекты и субъекты ИС, обеспечивающие желаемые результаты, в частности эффекты синергии.

К первой группе следует отнести измеряемые и наблюдаемые параметры (потоки средств интегрированного капитала, доходы, затраты и др.), по которым можно судить о работоспособности и конкурентоспособности ИС.

Ко второй группе относятся параметры возникающие от начала формирования ИС (изменение объемов инвестиций, продаж активов, эмиссии ценных бумаг и т.д.) и

осуществления интегрированной деятельности, до выявления отклонений от стратегической траектории, а также периоды образования риск-факторов, ситуаций и изменения траектории движения активов после проведения реорганизаций.

Поскольку, траектории или векторы процесса формирования ИС, их изменение и построение новой траектории (как известно из опыта) преимущественно носит дискретно-вероятностный характер, то еще в процессе планирования создания ИС путем слияний или поглощений должны быть заранее учтены аспекты проявления различных риск-факторов и возможных ситуаций. Поэтому выбор третьей группы критериев, прежде всего, должен осуществляться с учетом возможности проявления вероятных риск-факторов или эффектов, особенности величины возможных ущербов. А дальше при стратегическом планировании следует решать задачи выбора или разработки методов их оценки, предотвращения или минимизации рисков с учетом конкретных факторов. Все это возможно лишь на базе моделирования и использования средств МИМ.

Как известно, основной стратегической целью формирования ИС в отечественной экономике являются процессы системной экономической интеграции хозяйствующих объектов и субъектов. Поэтому исходным при решении отмеченных задач является построение модели формирования стратегии экономической интеграции. При этом, естественно, возникает ряд вопросов и основные из них следующие: Каковы пределы экономической интеграции? Как можно снизить риски в процессе интеграции и особенно при формировании ИС?

Для получения ответа на эти вопросы и выбора наиболее эффективной стратегии экономической интеграции, целесообразно сформировать и использовать так называемую предельную экономико-математическую модель (ПЭММ) для решения аналитических и оптимизационных задач. Нами методология ПЭММ предложена [4] использовать для решения комплекса задач, в частности, анализа, выбора форм и структуры ИС, а также формирования стратегии экономической интеграции научных и промышленных предприятий различных отраслей, а также потребительских сетей. При этом особая роль отводится учету и оценке различных риск-факторов, а также ситуаций связанных с ними результатов (ущерб, эффект, доходы и т.д.) деятельности в процессе реализации стратегии ИС. В качестве контролируемых, проектируемых и управляющих параметров в ПЭММ использованы векторные характеристики, такие как: общие (результативные) значения объемов производства, капитала, доходов ИС в целом, а также внутренних конечных продуктов, капитала, доходов, потока средств, после решения интеграционных и вывода на рынок инновационных товаров всеми участниками ИС. Корректирующие механизмы учета и оценки риск-факторов базируются на методологии имитационного моделирования, мониторинга и контроллинга. Все эти механизмы и их блочно-модульные конструкции базируются на системе сбалансированных показателей и работают в автоматическом режиме на базе современных информационных технологий [4]. Результаты исследований реализованы на практике при формировании ИС на базе научных и промышленных предприятий РБ, консорциумов и холдингов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачева М.В. – Управление рисками в инновационной деятельности. М.:ЮНИТИ, 2010, 351 с.
2. Колемаев В.А. – Математическая экономика. М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2005, 399 с.
3. Кузовков Н.Т. – Модельное управление в экономике. М.:«Экономика», 1997, 276с.
4. Макулов А.С. – Теория интеграции хозяйственных структур. Уфа: УГАТУ, 2000, 127 с.
5. Понтрягин Л.С. – Многофакторные аналитические модели. М.: «Экономика», 1996, 310 с.

б. Соложенцев Е.Д. – Сценарное логико-вероятностное управление рисками в бизнесе. С.Пб.: «Бизнес-пресса», 2006, 530 с.

