

Вестник УГАТУ

МОЛОДЕЖНЫЙ

2013. № 2 (7)



Молодежный Вестник УГАТУ

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (7) / 2013

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

Михайлова Александра Борисовна, к.т.н.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	5
Уразбахтин Р. Н., Зайнуллин Р. И. Применимость платформы APACHEHADOOP в системах мониторинга дорожного трафика	5
Шитяков Р. А. Внедрение системы АСКУЭР в локальную сеть БУЗ ВО 'Харовская ЦРБ'	8
Биксаев А. Ш., Сенюшкин Н. С., Белобровина М. В. Управление энергетическими системами с помощью WEB-интерфейса	10
Багаева Ю. О., Насурдинов Т. Т. Анализ типовых задач в области управления процессами полного жизненного цикла изделий авиационной техники (на примере организации проекта внедрения информационных систем класса PDM/PLM/MRP)	17
Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Маркина К. В. Исследование течения в двухконтурных соплах с отдельным истечением потоков при наличии внешнего обтекания.....	25
Костров В. С., Зырянов А. В., Абдуллин Б. Р. Оценка состояния опор газотурбинного привода по температуре масла	36
Поезжалова С. Н. Разработка электронной базы данных в MS ACCESS по единым и узловым технологиям ГТД.....	41
Храпкова А. Н., Сизяков В. М., Бажин В. Ю. Особенности использования фторида алюминия в электролизе алюминия	49
Суханов А. В. Анализ влияния дефектов в узлах на термогазодинамические параметры газотурбинного двигателя	52
Мураева М. А., Ахмедзянов Д. А., Абдуллин А. Я. Численное моделирование процессов горения в камерах сгорания авиационных ГТД (и ГТЭУ на их основе).....	61
Усов Д. В., Ахмедзянов Д. А. Выбор конструктивной схемы малоразмерной газотурбинной энергоустановки	68
Кишалов А. Е., Кудоярова В. М., Шамсутдинов А. А. Оценка эффективности теплообменных аппаратов при помощи программных комплексов для трехмерного численного термогазодинамического моделирования.....	76

Кишалов А. Е., Игнатъев О. И. Моделирование струйных течений в ANSYS CFX	82
Горюнов И. М., Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Усов Д. В. Методы и средства термодинамического моделирования, оптимизации статических и динамических характеристик газотурбинных энергетических установок различной размерности и принципа действия	90
ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ	108
Кидрачев Р. Н., Дегтярева И. В. Развитие высокотехнологичных отраслей на базе авиационной промышленности	108
Кидрачев Р. Н., Дегтярева И. В. О сырьевой зависимости экономики России	115
Бровко П. М. Механизм управления инновационными технологиями на предприятиях вертолетостроения	122
Алексеев Ю. А., Игошева В. А. Экономико-статистическая оценка банкротства предприятий Российской Федерации	128
Елкина Л. Г., Яминова В. Г., Коземирова Т. А. Отходы производства и потребления: проблемы и пути их решения	136
Коземирова Т. А., Яминова В. Г., Елкина Л. Г. Рыночные инструменты управления экологической деятельностью в регионе	143
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ	148
Кишалов А. Е., Султанбаев А. В. Моделирование процессов метастазирования злокачественных новообразований	148
Булатова В. Р. Современные средства анализа вязкоупругих свойств крови, разработка тромбоэластографа с оптическим датчиком	157

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.043

ПРИМЕНИМОСТЬ ПЛАТФОРМЫ APACHE HADOOP В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ТРАФИКА

Уразбахтин Р. Н., Зайнуллин Р. И.

При разработке информационных систем, работа с которыми требует интенсивного обмена большими объемами данных с минимальным временем отклика, возникает целый ряд проблем в рациональном выборе методологии обработки данных и соответствующего архитектурного решения, базирующего на существующем инструментарии хранения и обработки больших объемов данных. В связи с этим требуется рассмотреть основные подходы и инструментарий перед разработкой системы мониторинга дорожного трафика [1], которая относится к вышеописанному классу систем.

Пространственные запросы в геоинформационных системах (ГИС), такие как запросы на выборку геоданных, запросы на построение маршрутов, запросы на определение скорости движения по треку, а также группировки по объектам требуют значительных вычислительных ресурсов. Выполнение некоторых из них может отнимать значительное время, снижая общее быстродействие системы. Распараллеливание часто является единственным решением для таких задач. Однако, параллельные вычисления не всегда эффективно балансируют работу на всех узлах. Для решения описанных выше проблем разработана платформа Apache Hadoop, состоящая из хранилища данных HDFS (Hadoop Distributed Filesystem) [2]. Рассмотрим возможность построения таких систем на базе платформы Hadoop.

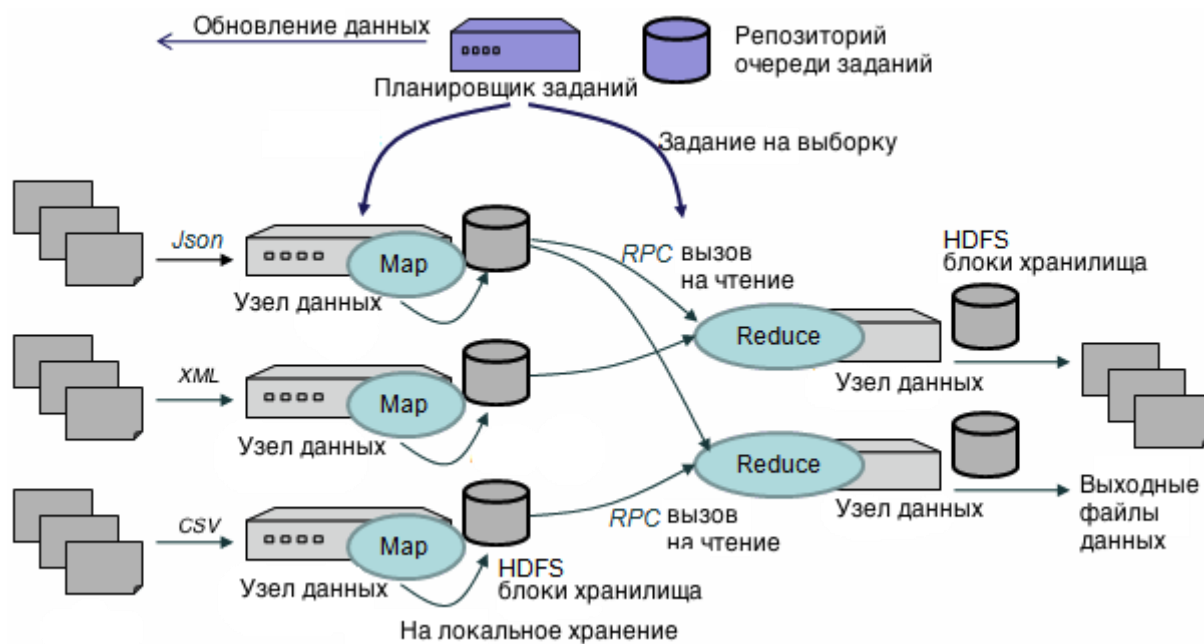


Рис. 1. Обработка задач запросов на выборку данных на платформе Apache Hadoop

На рис. 1 приведен пример реализации обработки запросов на выборку данных на базе инструментария MapReduce, который разработан и функционирует на базе файловой

системы HDFS. Планировщик заданий распределяет задачи на выборку между узлами и хранит их в репозитории на специальных узлах. Цель обработки данных заключается в том, чтобы выполнять запросы как можно ближе к хранилищу необходимых данных. Если задача по выполнению запроса не может быть выполнена на узле, где находятся данные, то планировщик повторяет отправку запроса. HDFS позволяет организовать хранение данных по каталогам и предоставляет интерфейс командной строки, а также Java API [3] для использования в приложениях и другие способы обращения к данным.

В Hive реализовано построение запросов к HDFS и другим файловым системам: MapR-FS, Amazon S3 и т.д. Большинство приложений, интенсивно обращающихся к данным, разрабатываются с использованием SQL. Hive облегчает сведение и анализ данных, хранящихся в HDFS. Благодаря SQL-подобному языку HiveQL сокращается время на перенос данных приложений на платформу Hadoop.

Рассмотрим один из примеров разрабатываемой ГИС на платформе Hadoop [4]. Ядром системы являются ориентированные на распараллеливание пространственные запросы. Обработка пространственных запросов объединяется и индексируется для ускорения выборки, а также может выполняться параллельно на большом количестве узлов кластера путем постановки в очередь на обработку запросов в качестве задачи среза данных MapReduce. Это обеспечивает высокую масштабируемость системы и гибкость, устанавливая приоритеты на запросы к данным, в итоге значительно снижая трудоемкость в управлении и доступе к индексам в распределенной среде.

Пример архитектуры ГИС, базирующейся на Hadoop, показан на рис. 2 [4]. Пользователи взаимодействуют с системой посредством SQL-подобных запросов. Запросы анализируются и переводятся в дерево операторов. Оптимизатор запросов применяет эвристические правила к этому дереву для оптимизации производительности. Для запросов, возвращающих пространственные данные, генерируются задания MapReduce, которые вызывают конвейер пространственных запросов.

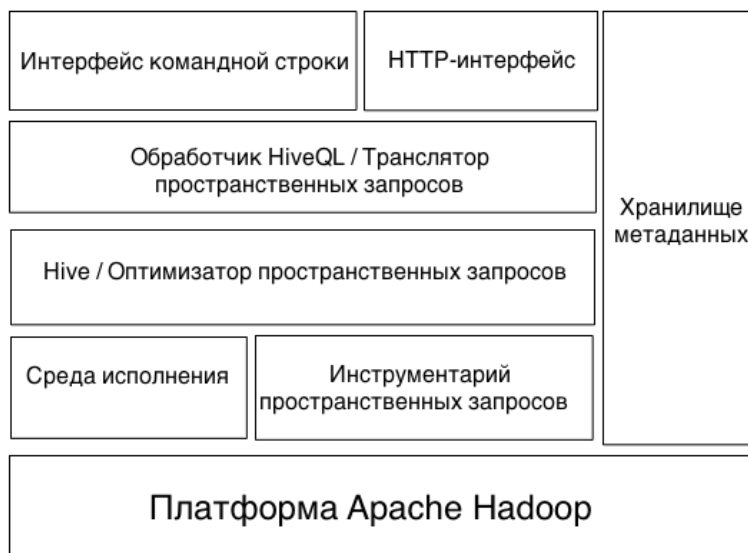


Рис. 2. Архитектура HadoopGIS

Сгенерированные срезы данных пересылаются планировщику заданий для возвращения промежуточных результатов, которые могут быть интерпретированы как окончательные результаты или использоваться в качестве входных данных для дальнейшей обработки запросов после выполнения дерева операторов Hive. Архитектура включает в себя следующие модули обработки запроса на пространственные выборки (рис. 2):

1. Транслятор пространственных запросов анализирует и преобразует запросы SQL в дерево абстрактного синтаксиса, расширяя возможности HiveQL за счет поддержки набора операторов пространственных запросов, функций и типов данных.
2. Оптимизатор пространственных запросов принимает на вход оператор дерева и применяет дополнительные инструкции по оптимизации запросов, включая индексы и приоритеты запросов.
3. Инструментарий пространственных запросов, представляющий собой набор механизмов, который поддерживает следующие операции: пространственные отношения (пересечение, касание, перекрытия и т.д.), пространственные измерения (пересечение, союз, расстояние, вес, площадь, и т.д.), методы пространственного доступа для обработки запросов.

В Hadoop по умолчанию данные хранятся в HDFS или в СУБД HBase, которые не ориентированы на хранение графов данных. HDFS оптимизирована для неструктурированных данных, как и HBase для данных слабоструктурированных [5]. На текущий момент ведутся работы над созданием хранилища, оптимизированного для хранения разнообразных аналитических данных [6], что позволит увеличить скорости обработки в предлагаемом архитектурном решении. Для решения вышеуказанных задач создан проект HadoopDB. Эта разработка связывает системы баз данных из одного узла, используя Hadoop в качестве диспетчера задач и коммутатора сетевого уровня. Запросы распараллеливаются по узлам с помощью MapReduce. HadoopDB обеспечивает отказоустойчивость и работу в неоднородных средах со скоростью, сравнимой с параллельными СУБД [7].

Рассмотрев возможность реализации системы обработки данных о дорожной ситуации на базе реляционных СУБД и проведя исследование по сравнительной скорости обработки геоданных в реляционной СУБД PostgreSQL и распределенной платформе Apache Hadoop приходим к выводу об уместном применении данной платформы при построении системы мониторинга дорожного трафика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.Н. Уразбахтин, Р.И. Зайнуллин. Система мониторинга дорожного трафика в мегаполисе // Информационно-измерительные и управляющие системы №6. 2012. С55-60.
2. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/POcN6>(дата обращения: 5.03.2012)
3. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/C2RjI>(дата обращения: 8.03.2012)
4. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/SgOQQu>(дата обращения: 16.03.2012)
5. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/e0pnu>(дата обращения: 12.03.2012)
6. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/7eKxI>(дата обращения: 10.03.2012)
7. [Электронный ресурс]. URL:<http://goo.gl/qpwML>(дата обращения: 16.03.2012)

ОБ АВТОРАХ

Уразбахтин Рустем Нулович, доц. каф. Информатики УГАТУ, дипл. инж.-системоаналитик (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по инф.-изм. системам (УГАТУ, 1998). Исследования в области моделирования организационно-технических систем.
e-mail: urunu@mail.ru

Зайнуллин Рамиль Ильдусович, аспирант каф. ВТиЗИ УГАТУ, дипл. инж. (УГАТУ, 2012). Исследования в области архитектуры распределенных информационных систем.
e-mail: ramilzay@gmail.com

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АСКУЭР В ЛОКАЛЬНУЮ СЕТЬ БУЗ ВО «ХАРОВСКАЯ ЦРБ»

Шитяков Р. А.

Вологодский государственный технический университет

Автоматизированная система контроля учёта энергетических ресурсов — обеспечивает коммерческий учёт таких ресурсов как: тепловая энергия, электрическая энергия, вода, горячее водоснабжение, газ. Системы энергоучёта позволяют производить учёт потребления электроэнергии и тепла на объектах жилого, коммерческого и производственного назначения. Системы могут учитывать потребление энергоресурсов на уровне дома, районов, города, населенного пункта с единым диспетчерским и финансовым центрами.

Требования к системе АСКУЭР:

- автоматический сбор данных коммерческого учёта потребления (отпуска) энергетических ресурсов по каждой точке (группе) учёта на заданных коммерческих интервалах;
- хранение параметров учёта в базе данных;
- обеспечение многотарифного учёта потребления (отпуска) энергетического ресурса;
- обеспечение контроля за соблюдением лимитов энергопотребления;
- вывод расчетных параметров на терминал и/или на устройство печати по требованию оператора;
- ведение единого системного времени с возможностью его корректировки.

Интеграция в локальную сеть системы АСКУЭР позволит получать комплексную информацию об использовании энергетических ресурсов, а также предоставит возможность управления потреблением и выявления участков нерационального использования. Такой подход в свою очередь позволяет получить экономическую выгоду от рационализации потребления и снизить расходы на оплату коммунальных услуг.

На рис. 1 представлена структура кабельной сети этажа и здания. Данная сеть спроектирована и представлена в качестве магистерской диссертации Шитякова Р. Приведем расчет информационной загрузки сети применительно к БУЗ ВО «Харовская центральная районная больница».

Максимальный поток обмена информацией за час: $ИН_{\Sigma \text{макс}} = 2634 \text{ МБ/ч}$;

Определим общую пропускную способность C_p сети по формуле: $C_p = k_1 \cdot k_2 \cdot ИН_{\Sigma \text{макс}}$,

где $k_1 = 1,3$ - для сети типа Ethernet;

$k_2 = 2$ – запас для возможного будущего расширения сети.

$$C_p = 1,3 \cdot 2 \cdot 2634 = 6848,4 \text{ МБ/ч.}$$

Определим коэффициент нагрузки неструктурированной локальной вычислительной сети для каждого домена коллизий: $\rho = \frac{C_p}{C_{\text{макс}}}$

где $C_{\text{макс}}$ – максимальная пропускная способность базовой технологии сети.

Коэффициент ρ для сети Ethernet должен быть не более 0,35. Для сети типа Fast Ethernet $C_{\text{макс}} = 45000 \text{ МБ/ч}$.

Общий коэффициент нагрузки сети в этом случае удовлетворяет наложенным требованиям:

$$\rho = 0,15217 < 0,35$$

Таблица 1

Коэффициент нагрузки сети по серверам

	Serv_1	Serv_2	Serv_3	Serv_4	Serv_5
C_{Σ} , Мбайт/ч	2111	1232	507	566	476
$C_{\text{межтр}}$, Мбайт/ч	309,54	198,53	198,72	405,62	129,35
ρ	0,14663	0,16114	0,0067	0,0095	0,0034

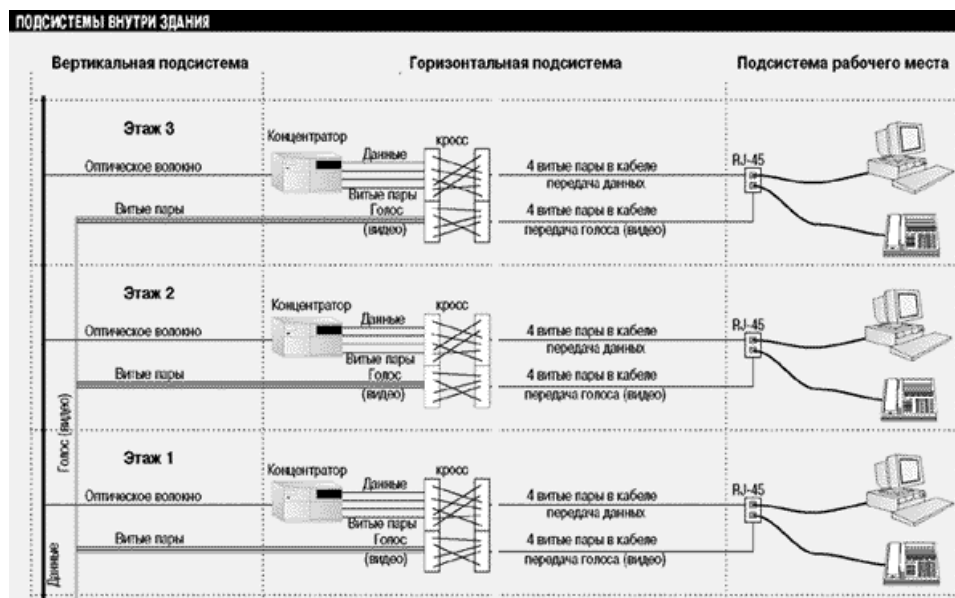


Рис. 1. - Структура кабельной системы этажа и здания.

В качестве серверной ОС выбрана Windows 2008 Server Enterprise. Данная операционная система обеспечивает высокую надежность, производительность и экономическую эффективность. Производительность сервера можно увеличить за счет добавления процессоров, которые будут работать совместно.

1. Литтлджон Шиндер, Д. Основы компьютерных сетей / Д. Литтлджон Шиндер. – М.: Вильямс, 2002 – 656 с.

ОБ АВТОРАХ



Шитяков Руслан Александрович, магистрант группы ИВТ-21/м, каф. УиВС ВоГТУ, диплом бакалавра по направлению «Информатика и вычислительная техника» (ВоГТУ 2011).

email: urbanicum@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ПОМОЩЬЮ WEB-ИНТЕРФЕЙСА

Биксаев А. Ш., Сеньюшкин Н. С., Белобровина М. В.

Как известно, энергетика - важнейший сектор экономики России, отрасль – надежное функционирование которой является составляющей безопасности страны в целом. В настоящее время развитие энергетической отрасли приобретает новый импульс: проводится модернизация эксплуатируемых и строительство новых объектов.

В этой связи эффективное управление энергетическими мощностями и распределением энергии имеет очень большое значение. Повышение эффективности работы генерирующих мощностей, а также установление оптимальных режимов распределения имеют большое значение и позволяют снизить стоимость энергии для потребителя, а также получить максимальный сбыт продукции.

По мере ввода в эксплуатацию новых энергетических комплексов, контроль работы всего оборудования, анализ состояния и режимов эксплуатации в режиме реального времени и возможность удаленного доступа и управления параметрами работы становится все более актуальной задачей. С этой целью разработаны и реализованы инновационные SCADA-системы дистанционного мониторинга и управления через Интернет (WebSCADA)

Любая современная SCADA-система включает в себя такие компоненты, как: внутренняя или внешняя база данных реального времени и истории, мощный 2D- и 3D-графический редактор, генератор отчетов, встроенный язык программирования, поддержка web-интерфейса и удаленного доступа через Интернет, средства разграничения прав доступа и поддержки версий проектов, подсистемы обработки тревог, событий, трендов реального времени и истории, локализованная документация и подсказки, средства календарного планирования и многое другое.

Система дистанционного мониторинга и управления WebSCADA позволяет мгновенно реагировать на нештатные ситуации и эффективно решает следующие задачи:

- обеспечение высоких технико-экономических показателей работы;
- получение доступа к управлению оборудованием через любой компьютер, подключенный к сети интернет
- осуществлять ручное управление работой энергетических объектов: пуск и останов оборудования, включение/отключение контакторов сети и генератора;
- определение технического состояния эксплуатируемого оборудования и сигнализация при выходе ключевых параметров технического состояния оборудования за установленные пределы;
- формирование аварийной сигнализации и передача его в систему АСУ ТП;
- оценка вероятного развития выявленных дефектов оборудования во времени и соответствующего изменения его технического состояния;
- проведение испытаний в эксплуатационных условиях по уровню шума, вибрации, выбросов вредных веществ, мониторинг экологических характеристик промышленных агрегатов;
- формирование отчетной документации для планирования технического обслуживания и ремонта оборудования.

WebSCADA-система позволяет в круглосуточном режиме осуществлять мониторинг эксплуатируемого оборудования, анализ его работы. Благодаря наличию веб-интерфейса (рис. 1) с возможностью управления через Интернет объекты могут находиться на расстоянии нескольких тысяч километров от диспетчерского центра, в любом часовом поясе.

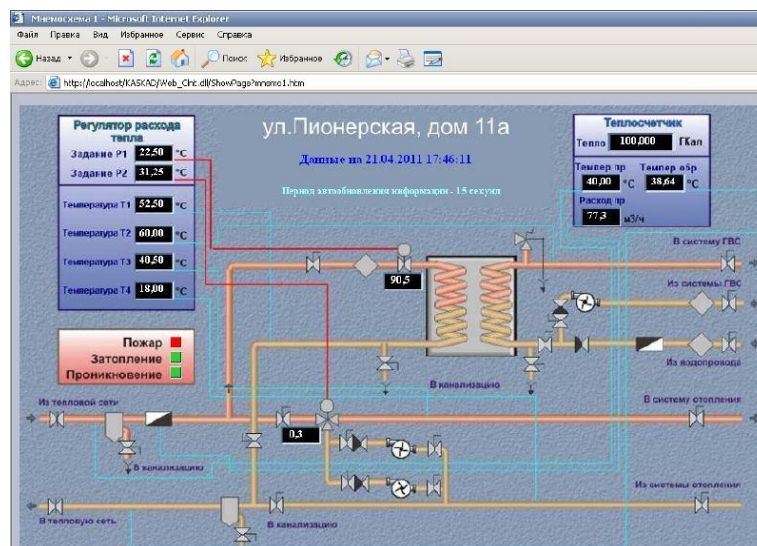


Рис. 1. Веб интерфейс системы удаленного доступа

Структура WebSCADA-системы

Основная функция программного обеспечения WebSCADA - представление информации о режимах работы и состоянии энергетических объектов в виде таблиц, графиков и мнемосхем на любом компьютере, имеющем выход в Интернет.

Для формирования данных используются оперативные и архивные данные, которые отображаются в виде графиков, а также мнемосхемы энергообъектов.

Приложения, участвующие в формировании данных для архивов используют базы данных Сервера. Информация, к которой происходит обращение при работе программы, представлена в архивах базы данных (СУБД MS SQL Server), которые создаются при работе сервера.

Типичная WebSCADA –система имеет три уровня обработки и управления данными (рис. 2).

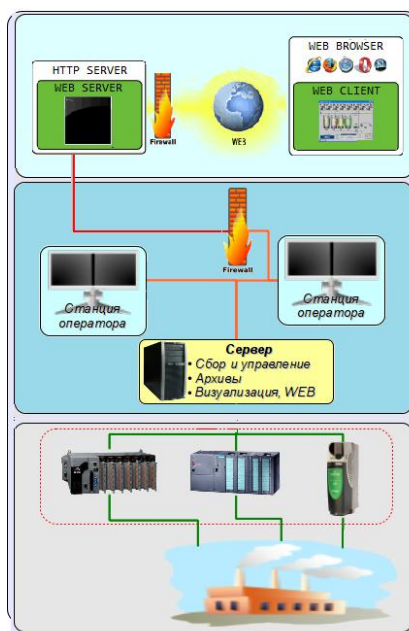


Рис. 2. Схема WebSCADA-системы

Нижний уровень системы представляют собой первичные датчики и регуляторы, а также локальные шкафы автоматики, реализующие необходимые алгоритмы управления техническими системами и обеспечивающие доступ к параметрам состояния технических систем для внешней системы мониторинга, а также временное хранение данных до

передачи в систему верхнего уровня в случае отказов каналов связи.

На среднем уровне расположен центральный операторский пункт и сервер, выполняющий функции сбора, архивирования и визуализации данных. Сервер организует получение данных от объектов и передает в среду визуализации. В сервере обработки данных реализованы механизмы, учитывающие особенности передачи данных по негарантированным каналам связи. Также на среднем уровне расположен шкаф коммуникационного шлюза, обеспечивающего миграцию с протокола Modbus RTU, на основе которого выполнена коммуникационная шина энергетического объекта, на протокол Modbus TCP-IP. Коммуникационный шлюз обеспечивает доступ верхнего уровня системы к данным узлов учета параметров процесса.

Верхний уровень системы представляет собой Web-сервер, установленный на центральном диспетчерском пункте и подключенный к сети Internet физическими каналами связи и удаленное рабочее место. Web – интерфейс позволяет получить доступ к технологическим данным в виде мнемосхем с любого удаленного компьютера, подключенного к сети Internet, используя обычный браузер. Информация может быть получена и на дисплей обычного смартфона или коммуникатора.

Принцип работы

Для обеспечения специальной обработки на web-сервере запускается WebHMI-сервер, который обменивается параметрами с браузером. Для контроля вводимых данных применяются сценарии на клиентской стороне. Серверная процедура получает введенные пользователем данные, формирует и передает SQL-запрос к СУБД. Сервер БД по запросу выполняет обновление, вставку, удаление или выборку записей из БД. Затем web-сервер посылает экранную форму SCADA, полученную в виде HTML-страницы, с полученными значениями диалоговых переменных, тегов, регистров, динамических объектов браузеру для отображения. Так как этот процесс основан на технологии Silverlight, клиентской платформой может стать любой компьютер, на котором исполняется web-браузер, а серверной платформой – любой ПК под управлением web-сервера.

Проиллюстрируем применение Internet-технологий на базе SCADA-системы GENESIS64. Для построения устойчивых сетевых соединений применена интегрированная технология GenBroker с поддержкой протоколов TCP/IP и SOAP/XML, которая обеспечивает возможность взаимодействия через Internet/Intranet. Компонент SCADA-системы GenBroker позволяет преодолеть недостатки протокола DCOM, затрудняющие построение разветвленных сетей, такие как:

- неустойчивая работа в междоменных соединениях;
- невозможность применения DCOM для доступа через Internet;
- невозможность доступа через брандмауэры (firewalls) и маршрутизаторы.

Применение GenBroker дает также возможность настраивать доступ к удаленной лицензии, серверам безопасности, событиям, глобальным и языковым псевдонимам и устанавливать различные настройки для оптимизации сетевого обмена. Система обладает возможностью встраивания элементов управления Silverlight и объектов OLE, имеет встроенную среду редактирования сценарных процедур, реализованных на платформе WPF Microsoft .NET. Перечисленные компоненты поддерживают web-технологии и дают возможность передавать как статическую, так и динамическую информации на web-узлы. Web-сервер WebHMI, основанный на технологии нулевой инсталляции и тонкого клиента, предназначен для обеспечения доступа к проектам GENESIS64 из сети Internet. Это означает, что компьютер клиента не должен иметь ничего, кроме операционной системы Windows и Internet-браузера. Все необходимые web-компоненты, тип и количество которых определяется содержимым экранных форм SCADA-системы, пересылаются клиенту с удаленного компьютера. Мастер web-публикаций GENESIS64 позволяет экспортировать экранные формы в файлы HTML и/или публиковать файлы HTML на web-сервере (в локальной сети или в Internet). В файлах HTML, полученных в результате

экспорта экранных форм, находятся ссылки на экраны с динамическими объектами. Каждая экранная форма GENESIS64 просматривается как простая web-страница.

Технологии, заложенные в WebHMI, дают возможность использовать: функциональные компоненты обработки транзакций (Transaction Process Monitoring), систему обеспечения безопасности (Security) при наличии разграничения прав доступа при выходе в Internet (Firewall), публикацию информации в Internet (Web-access), подсистему подготовки отчетов (Trend Report), подсистему отбора и анализа данных в процессе принятия решений (DataWorX), подсистему асинхронного уведомления о событиях (Alarm Server), подсистему горячего резервирования данных (Redundancy) и другие. Вследствие наличия такого огромного количества функций, закладываемых в WebHMI, он по сути представляет собой сервер приложений (Application Server, AS), являющийся неким единым универсальным средним BL-звеном между клиентской и серверной частью системы.

Безопасность удаленного управления

Применение SCADA в системах удаленного доступа через интернет резко повысило уязвимость SCADA к действиям враждебных лиц. Пренебрежение этой проблемой может приводить, например, к отказу в работе сетей электроснабжения, жизнеобеспечения энергетики, к заражению воды неочищенными стоками и т.п. Возможны и более тяжелые последствия с человеческими жертвами или большим экономическим ущербом

Выделяют три уровня защиты SCADA-систем. На физическом уровне обеспечивают надежную охрану производственных и служебных помещений на предприятии, чтобы туда не проникли посторонние, создают резервный источник электроэнергии на случай отключения. На организационном уровне организуют регулярный аудит системных регистров и журналов, используют специальные системы обнаружения проблемы. На программном уровне для повышения безопасности SCADA используют следующие методы:

- разграничение доступа к системе между разными категориями пользователей (у сменного оператора, технолога, программиста и директора должны быть разные права доступа к информации и к модификации настроек системы);
- применение брандмауэров;
- защиту информации (путем шифрования информации и обеспечения секретности протоколов связи);
- применение межсетевых экранов.
- специальные методы защиты от кибер-атак;

Примеры систем управления через веб-интерфейс

1) Программный комплекс «Энергостат»

Программный комплекс «Энергостат» состоит из нескольких подсистем, предназначенных для решения различных технологических задач, связанных с анализом, управлением и планированием электропотребления и балансов. Ряд интерфейсов подсистем реализован в виде ASP-компонент, которые предоставляют доступ к функциям комплекса по принципу «тонкого клиента» через Web-браузер. ASP-компоненты устанавливаются на сервер и взаимодействуют с клиентом через Internet Information Services (IIS) по протоколу HTTP

Web-средства отображения данных включают следующие функции:

- Просмотр ввод и коррекция состава объектов и паспортных данных;
- Отображение суточных графиков и данных других подсистем комплекса Энергостат в табличной и графической форме;
- Дорасчёт суточных графиков по заданным формулам;
- Конструирование табличных форм;

- Экспорт табличных форм в Excel;
- Экспорт данных по энергообъектам в XML.

В зависимости от установленных подсистем комплекса, через Web-интерфейсы могут быть доступны следующие задачи:

- Специализированные формы ввода и коррекции состава и паспортных данных оборудования станций, подстанций, ЛЭП, электрического, тепломеханического, гидротехнического оборудования;
- Средства привязки измеряемых параметров к энергообъектам и оборудованию;
- Средства обработки данных по состоянию оборудования;
- Загрузка, обработка и анализ данных о фактическом и плановом состоянии объектов оборудования и измеряемых параметров с любой дискретностью хранения;
- Управление оборудованием, включение-выключение компонентов системой;
- Формирование отчётных форм по состоянию оборудования за период и на фиксированный момент времени;
- Расчёт компонент баланса мощности на основе заявок на вывод в ремонт оборудования;
- Прогноз электропотребления, настройка модели прогноза;

Основные функции подсистемы вызываются из главного окна Web-интерфейса (рис. 3):

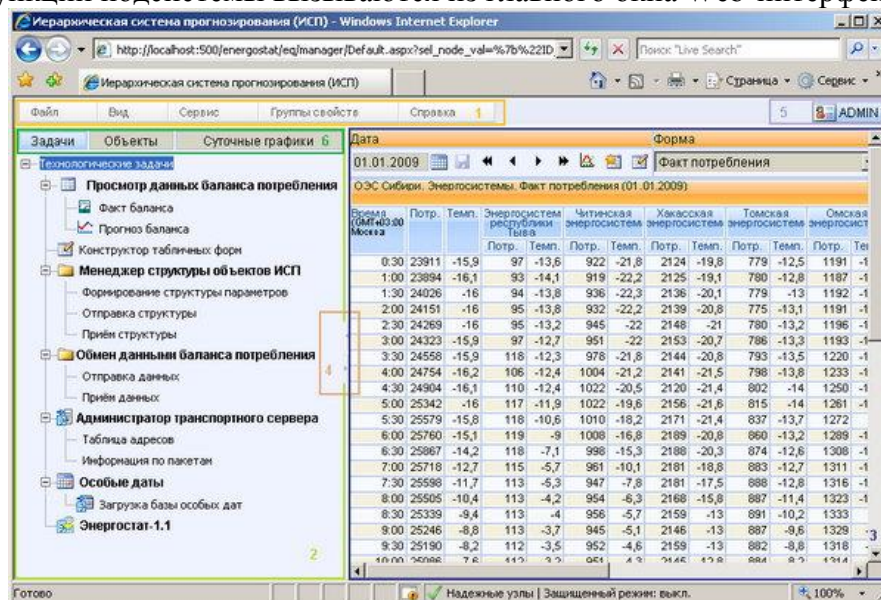


Рис.3. Веб-интерфейс ПК «Энергостат»

Окно состоит из следующих областей:

- Дерево задач (слева). Из дерева задач осуществляется вызов основных задач комплекса.
- Объекты – просмотр объектов и оборудования.
- Суточные графики – просмотр суточных графиков, связанных с энергообъектами.
- Область экранных форм (справа). В этой области отображается определенная выбранная форма.

В зависимости от установленных компонент могут быть доступны различные режимы просмотра. Состав дерева задач и меню зависит от прав определенного пользователя. Основные функции отображения доступны в базовой версии Web-средств. Функционал расширяется в зависимости от установленных подсистем и компонент.

2) Программный комплекс «Монолит ПО»

Программно-технический комплекс «Монолит» предназначен для автоматизации подстанций уровня напряжения 6(10)-110 кВ. ПТК «Монолит ПО» реализует весь спектр функций измерений, контроля состояния, сигнализации, управления, сбора и обработки

информации текущих процессов, передачи необходимой информации на различные уровни иерархии, участвующие в процессе диспетчерского и оперативно-технологического управления энергообъекта.

ПТК «Монолит» позволяет создавать многоуровневые иерархически и топологически распределенные системы телемеханики и АСУ ТП электрических подстанций.

Настройка системного и прикладного ПО контроллеров энергообъекта и контроллеров присоединений осуществляется на базе единой информационной модели подстанции с помощью Web-интерфеса конфигурирования контроллеров.

Интерфейс позволяет выполнять следующие операции:

- настройка информационной модели ПС;
- настройка портов ввода/вывода контроллера;
- настройка обмена данными между разными уровнями системы;
- настройка обмена данными с вышестоящими уровнями управления, в том числе множественной ретрансляции данных;
- настройка резервирования контроллеров и их компонентов;
- настройка блокировок управления;
- настройка аутентификации пользователей и разграничения прав доступа;
- осуществление ручного ввода значений и настройка замещения данных;
- просмотр оперативных и архивных данных контроллеров в табличном и графическом видах.

На рис. 4 приведена экранная форма веб-интерфейса «Монолит ПО».

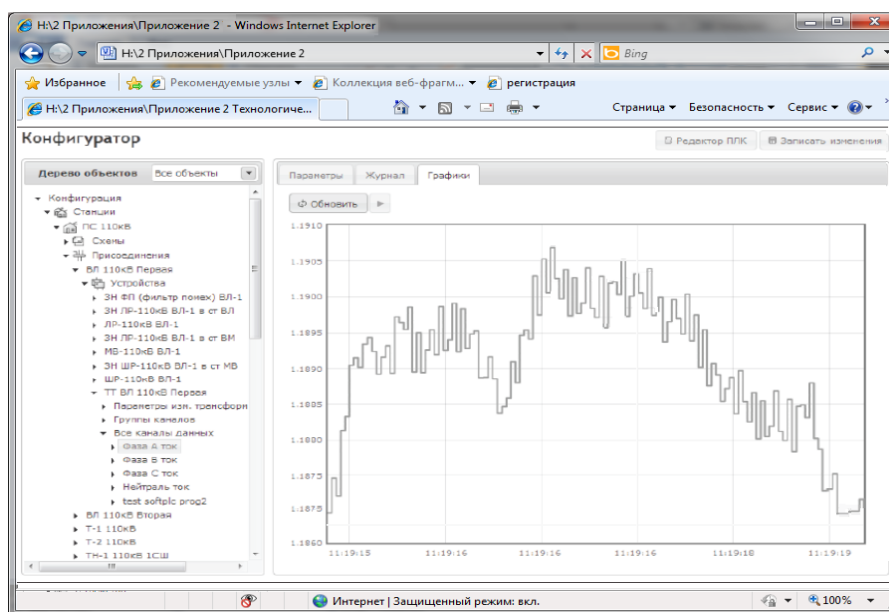


Рис.4. Веб-интерфейс «Монолит ПО»

Преимущества использования WebSCADA-систем

Система удаленного мониторинга и управления обеспечивает контроль работы и определение технического состояния всего оборудования энергокомплекса.

Возможность контроля и управления с любого компьютера или смартфона, оснащенного Интернетом позволяет обеспечить бесперебойную работу оборудования, увеличить сложность и функциональность систем. Это открывает возможности по обнаружению проблем на самых ранних стадиях и их оперативному устранению. В случае необходимости система передает аварийный и предупредительный сигналы на диспетчерский пульт. Также системы удаленного мониторинга электростанциями обеспечивают возможность управления обслуживаемым оборудованием с диспетчерского

пульта и предоставления собранной на диспетчерском пульте информации в том виде, в котором пользователю будет удобно ее воспринимать.

Контроль основных характеристик и оценка технического состояния всех узлов и систем выполняется на установившихся режимах, которые составляют наибольшую продолжительность работы. При отклонении какого-либо параметра от нормы определяется наиболее вероятная причина этого отклонения, формируются рекомендации для обеспечения оптимального маршрута поиска причины, предлагаются соответствующие способы устранения неполадки либо замена вышедшего из строя оборудования.

Для потребителя важным преимуществом применения системы удаленного мониторинга и управления является увеличение срока службы оборудования; сокращение числа отказов и времени простоя оборудования. Кроме того, уменьшается количество неисправностей, связанных с ошибками эксплуатирующего персонала.

Таким образом, удаленная параметрическая диагностика и управление позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты за счет принятия своевременных мер и уменьшения издержек, связанных с внезапными остановками и незапланированными ремонтами оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б. Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов - М: Машиностроение, 2000. – 176 с.
2. Гынденев С.А. Система удаленного мониторинга энергетического оборудования/ Турбины и дизели - М: «Авторам», 2012 № 3, с. 42-44
3. Швецов Д.М. Автоматизация на службе энергетики – перспективный альянс/ Rational Enterprise Management - Санкт-Петербург: «Нева», 2012 №1, с. 20-23
4. Дерябин А.В., Дерябин В.М. Интеллектуализация датчиков и информационная безопасность в АСУ ТП/Известия института инженерной физики – Серпухов: ИИФ, 2012 №9, с. 7-12
5. Алымкулов А. Ш., Джундубаев А. К.Ю Основные направления повышения эффективности управления энергообъектами с использованием информационных технологий/Энергетика Татарстана, Казань: ООО "Редакция журнала "Энергетика Татарстана", 2005 №2, с.52-56

ОБ АВТОРАХ

Сенюшкин Николай Сергеевич, доцент каф. АТиТ, с.н.с. НИЛ САПР-Д, Зам. Декана ФАД. Диплом инж. по авиац. двигателям и энер. уст. (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009). Исследования в области моделирования и проектирования камер сгорания авиац. ГТД., проектирования БПЛА их систем управления и сбора данных.

Биксаев Айрат Шафкатович, студент 5 курса специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки» УГАТУ. Исследование в области энергетических установок и методов проектирования сложных технических объектов.

Белобровина Марина Викторовна, студент 4 курса специальности «Авиационная и ракетно-космическая теплотехника» УГАТУ. Исследование в области теплового состояния и рабочих процессов ПВРД и систем управление энергоустановками.

АНАЛИЗ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (на примере организации проекта внедрения информационных систем класса PDM/PLM/MRP)

Багаева Ю. О., Насурдинов Т. Т.

ВВЕДЕНИЕ

В работе выполнен анализ типовых задач в области управления инженерными данными, жизненным циклом изделий ответственного назначения (электронными системы управления ГТД), затронута специфика построения информационных систем сопровождения таких процессов, а также обосновывается потребность предприятий в решении таких задач на базе PDM/PLM-систем. Исследование проводится на базе Уфимского НПП «Молния», производящего агрегаты и системы зажигания, электронные системы автоматического управления ГТД.

Ключевые слова и сокращения: жизненный цикл (ЖЦ), интегрированная логистическая поддержка (ИЛП), система электронного документооборота (СЭД), программное обеспечение (ПО), информационные технологии (ИТ), летательный аппарат (ЛА), единое информационное пространство (ЕИП), автоматизированная информационная система (АИС), конструкторская документация (КД), технологическая документация (ТД).

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ЖЦ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Особенностями предприятий полного жизненного цикла является то, что они в своей организационной структуре имеют конструкторские отделы разработки, производственные мощности (заводы опытного и серийного производства), службы, обеспечивающие послепродажное обслуживание произведенной продукции. Особенностью изделий типа системы управления ГТД является то, что в их жизненном цикле включен этап так называемого «электронного производства», т.е. разработки программной документации, математических моделей и алгоритмов управления.

При внедрении систем управления инженерными данными и жизненным циклом таких изделий необходимо учесть ряд специфических особенностей продукции и деятельности предприятия, определяющих задачи и требования к информационным технологиям [1,2]:

- длительный ЖЦ изделия (10–30 лет);
- необходимость интегрироваться или быть совместимыми с ИЛП ЖЦ двигателя и объекта в целом (самолета, наземных установок);
- потребность в наземном диагностическом оборудовании, обеспечивающем проведение ряда технологических операций;
- необходимость управления большим количеством параметрических, логистических, расчетных данных;
- необходимость постоянного мониторинга за состоянием изделия, оперативного принятия управленческих решений;
- требование применения дополнительных средств технического обслуживания из-за недостаточности информации, собираемыми встроенными и наземными средствами, возникновения проблем при локализации дефектов и диагностики отказов;
- требование оперативной корректировке ПО изделия при завершении формирования алгоритмов функционирования силовой установки и ЛА в целом;
- требование осуществлять мониторинг технического состояния, поиска

возникающего дефекта, оперативного восстановления работоспособного состояния в условиях многообразия вариантов исполнения и модификаций аппаратной и программной части систем;

– возникновение необходимости использования интеллектуальной системы обработки измеренной параметрической информации в процессе измерения параметров изделия, для глубокой обработки которой требуются значительные затраты времени специалистов.

В связи с вышеуказанными ограничениями, внедрение информационных технологий, обеспечивающих поддержку процессов ЖЦ изделий, например таких как документационное обеспечение (конструкторская, технологическая, программная, организационно-распорядительная, логистическая, экономическая и др.) обеспечит управление разнородными данными в единой информационной среде. На рис. 1 приведена схема, иллюстрирующая идею внедрения систем документационного обеспечения ЖЦ на предприятии УНПП «Молния».

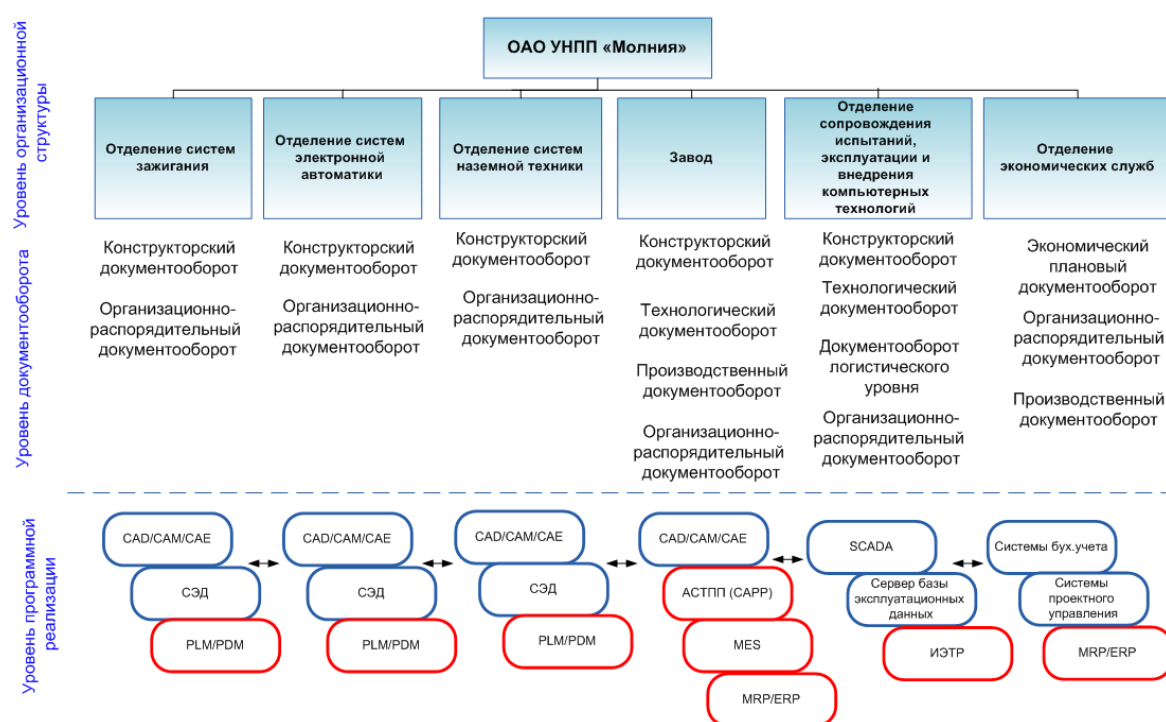


Рис. 1. Схема реализации документационного обеспечения управления ЖЦ на примере организационной структуры ОАО УНПП «Молния»

Для того, чтобы сформировать и обосновать программу расширения автоматизированных процессов на предприятии, необходимо определить степень ИТ. Для удобства полагаем, что степень охвата рассчитывается как степень автоматизации персонала, т.е. отношение количества пользователей в системе к количеству специалистов предприятия в конкретной предметной области (функции покрываются автоматизированной системой). При этом, немаловажным остается факт закрепления в регламентах обязанностей сотрудников работать именно в конкретной автоматизированной среде. Поэтому, для расширения функционала того или иного программного продукта перед предприятием встает задача организационного обеспечения процессов (т.е. формирование системной модели с перенесением ее в регламенты: стандарты предприятия, положения, инструкции и т.д.).

ЗАДАЧА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖЦ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ ИТ

Особенности построения системы информационной поддержки ЖЦ задают требования по обеспечению интегрированной логистической поддержки от начала ЖЦ (разработка, проектирование) до ее ответственной и длительной стадии – эксплуатации изделия. В работе под ИЛП понимается обеспечение снижения затрат на производственные и постпроизводственные стадии ЖЦ за счет автоматизации процессов, предупреждения внештатных ситуаций, бесперебойного обеспечения материально-технического снабжения, управление электронной эксплуатационной документацией и в общем улучшение качественных характеристик продукции, ее надежности (рис.2).

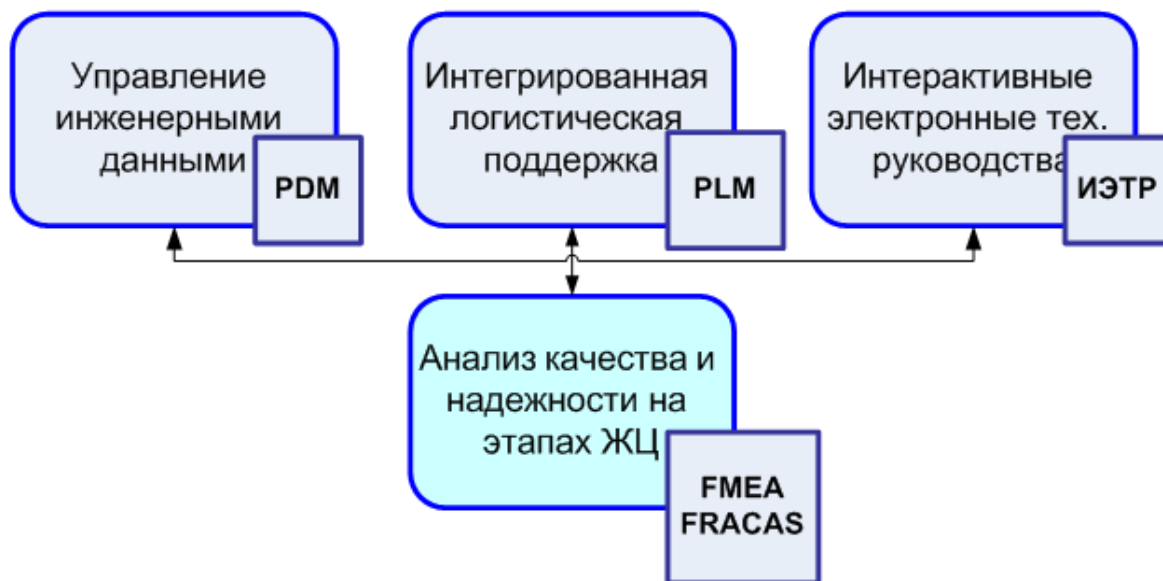


Рис. 2. Схема взаимосвязи технологий информационного сопровождения процессов ЖЦ

Таким образом, типовой задачей для предприятий, внедряющих системы класса управления инженерными данными, является сформировать контент или содержание таких систем, что рассматривается в следующем разделе публикации.

ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТА ВНЕДРЕНИЯ PDM/PLM/MRP

Современный подход к внедрению АИС основывается на международных стандартах управления ИТ-проектами [3,4]. Он предполагает разделение проекта внедрения систем на две составляющие: технический проект и системный проект. Первый содержит описание технических средств, коммуникаций, серверного и клиентского оборудования, программного обеспечения, реализует коммуникационно–транспортный уровень. Системный проект – содержит методики, модели, методы, структурное представление информации, реализует содержательный уровень (статическую и динамическую часть контента) [5,6].

В качестве примера реализации такого подхода в данной работе рассматривается процесс внедрения системы электронного организационно-распорядительного документооборота на предприятии (рис. 3-а). Начало проекта связано с тестовой эксплуатацией программного обеспечения (в рамках договорных обязательств с производителем ПО), во время которой производилась настройка системы в следующих областях:

- распределение ответственных и ролей,

- построение типовых маршрутов,
- обучение пользователей,
- заполнение справочников по правилам УСОД [7].

На момент приобретения лицензий программного обеспечения предприятие являлось владельцем полнофункционально работающей системы, поддержка которой осуществлялась за счет внутренних ресурсов организации за счет вовлечения пользователей в процесс внедрения. Однако, ограничением такого способа является высокие требования к компетенциям сотрудников.

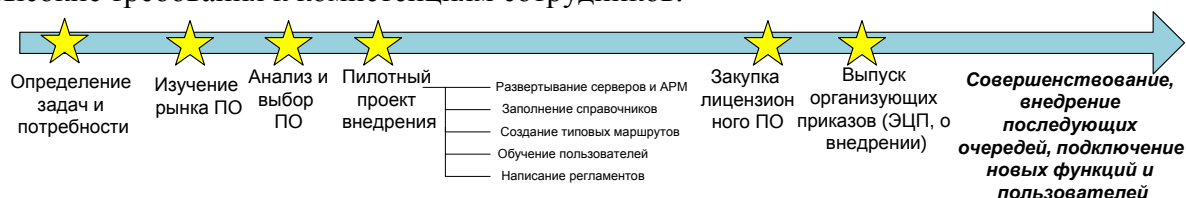


Рис. 3-а. Пример внедрения СЭД

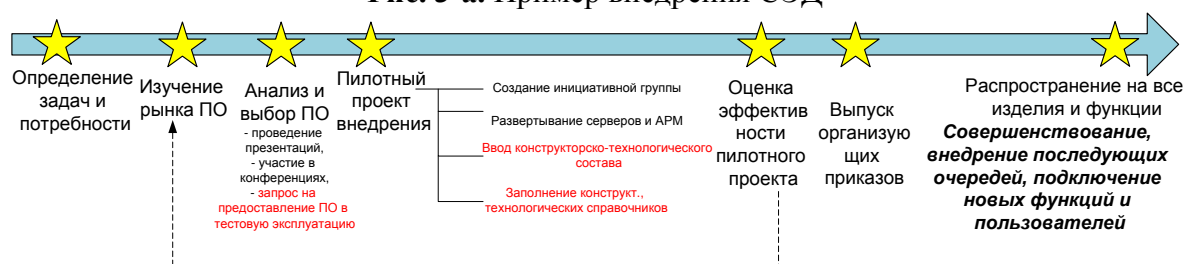


Рис. 3-б. Пример внедрения PDM/PLM/MRP/ERP

Такой же принцип ведения ИТ-проектов распространим и на системы классов PDM/PLM/MRP/ERP (рис. 3-б). Как показано на схеме, существует ряд требований к такому пилотному проекту:

- закрепление организационным документом состава инициативной группы (конструктор, технолог, плановик, инженер по ИТ, снабженец, сотрудник архива ТД, работник цеха, разработчик-программист);
- выбор нескольких изделий для проекта (желательно по всем номенклатурным направлениям разработки и производства);
- использование достижений концепции проектного менеджмента [8,9,10,11];
- отлаженный режим проведения совещаний и консультаций;
- выбор сквозной задачи, реализующей выполнение нескольких функций каждого модуля системы;
- специфичные по отношению к данному проекту задачи (например, выбор способа ввода конструкторско-технологического состава).

По экспертному мнению и эмпирическим данным использование внутренних ресурсов предприятия при построении системного проекта (по сравнению со стоимостью услуг консалтинговых фирм) позволит сократить затраты, в среднем, в 3–4 раза.

Для успешного внедрения любого ИТ-проекта, в том числе и системы управления жизненным циклом изделий, необходимо сформировать системную часть, учитывая специфику процессов предприятия. Для изделий ответственного назначения [2] такой особенностью является то, что необходимо организовать управление данными, включая процессы обмена параметрическими данными, полученными с измерительных систем электронных агрегатов ГТД, реализовать транспортно-логистический уровень передачи данных, сформировать структуру уровня программной реализации, к которому выставляются требования обработки, хранения, распределения обращения данных. На рис. 4 показана схема построения системной части проекта с учетом вышеуказанных особенностей.



Рис. 4. Схема формирования системной части проекта внедрения

Такой подход позволит обеспечить реализацию следующих задач на основе программного обеспечения PDM/PLM-систем:

- охват информационными технологиями этапов ЖЦ от разработки до эксплуатации,
- единая информационная среда участников ЖЦ,
- обмен данными и документами в электронной форме,
- обеспечение качества и надежности изделия на этапах ЖЦ.

ЗАДАЧА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНОЙ СРЕДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ЖЦ

Условием эффективного автоматизированного сопровождения сквозного управления инженерными и логистическими данными изделия является обеспечение единой информационной среды участников ЖЦ. В связи с тем, что один реальный производственный объект (документ, процесс, действие, исполнитель) может порождать множество его информационных отображений и реализовывать несколько контуров управления, то модель ЕИП должна быть основана на их взаимосвязи. Для иллюстрации данного факта в статье приведен конкретный пример (рис. 5) того, как контент организационно-распорядительного документа является моделью следующих контуров управления:

- организационно-распорядительный (СЭД),
- конструкторско-технологический (PDM/PLM),
- производственный (MRP),
- эксплуатационно-логистический (ИЭТР),
- обеспечения качества и надежности.

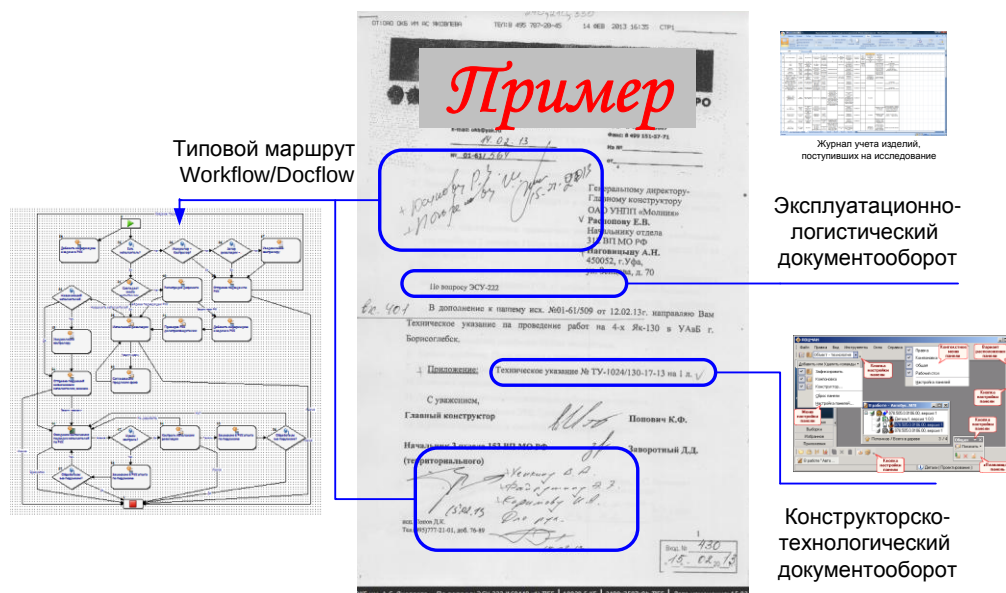


Рис. 5. Пример организационно-распорядительного документа и его маршрутов

На рисунке показано, каким образом резолюция запускает типовой маршрут docflow/workflow в СЭД, приложение в виде КД, ТД является элементов систем PDM/PLM, параметрическая и логистическая информация вводится в систему учета движения изделия в эксплуатации и т.д.

Таким образом, единожды сформированный информационный объект может быть однозначно идентифицирован в нескольких АИС с обеспечением его прослеживаемости и породить управляющие воздействия разного уровня.

ЗАДАЧА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ИЗДЕЛИЯ НА ЭТАПАХ ЖЦ

Исходя из требований авторского надзора за изделиями ответственного назначения при управлении ЖЦ на любой из стадий, должны быть обеспечены их идентификация и прослеживаемость[1,2]. Необходимо однозначно определить по любому из входных параметров любой выходной, а именно: серийный номер, версия программного обеспечения, исполнение, модификацию и т.д. (табл.1, табл. 2). Такой алгоритм реализации идентификации осуществим через различные журналы регистрации, дело изделия, паспорта, формуляры.

Прослеживаемость в этом случае будет означать – способность по данному параметру восстановить предысторию изделия (например, движение в эксплуатации, наработка, отказы, материалы и комплектующие, т.е. процедура идентификации является необходимым условием прослеживаемости.

Таблица 1

Классификация данных об изделии на этапах его жизненного цикла

Идентификационные	реализующие требование идентификации и прослеживаемости на этапах ЖЦ
Параметрические	зарегистрированные в процессе эксплуатации данные о техническом состоянии
Логистические	данные о самолете и двигателе на которых установлено изделие, наработке, условиях эксплуатации
Расчетные	формируемая путем применения методик для: расчета показателей эксплуатационной надежности, для расчета необходимого количества изделий в обменном фонде
Прогнозные	формируемая с использованием методик расчета прогнозных показателей ресурса, качества и надежности изделий, необходимых для эксплуатации по состоянию

Таблица 2

Идентификационные данные изделия

- Серийный номер,
- Исполнение (модификация),
- Версия ПО,
- Версия ТД,
- Проведение изменений,
- Данные по испытаниям,
- Производственные данные,
- Материалы и комплектующие, сырье, оборудование,
- Переписка, решения, распоряжит. документация,
- Движение в эксплуатации,
- Сведения о наработке, ремонтах, снятию,
- ...

На рис. 6 приведен пример реализации схемы идентификации изделия по его формуляру.

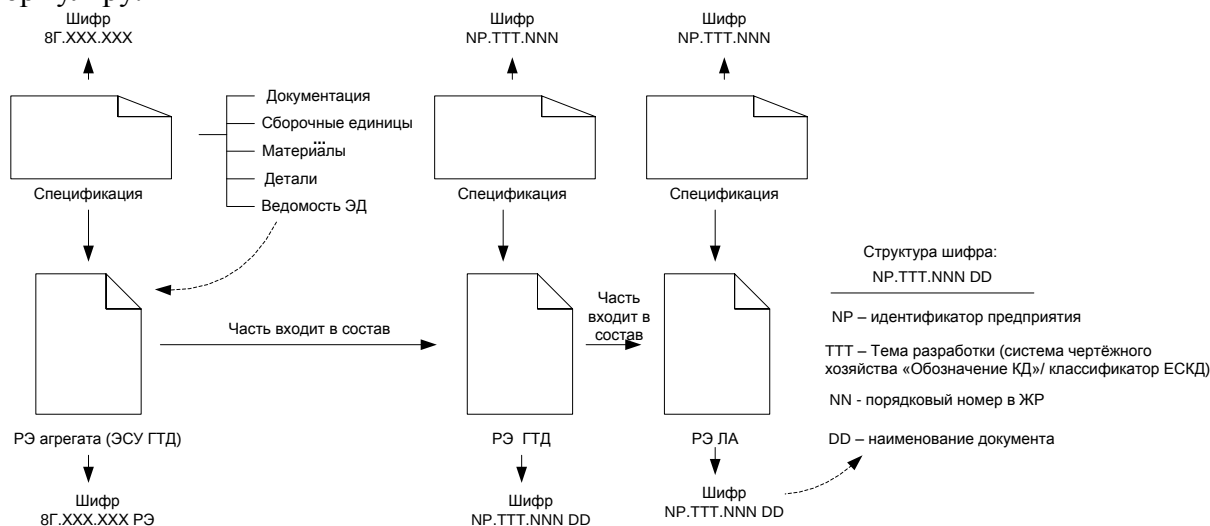


Рис. 6. Схема формирования алгоритма идентификации и прослеживаемости по формуляру изделий

Заключение

В работе рассматривается подход к построению системных моделей предприятия для внедрения автоматизированных информационных систем управления инженерными данными и жизненным циклом изделий авиационной техники. Необходимым условием внедрения систем автоматизации является разработка системного проекта по структурированию, формированию и созданию контента. Системные модели и их реализация в программном обеспечении производится с учетом взаимодействия CAD/CAM/CAE, MRP/ERP, СЭД и других систем. Принятие подхода системного моделирования и внедрения программных продуктов, принятого на предприятии, является критическим фактором успеха проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликов Г.Г., Погорелов Г.И., Багаева Ю.О.** Система информационной поддержки эксплуатации электронных агрегатов ГТД на основе многоаспектной модели. Вестник УГАТУ Т.14 №3(38), Уфа: УГАТУ, 2010.
2. **Погорелов Г.И., Куликов Г.Г., Фатиков В.С., Багаева Ю.О.** Информационная поддержка жизненного цикла электронных систем управления ГТД на этапе эксплуатации. Вестник УГАТУ Т.15 №3(43), Уфа: УГАТУ, 2011.
3. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
4. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-99** Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств.
5. **Антонов В.В., Куликов Г.Г., Антонов Д.В.** Теоретико-множественная модель ИС для многомерного аналитического анализа, отвечающая требованиям хранилищ данных. Вестник УГАТУ Т.16 №6(51), Уфа: УГАТУ, 2012.
6. **Куликов Г.Г., Ризванов К.А., Христолюбов В.Л.** Организация единого информационного пространства для распределенного выполнения проектов в авиадвигателестроении. Вестник УГАТУ Т.16 №6(51), Уфа: УГАТУ, 2012.
7. **ГОСТ Р 6.30-2003** Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов.
8. **Project Management Institute, Inc.** Руководство к своду знаний по управлению проектами(руководство РМВОК) Четвертое издание.
9. **ГОСТ Р 54869-2011** Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом.
10. **ГОСТ Р 54870-2011** Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов.
11. **ГОСТ Р 54871-2011** Проектный менеджмент. Требования к управлению программой.

ОБ АВТОРАХ



Багаева Юлия Олеговна, ст. преп. каф. автоматизированных систем управления УГАТУ. Канд. техн. наук по автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами (УГАТУ, 2010). Исследования в области системной инженерии ЖЦ систем, управления инженерными данными изделий авиационной техники.
e-mail: info@bagayeva.info



Насурдинов Тимур Талгатович, магистрант каф. автоматизированных систем управления УГАТУ, бакалавр техники и технологии по направлению «Информатика и вычислительная техника»(УГАТУ, 2011). Исследования в области информационного сопровождения процессов ЖЦ изделий авиационной техники с использованием программного обеспечения PDM/PLM/MRP-систем.
e-mail: 001timur.ufa@gmail.com, dred_t@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ДВУХКОНТУРНЫХ СОПЛАХ С РАЗДЕЛЬНЫМ ИСТЕЧЕНИЕМ ПОТОКОВ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ

Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Маркина К. В.

Введение

Авиационный газотурбинный двигатель – это технически сложный элемент летательного аппарата. На его разработку и создание затрачиваются огромные временные и трудовые ресурсы. Выходные устройства ТРД, ТРДД, ТРДДсм, ТРДДФ, ТРДДФсм, ПВРД представляет собой реактивные сопла, главное предназначение которых – преобразование тепловой и потенциальной энергии газов в кинетическую энергию вытекающей струи.

Одним из перспективных методов исследования параметров и характеристик выходных устройств авиационных двигателей является трёхмерное численное термогазодинамическое моделирование в различных программных комплексах. Для моделирования термогазодинамических процессов, происходящих в проточной части авиационных двигателей наилучшим образом себя зарекомендовал продукт ANSYS CFX.

Объектом исследования, в программе ANSYS CFX, является течение воздуха из отдельных сопел авиационного двигателя, с большой степенью двухконтурности. Схема отдельных сопел приведена на рис. 1. В данной работе были выбраны следующие исходные данные: два варианта геометрии (табл. 1) и 100 вариантов параметров потока (перебор всех возможных сочетаний перепада давлений на сопле π_c^* и чисел Маха M , при постоянных величинах температур в 1-ом и 2-ом контурах $T_1^* = 800$ К, $T_2^* = 300$ К, табл. 2). Суммарное количество вариантов расчета – 200.