**Об авторах:**



Ярин Денис Николаевич – старший преподаватель кафедры «Экономики предпринимательства», ИНЭК, УГАТУ, дипл. экономиста-менеджера (УГАТУ, 2002). Исследования в области организации производства на предприятиях машиностроения, систем оперативного управления, методов оценки технического уровня производства

e-mail: [yarin-dn@mail.ru](mailto:yarin-dn@mail.ru)

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

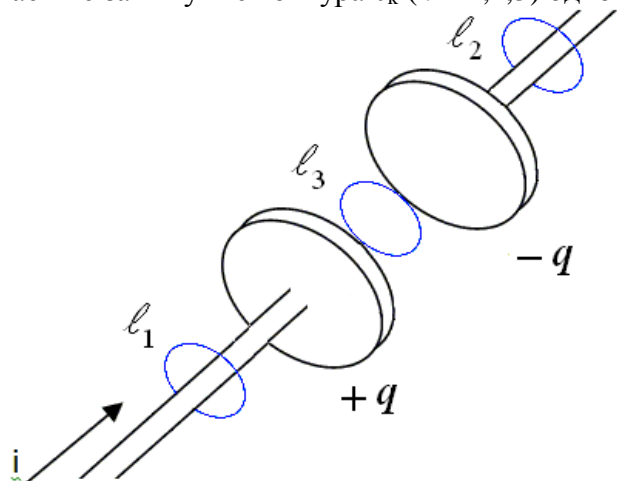
УДК 537.812

### К МЕТОДИКЕ ИЗЛОЖЕНИЯ ТЕМЫ «ТОК СМЕЩЕНИЯ» В ВУЗОВСКОМ КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Грекова А. С., Сазонов С. Н.

Тема «Ток смещения» является частью главы «Уравнения Максвелла» раздела «Электромагнетизм» курса общей физики как в классических университетах, так и во вузах. Очевидна важность серьёзного изучения студентом этой темы, вплотную подводящей его к уравнениям Максвелла, имеющим фундаментальное значение не только в физике, но и в электротехнике. Как в отечественных учебниках физики для вузов [1 – 2], так и в зарубежном издании аналогичного профиля [3], авторы излагают эту тему по одной и той-же схеме. Схема эта такова.

К источнику переменного напряжения подключен конденсатор. На рисунке 1 показаны провода, подводящие ток к обкладкам этого конденсатора. Рассмотрим воображаемые замкнутые контура  $\ell_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ) одного и того-же радиуса  $R$ , два из



**Рис. 1.** Схема, иллюстрирующая обобщение закона полного тока, сделанное Максвеллом (из [1 – 3])

которых охватывают левый и правый провода соответственно, а третий располагается внутри обкладок параллельно им. Для контуров  $\ell_1$  и  $\ell_2$ , закон полного тока даёт

$$H \cdot 2\pi R = i; \quad (1)$$

где  $i$  – ток в цепи в данный момент времени,  $H$  – модуль вектора напряжённости магнитного поля на периметре контуров  $\ell_1$  и  $\ell_2$ . Для третьего же контура мы получим аналогичным образом  $H = 0$ . Далее студенту сообщается, что Дж. К. Максвелл, исходя из убеждения о непрерывности магнитного поля как функции координат, предложил дополнить закон полного тока, в стационарном случае записывающийся как

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = i; \quad (2)$$

ещё одним слагаемым, так что для переменных полей он принимает вид

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = i + \frac{\partial}{\partial t} \iint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S}; \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$  – вектор электрической индукции в точке  $\mathbf{r}$  в момент  $t$ , а интеграл в