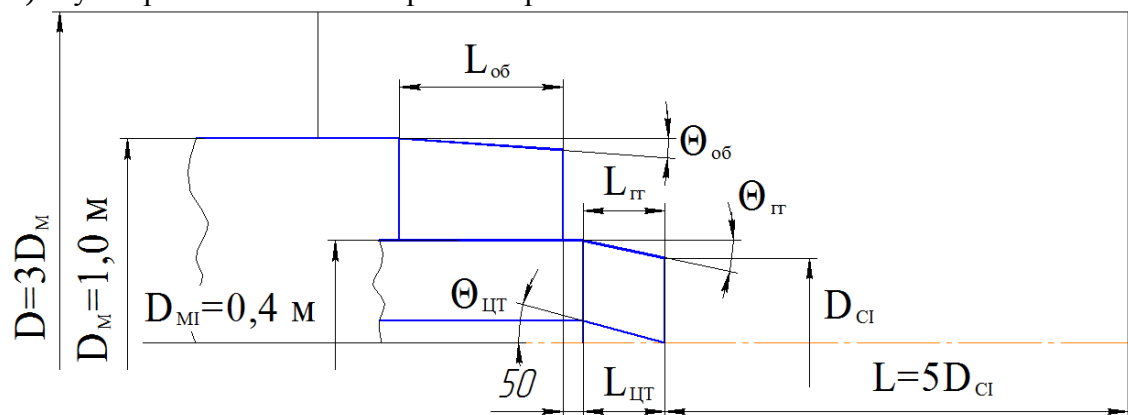


Рис. 1. Схема расчётной области

Таблица 1

Варианты геометрии

Вариант геометрии	Обечайка наружного контура		Обечайка внутреннего контура		Центральное тело	
	Удлинение, град	Угол сужения, град	Удлинение, град	Угол сужения, град	Удлинение, град	Угол сужения, град
1	0,4	4	0,2	12	0,2	15
2	0,6	8	0,2	12	0,2	15

Методика моделирования в ANSYS CFX 13.0

Выбрав вариант геометрии (табл. 1), строим трёхмерную твердотельную модель в CAD системе NX 8.0. Расчётная модель представляет собой сектор в 20°. Затем импортируем данную модель в ANSYS. Далее на трёхмерной модели строим конечно-объёмную сетку. На рис. 2 приведены конечно-объёмные тетраэдрические

неструктурированные сетки, построенные на расчётных моделях при помощи встроенного сеткопостроителя ANSYS Meshing. На поверхностях модели, на которых будет прилипание пограничного слоя (поверхности, принадлежащие стенкам сопла), построено 15 слоёв инфляции с толщиной 5 мм. Средний размер элемента на этих стенках 10 мм. Размер элемента в основной части модели – 50 мм. На оси струи построено замеление сетки со средним размером элемента 5 мм. Количество элементов в модели с 1-ым вариантом геометрии – порядка 606 тыс. (рис. 2а). Количество элементов в модели со 2-ым вариантом – порядка 670 тыс. (рис. 2б).

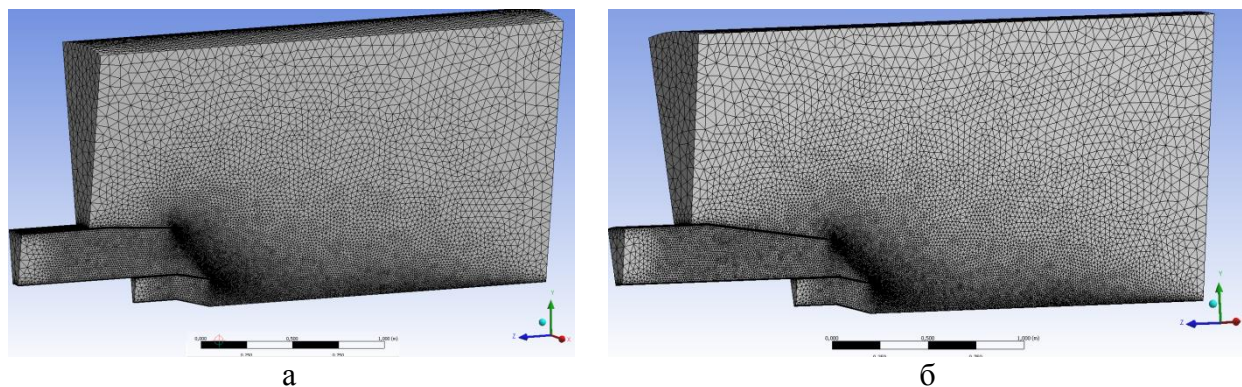


Рис. 2. Сетки, построенные на моделях
(а – 1-ый вариант геометрии, б – 2-ой вариант геометрии)

После построения сетки необходимо установить граничные условия и настроить законы расчёта в CFX-Pre.

Для моделирования используется модель рабочего тела AirIdealGas, модель переноса тепла – TotalEnergy, модель турбулентности $k - \varepsilon$. Ссылочное давление в модели $P_{ref} = 101325$ Па.

На входе во внутренний контур установлено граничное условие Inlet с параметрами: режим потока – Mixed, нормальная скорость $V_{вх_I}$, полное избыточное давление, $P_{изб_I}^*$, полная температура $T_I^* = 800$ К. Интенсивность турбулентности (для всех вариантов) принята равной 5%.

На входе в наружный контур установлено граничное условие Inlet с параметрами: режим потока – Mixed, нормальная скорость $V_{вх_II}$, полное избыточное давление $P_{изб_II}^*$, полная температура $T_{II}^* = 300$ К. Для моделирования наружного обтекания на входе в выходную область установлено граничное условие Opening с параметрами: избыточное давление $P_{изб_H} = 0$ Па, температура $T_H = 288$ К (при $M = 0$).

Для остальных вариантов (при $M \neq 0$) на входе в выходную область устанавливается граничное условие Inlet с параметрами: скорость V_H (соответствующая числу M полёта), температура 288 К. На наружной границе выходной области и на выходе из модели установлено граничное условие Opening с параметрами: избыточное давление $P_{изб_H} = 0$ Па, температура $T_H = 288$ К.

Критерий завершения расчётов – параметры сходимости основных уравнений – меньше, чем 10^{-4} ; дисбаланс основных уравнений – меньше 1%.

На боковых поверхностях модели заданы граничные условия симметрии (рис. 3).

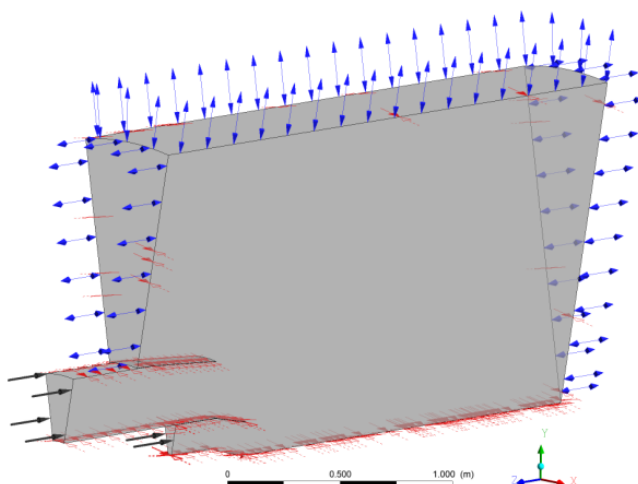


Рис. 3. Модель с граничными условиями в CFX-Pre

Результаты моделирования

Некоторые результаты моделирования приведены ниже на рисунках. На рис. 4–6 показаны результаты моделирования, при докритическом режиме истечения потоков из сопел, где наблюдается картина дозвуковых струйных течений.

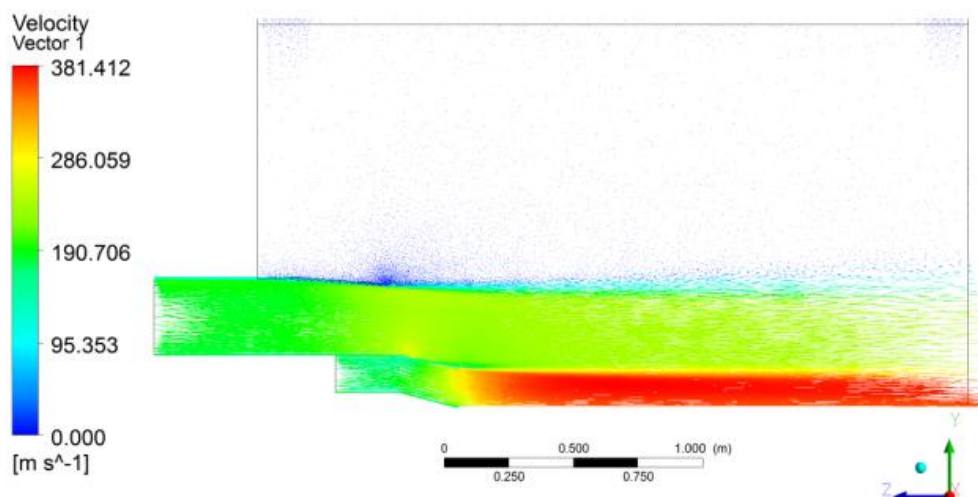


Рис. 4. Векторные поля скоростей в расчётной области (1-ый вариант геометрии, вариант параметров 1)

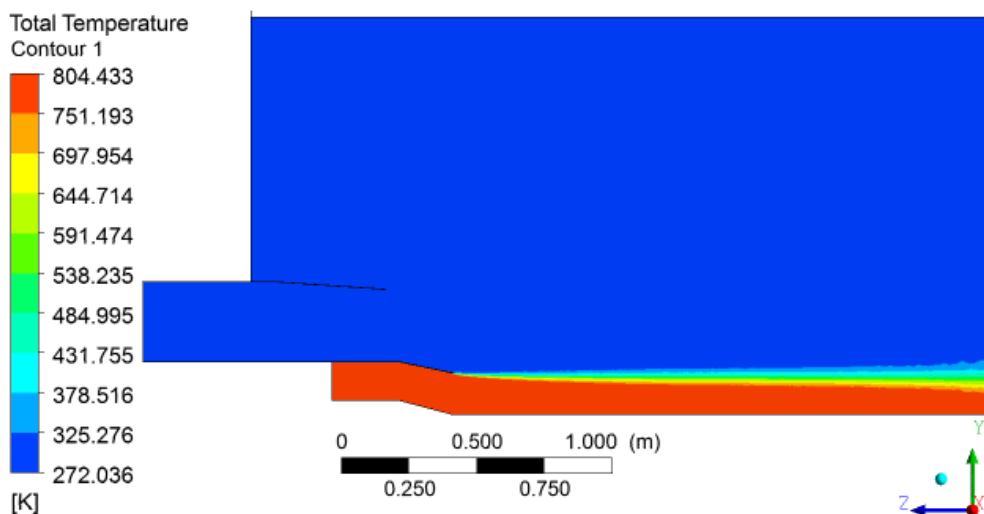


Рис. 5. Распределение полных температур в расчётной области (1-ый вариант геометрии, вариант параметров 1)

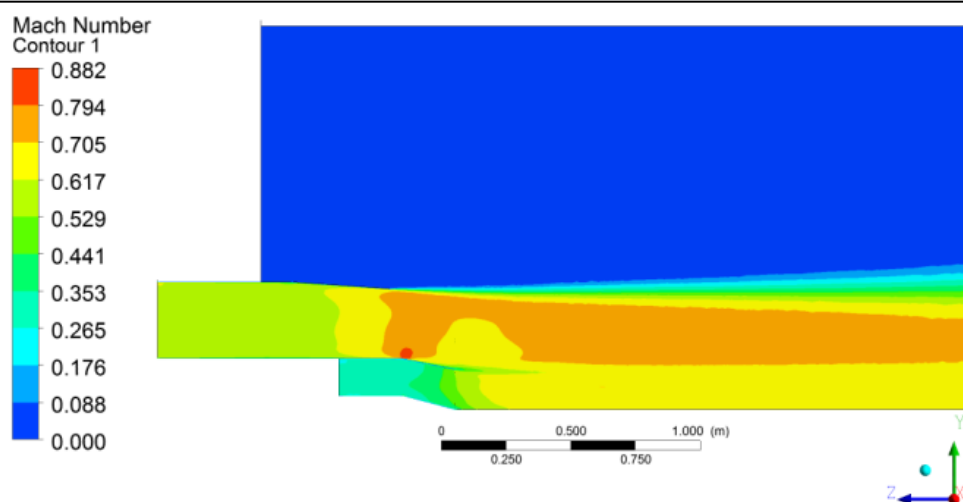


Рис. 6. Распределение чисел M в расчётной области (1-ый вариант геометрии, вариант параметров 1)

На рис. 7–9 показаны результаты моделирования при сверхкритических режимах истечения, где образуются характерные периодические структуры – «бочки».

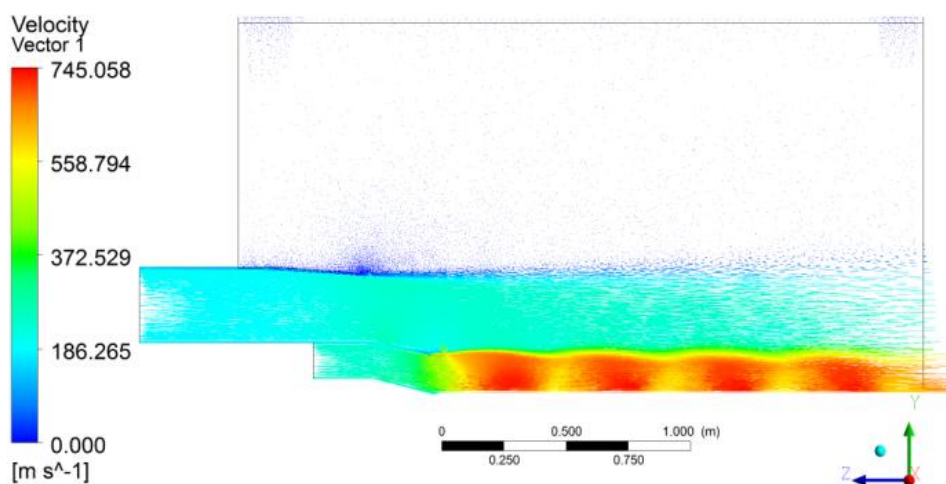


Рис. 7. Векторные поля скоростей в расчётной области (1-ый вариант геометрии, вариант параметров 5)

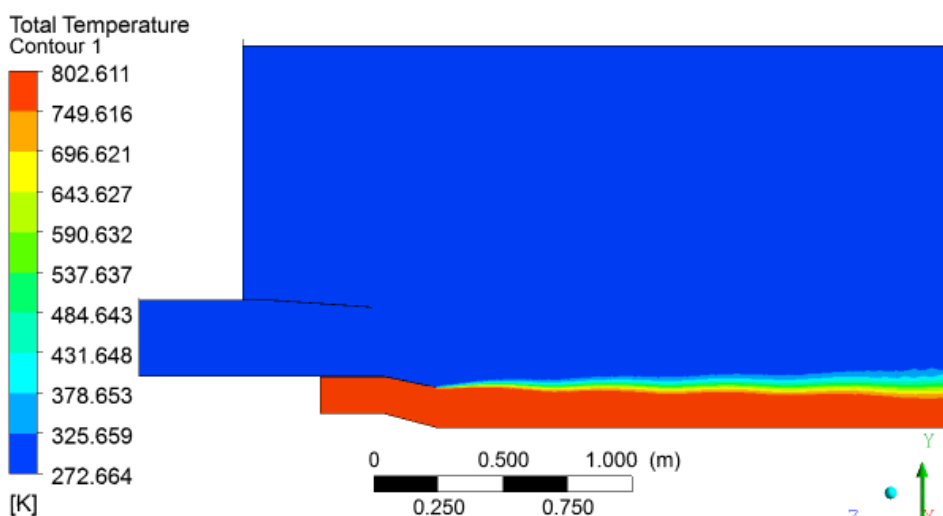


Рис. 8. Распределение полных температур в расчётной области (1-ый вариант геометрии, вариант параметров 5)

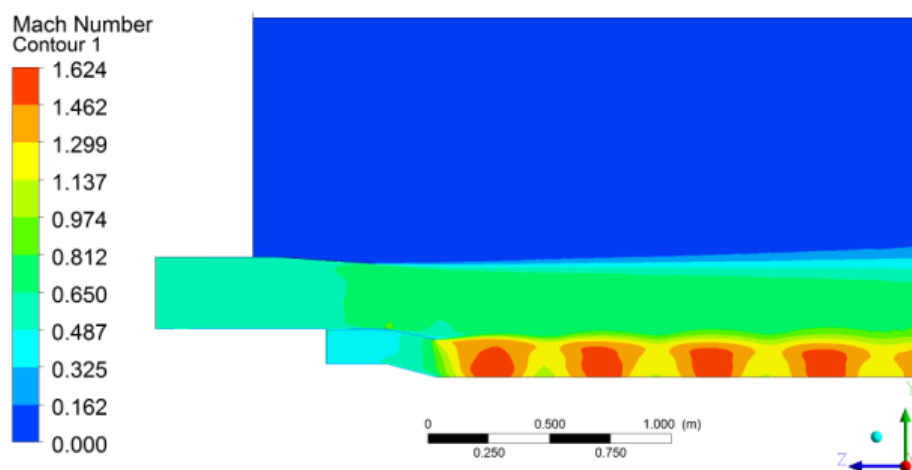


Рис. 9. Распределение чисел M в расчётной области
(1-ый вариант геометрии, вариант параметров 5)

При сверхкритических режимах работы внутреннего и наружного сопел, при взаимодействии потоков геометрия струи изменяется, структура течения деформируется например как показано на рис. 10–12.

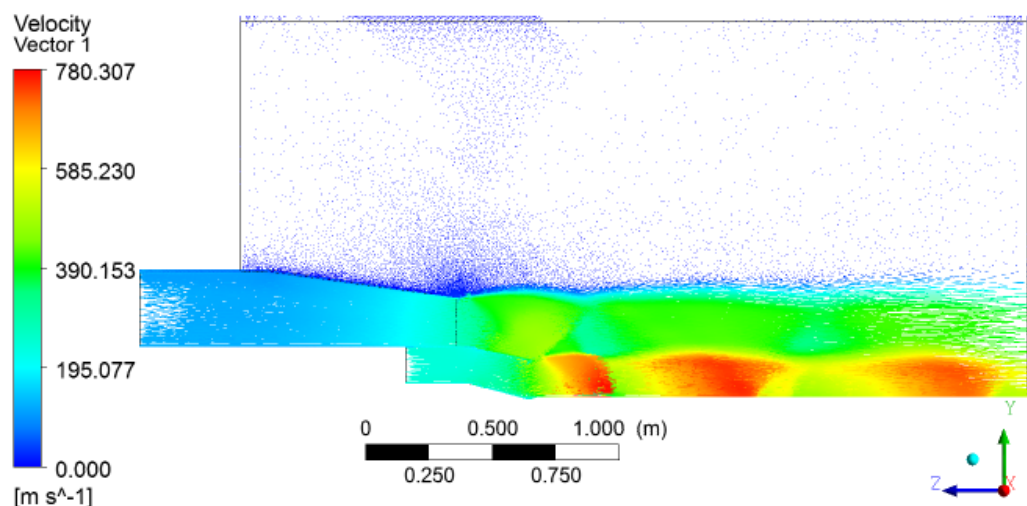


Рис. 10. Векторные поля скоростей в расчётной области
(2-ой вариант геометрии, вариант параметров 25)

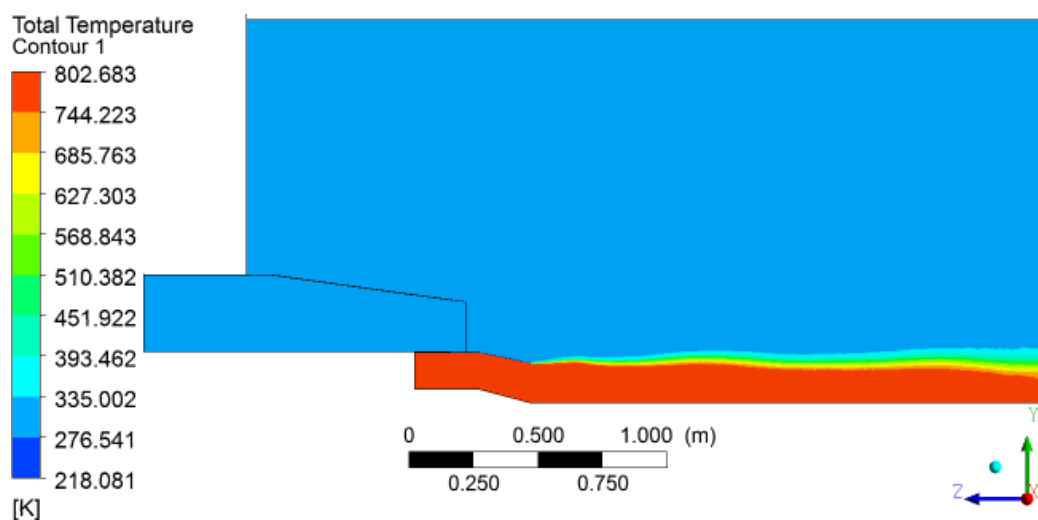


Рис. 11. Распределение полных температур в расчётной области
(2-ой вариант геометрии, вариант параметров 25)

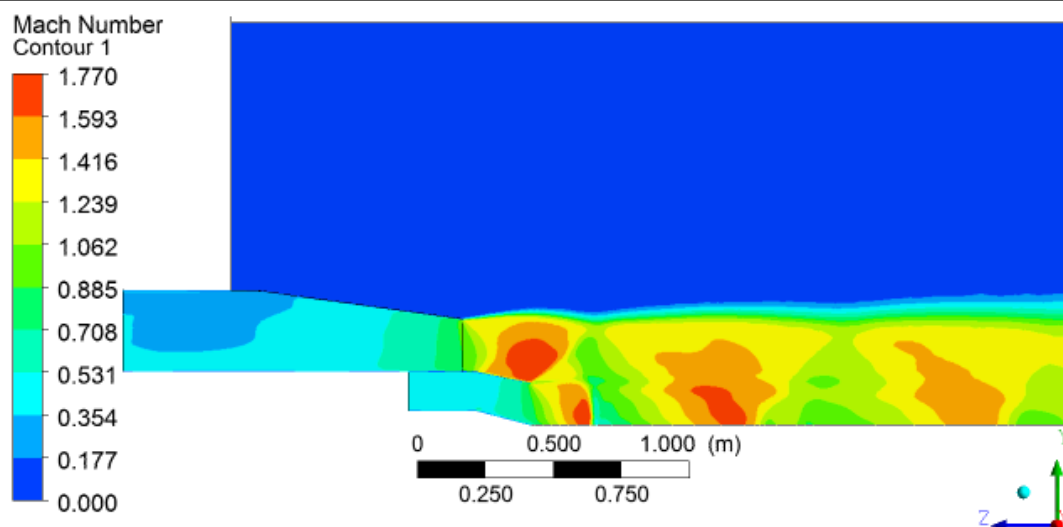


Рис. 12. Распределение чисел M в расчётной области
(2-ой вариант геометрии, вариант параметров 25)

При увеличении скорости наружного обтекания структура потока также несколько изменяется, становится более сложной (рис. 13–15).

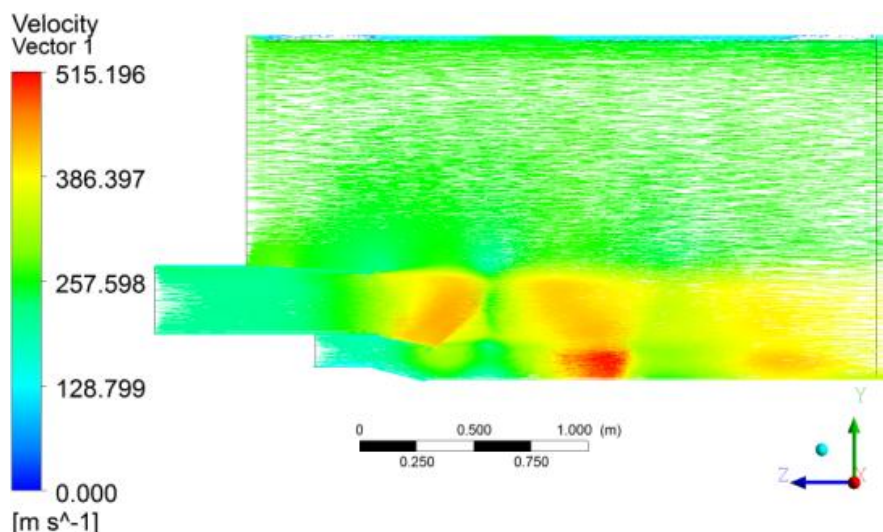


Рис. 13. Векторные поля скоростей в расчётной области
(1-ый вариант геометрии, вариант параметров 66)

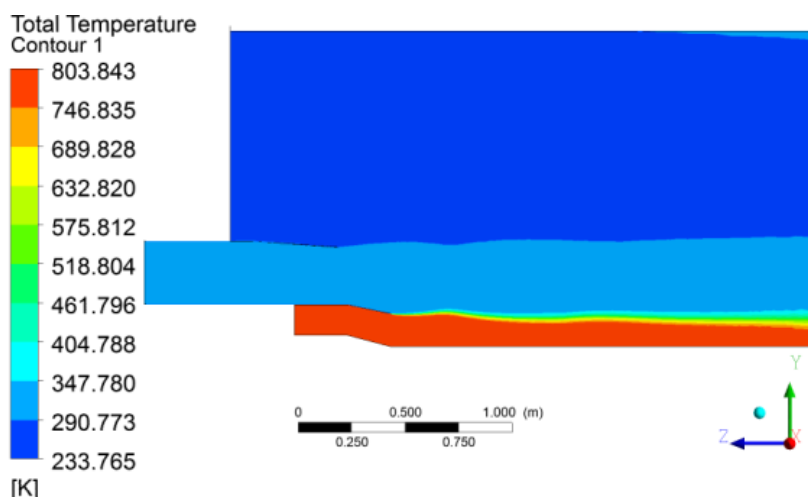


Рис. 14. Распределение полных температур в расчётной области
(1-ый вариант геометрии, вариант параметров 66)

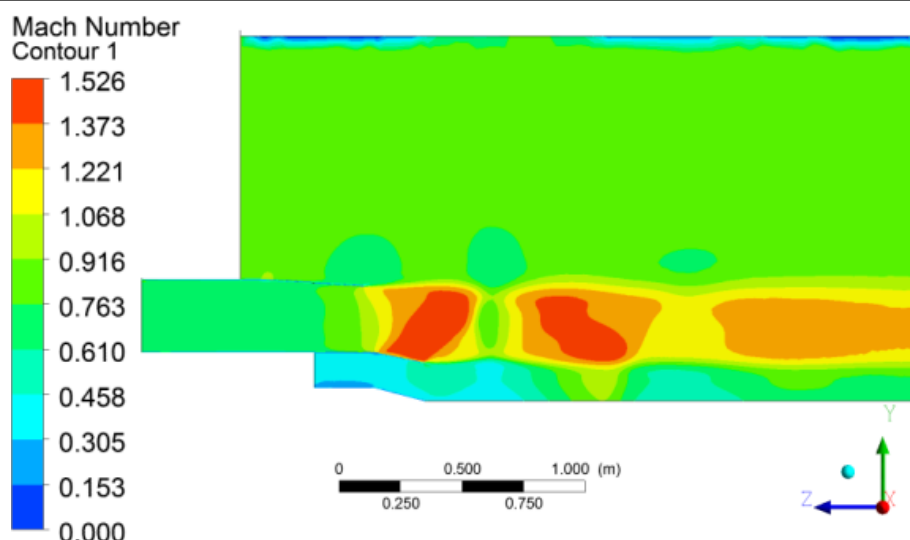


Рис. 15. Распределение чисел M в расчётной области
(1-ый вариант геометрии, вариант параметров 66)

Метод определения характеристик сопел по результатам расчётов в ANSYS

Каждый расчёт, проведённый в ANSYS 13.0 CFX обрабатывается замерами параметров на входе и выходе таких параметров как, расходы воздуха во внутреннем и наружном контурах ($G_{вх_I}$ и $G_{вх_II}$), среднемассовые полные давления на входе во внутренний и наружный контуры ($P_{вх_I}^*$ и $P_{вх_II}^*$), среднемассовые давления в критическом сечении сопла внутреннего и наружного контуров ($P_{кр_I}$ и $P_{кр_II}$), среднемассовые скорости на входе во внутренний и наружный контур ($V_{вх_I}$ и $V_{вх_II}$), средние по площади давления на наружную и внутреннюю поверхность сопла внутреннего контура ($P_{нар_I}$ и $P_{внут_I}$), средние по площади давления на наружную и внутреннюю поверхность сопла наружного контура ($P_{нар_II}$, $P_{внут_II}$).

Согласно [1, 2], коэффициент расхода – отношение действительного расхода рабочего тела к идеальному расходу рабочего тела. По рассчитанным значениям идеального и реального расходов воздуха через внутреннее и наружное сопло определим коэффициент расхода сопла по формулам:

$$\mu_I = \frac{G_{вх_I}}{G_{вх_I\text{т}}}, \quad (1)$$

$$\mu_{II} = \frac{G_{вх_II}}{G_{вх_II\text{т}}}. \quad (2)$$

Внутренняя тяга сопла по результатам расчётов в ANSYS определяется по формулам (3) и (4):

$$R_I = G_{вх_I} V_{кр_I} + F_{кр_I} (P_{кр_I} - P_n), \quad (3)$$

$$R_{II} = G_{вх_II} V_{кр_II} + F_{кр_II} (P_{кр_II} - P_n). \quad (4)$$

Суммарная внутренняя тяга наружного и внутреннего сопел определяется по формуле (5):

$$R_{\Sigma} = R_I + R_{II}. \quad (5)$$

Определяем результирующую силу по результатам расчётов в ANSYS, приложенную к наружной поверхности внутреннего и наружного сопла по формулам:

$$R_{нар_I} = -(P_{внут_I} - P_{нар_I}) \cdot \pi (r_{вх_I}^{нар^2} - r_{кр_I}^{нар^2}), \quad (6)$$

$$R_{нар_II} = -(P_{внут_II} - P_{нар_II}) \cdot \pi (r_{вх_II}^{нар^2} - r_{кр_II}^{нар^2}). \quad (7)$$

Определяем эффективную тягу наружного и внутреннего сопел по формулам (8) и (9):

$$R_{\text{эф}_I} = R_I + R_{\text{нар}_I}, \quad (8)$$

$$R_{\text{эф}_II} = R_{II} + R_{\text{нар}_II}. \quad (9)$$

Определяем суммарную эффективную тягу по формуле (10):

$$R_{\text{эф}_\Sigma} = R_{\text{эф}_I} + R_{\text{эф}_II}. \quad (10)$$

Определяем изменение внутренней тяги наружного и внутреннего сопел по формулам:

$$\Delta R_I = R_{It} - R_I, \quad (11)$$

$$\Delta R_{II} = R_{IIt} - R_{II}. \quad (12)$$

Определяем изменение эффективной тяги наружного и внутреннего сопел и их суммарной эффективной тяги по формулам:

$$\Delta R_{\text{эф}_I} = R_{\text{эф}_It} - R_{\text{эф}_I}, \quad (13)$$

$$\Delta R_{\text{эф}_II} = R_{\text{эф}_IIt} - R_{\text{эф}_II}, \quad (14)$$

$$\Delta R_{\text{эф}_\Sigma} = R_{\text{эф}_\Sigma t} + R_{\text{эф}_\Sigma}. \quad (15)$$

Методика расчёта идеального сопла приведена в статье [3]. Некоторые результаты расчётов приведены в табл. 3 и 4, где показаны определенные коэффициенты расхода, изменения внутренней и эффективной тяги для I и II вариантов геометрии

Таблица 3

Параметры течения в 1-ом варианте геометрии

Вариант	μ_I	μ_{II}	R_I, H	R_{II}, H	$\Delta R_I, H$	$\Delta R_{II}, H$	$R_{\text{эф}_I}, H$	$R_{\text{эф}_II}, H$	$R_{\text{эф}_\Sigma}, H$	$\Delta R_{\text{эф}_I}, H$	$\Delta R_{\text{эф}_II}, H$	$\Delta R_{\text{эф}_\Sigma}, H$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,928	0,946	4660,1	39713,3	93,3	152,2	3322,9	38516,6	41839,5	636,7	1029,3	1665,9
2	0,953	0,948	8895,8	40929,1	37,0	-154,7	6458,3	40101,1	46559,4	648,2	535,4	1183,6
3	0,949	0,948	13199,9	40912,9	-23,1	-157,9	9391,9	40083,2	49475,1	1237,2	530,0	1767,2
4	0,948	0,948	17317,0	40891,3	-35,7	-163,4	12078,3	40059,5	52137,8	1350,2	521,4	1871,6
5	0,943	0,948	21419,1	40862,5	-14,1	-169,8	14710,8	40028,0	54738,8	1516,7	510,7	2027,4
31	0,909	0,955	3775,1	72183,1	189,4	225,0	1991,4	69620,8	71612,2	776,8	1491,2	2268,0
32	0,927	0,955	8414,5	72331,7	240,7	217,5	5433,5	69712,4	75145,9	1187,2	1544,6	2731,8
33	0,950	0,955	12847,3	72287,2	23,6	204,3	8614,1	69693,3	78307,3	1285,4	1504,5	2789,9
34	0,948	0,955	17209,9	72281,1	-38,8	209,7	11577,6	69678,0	81255,6	1736,8	1519,1	3255,9
35	0,947	0,955	21442,3	72290,9	-74,9	187,4	14425,8	69697,6	84123,4	1784,4	1486,6	3271,0
56	0,909	0,955	3811,0	72389,9	162,2	-31,0	2030,2	69679,6	71709,8	751,6	1382,5	2134,0
57	0,927	0,955	8380,4	72302,9	237,6	13,4	5459,5	69432,3	74891,8	1101,8	1586,0	2687,8
58	0,950	0,955	12823,8	72633,8	27,4	-132,8	8726,2	69924,6	78650,8	1119,6	1282,9	2402,5
59	0,948	0,955	17195,1	72302,9	-39,1	-37,6	11660,6	69557,2	81217,8	1638,2	1409,1	3047,3
60	0,947	0,955	21467,2	72362,4	-72,6	-61,0	14562,0	69542,2	84104,3	1677,6	1461,0	3138,6
76	0,921	0,947	4200,6	38112,0	133,8	-169,5	3183,0	36267,3	39450,3	125,7	1068,9	1194,5
77	0,929	0,946	8732,0	38462,6	225,9	-547,6	6562,8	36682,2	43245,0	603,4	622,4	1225,8
78	0,949	0,947	13104,2	38048,4	-24,4	-131,3	9490,0	36421,8	45911,9	1036,6	885,0	1921,6
79	0,946	0,947	17376,1	38940,4	-41,2	-259,9	12269,4	37321,5	49590,8	1212,1	851,9	2063,9
80	0,946	0,947	21632,7	39523,5	-134,9	-581,8	15110,9	37837,6	52948,5	1232,9	632,7	1865,5

Таблица 4

Параметры течения в 2-ом варианте геометрии

Вариант	μ_I	μ_{II}	R_I, H	R_{II}, H	$\Delta R_I, H$	$\Delta R_{II}, H$	$R_{\phi I}, H$	$R_{\phi II}, H$	$R_{\phi \Sigma}, H$	$\Delta R_{\phi I}, H$	$\Delta R_{\phi II}, H$	$\Delta R_{\phi \Sigma}, H$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,942	0,933	4428,6	24073,6	76,1	740,6	3229,5	17134,8	20364,3	337,3	4030,1	4367,3
2	0,943	0,933	8980,0	24066,2	110,1	743,4	6560,7	17123,6	23684,3	803,0	4028,8	4831,7
3	0,942	0,933	13311,1	24065,8	60,6	740,2	9512,2	17121,7	26633,9	1295,5	4020,6	5316,1
4	0,942	0,933	17452,5	24065,5	38,2	735,7	12217,7	17118,7	29336,4	1396,9	4010,2	5407,2
5	0,942	0,933	21537,8	24064,1	-26,1	731,0	14846,6	17114,1	31960,7	1474,1	3998,4	5472,5
26	0,938	0,933	4321,3	23876,9	87,0	562,1	3231,1	16117,6	19348,7	188,9	4112,6	4301,5
27	0,949	0,933	8852,1	23637,2	64,4	648,5	6557,3	15944,7	22502,1	518,6	3958,2	4476,8
28	0,949	0,933	13122,7	23775,1	-26,8	550,4	9487,9	15265,1	24753,0	1056,0	4723,1	5779,1
29	0,949	0,933	17311,1	23785,9	-56,8	571,5	12226,2	16148,0	28374,2	1172,5	3904,7	5077,3
30	0,948	0,933	21301,2	23697,3	-106,9	605,6	14766,1	15995,2	30761,3	1257,5	3943,6	5201,0
51	0,936	0,933	4261,9	23325,7	90,4	574,4	3246,6	14907,9	18154,5	89,6	4165,3	4254,9
52	0,949	0,932	8796,8	23209,3	62,6	497,4	6631,7	14670,3	21302,0	337,2	3940,3	4277,5
53	0,949	0,932	13111,0	23189,6	-36,8	601,1	9556,6	14870,9	24427,5	964,1	3940,7	4904,8
54	0,948	0,932	17211,5	23305,9	-33,1	429,5	12287,9	14528,8	26816,7	1030,4	4152,9	5183,3
55	0,948	0,932	21658,5	23091,6	-170,4	602,9	15193,9	14850,8	30044,7	1137,6	3729,0	4866,6
81	0,874	0,934	3559,4	42403,4	194,9	1013,9	2601,7	24292,5	26894,2	-143,5	10575,5	10432,0
82	0,943	0,934	8323,1	41662,9	120,7	1053,2	6171,8	23877,7	30049,5	118,2	10252,1	10370,3
83	0,949	0,934	12898,5	41551,8	-0,7	1331,6	9315,3	24109,2	33424,5	671,3	10196,3	10867,7
84	0,948	0,934	17236,9	41947,2	-57,6	1276,7	12267,6	24297,9	36565,5	1054,5	10366,3	11420,8
85	0,949	0,934	21392,0	42099,3	-85,3	1091,9	15147,5	24366,2	39513,7	997,2	10263,5	11260,8
86	0,585	0,935	3241,9	59891,6	785,8	2799,6	1044,9	32988,3	34033,2	1813,1	12632,1	14445,2

Анализ результатов моделирования

Полученные результаты моделирования качественно и количественно соответствуют процессам характерным для истечения потоков из отдельных сопел авиационных двигателей с большими степенями двухконтурности. Изменение коэффициента расхода в зависимости от перепада давлений во внутреннем и наружном соплах и скорости внешнего обтекания приведено на рис. 16–19. Для некоторых расчётов (II вариант геометрии, варианты параметров 11, 36, 61, 81 и 86) получены низкие значения коэффициентов расхода для внутреннего сопла.

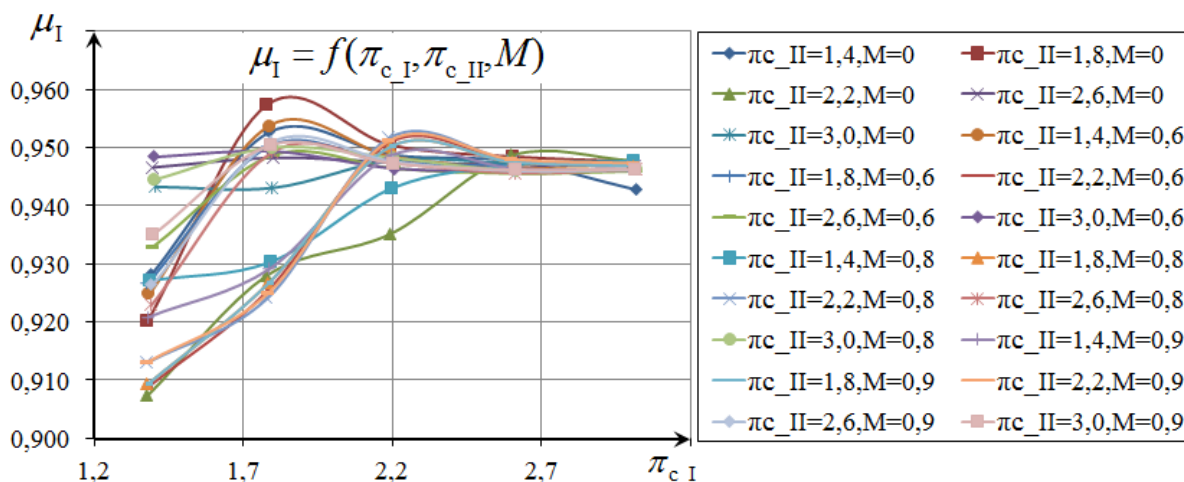


Рис. 16. Изменение коэффициента расхода внутреннего сопла в зависимости от перепада давлений и скорости внешнего обтекания, 1-ый вариант геометрии

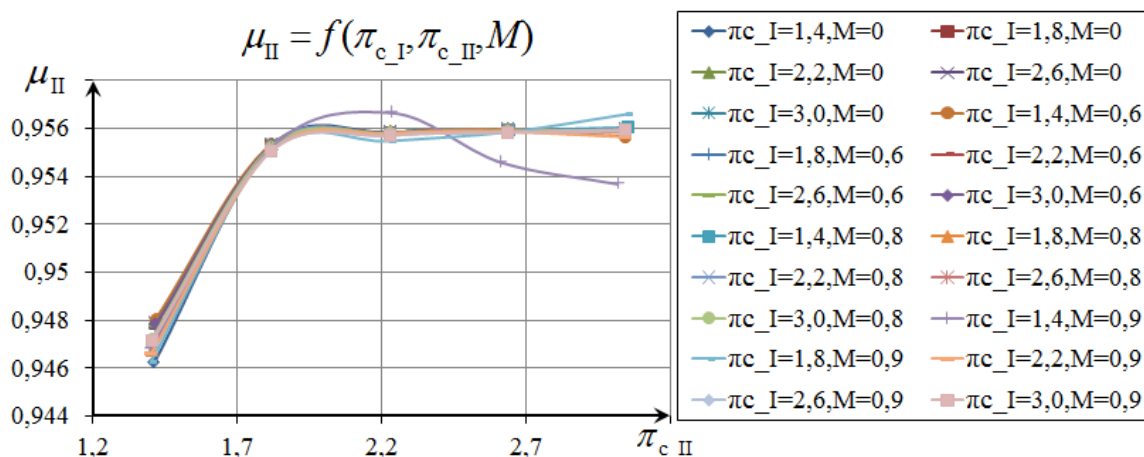


Рис. 17. Изменение коэффициента расхода наружного сопла зависимости от перепада давления и скорости внешнего обтекания, 1-ый вариант геометрии

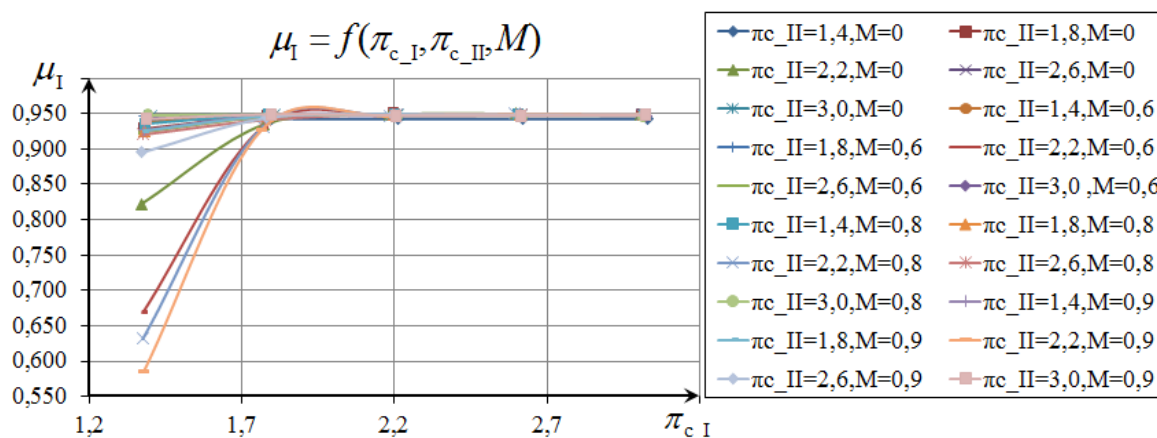


Рис. 18. Изменение коэффициента расхода внутреннего сопла зависимости от перепада давления и скорости внешнего обтекания, 2-ой вариант геометрии

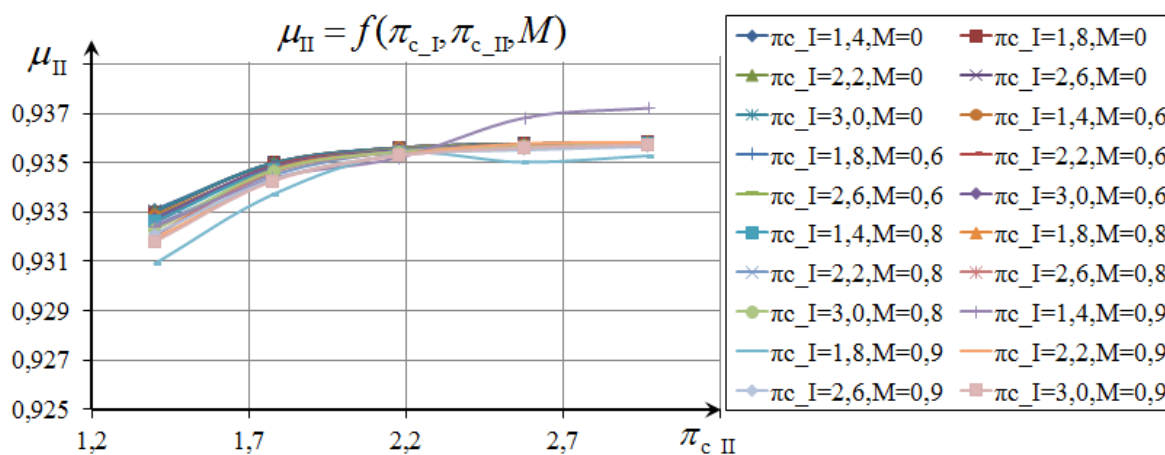


Рис. 19. Изменение коэффициента расхода наружного сопла зависимости от перепада давления и скорости внешнего обтекания, 2-ой вариант геометрии

В расчётах получено, что изменение внутренней тяги ΔR_I в зависимости от перепада давлений на сопле – несущественно. Отрицательные значения ΔR_I (тяга идеального сопла меньше, чем реального) объясняются эжектированием потока внутреннего контура наружным. Изменение внутренней тяги наружного сопла ΔR_{II} гораздо более существенны и ΔR_{II} возрастает с ростом перепада давления на сопле наружного контура.

Изменение (потери) эффективной тяги $\Delta R_{эф_I}$, $\Delta R_{эф_{II}}$ увеличивается с ростом

перепада давления на соплах.

Заключение

Разработанная методика обработки результатов моделирования и методика определения основных характеристик сопел позволяют подготавливать исходные данные для расчётов в ANSYS CFX, обрабатывать результаты расчётов, определять основные характеристики сопел.

Результаты расчётов и определённые характеристики потоков могут быть использованы при проектировании новых и при модернизации уже существующих и успешно эксплуатируемых авиационных газотурбинных двигателей с отдельными соплами и большой степенью двухконтурности.

Разработанные методики и полученные результаты позволят создать задел для оптимизации протекания характеристик перспективных авиационных двигателей и летательных аппаратов на различных режимах работы, позволят достигнуть более высоких показателей совершенства проектируемых авиационных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей / Под ред. С.М. Шляхтенко. Учебник для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987 – 568 с.
2. **Лаврухин Г.Н.** Аэродинамика реактивных сопел. Т.1. Внутренние характеристики сопел. – М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 376 с.
3. **Кишалов, А. Е.** Расчет характеристик выходного тракта ТРДД / А. Е.Кишалов, К. В. Маркина // «Молодежный Вестник УГАТУ». – Уфа, 2012. - № 3 (4) – С.81-92.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МД-115.2013.08.

ОБ АВТОРАХ



Кривошеев Игорь Александрович, проф. каф. авиац. двигателей, декан ФАД УГАТУ, науч. рук. НИЛ САПР-Д, дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (2000). Иссл. в обл. инф. техн. в двигателестроении.
e-mail: krivosh@sci.ugatu.ac.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, автоматизации испытаний.
Тел. (347)2737954, e-mail: ada@ugatu.ac.



Кишалов Александр Евгеньевич, доц. 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



Маркина Ксения Васильевна, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, м.н.с. НИЛ САПР-Д. Дипл. инж. по авиац. и ракетно-космической теплотехники (УГАТУ, 2012). Исследования в области процессов происходящих в проточной части авиационных ГТД с использованием 3D-CAD/CAE моделирования.
e-mail: markina_kseniya@mail.ru

УДК 621.45

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОПОР ГАЗОТУРБИННОГО ПРИВОДА ПО ТЕМПЕРАТУРЕ МАСЛА

Костров В. С., Зырянов А. В., Абдуллин Б. Р.

Стратегия технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) по состоянию с контролем параметров представляет собой совокупность правил по определению режимов и регламента диагностирования изделий и принятию решений о необходимости их обслуживания, замены или ремонта на основе информации о фактическом техническом состоянии. При данной стратегии ТО и Р изделия и системы эксплуатируются до предотказового состояния. Целью стратегии ТО и Р по состоянию с контролем уровня параметров является повышение надежности, снижение эксплуатационных расходов и увеличение ресурса работы.

Увеличение ресурса работы газотурбинных приводов (ГТП) во многом зависит от повышения долговечности применяемых в них опор роторов двигателей. Чаще всего в опорных узлах современных ГТП используют подшипники качения, которые удовлетворительно работают при частотах вращения порядка $10 \dots 20$ тысяч мин^{-1} . [1]

Выход из строя подшипников является одним из самых тяжелых по своим последствиям проявлением дефектов ГТП (рис. 1).

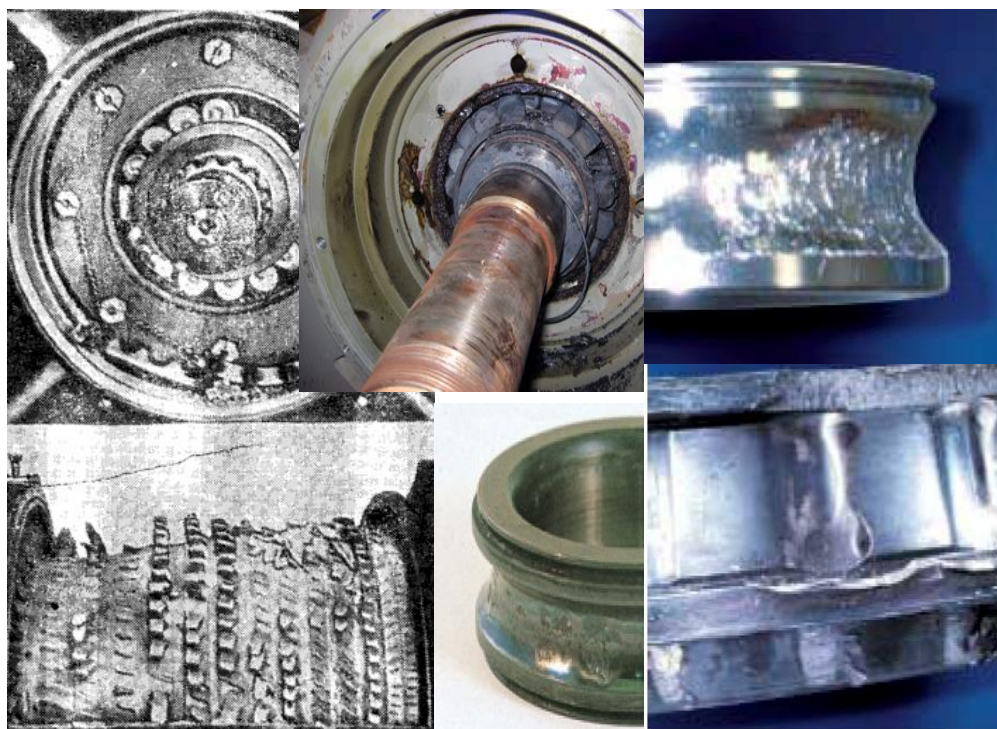


Рис. 1. Разрушение подшипников

В основном, выход подшипников из строя обусловлен усталостным выкрашиванием материала на дорожках качения колец и телах качения. Начальными дефектами, по которым развивается выкрашивание материала, являются коррозия, намятины и риски, прорыв масляной пленки, высокие контактные напряжения, прижоги при проскальзывании, дефекты материала подшипников.

Кроме этого, к выходу из строя подшипников приводит разрыв сепаратора, фреттинг-коррозия по посадочным поверхностям, износ подшипников без усталостного выкрашивания. [1]

С целью своевременного диагностирования состояния подшипников опор ГТП применяются специальные системы контроля, позволяющие отследить начальные стадии проявления дефекта. В частности, в линиях откачки масла от узлов подшипников устанавливаются фильтры сигнализаторы и магнитные сигнализаторы стружки, которые в случае появления стружки в масле дают сигнал оповещения. Также в линиях откачки масла устанавливаются магнитные пробки, которые регулярно осматриваются в процессе эксплуатации для контроля появления стружки. Появление стружки на магнитной пробке позволит точно определить место расположения дефектного подшипника, т.к. каждая магнитная пробка конструктивно привязана к линии откачки от конкретной опоры (подшипника).

Кроме того, в настоящее время на ГТП внедрен периодический контроль проб масла для определения в нем количества металла. Увеличение количества металла в масле является сигналом для проявления особого внимания к работе опор ГТП, ужесточению контроля другими методами диагностики, а в случае превышения установленной нормы ГТП может быть отстранен от эксплуатации. Недостатком метода является необходимость периодического останова ГТП с целью забора проб масла, а в случае увеличения износа возникает необходимость проведения более частого анализа масла, а, следовательно, и остановов двигателя. [1]

Также широкое распространение получила вибродиагностика. Спектр и форма сигнала вибрации содержат информацию о характерных дефектах подшипников качения. Во временном сигнале вибрации могут наблюдаться ударные импульсы, обусловленные прохождением элементов качения через дефекты дорожек или контактом дорожек с дефектными участками элементов качения. Недостатком этого метода является невозможность точного определения источника вибрации. Источником вибрации может быть не только износ или дефект подшипника, но и, например, дисбаланс элементов конструкции.

В данной работе авторами предлагается подход к диагностике состояния опор ГТП по температуре масла.

В процессе работы ГТП детали опор подвергаются нагреву. Тепло от подшипников отбирается маслом, которое подается на смазку подшипников. Таким же образом осуществляется отвод тепла и от других омываемых маслом элементов опоры: силовых элементов, внутренних поверхностей оболочек масляных полостей, элементов валов, контактных уплотнений и т.д.

В результате происходящих сложных процессов теплообмена между деталями опор, другими деталями ГТП, а также потоками воздуха и масла, устанавливается определенный уровень температуры каждого из перечисленных компонентов, участвующих в процессах теплообмена. Температура компонентов при этом будет зависеть как от режима работы ГТП, так и от внешних условий (например, от температуры атмосферного воздуха, температуры масла на входе в двигатель и т.д.). Работоспособность подшипников в течение заданного ресурса может быть обеспечена при условии, если уровень температуры их деталей, а также масла в зоне контакта поверхностей качения не будет превышать предельно-допустимых значений.

Подвод масла для трущихся поверхностей одна из главных, но не единственная функция масляной системы ГТП. Масло используется не только для смазки поверхностей

контакта, но и для отвода тепла от них. При этом у современных ГТП обеспечение потребного теплового состояния узлов трения является наиболее значимой задачей. Так для смазки теплонагруженного подшипника может оказаться достаточным весьма незначительное количество масла (не более 100 г/ч), а для съема тепла, выделяемого им (10...20 кВт), требуется подавать масла до 0,15 л/с (540 л/ч). [2]

Тепловой баланс в масляной полости опор ГТП означает, что тепло от всех источников, переходящее в масляную полость, отводится маслом, подаваемым на подшипники.

Количество этого тепла зависит от режима работы ГТП, который устанавливается частотой вращения роторов. Таким образом, при изменении режима работы будет изменяться температура масла. Каждому режиму работы ГТП соответствует свой объем масла, проходящего через опоры в единицу времени, который называется прокачкой масла через ГТП, а тепло, аккумулируемое маслом, называется теплоотдачей в масло.

Количество тепла можно найти из уравнения теплового баланса [3]:

$$Q_{\Sigma} = q_{\text{м}\Sigma} \cdot C_{\text{м}} \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{п}}. \quad (1)$$

где Q_{Σ} – суммарное количество тепла, поступающего в масляную полость опоры через стенки $Q_{\text{ст}}$, с воздухом через уплотнения $Q_{\text{в}}$, от подшипников $Q_{\text{п}}$, Дж;

$q_{\text{м}\Sigma}$ – суммарная прокачка масла, кг;

$C_{\text{м}}$ – теплоемкость масла, Дж/кг·°С;

$t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}$ – подогрев масла, разность температур масла на выходе и на входе в масляную систему опор, °С.

Таким образом, необходимо проверить влияние на температуру масла на выходе из опор ГТП следующих параметров: частоты вращения ротора высокого давления (РВД), температуры окружающей среды, наработки.

Так как частота вращения РВД ГТП зависит от температуры окружающего воздуха, проводится приведение частоты вращения ротора к стандартным атмосферным условиям (САУ), используя статистический метод.

На основании имеющихся статистических данных на рисунке 2 представлена зависимость изменения относительной частоты вращения РВД ГТП от температуры окружающего воздуха.

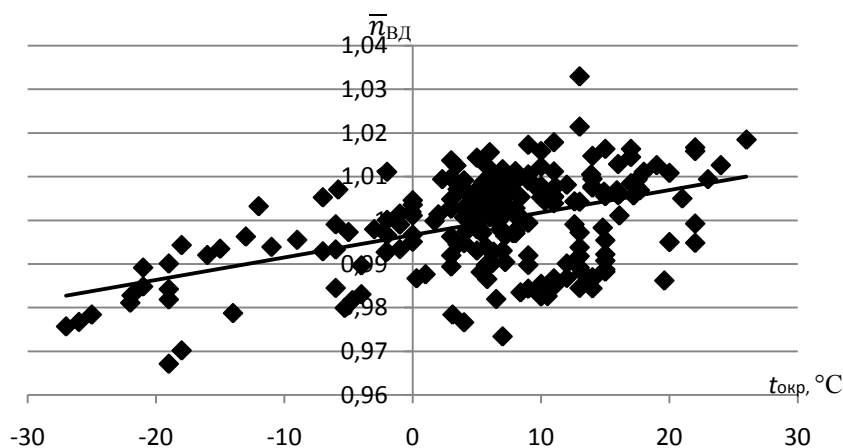


Рис. 2. Зависимость относительной частоты вращения РВД от температуры окружающего воздуха

В результате статистического анализа данных разработана линейная модель, описывающая представленную зависимость и имеющая следующий вид:

$$\bar{n}_{\text{РВД}} = 0,9966 + 0,0005 \cdot t_{\text{н}} \quad (2)$$

Для подтверждения корреляционной связи между рассматриваемыми параметрами был проведен анализ, в результате которого определен коэффициент Стьюдента с доверительной вероятностью $P_0 = 0,95$:

$$T_{\text{ст. расч.}}=8,06; \quad T_{\text{ст. табл.}}=1,97. \quad (3)$$

Так как $T_{\text{ст. расч.}} > T_{\text{ст. табл.}}$ подтверждается наличие статистической связи между $\bar{n}_{\text{ВД}}$ и $t_{\text{н}}$. Модель (2) показывает, что изменение температуры окружающей среды на 1°C приведет к изменению частоты вращения РВД на 0,05%. Таким образом, для дальнейшей разработки модели температурного состояния масла, необходимо использовать приведенную частоту вращения [4]:

$$\bar{n}_{\text{пр ВД}} = \bar{n}_{\text{ВД}} - b(t_{\text{н}} - 15) \quad (4)$$

где b – коэффициент регрессии, рассчитанный при построении модели (2), $b = 0,0005$.

Также необходимо проверить влияние температуры окружающей среды на температуру масла на выходе из опоры. На рисунке 3 представлена зависимость $\bar{t}_{\text{м. вых.}} = f(t_{\text{н}})$.

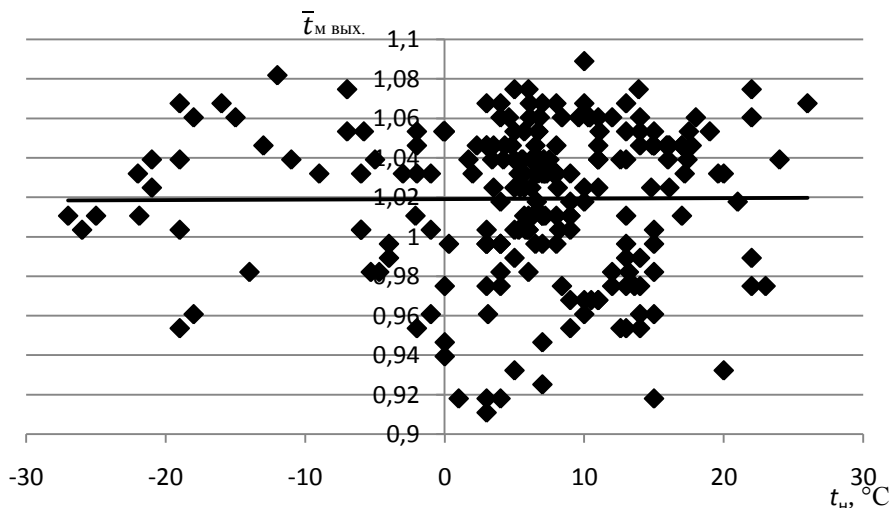


Рис. 3. Зависимость относительной температуры масла на выходе из опоры ТВД от температуры окружающей воздуха

Корреляционный анализ зависимости $\bar{t}_{\text{м. вых.}} = f(t_{\text{н}})$ не выявил значимой взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами, поэтому приведение к САУ температуры масла на выходе из опор не требуется.

Таким образом, в дальнейшем рассматривается зависимость $\bar{t}_{\text{м. вых.}} = f(\bar{n}_{\text{пр ВД}})$, представленная на рисунке 4.

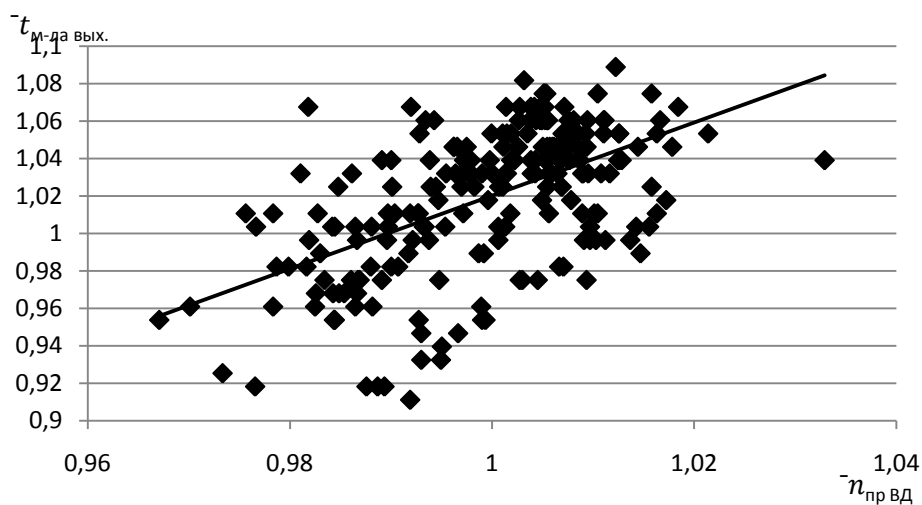


Рис. 4. Зависимость относительной температуры масла на выходе из опоры ТВД от относительной приведенной частоты вращения РВД

Корреляционный анализ показал наличие зависимости между $\bar{t}_{\text{м. вых.}}$ и $\bar{n}_{\text{пр ВД}}$. Получен значимый коэффициент корреляции $r = 0,55$. Линейная модель, описывающая

зависимость, представленную на рисунке 4, имеет следующий вид:

$$\bar{t}_{м\text{ вых}} = 1,9533 \cdot \bar{n}_{пр\text{ ВД}} - 0,9331 \quad (5)$$

Полученная модель показывает, что увеличение $\bar{n}_{пр\text{ ВД}}$ на 1% приведет к увеличению $\bar{t}_{м\text{ вых}}$ примерно на 2%.

Далее оценивается влияние наработки на температуру масла на выходе из опоры ТВД.

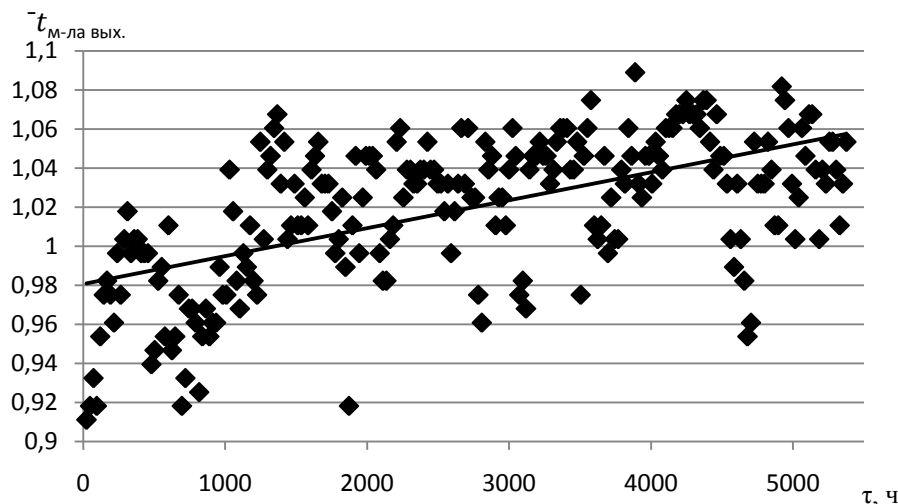


Рис. 5. Зависимость относительной температуры масла на выходе из опоры ТВД от наработки

Из рисунка 5 видно, что с увеличением наработки, температура масла на выходе из опоры ТВД увеличивается. Проведенный корреляционный анализ подтвердил наличие связи между $\bar{t}_{м\text{ вых}}$ и τ . Получен значимый коэффициент корреляции $r = 0,59$. Линейная модель, полученная в результате анализа, имеет следующий вид:

$$\bar{t}_{м\text{ вых}} = 0,9805 + 0,0000143 \cdot \tau \quad (6)$$

Полученная модель показывает, что наработка в 1000 часов приводит к росту $\bar{t}_{м\text{ вых}}$ на 1,43 %.