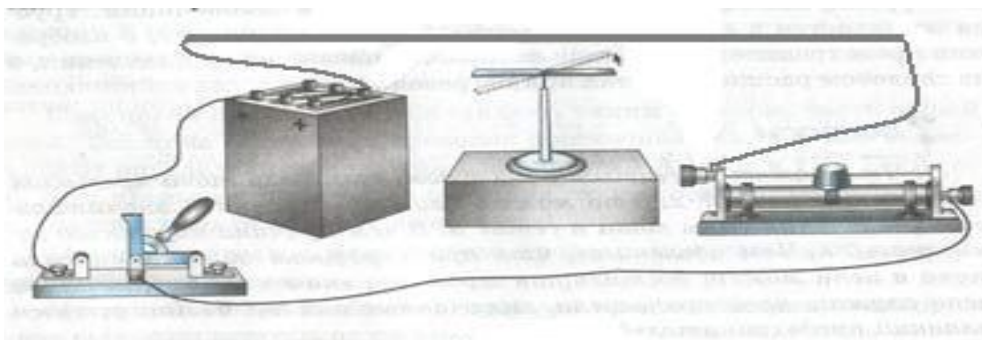
правой части берётся по любой поверхности  $S$ , опирающейся на контур  $\ell$ . Непосредственным подсчётом в геометрии рисунка 1, авторы учебников [1 – 3] показывают, что из уравнения (3) как раз и следует тот факт, что для всех трёх контуров, величина вектора напряжённости магнитного поля на их периметре одна и та-же. Таким образом, уравнение Максвелла (3), хотя и не выведено математически строго, но обосновано довольно убедительными соображениями в свою пользу.

Приведём альтернативный вариант рассуждений, также подводящий студента к справедливости уравнения (3). Для этого вернёмся к другой теме раздела «Электромагнетизм», а именно – к теме «Закон Био – Савара – Лапласа» главы «Магнитное поле тока», с которой в вузе начинается изучение магнетизма.

Как известно, при формулировке этого закона используется понятие «элемент тока». Элементом тока называют ([4], стр. 165) «произведение ( $i dl$ ), где  $i$  – сила тока в проводе, а  $dl$  – вектор, имеющий длину бесконечно малого отрезка провода  $dl$  и направленный вдоль тока». Вектор напряженности магнитного поля отдельного элемента тока, согласно закону Био – Савара – Лапласа, имеет вид

$$dH = \frac{i}{4\pi} \cdot \frac{[dl; R]}{R^3} \quad (4)$$

где  $R$  – радиус-вектор из центра элемента тока в точку наблюдения. На рисунке 2 показана ситуация, когда поле создаётся длинным прямым проводом, замыкающимся



**Рис.2.** Примерная схема опыта Био и Савара

вдали от измерительной системы, состоящей из магнитной стрелки на упруго поворачивающемся держателе. Исторически именно замеры напряжённости поля  $H(R)$  на разных расстояниях  $R$  от длинного токнесущего провода до точки наблюдения привели Био и Савара к формуле

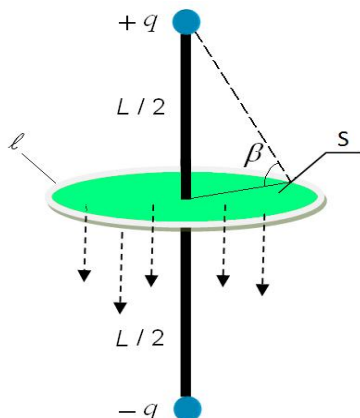
$$H(R) = \text{const} / R ,$$

а математик Лаплас показал, что она может быть выведена как следствие закона (4), дополненного принципом суперпозиции магнитного поля ([5]). Введённое им понятие отдельного элемента тока нефизично – оно противоречит закону сохранения заряда. Более того, в [4] (стр. 168) отмечено, что рассчитанные из (4) магнитные силы между двумя элементами тока, у одного из которых вектор  $dl$  перпендикулярен линии, соединяющей их центры, а у другого – параллелен ей, не соответствуют третьему закону Ньютона.

Иной подход к закону Био – Савара – Лапласа предложен в [6]. Авторы этой работы рассматривают прямой отрезок провода, снабжённый двумя небольшими металлическими шариками на концах (рисунок 3). Сторонняя механическая сила переносит заряды с одного шарика на другой; при этом по проводу в течение какого-то промежутка времени течёт ток  $i(t)$ , а заряды на шариках  $q(t)$  меняются со временем как

$$q(t) = \pm \int_{t'=0}^t i(t') dt' . \quad (5)$$

Для простоты авторы [6] ограничились рассмотрением поля в плоскости, перпендикулярной проводу и проходящей через его середину.