Проведенный статистический анализ показал наличие влияния на температуру масла $t_{м\text{ вых}}$ следующих параметров: $n_{пр\text{ ВД}}$ и τ . Следовательно, для оценки состояния подшипников ГТП в процессе эксплуатации необходимо построение регрессионной модели вида $\bar{t}_{м\text{ вых}} = f(\bar{n}_{пр\text{ ВД}}, \tau)$.

Таким образом, предложенный метод диагностики позволит непрерывно контролировать состояние опор ГТП. В совокупности с другими методами диагностики предложенный метод позволит более достоверно оценить состояние опор. Кроме того, данный метод может позволить исключить периодический слив масла, с целью определения начала износа подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели – Пермь: Изд-во ОАО «Авиадвигатель», 2006 г. – 1204 с.
2. Старцев Н.И., Новиков Д.К., Фалалеев С.В. Конструирование основных узлов и систем авиационных двигателей и энергетических установок – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010 г. – 117 с.
3. Демидович В.М. Исследование теплового режима подшипников ГТД – Москва: Изд-во «Машиностроение», 1978 г. – 172 с.
4. Боровик В.О., Ахмедзянов А.М., Арьков Ю.Г., Алаторцев В.П. Методы обработки результатов испытаний серийных ГТД – Уфа: Изд-во Уфимского ордена Ленина авиац-го инст-та, 1982 г. – 124 с.

ОБ АВТОРАХ



Костров Владислав Сергеевич, студент 5 курса специальности «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» ФАД УГАТУ, степень бакалавра экономики по направлению «Экономика» (ИНЭК, УГАТУ, 2012).

e-mail: infiniti-kz@mail.ru



Зырянов Алексей Викторович, доц. каф. авиац. двигателей, ст. научн. сотр. НИЛ САПР-Д, дипл. инженер по технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей (УГАТУ, 2003). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двигателям и энергоустановкам летательн. аппаратов (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. проектирования авиационных ГТД, планирования эксперимента.

e-mail: aleksfox@inbox.ru



Абдуллин Булат Ринатович, доц. каф. авиац. двигателей, магистр техники и технологии по направлению «Авиа- и ракетостроение» (УГАТУ, 2000). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двигателям и энергоустановкам летательн. аппаратов (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. проектирование и доводка авиационных двигателей.

e-mail: parallaks@mail.ru

УДК 621.001.2:658.512.4

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В MS ACCESS ПО ЕДИНЫМ И УЗЛОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ГТД

Поезжалова С. Н.

Основой компьютерного моделирования авиационных двигателей нового поколения являются электронные базы данных единых технологий. Рассмотрим метод формирования таких электронных баз данных для авиационных двигателей более подробно.

К авиационному двигателю предъявляют весьма жесткие технические требования не только по тяге или мощности, но и по возможностям использования в альтернативных технологиях, например, в технологиях двойного назначения или в инновационных технологиях, для создания новых летательных аппаратов, тактико-технические характеристики которых должны превосходить показатели лучших зарубежных аналогов. По этой причине приоритетными техническими требованиями к рассматриваемым изделиям относят не только тягу, но и удельные параметры, ресурс, надежность. Для удовлетворения таких требований создать современный авиационный двигатель без применения методов науки, новейших конструкционных материалов, а также высоких и критических технологий не представляется возможным [1].

Проведен обзор патентных документов, а именно изобретений, полезных моделей и промышленных образцов, размещенных в базе данных Роспатента для определения высоких и критических технологий в области создания новейшей авиационной техники [2, 4]. По результатам обзора патентной информации построена база данных по узловым технологиям для выполнения дальнейших работ по обеспечению технологической готовности к созданию авиационных двигателей нового поколения (рис. 1). Сбор материала проводится по каждому узлу газотурбинного двигателя, т. е. рассматриваются патентные документы по вентилятору, компрессору, камере сгорания, турбине, форсажной камере и реактивному соплу.

В разработанной электронной базе данных (рис. 1) представлены данные, факты, современные разработки, отечественные и зарубежные программы НИР, НИОКР и производства по следующим разновидностям самолетов-истребителей: истребители-перехватчики, самолеты-истребители вертикального взлета и посадки, многофункциональные высокоманевренные истребители и истребители-бомбардировщики, дальние и высотные самолеты-истребители. Все отобранные патентные документы, содержащиеся в базе, направлены на повышение главного показателя совершенства авиационного двигателя – тягу ($\kappa\Gamma$), а также степень сжатия компрессора и температуру газа перед турбиной ($^{\circ}K$).

Следующее окно электронной базы данных (рис. 2) содержит узловые технологии (в виде патентных документов) для обеспечения технологической готовности к созданию авиационных двигателей по основным узлам современного газотурбинного двигателя, это вентилятор, компрессор, камера сгорания, турбина, форсажная камера и реактивное сопло.

Кроме этого, выделены отдельными кнопками новейшие разработки и конструкторские идеи, которые не вписываются в обычную схему создания или работы современного газотурбинного двигателя – это интеллектуальный двигатель (рис. 4), атомный газотурбинный двигатель (рис. 2), пульсирующий воздушно-реактивный двигатель, а также сверхзвуковой пульсирующий детонационный прямоточный воздушно-реактивный двигатель (рис. 2).



Рис. 1. Главное окно электронной базы данных



Рис. 2. Окно электронной базы данных по узловым технологиям авиационных двигателей в системе MS Access

«Кликнув» по кнопке, соответствующей какому-либо узлу авиационного двигателя (рис. 2), можно открыть окно (рис. 3), содержащее следующие вкладки: данные аналитического обзора научной литературы, данные НИОКР, данные опытно-технологических работ, патентной статистики, а также данные по результатам выставок.

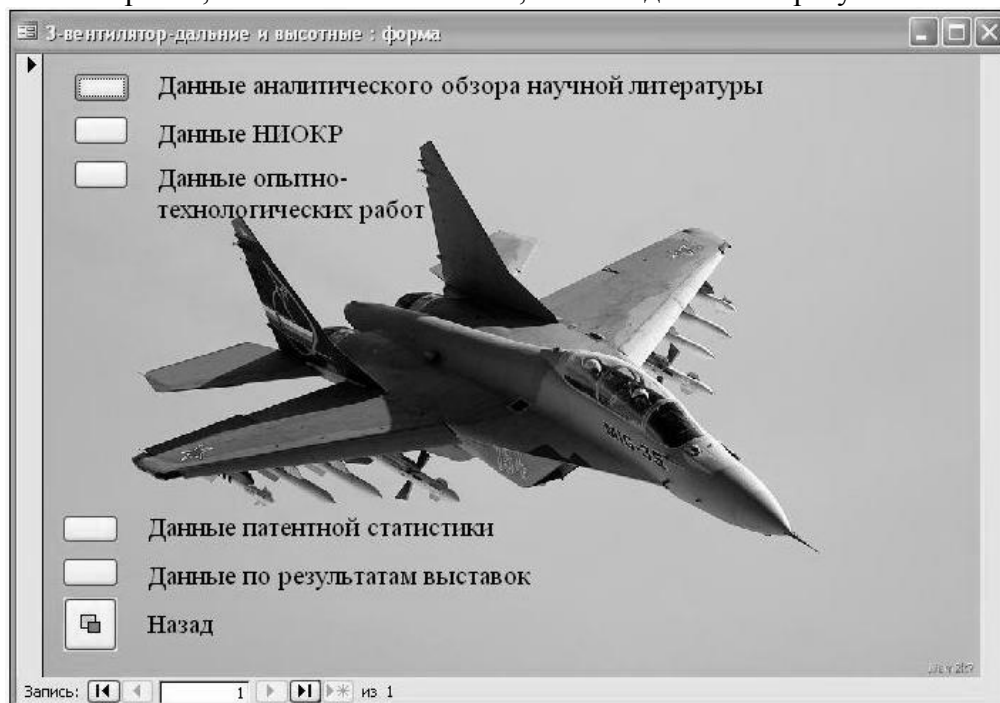


Рис. 3. Информационное окно по дальним и высотным самолетам-истребителям

Интеллектуальный двигатель (ИД)

По этому направлению работ будут разрабатываться, испытываться и передаваться технологии, обеспечивающие перспективные концепции аэродинамики, конструкционных

материалов и конструкторских решений в комбинации с активным управлением безопасностью и техническим состоянием, интеграцией самолетных подсистем и информационных технологий, чтобы обеспечить новый уровень возможностей, боеживучесть и доступность для существующих, разрабатываемых и перспективных боевых комплексов различного назначения (крылатые ракеты, беспилотные и пилотируемые летательные аппараты) [1].

Интеллектуальный двигатель будет создаваться на базе универсального газогенератора (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид универсального газогенератора, на основе которого создан ИД

По ИД необходимо отметить следующее:

По сравнению с базовым интеллектуальный двигатель будет характеризоваться следующими показателями [1]:

- увеличенным на 10% отношением R/G_B ;
- уменьшенным на 35% отношением $M_{дв}/G_B$;
- уменьшенным на 15% удельным расходом топлива;
- меньшим на 10% временем разработки;
- меньшей на 20% стоимостью;
- меньшей на 10% стоимостью производства деталей;
- меньшим на 30% временем сборки;
- меньшим на 50% временем технического обслуживания;
- иметь 10% общих деталей.

При создании интеллектуального двигателя (рис. 4) будут проводиться работы по следующим направлениям:

- узлы двигателя;
- интеграция подсистем;
- интеграция воздухозаборника и сопла;
- активное управление;
- управление техническим состоянием.

Такой показатель интеллектуального двигателя как долговечность также принимается в рассмотрение. Важность этого направления связана с тем, что до 50-60% незапланированных снятий двигателей с летательного аппарата связано с вопросами долговечности, причем половина – с долговечностью «горячей» части. Кроме того, долговечность сильно влияет на стоимость технического обслуживания двигателей, находящихся в эксплуатации. В рамках этого направления будут проводиться следующие работы:

- прогноз ресурса;
- оценка теплового состояния «горячей» части;
- неразрушающие средства контроля;
- материалы и покрытия;

- препарирование;
- изготовление и ремонт;
- анализ конструкции [1].

Для *прогноза ресурса* будут разработаны физические модели, с помощью которых будут учитываться изменение свойств теплозащитных покрытий и конструкционных материалов, продолжительность времени работы на режимах с высокой температурой газа и комплексной нагрузкой.

Разработкам технологий для *оценки теплового состояния «горячей» части двигателя* будет уделяться основное внимание на первом этапе работ по программе VAATE (подробно описанная в базе данных в разделе данных по зарубежным научно-техническим программам и инновационным проектам). Будут рассмотрены конструкции, в которых объединены жаровая труба и сопловой аппарат турбины, изготовленные из материала с низким удельным весом, проведены исследования по газовой динамике, теплообмену, охлаждению в турбине и оптимизации камеры сгорания.

В *области неразрушающих средств контроля* будут разработаны технологии, обеспечивающие увеличение ресурса деталей двигателя и уменьшающие стоимость производства.

По направлению *материалы и покрытия* будут разработаны материалы на основе никелевых сплавов и покрытия, увеличивающие ресурс деталей «горячей» части и значительно сокращающие стоимость технического обслуживания в результате увеличения времени между снятиями двигателя на ремонт, методы оценки ресурса для металлических, интерметаллических и керамических материалов.

В *области препарирования* будут разработаны высокотемпературные измерительные системы, для того, чтобы выполнить цели программы VAATE по узлам, управлению техническим состоянием, оценке воздействия на окружающую среду и проведению испытаний на долговечность. Первоочередной задачей будет разработка высокотемпературных средств измерений температуры газа и поверхности деталей и датчиков для определения технического состояния.

В *области изготовления и ремонта* будут разрабатываться технологии, способствующие уменьшению стоимости и увеличению ресурса деталей. В первую очередь будут разрабатываться ремонтные технологии для определения дефектов и исправления размеров деталей из металлических и керамических материалов, по системам покрытий со слабым воздействием на окружающую среду.

Работы по программе VAATE приведут к разработке революционных технологий, которые позволят создать двигатели различного назначения, обладающих очень высоким уровнем характеристик и показателей.

Окна электронной базы данных, в которой обобщены патенты, промышленные образцы и полезные модели по другим узлам авиационного двигателя показаны на рис. 5-8.

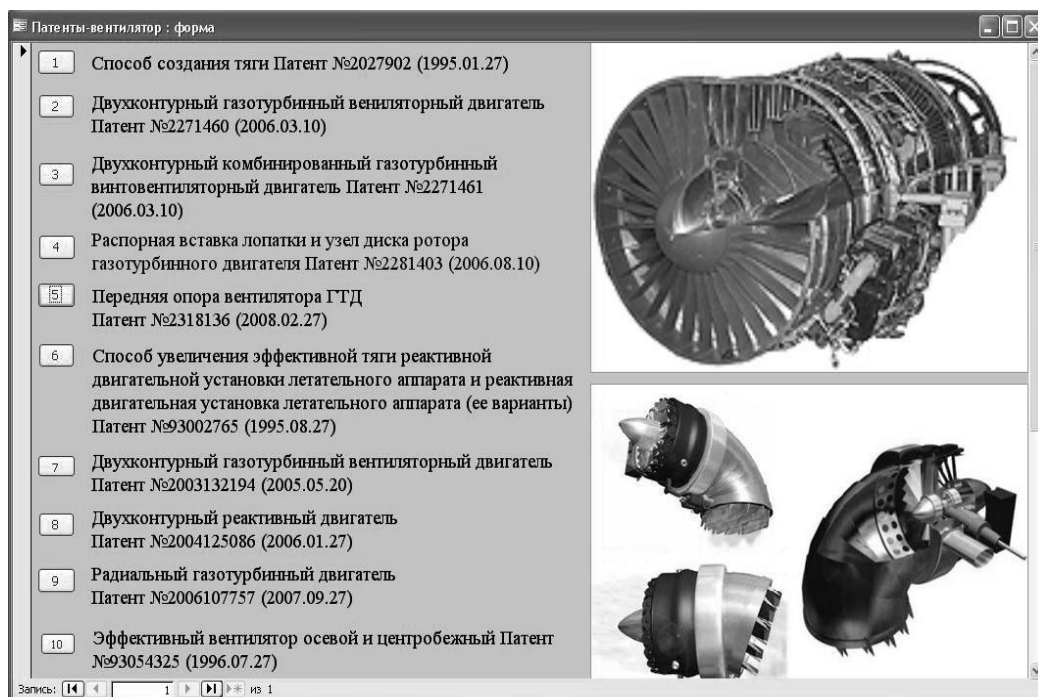


Рис. 5. Окно по вентилятору



Рис. 6. Окно по камере сгорания



Рис. 7. Патенты по турбине



Рис. 8. Патенты по форсажной камере

Анализируя данные патентной статистики по высокоманевренным истребителям и многоцелевым ударным самолетам зарубежной военной авиации, можно сделать вывод, что они характеризуются высоким уровнем температуры газа перед турбиной 1850...1950 °K, малой величиной степени двухконтурности и существенно улучшенными массово-габаритными показателями. Двигатели имеют отношение тяги к массе $R_{\text{ф}}/M_{\text{дв}} = 9...10$, высокую лобовую тягу, минимальное число деталей, существенно улучшенные эксплуатационные характеристики (ресурс составляет 50...100% ресурса планера, надежность на 60...80% выше, трудоемкость технического обслуживания в 2...3 раза меньше, стоимость жизненного цикла примерно в 1,3 раза меньше по сравнению с теми же параметрами двигателей 4-ого поколения, которые находятся в эксплуатации) [3]. Они обеспечивают крейсерский полет со сверхзвуковой скоростью на нефорсированном режиме, высокую маневренность и высокие взлетно-посадочные характеристики, а также низкий уровень заметности и высокую боевую живучесть.

Кроме сказанного, электронная база данных позволяет получить информацию для:

- улучшения аэродинамических характеристик и повышения нагруженности лопаточных машин;
- применения управления пограничным слоем путем его сдува и отсоса;
- уменьшения уровня эмиссии камеры сгорания с обедненной зоной горения или с каталитическим горением, стабилизации процесса горения применением воздействия электрическим полем, подачи топлива через микроламинатные и микроволновые плазменные форсунки;
- снижения уровня шума на взлете;
- улучшения характеристик на крейсерских режимах;
- применения конструкционных материалов с «памятью формы».

Анализ тенденций развития авиационных двигателей по электронной базе данных показал, что происходит постоянный рост качественных параметров двигателей, выражающийся в улучшении экономичности, снижении уровней шума и эмиссии вредных веществ, повышении надежности и увеличении ресурса вплоть до значений ресурса планера летательного аппарата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в данной статье метод формирования электронных данных для определения базовых (перспективных, проектных, директивных) технологий авиадвигателестроения и норм времени разработки проектов и программ технического перевооружения производства обеспечивает разработку авиационных двигателей нового поколения и позволяет на основе использования компьютерного моделирования получать обоснованные нормативы времени для расчета трудоемкости работ по технологической подготовке производства таких авиационных двигателей.

После проведенной работы по сбору перспективных материалов, данных о современных разработках и конструкторских замыслах по созданию двигателя нового поколения, можно отсортировать малоперспективные технологии, и сформировать «ядро решений» в виде массива наилучших технологических предложений, что осуществляется в соответствующем блоке функциональной модели АСНИ-технологий с помощью метода разработки единых технологий авиадвигателестроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных двигателей / под ред. В. А. Скибина и В. И. Солонина. – М. : ЦИАМ. 2004. 424 с.
2. Селиванов С. Г. Технологическая инноватика. – М. : Наука. 2004. 283 с.
3. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б., Кутин А. А. Инноватика. – М. : Машиностроение. 2007. 721 с.
4. Archibald Russel D. Managing High-Technology Programs and Projects. 2nd Edition. – N.Y. : John Wiley&Sons, Inc. 1992. P. 464.

ОБ АВТОРАХ



Поезжалова Светлана Николаевна, ассистент кафедры технологии машиностроения УГАТУ, магистр техники и технологий (УГАТУ, 2009). Исследования в области высоких и критических технологий авиадвигателестроения, оптимизации технологических процессов с помощью методов искусственного интеллекта

e-mail: poezjalova@mail.ru

УДК 58.001.57

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФТОРИДА АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕ АЛЮМИНИЯ

Храпкова А. Н., Сизяков В. М., Бажин В. Ю.

Обсуждается проблема эффективной корректировки криолитового отношения фторидом алюминия с высокой насыпной плотностью. Изучается возможность уменьшения удельного расхода фторида алюминия в связи с выбором рациональных физико-химических характеристик.

Ключевые слова: фторид алюминия, электролиз алюминия, текучесть.

Мировой выпуск фторида алюминия (по данным Aluminumtoday) в 2011 составил 830 тыс. т, при этом 59 % (490 тыс. т. в год) выпускают китайские производители и экспортируют для других алюминиевых предприятий 120 тыс. т. Другими наиболее крупными представителями на рынке фторидов являются фирмы: Rio Tinto Alcan (Канада) – 60 тыс.т/г; Noralf (Норвегия) – 40 тыс.т/г; DDF (Испания) – 20 тыс.т/г; Fluorsid (Италия) – 80 тыс.т/г; Alufluor (Швеция) – 23 тыс.т/г; ICF (Тунис) – 45 тыс.т/г. Россия на мировом рынке занимает неустойчивое положение, потому что себестоимость производимого алюминия в среднем на 30 % выше, чем у лидера по производству – Китая и остальных перечисленных производителей [1].

Одной из составляющих статей затрат на производство алюминия является удельный расход фтористых солей, а именно фторида алюминия, являющегося основным компонентом криолито-глиноземного расплава. На заводах ОК «РУСАЛ» этот показатель составляет 21-24 кг/т алюминия, на зарубежных предприятиях по данным, опубликованным Alcoa в 2010 году, 15-18 кг/т, что на 20-25 % меньше, в частности, за счет эффективного использования в смесях с глиноземом и организации отдачи сырья через системы АПГ.

Повышение мирового спроса на фторид алюминия связано с тем, что все алюминиевые предприятия переходят на работу с кислыми электролитами ($KO = 2,2-2,5$). При работе с переизбытком AlF_3 происходит изменение физико-химических свойств электролита. Совместно с другими применяемыми добавками в электролит (фторид кальция, фторид магния, фторид лития) он уменьшает температуру плавления электролита, повышает поверхностное натяжение расплава на границе с алюминием, что приводит к увеличению выхода по току, уменьшению удельного расхода электроэнергии. Переход на электролиты с низким криолитовым отношением связан с несколькими причинами. В первую очередь, с изменением плотности электролита приводит к лучшему разделению слоя металла и электролита. Другим важным фактором является то, что с увеличением вязкости электролита, затрудняется появление металлического тумана,

улучшается транспортировка глинозема в электролит. Другим важным свойством является повышение поверхностного натяжения на границе электролит-углерод (материал подины), что повышает срок службы катодного устройства и позволяет поддерживать меньшие значения уровня металла в шахте ванны (уменьшение незавершенного производства).

В процессе электролитического получения алюминия постоянно происходят изменения состава криолит-глиноземного расплава, которые сопряжены с изменениями криолитового отношения по причине потерь фторида алюминия. Ранее были выделены следующие механизмы потерь фтора [2-4]:

- непосредственный гидролиз электролита с образованием HF за счёт взаимодействия с влагой или углеводородами, вводимых в электролит с глинозёмом, углеродом анода и подсосом воздуха;
- испарение электролита, либо непосредственно в воздух, либо в пузырьки анодных газов;
- увлечение капелек электролита потоком воздуха или анодными газами;
- прямое фторирование анодного углерода, которое наблюдается только во время анодного эффекта;
- непосредственное увлечение газами пыли фторидов, загружаемых в ванну.

Влияние на показатель потерь оказывает качество фторида алюминия, дополнительно проверяются потеря массы при прокаливании, %; массовая доля влаги, %; угол естественного откоса, град.; массовая доля частиц, «-45» мкм; удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$; насыпная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$. Физико-химические свойства фторида алюминия, используемого в производстве в настоящее время, не обеспечивают эффективную корректировку состава криолит-глиноземного расплава и обуславливают высокий удельный расход сырья.

В России годовой выпуск AlF_3 (по данным Aluminumtoday) составляет 70 тыс.т., и основным производителем фторидов является ОАО «Полевской криолитовый завод» (производительность – 45 тыс.т), входящий в состав ОК РУСАЛ. В небольших количествах фторид алюминия выпускают Ачинский АГК, Южно-Уральский криолитовый завод и другие химические предприятия, связанные с получением минеральных удобрений. В России фторид алюминия выпускается по ГОСТ 19181-78, и по ряду требований не соответствует системе международного качества ISO, в частности, по насыпной плотности.

Исследование физико-химических свойств в [Храпкова ЦМ] показало, что фторид алюминия, произведенный ОАО «Полевской Криолитовый завод» имеет сравнительно низкие показатели по установленным критериям для этой продукции, т.е. более высокое содержание фракции «-45» мкм, большие значения индекса пыление и угла естественного откоса, а также плохую текучесть, что исключает возможность обеспечения устойчивой работы автоматических систем питания электролизера. Сравнения проводились с образцом, произведенным ОАО «ФосАгро», и образцом, произведенным в Китае.

Снижение удельного расхода фторида алюминия будет осуществляться из-за уменьшения потерь с пылевыносом и испарением с поверхности электролита. Более того, подача сырья через автоматизированные системы питания приведёт к более эффективной корректировке криолитового отношения, что снизит возможность протекания побочных реакций взаимодействия фторида алюминия с компонентами криолит-глиноземного расплава, такими как непосредственный гидролиз с образованием фтористого водорода при взаимодействии с влагой, прямое фторирование анодного углерода и водорода, растворенного в электролите и содержащегося в материале анода, нейтрализация примесей входящих в состав глинозема (Na_2O и CaO).

Представляет научно-технический интерес провести исследование процесса растворения фторида алюминия в криолит-глиноземном расплаве в условиях низких концентраций глинозема с целью обоснования его доставки в рабочее пространство в

смесях с глиноземом. Проведение лабораторных испытаний по растворению фторида алюминия различных производителей в криолит-глиноземном расплаве позволит установить его усваиваемость в зависимости от различных физико-химических свойств.

Монополия на рынке фторидов китайских производителей приводит к резким колебаниям цен (540-560 \$), но даже по приблизительной оценке (снижение удельного расхода фторида алюминия до 18,5 кг/т алюминия) годовой экономический эффект от перехода на фторид алюминия с высокой насыпной плотностью очевиден.

Список использованной литературы

1. Храпкина А.Н. Корректировка состава криолит-глиноземного расплава через автоматизированные системы питания фтористыми солями. – Цветные металлы – 2012, Красноярск.
2. Васюнина И. П. Потери фторосоединений и возможности их уменьшения / Красноярск: 2005.
3. E.C. Patterson, M.M. Hyland, V. Kielland и B.J. Welch. Understanding the Effects of the Hydrogen Content of Anodes on Hydrogen Fluorides Emissions from Aluminium Cells. – Light Metals, 2001. - p. 365 – 370.
4. Wahnsiedler W.E., Danchik R.S., Haupin W.E., Backenstose D.L., Colpitts J.W. Factors Affecting Fluoride Evolution for Hall-Héroult Smelting Cells. – Light Metals, 1978, Vol. 2. – p. 407-424.

ОБ АВТОРАХ



Сизяков Виктор Михайлович, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой металлургии Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (С-Петербург). Лауреат премии Совета Министров СССР, член Научного Совета Международного Комитета по бокситам, глинозему и алюминию (ICSOBA), член Экспертного совета Международного союза металлургов, Федеральный эксперт научно-технической сферы, председатель диссертационного совета Д212.224.03 при Горном институте, консультант ЮНЕП при ООН член научно-технических советов ОАО «РУСАЛ», ОАО «ФосАгро», КПК «ФосАгро», действительный член ряда общественных академий (Академия горных наук, Международная Инженерная Академия, Петровская Академия наук и искусств, Нью-Йоркская Академия наук и др.), стипендиат Президиума РАН. Награжден орденами «Знак Почета» - 1974г. и «Дружбы» - 2009г.

e-mail: kafmetall@mail.ru



Бажин Владимир Юрьевич, доц. каф. металлургии Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (С-Петербург), дипл. инж. по металлургии алюминия (УрФУ, 1985). Д-р техн. наук по ресурсосберегающим технологиям в производстве алюминия (Горный Университет, 2012). Исследования в области высоколегированных алюминиевых сплавов, биполярных электролизеров, робототехники в производстве алюминия.

e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru



Храпкива Алена Николаевна, аспирант кафедры металлургии Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (С-Петербург) по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов», дипл. инж. по специальности «Металлургия цветных металлов» (Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2011). Исследования в области эффективной питания криолит-глиноземных расплавов фторидом алюминия с высокой насыпной плотностью.

e-mail: khrapkovaal@yandex.ru

УДК 621.001.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ В УЗЛАХ НА ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Суханов А. В.

В связи с бурным развитием информационных технологий в настоящее время в эксплуатацию все активнее внедряются автоматизированные системы диагностики. Суть их работы, как правило, сводится к определению выхода какого-либо параметра газотурбинного двигателя (ГТД) или газотурбинной установки (ГТУ) за допустимые границы (уставки) [1,2]. При этом задача прогнозирования развития отклонения параметра внутри допустимого диапазона не рассматривается. Однако отклонение параметра (или комплекса параметров) может служить диагностическим признаком неисправности узла.

Внедрение алгоритмов отслеживания и распознавания отклонения комплекса параметров в автоматизированную систему диагностики ГТД, ГТУ позволит существенно повысить их контролепригодность и увеличить срок эксплуатации. Одним из решений может стать алгоритм диагностики, основанный на сравнении математической модели, уточняемой в ходе эксплуатации с реальным объектом и определении отклонений.

В настоящее время существует множество подходов к решению задач технической диагностики с использованием инструментария математического моделирования. В работе предлагается подход, основанный на использовании математических моделей, получающих информацию в режиме реального времени из SCADA-системы. Реализация подобного подхода возможна при интеграции системы имитационного моделирования (поэлементная динамическая модель) ГТД со SCADA-системой.

На рис.1 представлена общая структура предлагаемой системы. Автоматизированная система диагностики из SCADA-системы получает данные о режиме работы ГТД или ГТУ (угол установки РУД) и параметры окружающей среды, такие как $T_{\text{н}}$, $P_{\text{н}}$, влажность и т.п. Данные поступают в имитационную модель, которая рассчитывает все параметры на заданном режиме. Данные параметры сравниваются с реальными параметрами объекта, также опрашиваемых SCADA-системой, и результаты сравнения поступают в модуль диагностики, в котором заложен алгоритм, определяющий наличие допустимых и недопустимых отклонений параметров.

Одновременно с этим, используя результаты сравнения, уточняется и математическая модель. Все данные попадают в управляющий модуль, который анализирует полученную информацию, выдает предупреждения о возможных отказах и неисправностях и выдает команды на останов двигателя при аварийных ситуациях.

В работе [4] рассмотрена интеграция SCADA-системы LabView с системой

имитационного моделирования. Изложенный подход был реализован, что позволило получить индивидуальную модель ГТД по результатам испытаний, а также произвести ее уточнение. Предлагаемая система является логическим продолжением данной работы применительно к процессу диагностики ГТД в процессе эксплуатации.

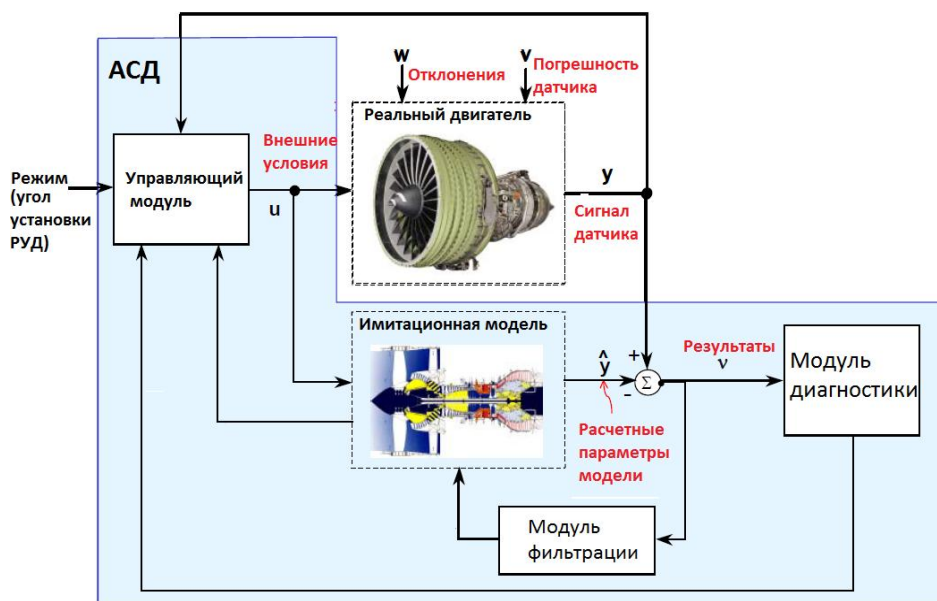


Рис.1. Структурная схема системы автоматизированной диагностики

Для реализации алгоритма диагностирования внутри модуля диагностики предлагается использовать инструментарий экспертных систем. Данное решение является оправданным в связи с наиболее простой реализацией в системе имитационного моделирования. Реализация включает в себе несколько этапов:

- оценка влияния отказов и дефектов узлов ГТД на термогазодинамические параметры;
- оценка взаимного влияния параметров дефектного узла на параметры узла без дефекта;
- анализ набора взаимосвязанных параметров для определения наиболее вероятного местонахождения дефекта;
- разработка экспертной системы, включающей в себя возможные комбинации наборов термогазодинамических параметров и их взаимосвязь с возможными дефектами, возникающими в процессе доводки и эксплуатации изделия.

Возникновение большинства дефектов возможно в нескольких случаях:

- Повреждение в результате попадания постороннего предмета на вход в двигатель. Возможны как риски, задиры, загибы кромок и поверхностей рабочих лопаток, так и их обрыв.
- Повышенная температура в узлах двигателя – камере сгорания, турбине, сопле. В результате воздействия высоких температур могут образоваться трещины и прогары.
- Превышение критической частоты вращения роторов двигателя.
- Износ в процессе эксплуатации, связанный с естественной выработкой ресурса.
- Загрязнение тракта двигателя в процессе эксплуатации.
- Некачественное изготовление (брак) деталей и сборочных единиц ГТД.

При попадании на вход двигателя достаточно крупных посторонних объектов, как правило, возникают такие виды дефектов как выбоины и задиры на поверхности лопаток (рис.2), трещины, образующиеся при взаимодействии лопатки с инородным предметом, загиб кромок и периферийных частей лопаток первых ступеней компрессора. Особо опасными дефектами являются трещины в корневом сечении лопаток, так как при

дальнейшей эксплуатации двигателя они продолжают развиваться, что, в конечном счете, может привести к обрыву лопатки и, как следствие, помпажу.



Рис.2. Дефекты лопаток компрессора ГТД [5]

Данный вид дефектов, как правило, выявляется на стадиях визуального осмотра при предполетной подготовке или послеполетного обслуживания. Термогазодинамически отследить их затруднительно вследствие кратковременного незначительного изменения параметров двигателя при попадании сравнительно небольших объектов. Однако, при возникновении значительной неисправности в компрессоре, могут возникать следующие отклонения параметров от номинальных:

- 1) Возрастание температуры выхлопных газов на выходе из двигателя T_5 ,
- 2) Уменьшение степени повышения давления в компрессоре,
- 3) Изменение соотношения частот вращения роторов компрессоров высокого и низкого давления n_2 / n_1 .

Повышение температуры газа в камере сгорания, турбине и сопле часто связано со сбоями в работе топливной системы двигателя, связанных с системой ее регулирования, а также возникающих при засорении форсунок нагаром. При этом могут возникнуть такие дефекты как прогары и трещины отсеков камеры сгорания, сопловых и рабочих лопаток турбин высокого и низкого давления.

При превышении критических оборотов роторов двигателя велика вероятность повышенного износа в опорах ротора двигателя и как следствие заклинивание. Также возможно увеличение линейных размеров вращающихся узлов, вследствие воздействия на них нерасчетных центробежных сил, что приведет к недопустимому соприкосновению со статором вращающихся узлов и выход их из строя, вплоть до отказа двигателя.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что часть дефектов может быть обнаружена при контроле параметров рабочего цикла ГТД. В качестве показателей могут служить такие приведенные параметры как степень повышения давления в компрессоре, расход топлива, частота вращения роторов, температура газов на выходе из двигателя и угол РУД. Для оценки состояния механической части можно использовать параметры вибрации, а также расход и состояние масла. Этот набор является минимально необходимым для оценки состояния двигателя в эксплуатации и прогнозирования его дальнейшей работы.

Ниже приведен анализ отказов и дефектов узлов газотурбинного двигателя с целью выявления характерного набора термогазодинамических параметров, позволяющих однозначно определить узел двигателя, в котором проявился тот или иной дефект.

Снижение эффективного КПД компрессора может быть вызвано утечками и перетеканием воздуха в ступенях компрессора, заеданием клапана перепуска или не полным закрытием ленты перепуска воздуха. Это приведет к понижению степени

повышения давления в двигателе. Для обеспечения требуемой степени повышения давления в компрессоре необходимо увеличить угол РУД, а следовательно, возрастет и расход топлива. Это повлечет за собой рост температуры газов на входе в турбину, мощности, развиваемой турбиной и увеличение частоты вращения ротора турбины высокого давления (наблюдается увеличение температуры газов на выходе из двигателя, частоты вращения ротора компрессора высокого давления n_2 , расхода топлива G_T).

При загрязнении компрессора (рис.3) также наблюдается снижение КПД. Загрязнение лопаток влияет на их геометрию, увеличивает шероховатость рабочей поверхности и уменьшает проходное сечение решетки профилей, а значит, уменьшается КПД ступеней компрессора и расход проходящего через него воздуха. Загрязнение компрессора может быть результатом при эксплуатации двигателя в морских условиях (соль, повышенная влажность), использования при промывке двигателя неочищенной воды, замасливания первых ступеней компрессора, что приводит к налипанию мелкодисперсной пыли на поверхность лопаток. Как правило, загрязнение устраняется посредством продувки или промывки загрязненных ступеней. При снижении КПД компрессора для достижения требуемой степени повышения давления необходима избыточная мощность и повышение частоты вращения ротора, что влечет повышенный расход топлива и, следовательно, повышенную температуру на входе в турбину (наблюдается увеличение температуры на выходе из двигателя и частоты вращения ротора компрессора высокого давления n_2).



Рис.3. Загрязнение лопаток ГТД солью [6]

Камера сгорания является наименее подверженным диагностике узлом вследствие особенностей конструкции и высоких температур в рабочей зоне. Все эксплуатационные дефекты элементов камер сгорания могут быть разделены на следующие группы [3].

1. Срыв пламени и прекращение горения топливно-воздушной смеси, например, вследствие резкого уменьшения расхода воздуха при помпаже компрессора или резкого уменьшения расхода топлива при падении давления топливоподачи ниже допустимого значения.

2. Повреждения корпусов. Наблюдаются, в основном, усталостные повреждения.

Усталостные трещины чаще всего образуются в зонах сварных швов, фланцев для отбора воздуха, бобышек для крепления агрегатов. Усталостные повреждения возникают от действия вибраций при повышенных монтажных статических нагрузках, изменяющих расчетный характер нагружения при работе двигателя. Встречаются случаи повреждения корпусов из-за их перегрева вследствие заброса горячих газов из жаровой трубы в кольцевой канал при отрицательном перепаде давления на стенках жаровой трубы. При разрушении корпуса основной камеры сгорания происходит резкое повышение давления в мотогондоле или фюзеляже ЛА, деформация и локальный перегрев конструкции.

Факторами, способствующими разрушению корпусов камер сгорания, являются: остаточные напряжения в материале; повышение общей или локальной температуры в камере сгорания, снижающей прочность материала корпуса; наличие сварочных трещин и пор. Если повреждения и разрушения корпуса происходят в процессе эксплуатации вследствие повышенных вибрационных нагрузок, то они характеризуются следующими признаками:

- многоочаговый характер разрушения корпуса;
- массовые случаи усталостного разрушения трубопроводов подвода топлива к клапану запуска, пусковым блокам;
- разрушение фланца заднего корпуса компрессора, газосборника, внутренней обечайки камеры сгорания, элементов крепления корпуса камеры сгорания к сопловому аппарату турбины.

3. Повреждения жаровых труб. Проявляются в виде:

- трещин и деформаций термического происхождения;
- трещин усталостного характера между отверстиями для прохождения воздуха;
- трещин по сварным швам (в том числе, в местах соединения секций жаровой трубы);
- короблений стенок жаровой трубы;
- прогаров стенок (рис. 4).



Рис.4. Прогар жаровой трубы [3]

Возникновение и развитие повреждений жаровых труб при циклических изменениях температуры в значительной степени зависит от физико-механических характеристик используемых материалов: коэффициента теплопроводности, коэффициента термического расширения, предела длительной прочности. Возникновению повреждений жаровых труб способствует нагарообразование на стенках, особенно в области первичной зоны жаровой трубы и на форсунках. Нагарообразование является следствием неполного сгорания топлива, определяется конструктивными особенностями жаровой трубы и отклонениями значений газодинамических параметров в отдельных областях зоны горения от расчетных. В результате неполного сгорания частицы углерода осаждаются на поверхности газозвоздушного тракта, что приводит к изменению условий охлаждения отдельных участков камеры, их перегреву и прогару.

Повреждение жаровой трубы может также возникнуть из-за неравномерного нагрева стенок вследствие нарушения характера распыла топлива отдельными форсунками. Жаровая труба может служить источником вторичных разрушений. Даже при незначительных первичных разрушениях выпавшие кусочки жаровой трубы могут повредить лопатки и диск турбины, вызвать повышенные вибрации элементов конструкции ротора.

4. Повреждения трубопроводов подвода топлива. Наиболее часто повреждения трубопроводов, размещенных на корпусе двигателя, происходят в виде усталостного разрушения и в виде разгерметизации соединений трубопроводов (появления течи). При разрушении или негерметичности трубок и шлангов топливной системы, размещенных внутри проточной части, топливо может засасываться компрессором и попадать в камеру сгорания, вызывая в ней местное переобогащение смеси. Это приводит к затягиванию процесса выгорания, так что пламя омывает лопатки соплового аппарата, а в отдельных случаях выходит и в реактивное сопло.

5. Повреждения топливных форсунок и коллекторов. Проявляются в виде ухудшения распыла топлива, уменьшения его расхода вследствие коксования форсунок и коллекторов или их засорения (в результате попадания производственной стружки, применения недостаточно очищенного топлива, разрушения топливных фильтров). Нарушение характеристик распыла форсунок вызывает местный перегрев стенок камеры сгорания, что проявляется в выпучивании, растрескивании, повышенном окислении материала стенки. Ухудшение распыла топлива форсунками может быть связано с закоксовыванием форсунок, образованием нагара на форсунках или их засорением. Коксование рабочих коллекторов и форсунок вызывается локальной более высокой температурой нагрева элементов конструкции (из-за неравномерности параметров обтекающего их закомпрессорного воздуха, неравномерности лучистых потоков от зоны горения, отклонений размеров). Процесс отложения кокса протекает достаточно быстро, нередко – лавинообразно. Изменение характеристик распыла вследствие коксообразования приводит к увеличению окружной неравномерности газодинамических параметров в жаровой трубе, что негативно влияет на надежность как элементов самой камеры, так и сопловых и рабочих лопаток турбины.

Одним из наиболее информативных факторов, позволяющим судить о наличии неисправности элементов камеры сгорания, является температурное поле в ее выходном сечении. Ряд дефектов камер (прогары и коробления жаровой трубы, оплавление и растрескивание кромок отверстий, коксование форсунок и их разрушение, деформация элементов подвески жаровой трубы и др.) вызывает изменение распределения температуры газа в выходном сечении камеры. На большинстве двигателей контролируется температура газа за турбиной высокого давления. В этом случае выходное температурное поле камеры сгорания трансформируется после прохождения через лопаточные венцы турбины. Как показывает практика, многие особенности распределения температуры газа, связанные с дефектами, при этом сохраняются.

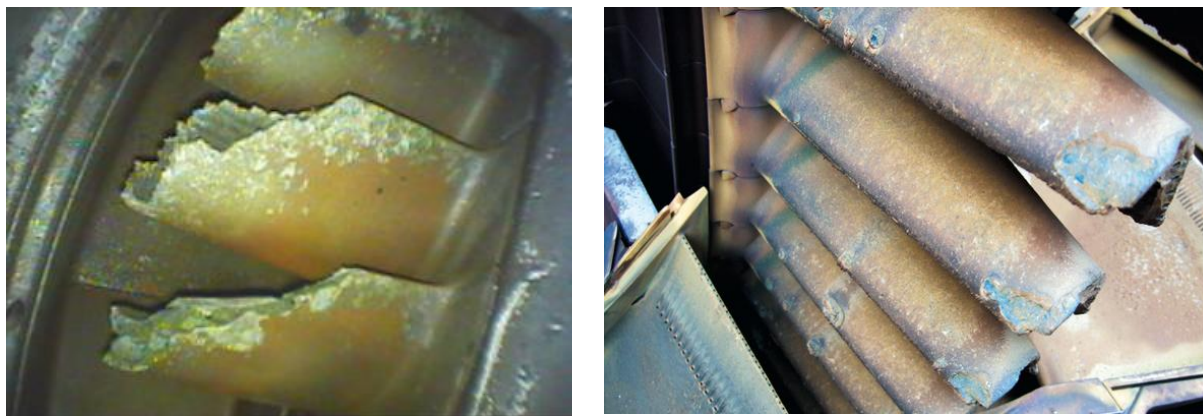


Рис.5. Дефекты рабочих лопаток турбины ГТД [7,8]

Возникновение дефектов в турбине (рис.5) также может быть определено по набору термогазодинамических параметров. Обрыв лопатки в турбине в явной форме скажется на ее характеристике, так как уменьшится полезная мощность, развиваемой турбиной. Как правило, обрыв рабочей лопатки или ее прогар, а также дефекты соплового

аппарата характеризуется падением частоты вращения ротора высокого давления n_2 . При этом для поддержания степени повышения давления в компрессоре π_k необходимо увеличение расхода топлива, что приводит к увеличению температуры на выходе из двигателя. При этом частота вращения ротора низкого давления n_1 не меняется, вследствие малого изменения распределения полезной работы по лопаткам ступени низкого давления.

При обрыве или дефекте в ступени низкого давления будет наблюдаться обратная ситуация: уменьшение частоты вращения турбины низкого давления n_1 , рост температуры на выходе из двигателя T_5 и расхода топлива, и отсутствие резких видимых изменений в ступенях турбины высокого давления.

Повышенный уровень вибрации опор и корпусов газотурбинного двигателя также может служить диагностическим признаком. В зависимости от комплекса параметров, характеризующих развитие того или иного дефекта, вибрация может служить дополнительным параметром, с помощью которого можно определить и локализовать дефект. К примеру, обрыв лопатки в компрессоре или турбине наряду с вышеописанными изменениями в комплексе характерных параметров будет сопровождаться повышенной вибрацией соответствующих опор. Повышенный уровень вибрации корпуса компрессора может свидетельствовать о предломном состоянии, повышенный уровень вибрации в опорах наряду с повышением температуры масла на выходе из опоры может сообщить о повышенном износе и скором заклинивании или разрушении опоры.

Необходимо также отметить, что двигатель является замкнутой системой. Каждый из параметров двигателя связан как минимум с одним параметром в явной или не явной форме. Поэтому в случае изменения величины того или иного параметра без изменения других параметров необходимо рассматривать возможность неисправности или дефекта самого датчика. В первую очередь это касается датчиков, расположенных в горячей части двигателя: камере сгорания, турбине, сопле.

Анализ описанных дефектов двигателя и комплекса характеризующих их параметров представлен в таблице 1.

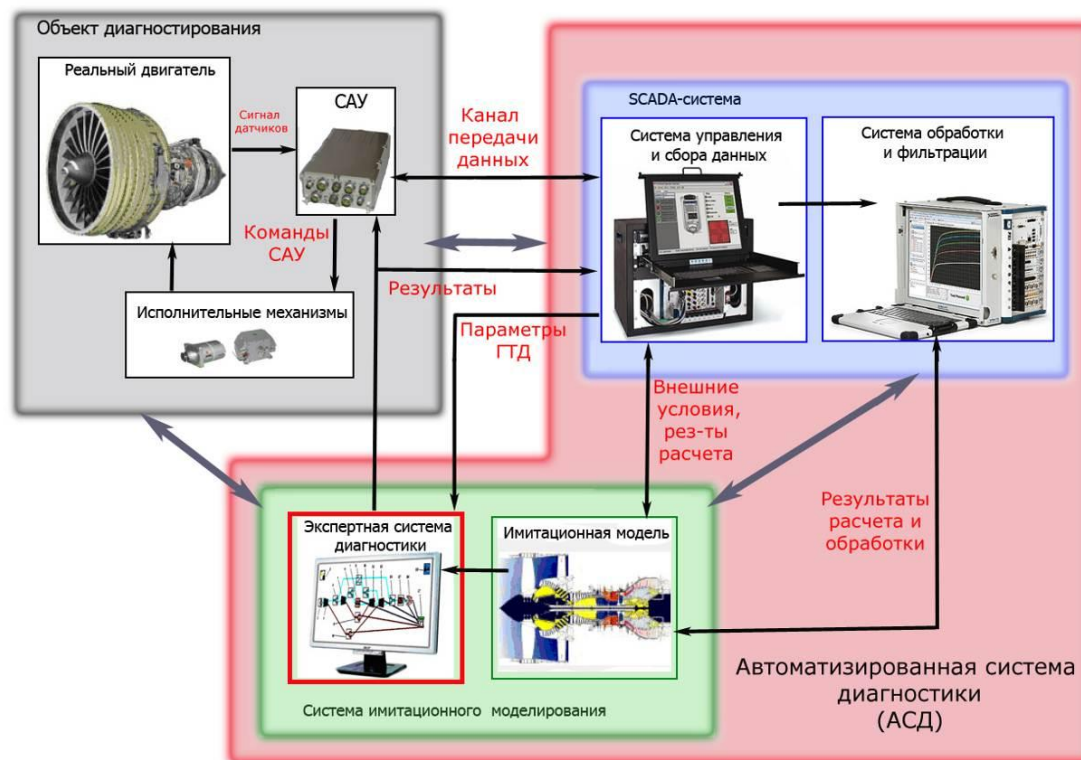


Рис. 6. Комплексная автоматизированная система диагностики ГТД

Таблица 1

Сводная таблица влияния дефектов на параметры ГТД

	n_1	n_2	π_k	T_4	T_5	N_k	N_r	G_b	G_r	G_m	T_m	Вибрация
Попадание предмета на вход ГТД	Изменение соотношения N_2/N_1		Уменьшение		Увеличение	Увеличение						Кратковременное увеличение
Загрязнение лопаток ступеней компрессора		Увеличение			Увеличение	Увеличение			Увеличение			
Обрыв лопатки компрессора			Уменьшение			Увеличение						Увеличение
Помпаж			Пульсации	Увеличение	Увеличение	Уменьшение	Уменьшение	Уменьшение				Резкое увеличение
Визуальный контроль (эндоскоп, бороскоп, люминесцентные методы контроля)												
Срыв пламени в КС							Уменьшение	Уменьшение	Уменьшение			
Прогар жаровых труб				Увеличение	Увеличение							Увеличение
Течь в топливной системе				Увеличение	Увеличение							
Закосовывание топливных форсунок				Уменьшение	Уменьшение				Уменьшение			
Обрыв лопатки турбины	Уменьшение (ТНД)	Уменьшение (ТВД)	Уменьшение		Увеличение	Уменьшение	Уменьшение		Увеличение			Увеличение
Дефекты опор	Уменьшение	Уменьшение	Уменьшение			Уменьшение	Уменьшение			Увеличение	Увеличение	Увеличение

Проведенный анализ дефектов и отказов позволил формализовать задачу создания экспертной системы. При внедрении материалов данного анализа в систему имитационного моделирования совместно с алгоритмом уточнения математической модели по результатам испытаний, а также реализовав алгоритмы выбора решения экспертной системы, появляется возможность получения модуля диагностики (рис.6) в составе единой с математической моделью системы имитационного моделирования для комплексной автоматизированной системы диагностики ГТД.

Развитие предложенной системы заключается в создании алгоритмов управляющего модуля и модуля фильтрации автоматизированной системы диагностики, что будет рассмотрено в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1983. – 206 с.
2. Сиротин Н.Н., Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
3. А. В. Зырянов, Н. С. Сенюшкин, В. Ф. Харитонов Разработка метода диагностики камер сгорания ГТД на основе математического моделирования их рабочего процесса, Вестник УГАТУ, Уфа, УГАТУ, 2012. – Т.16, № 2(47). – С. 98–105.
4. Ахмедзянов Д.А., Суханов А.В., Кишалов А.Е. Обмен данными между SCADA-системой и системой имитационного моделирования авиационных двигателей в процессе испытаний. - Молодой ученый, 2011. — №8 (31), том 1. - С. 50-53.
5. Шулекин В.Т. Характеристика ступени осевого компрессора ГТД с повреждёнными лопаткам. Учебное пособие, М.: МГТУ ГА, 2008. – 90 с.
6. Еникеев Г. Г. Экспериментальные исследования роторных воздухоочистителей газотурбинных двигателей Вестник УГАТУ, Уфа, УГАТУ, 2012. –Т. 16, № 2 (47). – С. 55–64.
7. Электронный ресурс <http://ndt-td.ru>. Дата обращения – 10.04.2013. Режим доступа – свободный.
8. Электронный ресурс <http://www.sulzer.com>. Дата обращения – 10.04.2013. Режим доступа – свободный.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

ОБ АВТОРАХ



Суханов Андрей Владимирович, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. магистра информационных технологий в авиа- и ракетостроении (УГАТУ, 2011). Исследования в области диагностики авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования.

e-mail: flyer.88@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ АВИЦИОННЫХ ГТД (И ГТЭУ НА ИХ ОСНОВЕ)

Мураева М. А., Ахмедзянов Д. А., Абдулин А. Я.

Камера сгорания (КС) (рис. 1) является одним из основных узлов газотурбинного двигателя (ГТД), она в значительной степени определяет его надежность, экономичность, долговечность, а также степень его воздействия на окружающую среду.

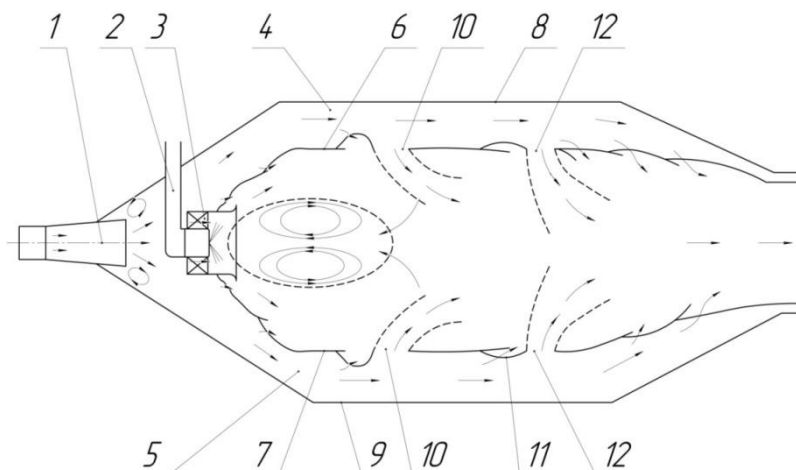


Рисунок 1 – Схема кольцевой камеры сгорания:

- 1 – диффузор; 2 – топливная форсунка; 3 – лопаточный завихритель;
- 4 – наружный кольцевой канал; 5 – внутренний кольцевой канал;
- 6 – наружная стенка жаровой трубы; 7 – внутренняя стенка жаровой трубы;
- 8 – наружный корпус; 9 – внутренний корпус; 10 – основное отверстие зоны горения;
- 11 – отверстия системы охлаждения; 12 – основное отверстие зоны разбавления

Камера сгорания ГТД должна удовлетворять широкому кругу требований, важность которых зависит от типа двигателя. Общими для всех КС являются следующие требования [1]:

1. Высокая полнота сгорания топлива.
2. Надежный и плавный запуск во всем рабочем диапазоне высот и температур окружающей среды.
3. Широкие пределы устойчивого горения.
4. Отсутствие пульсаций давления и других проявлений неустойчивости, вызванных процессом горения.
5. Низкие потери полного давления.
6. Выходное поле температуры газа должно удовлетворять условию максимальной долговечности рабочих и сопловых лопаток турбины.
7. Низкий уровень выбросов дыма, несгоревшего топлива и газообразных веществ, загрязняющих атмосферу.
8. Минимальная стоимость конструкции и простота ее обслуживания при эксплуатации.
9. Конфигурация и размеры камеры сгорания должны быть совместимы с контуром двигателя.

Для авиационных ГТД важнейшими дополнительными требованиями являются малые масса и габариты; в стационарных газотурбинных энергетических установках (ГТЭУ) большее внимание уделяется таким требованиям, как ресурс и возможность

работы на различных видах топлива.

1. Исследование процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей

Горение в КС ГТД обычно происходит в условиях трехмерного турбулентного двухфазного течения. Сложность и недостаточная изученность процессов в таких течениях не позволяют рассчитывать характеристики процесса горения и определять оптимальную конструкцию КС на стадии ее проектирования. В связи с этим при проектировании и доводке камер, а также при анализе результатов испытаний приходится пользоваться эмпирическими данными, полученными в процессе разработки предыдущих образцов КС и при экспериментировании с упрощенными модельными камерами и их узлами.

Течение в КС имеет пространственную структуру с отрывными и циркуляционными зонами, струйными течениями, высокой степенью турбулентности, меняющейся внутри рабочего объема. Экспериментальное исследование процессов в камере сгорания затруднено в связи с высокой температурой в основных зонах (1800...2200 К), химическим воздействием продуктов сгорания. Вследствие этого отсутствует база экспериментальных данных, следовательно, практически отсутствуют адекватные математические модели камеры сгорания [2].

Моделирование процессов горения позволяет сократить время и стоимость разработки конструкции КС и ее доводки за счет уменьшения объема натурных испытаний. Численный эксперимент позволяет определить параметры рабочего процесса в каждой точке расчетной области, в которой происходит горение, оценить влияние того или иного конструктивного решения на эффективность процесса горения, спрогнозировать уровень вредных выбросов [3].

Численное моделирование процессов горения выполняется на этапах детальной проработки конструкции, в процессе ее оптимизации и доводки, а также при проведении численных экспериментов.

2. Особенности численного моделирования рабочего процесса камер сгорания в программном комплексе ANSYS CFX

В настоящее время для моделирования горения используются мощные универсальные вычислительные пакеты. К ним относятся ANSYS CFX, ANSYS Fluent, NASTRAN и другие. В указанных выше программах для расчета применяется метод конечных элементов или метод конечных объемов.

Процесс численного моделирования горения можно разделить на несколько этапов [2, 4]:

- 1) создание геометрической модели объекта;
- 2) разбиение геометрической модели на конечно-элементную сетку;
- 3) создание (выбор) модели реакции;
- 4) создание (выбор) модели горения;
- 5) выбор модели турбулентности;
- 6) выбор модели излучения;
- 7) задание граничных условий;
- 8) задание начальных условий;
- 9) инициализация процесса горения;
- 10) настройка решателя, решение задачи;
- 11) анализ результатов.

Кратко охарактеризуем каждый из этапов применительно к расчетному комплексу ANSYS CFX.

Геометрическая модель КС ГТД состоит, как правило, из совокупности сложных

поверхностей (рис. 2), поэтому для ее построения используются специализированные CAD (Computer-Aided Design) программы (например, Unigraphics, SolidWorks [2]).

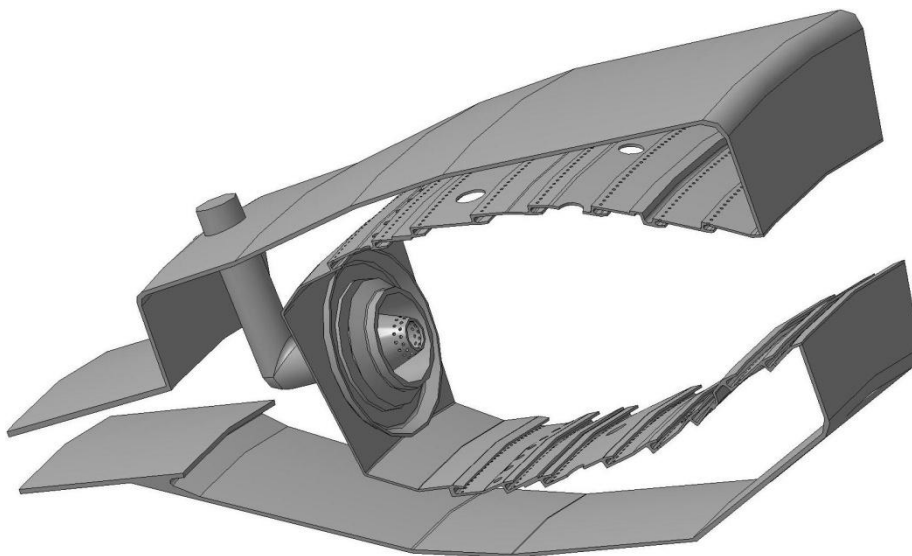


Рисунок 2 – Геометрическая модель камеры сгорания

Создание сетки ведется либо в модуле Mesh (тип сетки тетраэдрическая, с призматическими слоями вдоль стенок для разрешения пограничного слоя), либо с помощью специального генератора сетки (рис. 3). В состав ANSYS входит генератор сетки ANSYS ICEM CFD, который позволяет генерировать любой тип сетки в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

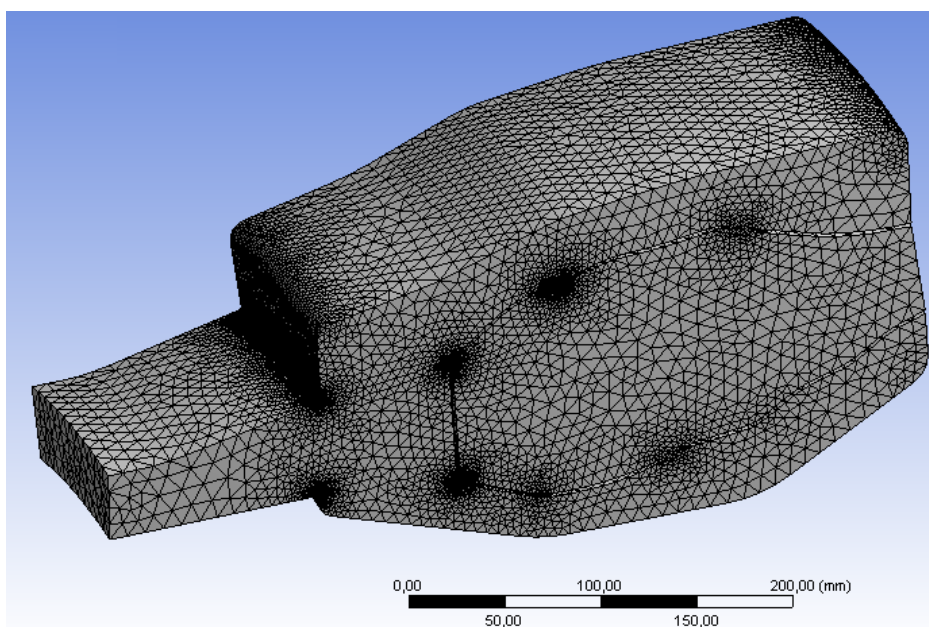


Рисунок 3 – Сеточная модель камеры сгорания

Создание расчетной модели (от модели горения до задания начальных условий) ведется в модуле CFX-Pre.

Модель реакции формируется путем создания нового материала, в котором задаются его необходимые свойства, импортируется модель реакции горения (рис. 4). В

библиотеке ANSYS CFX имеются следующие типы реакций: WD1 и WD2 (Westbrook and Druer) – реакции моделируют полное сгорание газообразного топлива в одну или две (с образованием монооксида углерода) стадии [4, 5]; WGS (Water Gas Shift) – предполагает моделирование реакции между монооксидом углерода и водородом [4, 6]; FLL STP – относится к реакции библиотеки Flamelet. К этим моделям реакции при необходимости оценки образования оксидов углерода добавляется модель реакции NO PDF, основанная на турбулентных колебаниях температуры [4]. Для реагирующих смесей целесообразно использовать материалы группы Gas Phase Combustion (сгорание в газовой фазе), предполагающей изменение свойств материала в зависимости от выделяемого тепла [4].

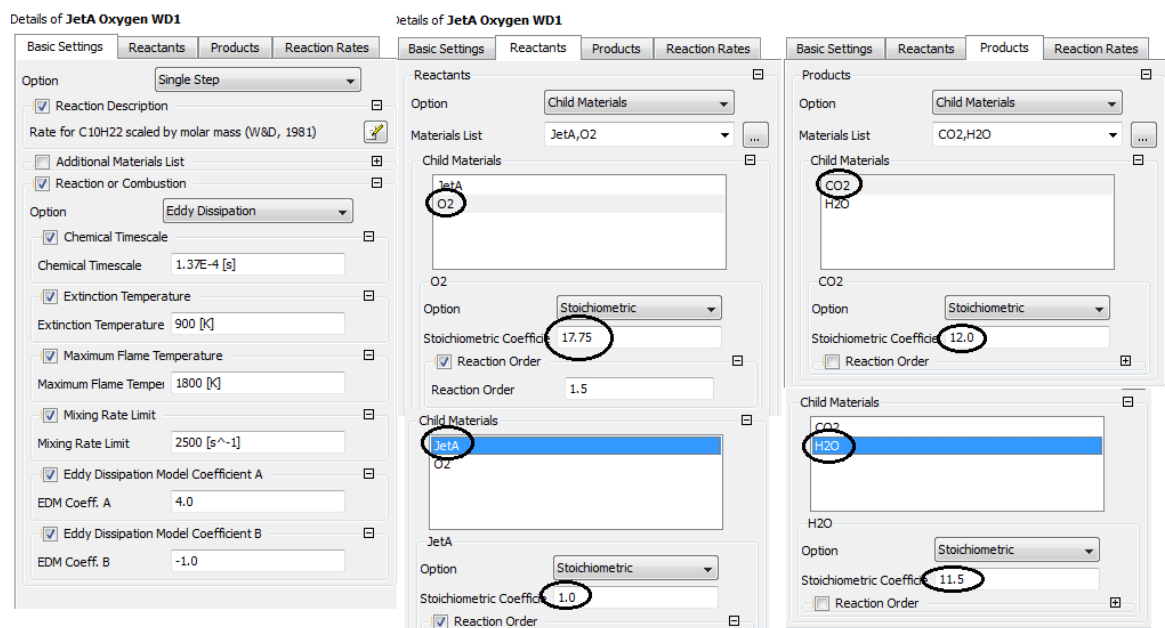


Рисунок 4 – Пример создания реакции

Модель горения, турбулентности и излучения выбираются в свойствах расчетной области.

Кратко охарактеризуем модели горения ANSYS CFX [4]. Одной из самых распространенных для инженерных расчетов является модель EDM (Eddy Dissipation Model – модель распад турбулентного вихря), моделирующая кинетический механизм горения полностью перемешанной смеси. Модель FRC (Finite Rate Chemistry – конечная скорость химической реакции) предполагает диффузионный механизм горения. Есть так же комбинированная EDM/ FRC модель, которую целесообразно применять, если скорость перемешивания реагирующих компонентов и скорость химической реакции сопоставимы. Эта модель, как и FRC, требует задание данных о кинетике протекающих реакций. Более сложная модель Laminar Flamelet (микроламинарные пламена) моделирует кинетический механизм горения но, в отличие от EDM, без предварительного перемешивания. Модель BVM (Burning Velocity Model – модель скорости горения) или иначе TFC (Turbulent Flame Closure – замыкание турбулентного пламени) позволяет решать задачи с частичным или полным предварительным перемешиванием реагирующей смеси.

В процессе моделирования горения применяются те же модели турбулентности, что и при адиабатном течении. Самыми распространенными являются k-ε и SST модели. Модель k-ε целесообразно применять на грубой сетке для анализа интегральных характеристик, однако эта модель не позволяет рассчитывать обратные вихревые течения [7]. SST (Shear Stress Transport) – модель переноса сдвиговых напряжений применима на сетке с разрешением пограничного слоя около 10...15 ячеек для

подробного анализа пристеночных областей, позволяет рассчитывать обратные вихревые течения [7].

В ANSYS CFX используются четыре модели излучения. Самая простая модель Rosseland подходит для расчета оптически толстых сред, в которых быстро происходит поглощение лучистой энергии. Эта модель не позволяет рассчитывать пристеночные области и области, удаленные от зоны непосредственного горения. Модель P1 (Differential Approximation) требует больше ресурсов компьютера, подходит для оптически тонких сред и позволяет рассчитывать распределение лучистой энергии в областях, удаленных от зоны горения. Модель Discrete Transfer предполагает разбиение расчетной области на множество лучей, а модель Monte Carlo моделирует поведение фотонов в расчетной области и их взаимодействие с окружающей средой. В двух последних моделях заложено дискретное представление об энергии излучения [4]. Для инженерных расчетов горения жидких и газообразных топлив чаще всего применяют модель P1.