**Рис.3.** К выводу закона Био – Савара по Charitat – Graner ([6]). Штриховыми линиями показаны векторы электрического поля шариков в средней плоскости

Применяя (3) к контуру  $\ell$  на рисунке 3, они получают

$$H \cdot 2\pi R = i + \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \iint_S (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \cdot d\mathbf{S}; \quad (6)$$

где  $\mathbf{E}_1$  и  $\mathbf{E}_2$  – векторы напряженности электрического поля шариков с зарядом (+q) и (-q) соответственно в плоскости симметрии рисунка. В силу закона Кулона, уравнению (6) можно придать вид

$$H \cdot 2\pi R = i - \frac{d}{dt} q(t) \cdot (1 - \sin \beta) = i \cdot \sin \beta; \quad (7)$$

где угол  $\beta$  определен на рисунке 3. Так как

$$\sin \beta = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{R^2 + (L/2)^2}}, \quad (8)$$

то для малых  $L$  приходим от (7) к формуле

$$H = \frac{i}{4\pi} \cdot \frac{L}{R^2} \quad (9)$$

являющейся частным случаем закона Био – Савара – Лапласа для  $\alpha = \pi / 2$  в формуле (4). Таким образом, подход авторов [6] к изложению магнетизма студентам вузов заключается в том, чтобы признать понятие элемента тока физической реальностью, но с учётом того, что при протекании по нему тока, на его концах появляются зависящие от времени заряды. Это позволяет изложить закон Био – Савара – Лапласа для реальной, а не для внутренне противоречивой ситуации, а в дальнейшем показать, что данный закон – следствие более общего уравнения (3).

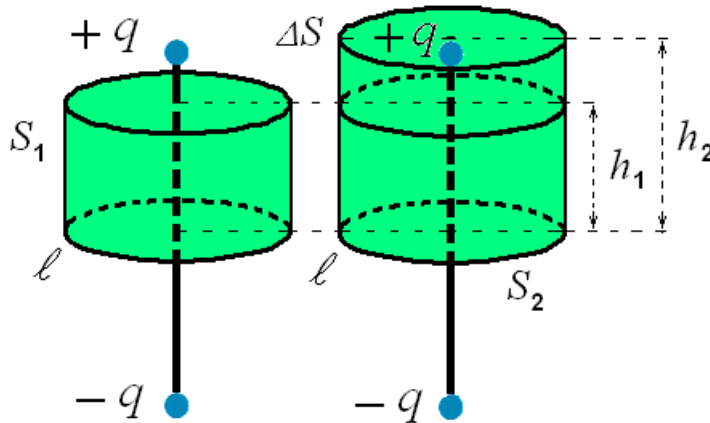
Мы предлагаем использовать подход авторов работы [4] и при объяснении темы «ток смещения». Для этого рассмотрим два воображаемых цилиндра с поверхностями  $S_1$  и  $S_2$ , построенными на контуре  $\ell$  рисунка 3 как на периметре нижнего торца (рисунок 4). Верхний торец цилиндра  $S_1$  проходит непосредственно под верхним шариком с рисунка 3 и его высота  $h_1 = L / 2 - \varepsilon$ , где величина  $\varepsilon \ll L$ . Верхний торец цилиндра  $S_2$  проходит непосредственно над этим – же шариком и его высота  $h_2 = L / 2 + \varepsilon$ . Попытка применить закон полного тока (2) к контуру  $\ell$  приводит к парадоксу:



$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = i; \tag{10}$$

если поверхностью, опирающейся на контур  $\ell$  является цилиндр  $S_1$  и

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = 0; \tag{11}$$



**Рис.4.** Ещё одна физическая ситуация, рассмотрение которой позволяет прийти к обобщению закона полного тока

для цилиндра  $S_2$ . Для разрешения парадокса запишем (10) через плотность тока, связанную с силой тока известным студентам равенством

$$i(t) = \iint_S \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) dS, \tag{12}$$