Граничные условия (рис. 5) на входе в расчетную область (Inlet) задаются отдельно для основного потока и топлива и зависят от поставленной задачи и выбранных моделей реакции и горения. Начальные условия необходимы для инициализации процесса горения и анализа нестационарного течения, однако возможна и полностью стационарная постановка задачи.

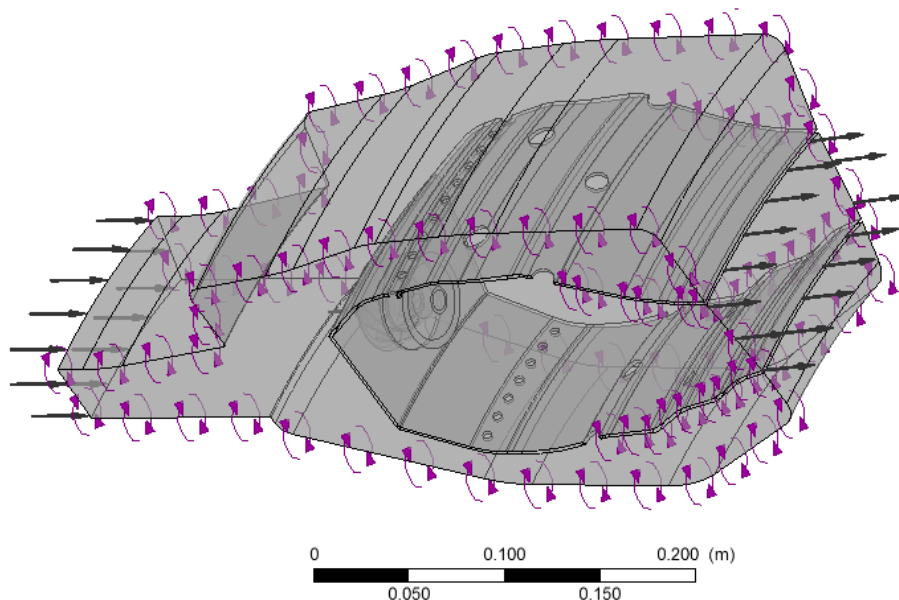


Рисунок 5 – Расчетная область камеры сгорания с граничными условиями

Несмотря на широкий выбор моделей реакций и горения, моделирование рассматриваемого типа задач сопряжено с множеством трудностей.

3. Проблемы моделирования рабочего процесса камер сгорания

Горение, прежде всего, сочетает в себе ряд физических и химических процессов (течение, химическая реакция, излучение), имеющих разную природу, это обуславливает трудность обеспечения адекватности и точности моделирования горения. Задача еще более усложняется, если расчетная область представляет собой многофазную среду, как например, при моделировании распыливания жидкого топлива, получить адекватное решение подобной задачи в настоящее время не представляется возможным [3].

Оценка адекватности решения задачи производится путем ее верификации, что

так же представляет проблему, поскольку необходим натурный эксперимент, позволяющий определить не только интегральные параметры, но и распределение величин по объему. Для проведения подобного эксперимента необходимо сложное, дорогостоящее оборудование.

Ограничение вычислительных возможностей современных компьютерных систем, имеющихся в распоряжении, также затрудняет процесс моделирования. Установка расчетных кластеров на предприятиях или в учебных заведениях часто является экономически нецелесообразной или просто невозможной из-за высокой стоимости оборудования.

Специалист, занимающийся моделированием горения, кроме навыков работы в расчетных комплексах должен обладать знаниями в области протекания таких процессов как горение, течение, смешение.

Моделирование процессов горения в настоящее время широко применяется в процессе проектирования, доводки и особенно исследованиях камер сгорания авиационных газотурбинных двигателей.

В процессе проектирования моделирование горения позволяет проводить анализ различных вариантов конструкции систем подачи топлива, стабилизации процессов горения с точки зрения обеспечения полноты сгорания, экологических характеристик и требуемого поля температур на выходе из камеры сгорания, а также делать оценку эффективности системы охлаждения стенок жаровой трубы. В качестве примера на рис. 6 приведены примеры результатов моделирования рабочего процесса КС ГТД.

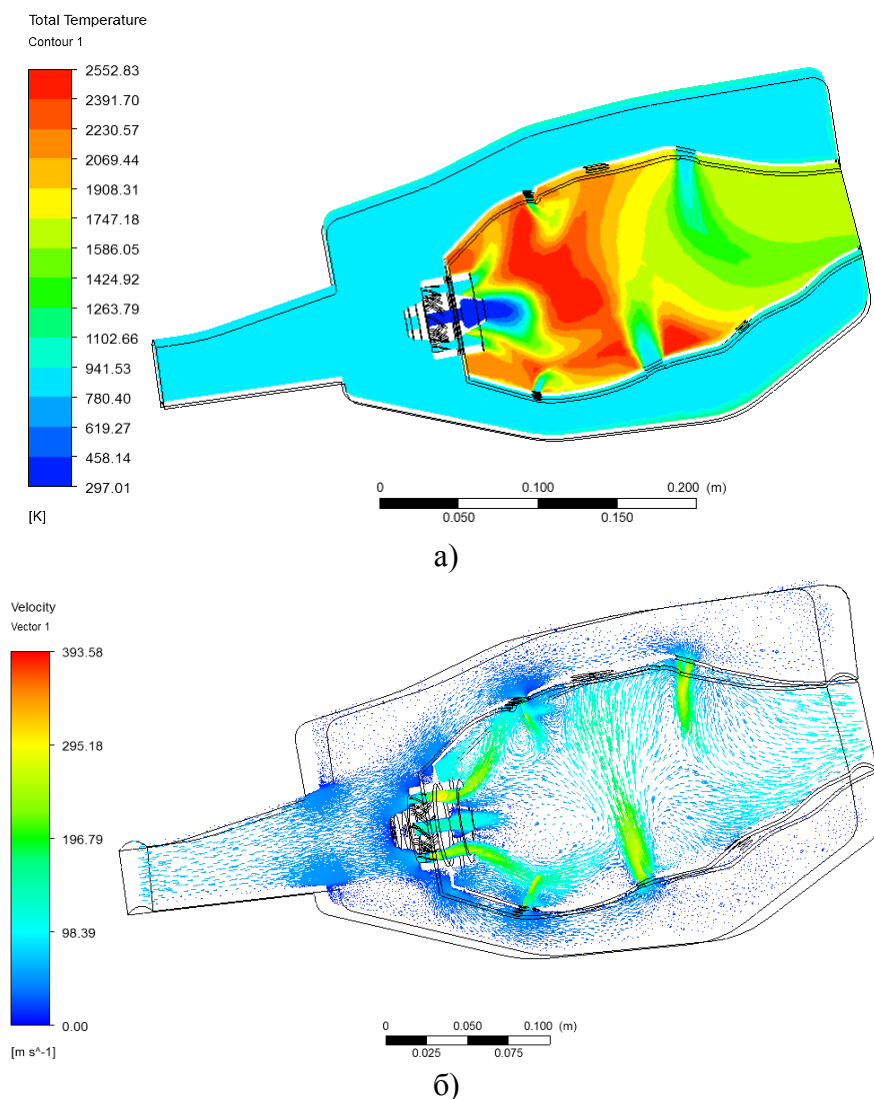


Рисунок 6 – Примеры результатов моделирования рабочего процесса КС ГТД

а) – поле температур в осевом сечении кольцевой КС

б) – векторное поле скоростей в осевом сечении кольцевой КС

Улучшение параметров камеры сгорания требует изменения ее конструкции. В настоящее время наблюдаются тенденции сокращения объема жаровой трубы, усложнения конструкции фронтального устройства, и системы охлаждения стенок. В связи с этим время ведутся многочисленные исследования камеры сгорания в целом и ее элементов в отдельности, значительную долю в этих исследованиях занимают численные эксперименты, в том числе с моделированием горения. Следует отметить, что вычислительный эксперимент не заменяет натурного, а дополняет его возможностью моделирования как реальных условий работы, так и отдельных физических процессов, протекающих в камере сгорания. Кроме того, численный эксперимент позволяет устранить погрешность, присущую натурному, и расширить диапазон независимых варьируемых параметров в процессе проведения эксперимента[2].

Следует также сказать о важности моделирования горения в процессе конвертирования авиационного двигателя. В этом случае, как правило, существенного изменения в конструкцию камеры сгорания не вносят, изменяют только систему подачи топлива в связи с заменой его на газообразное. При конвертировании необходимо обеспечить повышенные экологические требования и высокий ресурс камеры при минимальных конструктивных изменениях. При этом моделированию процессов в камере сгорания отводится значительная роль.

Заключение

В целом, численное моделирование процессов горения является сложной задачей. Для его реализации необходимо, кроме получения академических знаний, овладеть расчетным комплексом, в процессе моделирования учитывать множество параметров, а также иметь возможность провести верификацию задачи. В процессе создания модели следует помнить о расчетных возможностях компьютера, на котором будет решаться задача, и при необходимости, жертвовать точностью и степенью детализации модели.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0142

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД / А. Лефевр // Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 566с.
1. 2. Харитонов, В. Ф. Проектирование камер сгорания: учеб. пособие / В. Ф. Харитонов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 138 с.
2. 3. Высокопроизводительные вычисления в теории турбулентного горения/ А.Ю. Снигирев [электронный ресурс]// Режим доступа – <http://hpc-russia.ru/book1/19.pdf> – 25.03.2013.
3. 4. ANSYS CFX-Solver, Release 11.0: Modeling Guide.
5. Comparison of different global combustion mechanisms under hot and diluted oxidation conditions/ Lin Wang, Zhaohui Liu, Sheng Chen, Chuguang Zheng [электронный ресурс]// Режим доступа – <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00102202.2011.635612> – 25.03.2013.
6. A review of the water gas shift reaction kinetics/ Byron Smith R J, Muruganandam Loganathan, Murthy Shekhar Shantha [электронный ресурс]// Режим доступа – <http://www.degruyter.com/view/j/ijcre.2010.8.1/ijcre.2010.8.1.2238/ijcre.2010.8.1.2238.xml> – 25.03.2013.

7. Основные принципы выбора моделей турбулентности, используемых при расчете полей скоростей и температурного состояния системы охлаждения стенок жаровой трубы ОКС ГТД/ Б. А. Крылов, А. А. Мануйлов, С. А. Федоров, А. А. Юн [электронный ресурс]// Режим доступа – <http://yun.su/science/36.pdf> - 25.03.2013.

ОБ АВТОРАХ



Мурасова 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



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



Абдулин Арсен Яшарович, аспирант каф. прикладной гидромеханики УГАТУ, диплом магистра по авиа- и ракетостроению (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. 3D-моделирования гидрогазодинамики лопаточных машин и элементов ГТД

УДК 004.318

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Усов Д. В., Ахмедзянов Д. А.

Введение

Современные Российские энергосистемы часто не могут адекватно обслуживать потребителей во многих регионах. Одним из выходов может стать переход на генерацию необходимой электроэнергии непосредственно вблизи потребителя с помощью различных мини и микро-электростанций. Основой таких станций могут быть малоразмерные газотурбинные энергоустановки. Рассмотрим проблемы проектирования и производства таких установок в контексте использования их в качестве электростанции.

Требования, предъявляемые к автономным малоразмерным энергоустановкам

Микротурбина, или, перефразируя, малоразмерная энергоустановка, является новой областью применения газотурбинных двигателей. Микротурбина работает гораздо ближе к потребителю, чем авиационный двигатель или газотурбинная установка на электростанции. Отсюда вытекают специфические условия эксплуатации и жесткие требования к установке. Фактически микротурбина должна требовать минимальной квалификации при установке и эксплуатации, быть максимально автоматизированной и не требовать контроля, сигнализировать о неполадках и проблемах в работе. В идеале после обнаружения проблем на место эксплуатации должна выезжать бригада квалифицированных специалистов и проводить обслуживание, но эти вопросы уже не относятся к конструкции, а скорее к политике компании-производителя. Кроме низких требований к персоналу, электростанция, работающая рядом с потребителем, должна минимально привлекать к себе внимание- не издавать посторонних шумов, запахов и т.д., быть экологичной и безопасной- при любой критичной поломке микротурбина должна безопасно останавливаться. В случае серьезных поломок разрушения должны быть локализованы внутри корпуса и не выходить за его пределы.

Энергоустановка в составе мини-электростанции обеспечивает энергией одного или нескольких потребителей, причем суммарная мощность потребителей равна или меньше пиковой мощности электростанции. Если электростанция снабжает энергией сравнительно большое число маломощных потребителей (пример - жилой дом), она будет работать на пиковой мощности лишь небольшую часть времени. Важно, чтобы установка оставалась эффективной на наиболее продолжительном режиме работы.

В случае если к электростанции подключено небольшое количество потребителей сравнительно большой мощности при включении очередного потребителя возникнет скачек нагрузки. Автономная электростанция должна быть рассчитана и на этот вариант использования: не допускать собственной перегрузки и оперативно реагировать на изменение нагрузки, не допуская критического снижения напряжения в сети.

Еще одним вариантом использования установки является работа параллельно с сетью. В этом режиме ток, вырабатываемый микротурбиной, должен совпадать по фазе с током внешней сети.

Таким образом можно сформулировать список требований к конструкции:

- Максимальная эффективность в широком диапазоне режимов работы.
- Высокая надежность и безопасность работы.
- Экологичность.
- Динамичность.
- Низкая стоимость.

Выбор схемы и термодинамических параметров малоразмерной энергоустановки

Исходя из перечисленных требований к энергоустановке можно заключить, что на этапе выбора схемы и основных параметров малоразмерной энергоустановки необходимо решить три основные задачи:

- Получение высокой эффективности малоразмерной установки
- Генерация сетевого тока, соответствующего стандарту
- Обеспечение динамичности установки, позволяющей работать на нестабильную нагрузку.

С термодинамической точки зрения КПД газотурбинного привода зависит от температуры на входе в турбину и степени повышения давления в компрессоре. В современных промышленных установках достигается КПД цикла до 40%. Пример – ГТУ Siemens SGT-750 мощностью 38 МВт при расходе воздуха 113 кг/с, степенью повышения давления в компрессоре 23,8 и температурой в камере сгорания около 1450К. Высокие параметры цикла позволили достичь КПД установки, равного 38,7%. Проблема состоит в

том, что невозможно реализовать подобный уровень параметров при расходе воздуха менее 1 кг/с. Достижение высоких температур газа за турбиной вместе с высоким ресурсом возможно только за счет применения охлаждаемых лопаток турбины, что технологически невозможно из-за размера лопаток малоразмерных турбомашин.

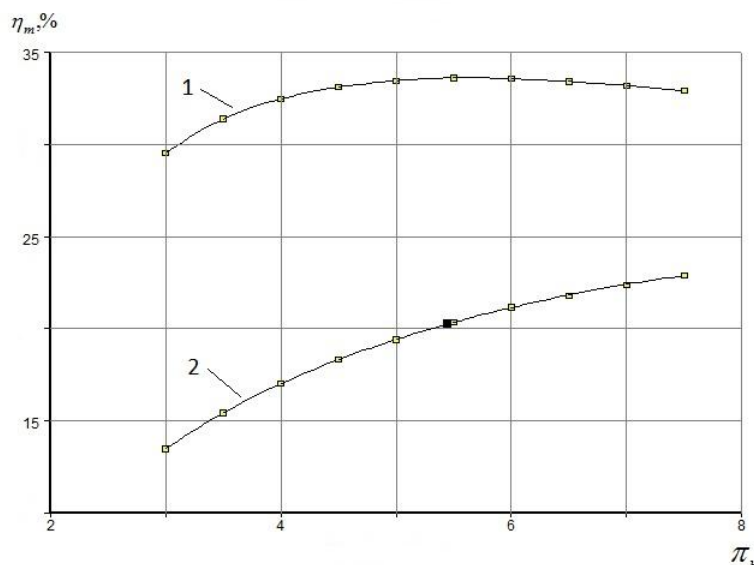


Рис. 1 Зависимость КПД цикла от степени повышения полного давления: 1- цикл с рекуперацией тепла; 2- простой цикл

Достижимой для современных материалов без охлаждения можно считать температуру около 1300K. Получение высоких давлений в компрессоре также становится сложным с уменьшением размерности. Выходом является использование сложного цикла с рекуперацией тепла выхлопных газов. При этом в конструкцию установки включается теплообменник, позволяющий подогреть воздух перед его поступлением в камеру сгорания за счет тепла выхлопных газов. Дополнительным преимуществом при использовании теплообменника является снижение степени повышения давления, при которой достигается максимальный для данной температуры КПД (рисунок 1).

Кроме повышения КПД и снижения оптимальной степени повышения давления теплообменник в цикле добавляет конструктивных проблем. Во первых, как любой пассивный элемент в тракте он служит источником потерь полного давления. Проектирование эффективного теплообменника с минимальными потерями является сложной технической задачей. Из-за низкой степени повышения давления в компрессоре двигателя с теплообменником имеет высокую температуру газов за турбиной, которые попадают на вход в теплообменник. Для двигателя с параметрами, соответствующим приведенным на рисунке 1 температура газа на входе в теплообменник составит 970K. Материал стенок теплообменника должен продолжительное время работать при такой температуре. Добавляются прочностные требования, необходимо конструктивно обеспечивать некоторую свободу термических деформаций стенок и т.д. Теплообменник при кажущейся простоте является сложным и дорогим устройством, его стоимость может составлять до 24% [6] стоимости микротурбинной установки.

Выбор конкретной схемы установки возможен только при комплексном анализе параметров и характеристик возможных вариантов газотурбинного привода и генератора. Различные конструкции генераторов, применяемые в энергетике, можно разделить на две группы- с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов [7]. Важной особенностью генераторов первой группы является возможность регулирования ЭДС при постоянной частоте вращения путем изменения параметров возбуждения. Генераторы с возбуждением от постоянных магнитов лишены этой возможности и их мощность зависит только от частоты вращения. Преимуществами генераторов на

постоянных магнитах является простота конструкции, высокая надежность и высокий КПД. Простая конструкция ротора позволяет реализовать значительно более высокие окружные скорости ротора генераторов такого типа (до 200 м/с[8]).

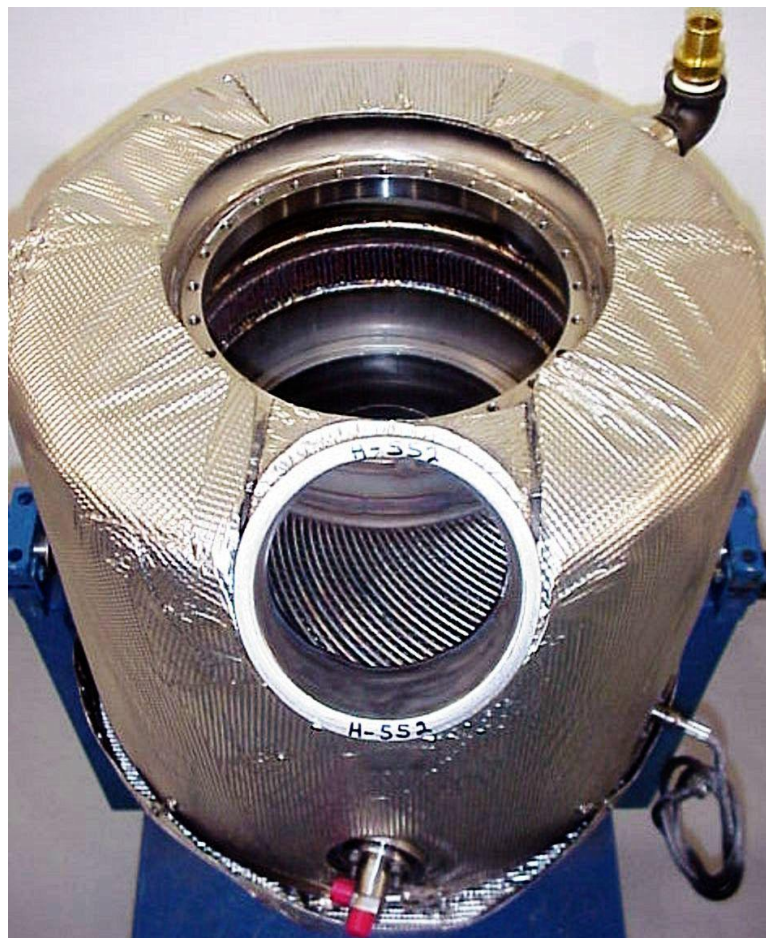


Рис. 2. Теплообменник энергоустановки Capstone C30

Распространены две концепции конструкций малоразмерных энергоустановок - с промежуточным преобразованием тока и без него. Рассмотрим конструкции второго типа. Получить стабильный сетевой ток позволяют генераторы с электромагнитным возбуждением. Частота вырабатываемого тока генератора пропорциональна частоте вращения (коэффициент пропорциональности зависит от конструкции). Распространены генераторы на 3000 и 1500 об/мин. В качестве первичного двигателя могут применяться одновальные ГТД либо ГТД со свободной турбиной. Поскольку частота вращения вала малоразмерных ГТД может достигать 90000 об/мин более для привода генератора используется редуктор. Динамические параметры систем с одновальным газотурбинным приводом весьма высоки. Мощность генератора регулируется изменением тока через обмотку намагничивания, а одновальный газотурбинный привод позволяет поддерживать постоянную частоту вращения. Основным недостатком микротурбин такой конструкции являются более низкий уровень КПД, чем у установок других типов. Это вызвано потерями мощности в редукторе и относительно низким КПД генератора с электромагнитным возбуждением. Кроме того, из-за постоянной частоты вращения КПД газотурбинного привода значительно снижается на частичных нагрузках [5]. Еще одним недостатком является сложная организация работы параллельно с внешней сетью – поскольку необходимо согласовать фазы тока генератора и сети. Фаза тока генератора зависит от положения ротора установки, т.е. для запуска в режиме параллельной работы ротор должен вращаться синхронно с изменением фазы внешней сети.

Преимуществом микротурбин такого типа можно считать низкую стоимость. Пример

микротурбины с редукторным приводом генератора – Ingersoll Rand 250 мощностью 250 кВт (рисунок 3).



Рис. 3. Установка Ingersoll Rand 250

Более распространены конструкции с преобразованием тока. Одним из вариантов конструкции с преобразованием является установка с генератором на одном валу с компрессором и турбиной. Такая конструкция возможна только при использовании генераторов с постоянными магнитами, допускающих высокие окружные скорости ротора. Ток частотой несколько килогерц, вырабатываемый генератором, преобразуется выпрямителем и инвертером для получения сетевого тока на выходе. Схема силовой электроники приведена на рисунке 4. Построенная на современной элементной базе электроника и высокооборотный генератор обладают высоким КПД и низкой удельной массой, что позволяет уменьшить габариты и массу установки. Кроме того силовая электроника преобразователя позволяет получить на выходе высококачественный сетевой ток. Основным недостатком установок такого типа связан с уже упоминавшейся особенностью генератора с постоянными магнитами. Генератор с возбуждением от постоянных магнитов может регулироваться только по частоте вращения[8]. Система, включающая одновальный ГТД и генератор, имеет низкие динамические характеристики. При повышении нагрузки двигатель должен перейти на повышенный режим работы и увеличить частоту вращения массивного ротора генератора. Этот медленный процесс дополнительно замедляется из-за того, что с увеличением частоты вращения мощность, потребляемая генератором, растет. Установка с прямым приводом генератора не может отработать скачек нагрузки сама по себе, поэтому в конструкцию вводятся дополнительный демпфирующий элемент – аккумулятор (рисунок 2), который принимает на себя часть нагрузки во время переходных режимов ГТД. Использование аккумулятора в режиме постоянных разрядов-зарядов может быстро истощить его ресурс (около 1000 циклов полного заряда для литий-полимерных аккумуляторов) и уменьшить срок службы. Аккумулятор является потенциально слабым звеном в установках данной схемы. Еще

одним недостатком можно назвать повышенную стоимость генератора, аккумулятора и силовой электроники, значительно увеличивающую стоимость установок такого типа.

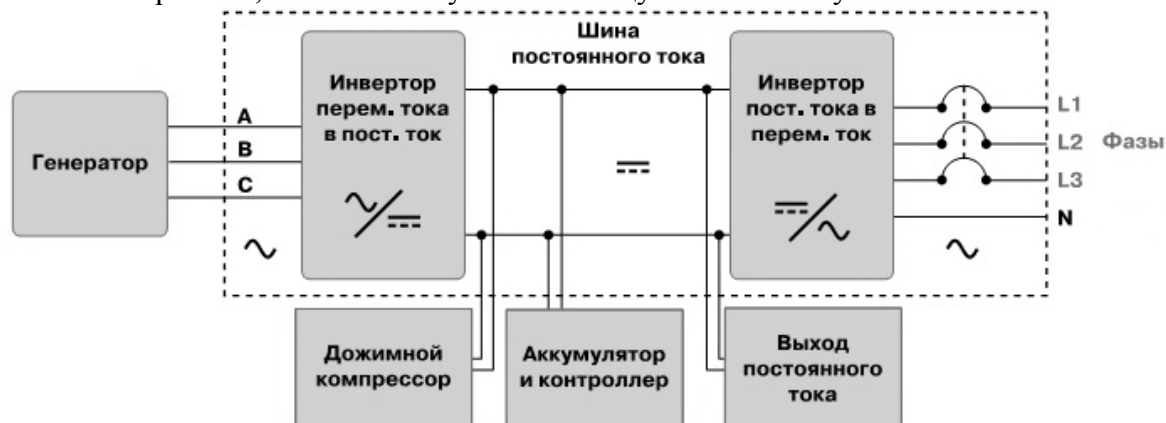


Рис 4. Схема силовой электроники установки с преобразованием тока

Стоимость генератора на постоянных магнитах и системы двойного преобразования может достигать 22-27% общей стоимости установки [6]. Несмотря на недостатки установки с прямым приводом генератора наиболее распространены и производятся в достаточно широком диапазоне мощностей.

Альтернативой одновальным установкам с прямым приводом генератора может стать использование ГТД со свободной турбиной. Применяя генератор с комбинированным возбуждением возможно осуществление парирования скачков нагрузки за счет изменения параметров возбуждения генератора, аналогично установкам с редукторным приводом [9]. Во время раскрутки ротора газогенератора используется энергия, запасенная во вращающемся роторе СТ и генератора. Временное снижение частоты вращения генератора приведет к изменению частоты выходного тока, но использование двойного преобразования позволит получить стабилизированный сетевой ток. Преимущество данной схемы – использование инерции ротора генератора для накопления энергии, что позволяет отказаться от использования дополнительных и достаточно капризных в эксплуатации накопителей – аккумуляторов или других. Коэффициент полезного действия установки с приводом генератора от свободной турбины сравним с КПД одновальной установки.

Таким образом для получения конструкции, оптимально использующей возможности газотурбинного привода и генератора необходимо производить совместное проектирование привода и электрической части с учетом особенностей всех устройств.

Анализ существующих конструкций и выбор типоразмера.

Выпуском микротурбинных энергоустановок занимается несколько зарубежных фирм, таких как Capstone, Elliot, Turbec и др. У нескольких российских компаний микротурбины находятся в стадии разработки. Большинство фирм имеют в своем модельном ряду установку с электрической мощностью 100 кВт, поэтому можно считать проектирование энергоустановки такой мощности достаточно востребованным. Диапазон мощностей энергоустановок достаточно узок и крайними можно считать Capstone C30 мощностью 30 кВт и Ingersoll Rand 250 мощностью 250 кВт соответственно.

Таблица 1
Параметры зарубежных энергоустановок.

Производитель	Ingersoll Rand	Capstone			Elliot	Turbec
Модель	250	C30	C60	C200	TA-100	T-100
Расход воздуха, кг/с	1,97	0,264	0,48	1,43	0,76	0,75
Мощность, кВт	242	30	60	200	100	105
КПД, %	29	26%	28%	31%	29	30,5
пк	5	4	4	4	4	4,5
ηк	0,83	0,8	0,81	0,83	0,81	0,81
T*, °K	1093	1211	1199	1204	1211	1180
ηт	0,87	0,83	0,84	0,86	0,85	0,86
n, об/мин	38000	96000	96000	96000	69000	70000

Можно сделать вывод что близкой к оптимуму при современном техническом уровне является мощность около 100 кВт. При увеличении или уменьшении мощности относительно этого уровня энергоустановки теряют свои преимущества. При уменьшении мощности установка незначительно теряет в стоимости, поэтому растет стоимость киловатта установленной мощности. Уменьшается размер проточной части, растет относительный размер зазоров и толщина пограничных слоев и снижается эффективность лопаточных машин и всей установки в целом. Это хорошо заметно на примере модельного ряда фирмы Capstone (таблица 1). При увеличении мощности от указанного уровня растут напряжение и токи генератора, что вызывает резкое увеличение стоимости силовой электроники. Начиная с определенного уровня мощности применение двойного преобразования становится невозможным и используется редукторный привод, что снижает КПД, повышает уровень шума и т.д. Возможность многих микротурбинных установок работать в режиме кластера как одна генерирующая станция большой мощности с центральной системой управления и автоматической балансировкой нагрузки делает создание единичных установок большой (выше 250кВт) мощностью неоправданным. Можно утверждать, что следующей эффективной размерностью малых энергоустановок становится мощности свыше 1 МВт.

Вывод.

Выбор схемы энергетической установки определяется соображениями ее эффективности, и прежде всего экономической. Перспективными являются одновальная схема с прямым приводом и схема со свободной турбиной. Выбор между ними определяется соображениями возможности производства на конкретном предприятии, а также стоимостью комплектующих. При наличии развитого производства электроники использование электронного преобразования тока имеет преимущество, что демонстрирует выбор ее в качестве основной американскими и европейскими производителями.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0142

Список литературы:

1. Родионов А.В., Кривошеев И.А. Анализ термодинамических параметров зарубежных малоразмерных газотурбинных установок // Журнал «Молодой ученый», Уфа, - 2009, №9, С. 21-24.
2. Обзор и состояние развития современных газотурбинных установок малой мощности. // Сайт <http://stc-mtt.ru>

3. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергоустановок. М.: Машиностроение, 2007, - 1204с.
4. Пономарев Б.А., Тихонов А.М., Осипов И.В., Якубовский К.Я. Исследование схемы и параметров газотурбинной установки малой мощности. // ЦИАМ 2001-2005. Основные результаты научно-технической деятельности: В 2-х т. / ЦИАМ; под общ. ред. В. А. Скибина, В. И. Солонина. М. : ЦИАМ, 2005, С.137-142.
5. В.В.Гаврилов, В.Н.Огородов и др. Разработка технического облика мини-ГТУ мощностью 50 кВт. // ЦИАМ 2001-2005. Основные результаты научно-технической деятельности: В 2-х т. / ЦИАМ; под общ. ред. В. А. Скибина, В. И. Солонина. М. : ЦИАМ, 2005, С.142-147.
6. N.Lymberopoulos Microturbines and their application in bio-energy// Project Technical Assistant Framework Contract (EESD Contract No: NNE5-PTA-2002-003/1), 2004
7. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М.: Высшая школа, 1990, -416с.
8. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами.- М.: Энергоатомиздат, 1988.-280с.
9. Утляков Г.Н., Куляпин В.М., Бовтрикова Е.В. Комбинированные системы регулирования напряжения синхронных генераторов. –М.: Издательство МАИ, 1998-224 с.

ОБ АВТОРАХ



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



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 (и ГТЭУ) на установившихся и неустановившихся режимах, систем регулирования и автоматизации испытаний.
e-mail: ada@ugatu.ac.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ЧИСЛЕННОГО ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кишалов А. Е., Кудоярова В. М., Шамсутдинов А. А.

Введение

Теплообменные аппараты широко используются в различных видах техники, в том числе авиационной и космической, энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в холодильной и криогенной технике, в системах отопления и горячего водоснабжения, кондиционирования, в различных элементах тепловых двигателях. С ростом энергетических мощностей и объема производства все более увеличиваются масса и габариты применяемых теплообменных аппаратов. Основным требованием, предъявляемым к теплообменным аппаратам, является требование компактности, поэтому увеличение габаритов теплообменных аппаратов негативным образом отражается не только на габаритных, но и на массовых характеристиках авиационных двигателей и летательных аппаратов в целом. Одним из возможных вариантов повышения эффективности теплообменных аппаратов является интенсификация процессов теплообмена за счет введения в их конструкцию интенсификаторов теплообмена.

Опыт создания и эксплуатации различных тепло- и массообменных устройств показал, что разработанные к настоящему времени методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и металлоемкости (массы) этих устройств в 1,5–2 раза и более по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей [1].

Данная статья посвящена проблеме моделирования различных теплообменных аппаратов и оценке их эффективности. Приведены результаты исследования влияния интенсификаторов теплообмена на процесс теплопередачи при помощи моделирования элементов теплообменных аппаратов различных схем в программном комплексе для 3D-численного термогазодинамического моделирования в пакете ANSYS 13.0 CFX.

Постановка задачи

Модель теплообменного аппарата с гладкими каналами (рис. 1, далее модель 1) представляет собой алюминиевую трубу, по которой течет воздух со следующими параметрами: расход воздуха $G = 0,35$ кг/с, полная температура $T^* = 288$ К. На наружной поверхности трубы задается удельный тепловой поток $q = 6000$ Вт/м². Давление на выходе из исследуемого участка трубы (теплообменного аппарата) $P = 101325$ Па. Модель теплообменного аппарата с интенсификаторами теплообмена (рис. 2, далее модель 2) отличается тем, что по всей длине трубы равномерно расположены 5 пластинок, которые предназначены для интенсификации теплообмена.