где  $S$  по-прежнему – какая-то поверхность, опирающаяся на контур  $\ell$  и «протыкаемая» токонесящим проводом. Далее предположим, что в правой части полученного равенства в случае переменного тока должно быть ещё одно слагаемое – плотность тока смещения  $\mathbf{j}_{см}$ . О последнем мы пока знаем только то, что ток смещения, как и обычный ток, стремится к нулю, когда заряд шариков не меняется со временем. Таким образом, формулу (10) для первого цилиндра можно обобщить как

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint_{S_1} (\mathbf{j}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{j}_{см}(\mathbf{r}, t)) dS, \tag{13}$$

а для второго – как

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint_{S_2} \mathbf{j}_{см}(\mathbf{r}, t) dS, \tag{14}$$

Вычитая (13) из (14) и возвращаясь к силе тока с помощью (12), получим

$$\iint_{\Delta S} \mathbf{j}_{см}(\mathbf{r}, t) dS = \frac{dq(t)}{dt}. \tag{15}$$

Здесь интегрирование ведётся уже по поверхности  $\Delta S$  цилиндра высотой  $2\epsilon$ , верхний торец которого совпадает с верхним торцом исходного цилиндра  $S_1$ , а нижний торец – с верхним торцом цилиндра  $S_2$ . На первый взгляд, это интегральное уравнение для неизвестной функции  $\mathbf{j}_{см}(\mathbf{r}, t)$  неразрешимо – для одной и той-же функции  $q(t)$  существует бесконечно много функций  $\mathbf{j}_{см}$ , удовлетворяющих ему. Но так было бы, если бы данное уравнение формулировалось только для одного фиксированного в пространстве цилиндра. Между тем, мы никак не фиксировали ни  $\epsilon$ , ни радиус контура  $\ell$ . Поверхность  $\Delta S$  произвольна – важно только, чтобы верхний шарик помещался внутри неё – и это делает величину  $\mathbf{j}_{см}$  однозначной. Действительно, применим к правой части (15) теорему Гаусса,

уже знакомую студентам. Согласно этой теореме,  $q = \iint_{\Delta S} \mathbf{D} d\mathbf{S}$ . Тогда из (15) следует

$$\iint_{\Delta S} \left( \mathbf{j}_{\text{см}}(\mathbf{r}, t) - \frac{\partial \mathbf{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \right) d\mathbf{S} = 0 \quad (16)$$

Ввиду произвольности  $\Delta S$  отсюда следует, что нулю равно и подынтегральное выражение. Таким образом, мы пришли к известному результату  $\mathbf{j}_{\text{см}}(\mathbf{r}, t) = \partial \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) / \partial t$  несколько иным, чем в учебниках способом. Его достоинство в том, что при такой методике подачи материала понятие элемента тока (в смысле работы [6], то есть без противоречия с законом сохранения заряда) становится сквозным, проходя через всю главу «Магнетизм» курса физики. Итак, последовательность изложения темы «Магнетизм» видится следующей: 1) при объяснении темы «Закон Био – Савара – Лапласа», понятие элемента тока вводится не по Лапласу, а по работе [6], что позволяет избежать рассмотрения нефизических ситуаций. Вместе с тем, в отличие от [6], доказывать этот закон на данном этапе изложения излишне – пока он формулируется как обобщение опыта, 2) при объяснении темы «Ток смещения», разбирается ситуация рис. 4, воспроизводится вывод закона Максвелла (3) в соответствии с (10) – (16). Поясняется, что закон Био – Савара – Лапласа есть просто переформулированная формула (3).

В заключение отметим, что переход от чисто математического понятия элемента тока Лапласа к реальному устройству с рисунка 3 не устраняет парадокса из [4]. А именно, силы между двумя перпендикулярно ориентированными элементами тока с рис. 3 по-прежнему не удовлетворяют III закону Ньютона. Утверждение [4, стр.168]: «парадокс получился потому, что на опыте можно исследовать только взаимодействие замкнутых контуров конечной величины» неверно. Парадокс получился потому, что в [4] два элемента тока рассматривались как замкнутая система, то есть с сохранением импульса. Однако система из провода и 2 шариков незамкнута: она непрерывно излучает электромагнитные волны. Для одного элемента тока это излучение распространяется в пространстве симметрично по всем направлениям и импульс системы сохраняется. При добавлении 2-ого элемента тока симметрия нарушается и импульс уносится фотонами преимущественно в одну сторону. Это проявляется в кажущемся несоответствии ситуации третьему закону Ньютона. Более подробно эта тема освещена в [7], но содержание этой статьи уже выходит за рамки вузовского курса общей физики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики, том II. М.: Лань, 2008. 480 с.
2. **Зисман Г.А., Тодес О.М.** Курс общей физики, том II. М.: Лань, 2007. 352 с.
3. **Servay R. A.** Physics for scientists and engineers. Philadelphia: Saunders College publ., 1996. P. 880
4. **Калашников С.Г.** Электричество. М.: Наука, 1977. 666 с.
5. **Льоцци М.** История физики М.: Мир. 1970. С. 251
6. **Charitat T., Graner F.** About the magnetic field of finite wire: Eur. J. Ph., v. 24, p. 267 – 270, 2003
7. **К. Мак-Дональд** Парадокс Г. Иванова  
<http://ivanik3.narod.ru/EMagnitizm/JornalPape/ParadocsCullwick/IvanovMcDonald.pdf>

## ОБ АВТОРАХ



**Грекова Анна Сергеевна**, студентка группы КС-207 УГАТУ.

e-mail: [AnnGi7@mail.ru](mailto:AnnGi7@mail.ru)



**Сазонов Сергей Николаевич**, ст. преп. каф. физики, дипл. физик - преподаватель (БГУ, 1984). Исследования в области электродинамики.

e-mail: [SazonovSN@mail.ru](mailto:SazonovSN@mail.ru)

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НИЛ САПР-Д УГАТУ

*Информационная поддержка проектирования, доводки и эксплуатации газотурбинных двигателей и установок (для ГПА и ЭУ) на основе ИПИ/CALS и ИЛП-технологий*

*Параметрическая диагностика технического состояния АД и ГТУ*

*Моделирование двигателей и ЭУ, их узлов, рабочих процессов в них*

*Управление и автоматизация испытаний ГТД и ГТУ*

*Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) технической эксплуатации АД и газотурбинных приводов (ГТП) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и энергоустановок*

Адрес: 450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12, корпус 2, к.503а  
 научный руководитель: Кривошеев Игорь Александрович (0472)710435  
 Email: Krivosh@mail.ugatu.ac.ru

### Методы и средства проектирования компрессоров авиационных ГТД

**Система COMPRESSOR**

**Центробежный компрессор**

- Расчет по среднему
- Расчет по высоте
- Проточная часть
- Треугольники скоростей

**Осевой компрессор**

- Расчет по среднему
- Расчет по высоте
- Проточная часть
- Треугольники скоростей
- Профили

**Система COMPRESSOR\_2D**

- Расчет характеристики (2D)
- Расчет распределения параметров по радиусу (2D)

**Интеграция с 3D CFD**

**Система COMPRESSOR\_S**

- Расчет характеристики (1D)
- Интеграция с математической моделью двигателя (0D)
- Получение границы устойчивой работы (1D)

450000, г.Уфа, К. Маркса, 12, корпус 2, комната 503  
 Науч. рук. Кривошеев Игорь Александрович  
 Михайлова Александра Борисовна  
 e-mail: mikhailova.ugatu@gmail.com



# «Точка отрыва - Уфа»

- Радиоуправляемые модели самолётов, вертолёт, авто
- Вело-трофи
- Фристайл
- Прыжки с парашютом

## Фестиваль технических видов спорта

## .Точка отрыва



[takeOFFpoint.ru](http://takeOFFpoint.ru)

Фестиваль  
технических  
видов спорта



[www.takeOFFpoint.ru](http://www.takeOFFpoint.ru)  
[www.vk.com/clubtakeOFFpoint](http://www.vk.com/clubtakeOFFpoint)



# **Молодежный Вестник УГАТУ**

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (4) / 2012

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 30.09.2012. Формат 1/8  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л.24,7. Уч.-изд. л 24,6.  
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ  
450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12.