Моделирование в ANSYS CFX

В CAD-модуле ANSYS Design Modeler были построены твердотельные геометрические модели каждого элемента расчетной области (рис. 3–6).

Для моделирования в ANSYS CFX, на каждой трёхмерной твёрдотельной модели была создана конечно-элементная сетка.

Параметры сетки, построенной на проточной части теплообменника (модель 1) заданы следующим образом: Minimum Edge Length = 0,471 мм; Element Size = 5 мм; параметры инфляционных слоёв transition ratio = 0,272, maximum layers = 5, growth rate = 1,2 [2]. Количество элементов сетки, построенной на данной геометрической модели – 145

870 (рис. 7).

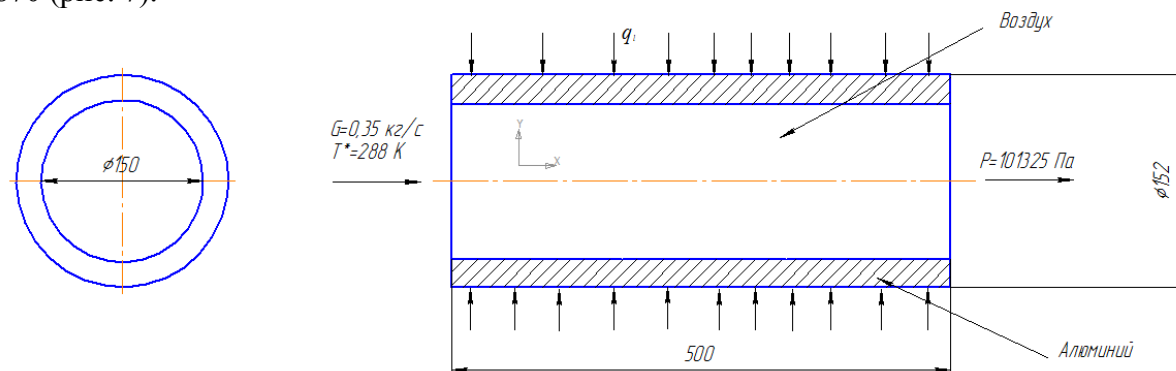


Рис. 1. Модель теплообменника без интенсификаторов (модель 1)

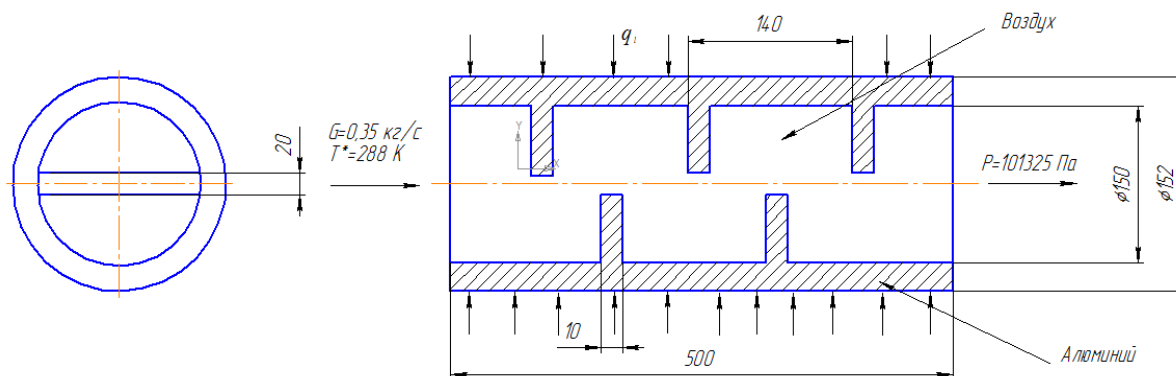


Рис. 2. Модель теплообменника с интенсификаторами (модель 2)

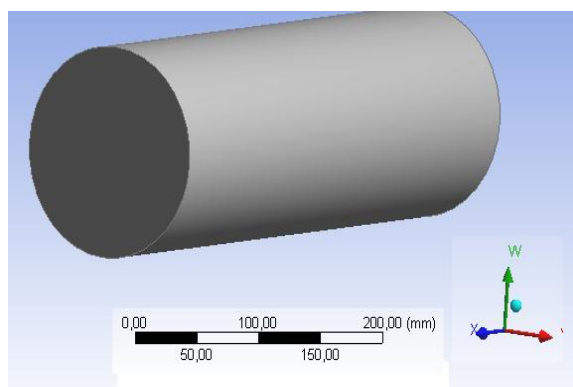


Рис. 3. Геометрическая модель проточной части теплообменника (модель 1)

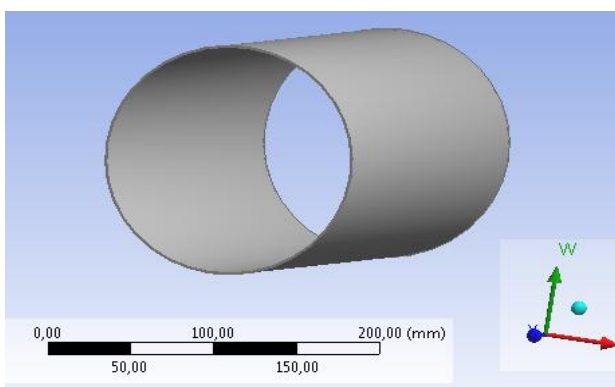


Рис. 4. Геометрическая модель стенки теплообменника (модель 1)

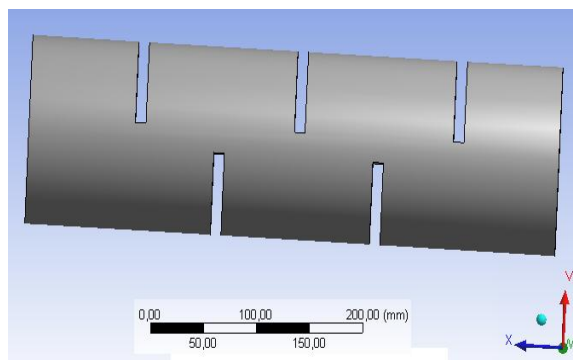


Рис. 5. Геометрическая модель проточной части теплообменника с

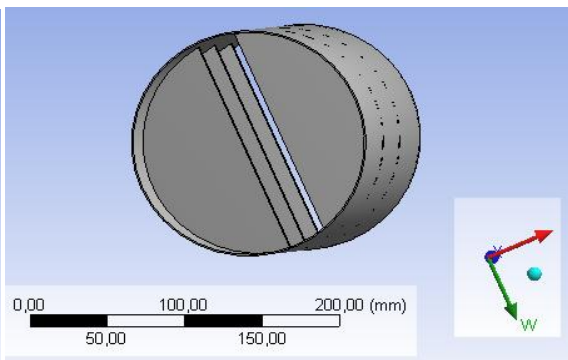


Рис. 6. Геометрическая модель теплообменника с интенсификаторами

интенсификаторами теплоты (модель 2)

теплоты (модель 2)

Параметры конечно-элементной сетки для стенки теплообменника: Minimum Edge Length = 0,471 мм; Max Face Size = 5 мм; Max Size = 5; количество элементов – 67 208 (модель 1, рис. 8).

Для построения сетки модели 2 используем аналогичные параметры. Количество элементов в модели 2: проточная часть – 135 879, стенка трубы с интенсификаторами – 93 280. (рис. 9, 10).

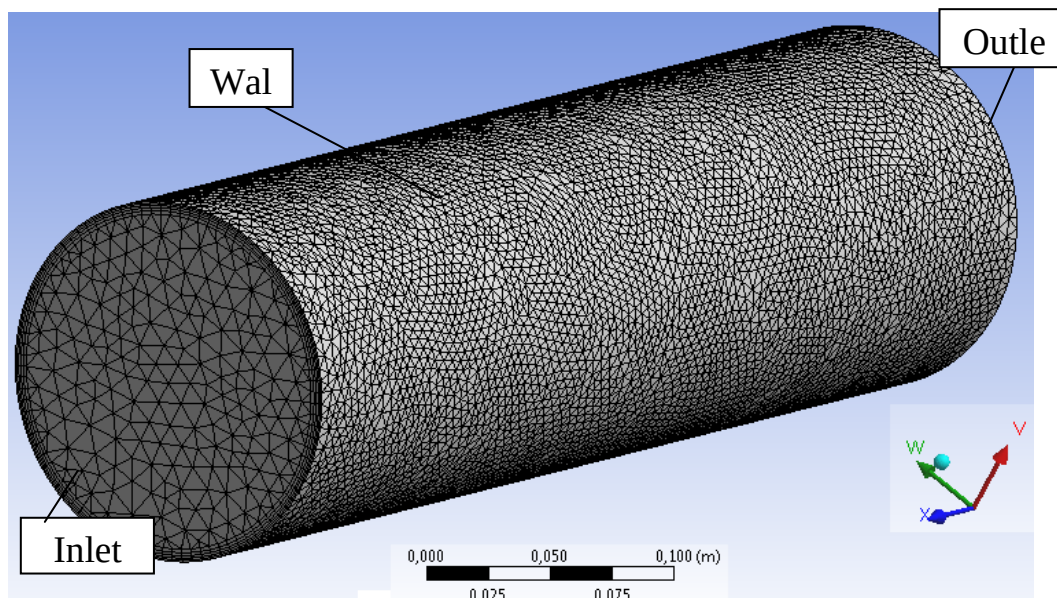


Рис. 7. Конечно-элементная сетка, построенная на модели проточной части теплообменника (модель 1)

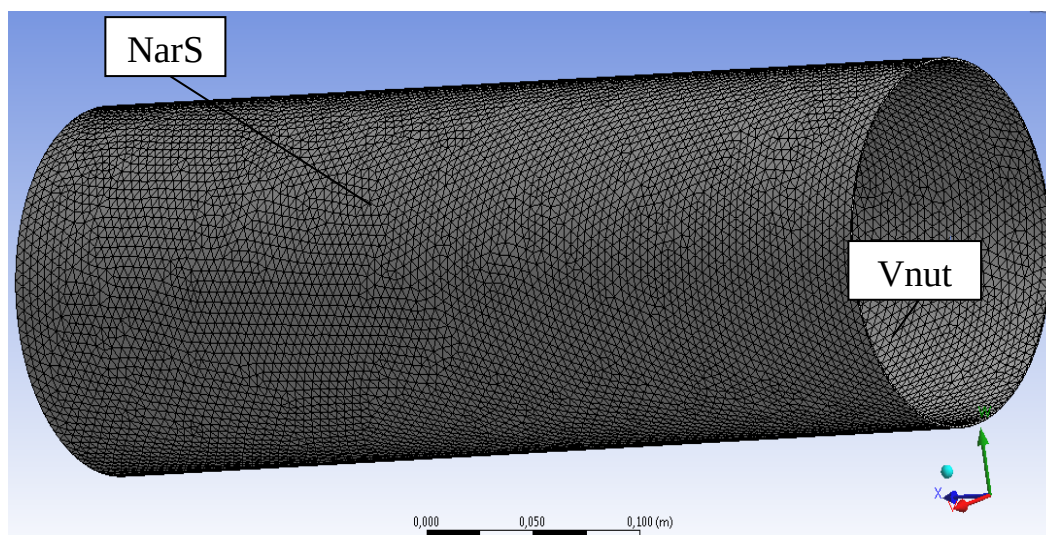


Рис. 8. Конечно-элементная сетка, построенная на стенке теплообменника (модель 1)

После построения конечно-элементной сетки, в CFX-Pre на моделях 1 и 2 назначены граничные условия и модели расчёта. Рабочее тело в модели проточной части – Air Ideal Gas, Reference Pressure 101325 Па. Модель переноса тепла – Thermal Energy, модель турбулентности – $k-\varepsilon$ [3, 4].

В модели проточной части теплообменника задаем следующие граничные условия (ГУ): Inlet – $G = 0,35 \text{ кг/с}$, $T^* = 288 \text{ К}$; Outlet: Relative Pressure – 0 Па; Wall: тепловой поток к наружной стенки трубы – Heat Flux – 6000 Вт/м^2 .

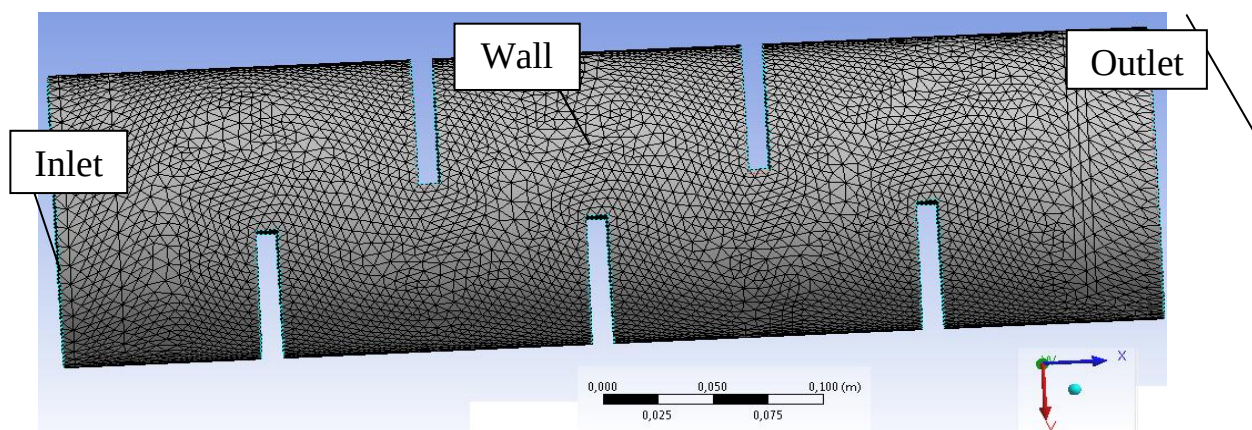


Рис. 9. Конечно-элементная сетка, построенная на проточной части теплообменника с интенсификаторами теплообмена (модель 2)

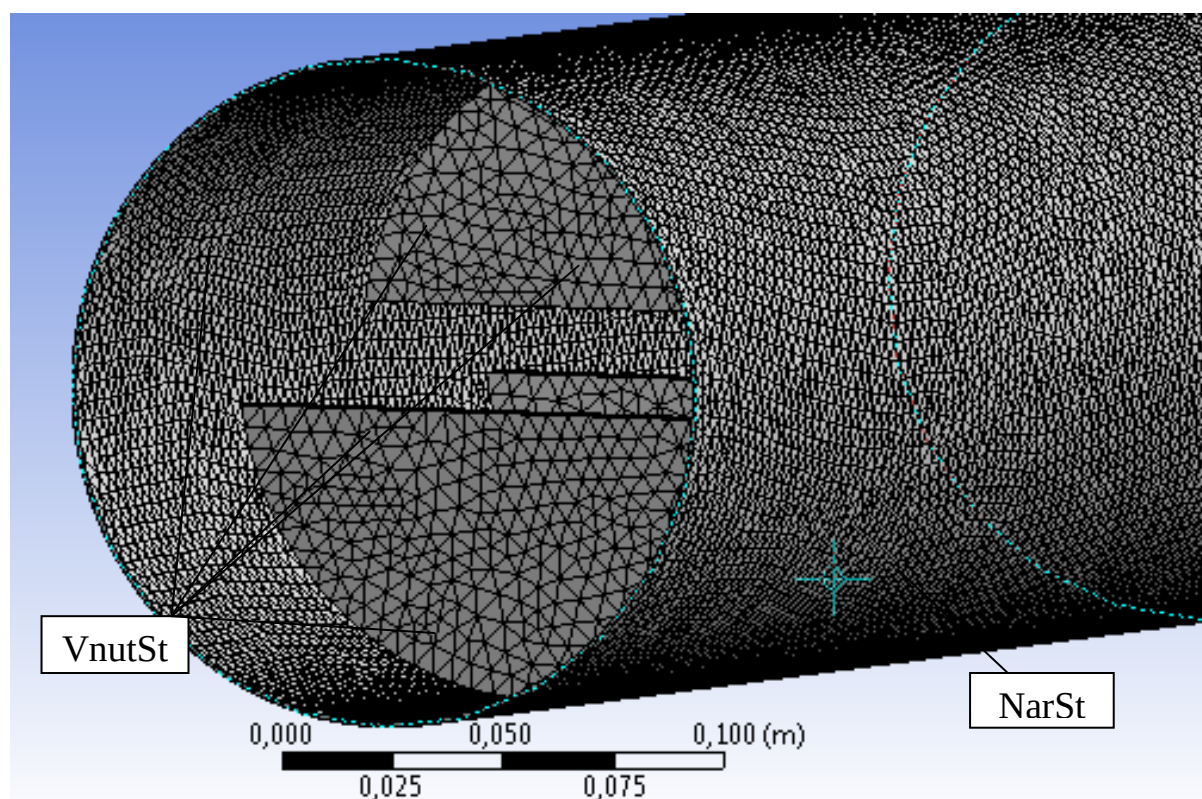


Рис. 10. Конечно-элементная сетка, построенная на модели теплообменника с интенсификаторами теплообмена (модель 2)

Для обмена информацией между моделями проточной части и стенкой теплообменника были установлены следующие интерфейсы: по граничным условиям Wall и VnutSt, рис. 7 и 8 соответственно.

Для модели теплообменника с интенсификаторами теплообмена граничные условия были назначены аналогичным образом.

Расчет обеих моделей производился в ANSYS CFX-Solver. В процессе счёта сходимость всех уравнений достигла порядка $1 \cdot 10^{-4}$, а дисбаланс основных уравнений – порядка 0,1 %.

Некоторые результаты расчётов моделей 1 и 2 приведены на рис. 11–16.

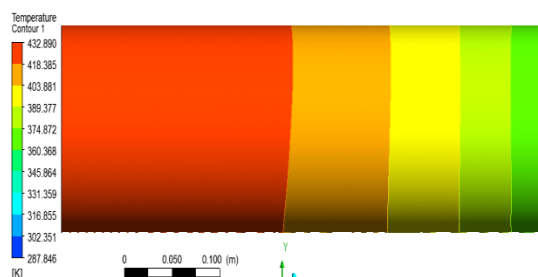


Рис. 11. Поля температур на наружной стенке модель 1

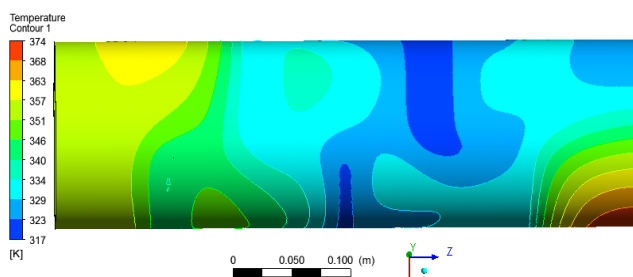


Рис. 12. Поля температур на наружной стенке модель 2

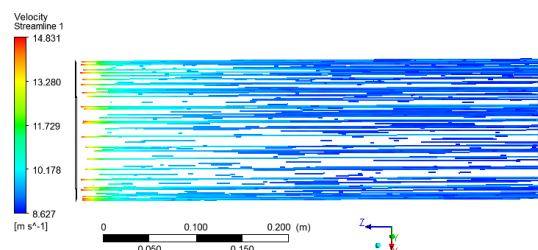


Рис. 13. Линии тока модель 1

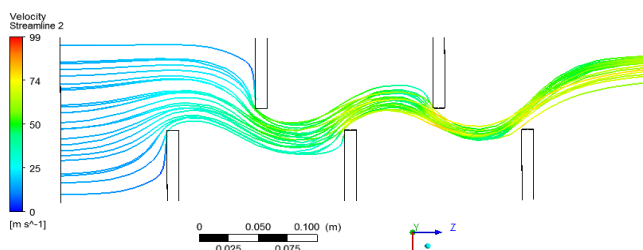


Рис. 14. Линии тока модель 2

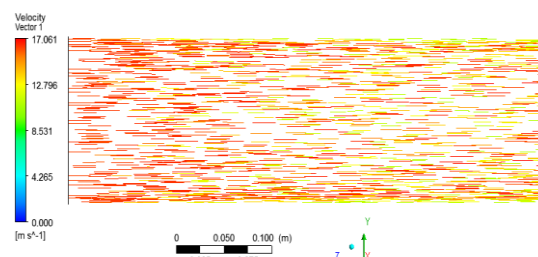


Рис. 15. Вектора скоростей модель 1

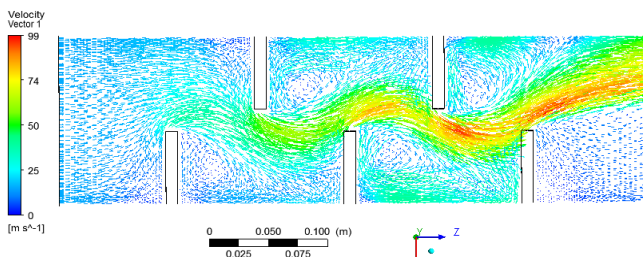


Рис. 16. Вектора скоростей модель 2

Как видно из результатов моделирования (рис. 11 и 12), в модели с интенсификаторами теплообмена поля температур на наружной поверхности очень неравномерны. Поток в модели 2 имеет «змеевидную» структуру (рис. 14 и 16), что создаёт неравномерность полей различных параметров, как по всей длине теплообменника, так и на выходе из него.

При обработке результатов расчётов определялись среднемассовые полные давления и температуры на входе и выходе из модели. По среднемассовым полным давлениям на входе в модель P_1^* и выходе из неё P_2^* определялись коэффициенты восстановления полного давления в моделях 1 и 2:

$$\sigma^* = \frac{P_2^*}{P_1^*}.$$

Некоторые результаты обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчётов

Номер модели	P_1^* , Па	P_2^* , Па	σ^*	T_1^* , К	T_2^* , К
1	101492,55	101503,32	0,999	288,037	292,424
2	109843,62	103780,31	0,945	288,028	294,021

Выводы

В результате проведенного анализа оценки эффективности теплообменных аппаратов путем сравнения их параметров видно, что:

- интенсивность теплообмена при наличии интенсификаторов теплообмена выше, чем при их отсутствии. Данное обстоятельство можно обнаружить путем сравнения температуры на выходе из рассматриваемых теплообменных аппаратов (рис. 1 и рис. 2). У теплообменного аппарата с наличием интенсификаторов теплообмена температура нагреваемой среды приблизительно на 2 К выше.
- коэффициент восстановления полного давления у теплообменного аппарата с интенсификаторами теплообмена ниже, чем у сравниваемого с ним аналога. Поэтому для обеспечения необходимого расхода рабочей среды на выходе из теплообменного аппарата с интенсификаторами теплообмена необходимо создавать большее давление рабочего тела на входе в тракт данного теплообменного устройства.

Полученные результаты показывают, что использование в конструкции теплообменных аппаратов различных интенсификаторов теплообмена позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи, повысить эффективность теплообмена, но, в тоже время, создают значительное гидравлическое сопротивление, для преодоления которого необходимы большие значения давлений рабочего тела. Поэтому при проектировании теплообменных аппаратов следует соблюдать оптимальный баланс между необходимой интенсификацией теплообмена и гидравлическими сопротивлениями, которые создают различные конструктивные решения для повышения интенсивности теплообменных процессов.

Список литературы

1. Новости теплоснабжения», №5, 2004. Г.А. Дрейцер, Московский авиационный институт [Электронный ресурс] (http://www.rosteplo.ru/Tech_stat).
2. Кудоярова В.М. Подходы к моделированию теплового состояния в программных комплексах для трёхмерного твёрдотельного численного моделирования ANSYS MULTIPHYSICS и ANSYS CFX / Кудоярова В.М., Кишалов А.Е., Игнатьев О.И. // Молодежный Вестник УГАТУ Ежемесячный научный журнал № 4 (5) / Уфа: УГАТУ. – 2012. С.37-43.
3. Ахмедзянов, Д. А. Газодинамическое моделирование в программном комплексе ANSYS CFX и ANSYS Workbench Лабораторный практикум / Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов; ГОУ ВПО УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 45 с.
4. Ахмедзянов, Д. А. Термогазодинамическое моделирование авиационных двигателей и их элементов [Электронный ресурс] : Лабораторный практикум / Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов; ГОУ ВПО УГАТУ. – Учебное электронное издание . – Уфа : УГАТУ, 2012. – 90 с.

ОБ АВТОРАХ

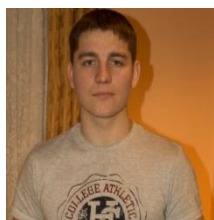


Кишалов Александр Евгеньевич, доц. каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ, дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2010) Исследования в области имитационного моделирования автоматики авиационных ГТД, трёхмерного численного моделирования процессов, происходящих в камерах сгорания авиационных ГТД.
e-mail: kishalov@ufanet.ru



Кудоярова Вилина Маратовна, доц. каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики. Дипл. инж. по авиационной и ракетно-космической теплотехнике (УГАТУ, 2001). Канд. техн. наук по математическому моделированию, численным методам и комплексам программ (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. тепловых процессов внутри теплозащитных полимерных композиционных материалов при высоких температурах.

e-mail: ya_vilina@mail.ru



Шамсутдинов Айрат Аликович студент каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ. Исследование в области численного математического моделирования рабочих процессов в элементах авиационных ГТД.

e-mail: dark.1402@yandex.ru

УДК 621.45.02.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ANSYS CFX

Кишалов А. Е., Игнатьев О. И.

Введение

Свободные струи представляют собой течение жидкости и газа с поверхностями тангенциального разрыва, причем разрыв терпят такие величины как скорость течения, температура, концентрация примеси, тогда как распределение статического давления оказывается непрерывным. Струйные течения широко представлены в различных узлах планера и двигателя самолета: процесс смешения топливовоздушной смеси и её горение в камере сгорания [1, 2], смешение потоков газа сопла с окружающей средой, смесители, смешение потоков за крылом самолета, за хвостом пера лопатки и т.п. На рис. 1 представлена принципиальная схема струйного осесимметричного течения.

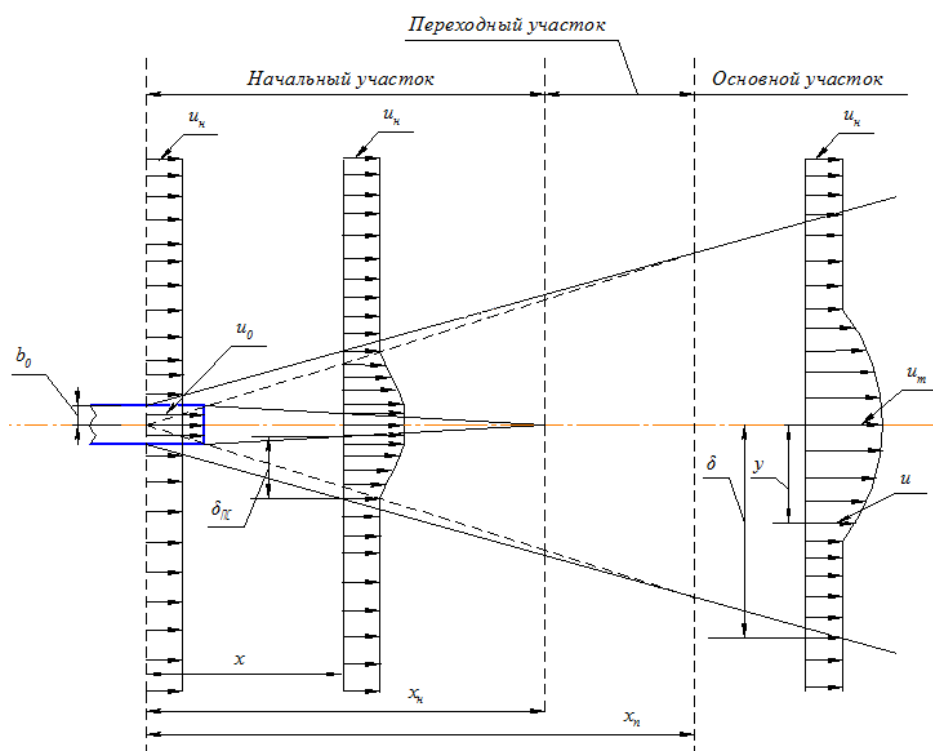


Рис. 1. Принципиальная схема струйного течения

На рис. 1 u_0 – начальная скорость основного потока, u_n – начальная скорость спутного потока, b_0 – начальный радиус основного потока. Часть струи, в которой имеется ядро течения, называют начальным участком. Скорость в ядре струи постоянна. На некотором расстоянии от конца начального участка струйное течение приобретает такой же вид, как течение жидкости из источника бесконечно малой толщины, соответствующий участок струи называют основным. Между основным и начальным участками струи располагается переходный участок. Часто пользуются упрощенной схемой струи и полагают длину переходного участка равной нулю. На схеме зона смещения ограничена двумя линиями, за пределами которых находится невозмущенный поток.

Задачей данной статьи является сравнение результатов численного моделирования в программном комплексе ANSYS CFX с результатами экспериментов [3]. В ходе исследования качественно и количественно оценивались результаты моделирования струйного осесимметричного течения. Сравнение проходило в два этапа. На первом этапе сравниваются профили безразмерных избыточных скоростей в пограничном слое двух спутных струй воздуха при различных отношениях скоростей потоков (рис. 2), на втором этапе сравнивается длина начального участка.

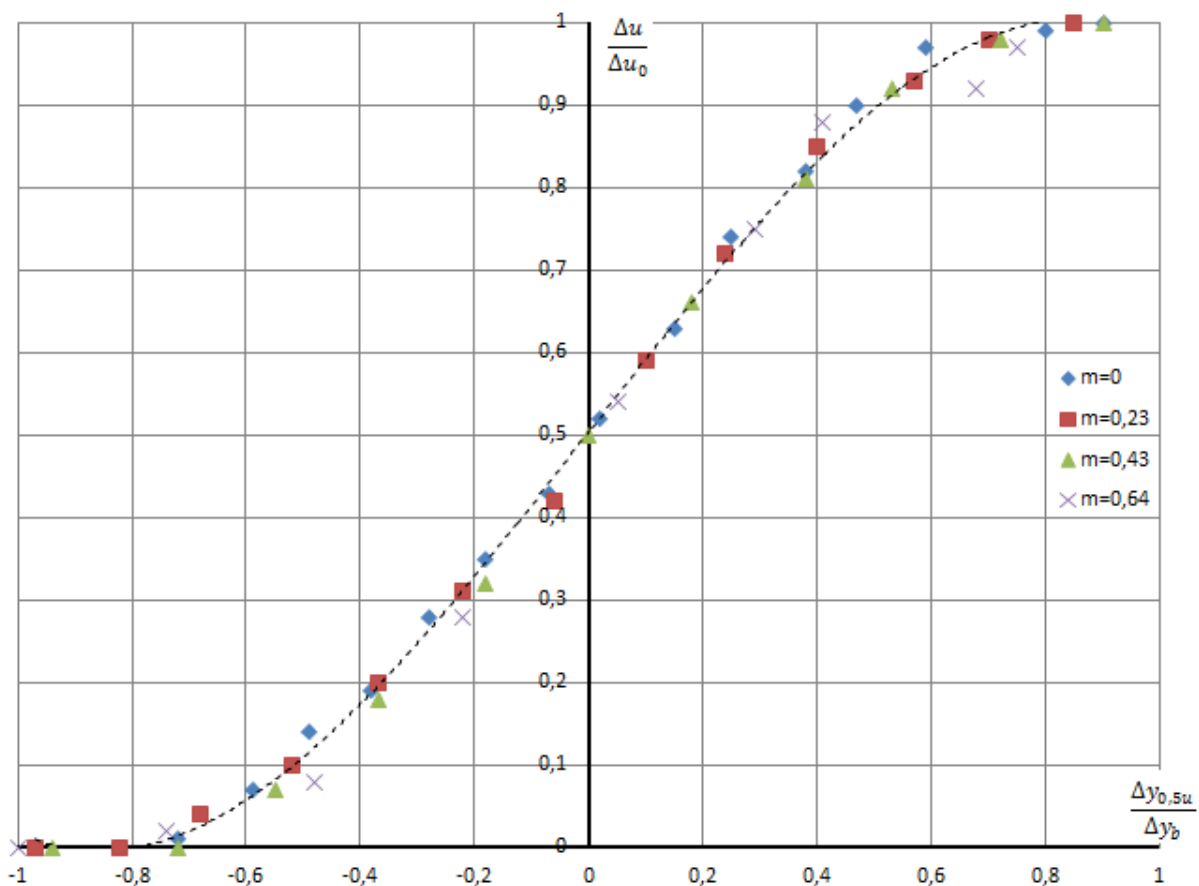


Рис. 2. Профиль безразмерной избыточной скорости

Профиль безразмерной избыточной скорости определяется в пограничном слое на начальном участке двух плоских спутных струй воздуха. Профиль строится в безразмерных координатах $\frac{\Delta u}{\Delta u_0} = f\left(\frac{\Delta y_{0,5u}}{\Delta y_b}\right)$ для различных отношений скоростей $m = u_n / u_0 = 0,64; 0,43; 0,23; 0,00$, где $\Delta u = u - u_n$ – избыточная скорость в струе; $\Delta u_0 = u_0 - u_n$ – начальная разность скоростей в струях; $\Delta y_{0,5u} = y - y_{0,5u}$ – поперечное

расстояние от места измерения до точки, в которой $\Delta u = 0,5\Delta u_0$; $\Delta y_b = y_{0,9u} - y_{0,1u}$ – расстояние между точками, избыточные значения скорости в которых равны соответственно $\Delta u_1 = 0,9u_0$ и $\Delta u_2 = 0,1u_0$.

Моделирование в ANSYS CFX

Для моделирования струйных течений в CAD-системе DesignModeler построена модель, схема которой представлена на рис. 3.

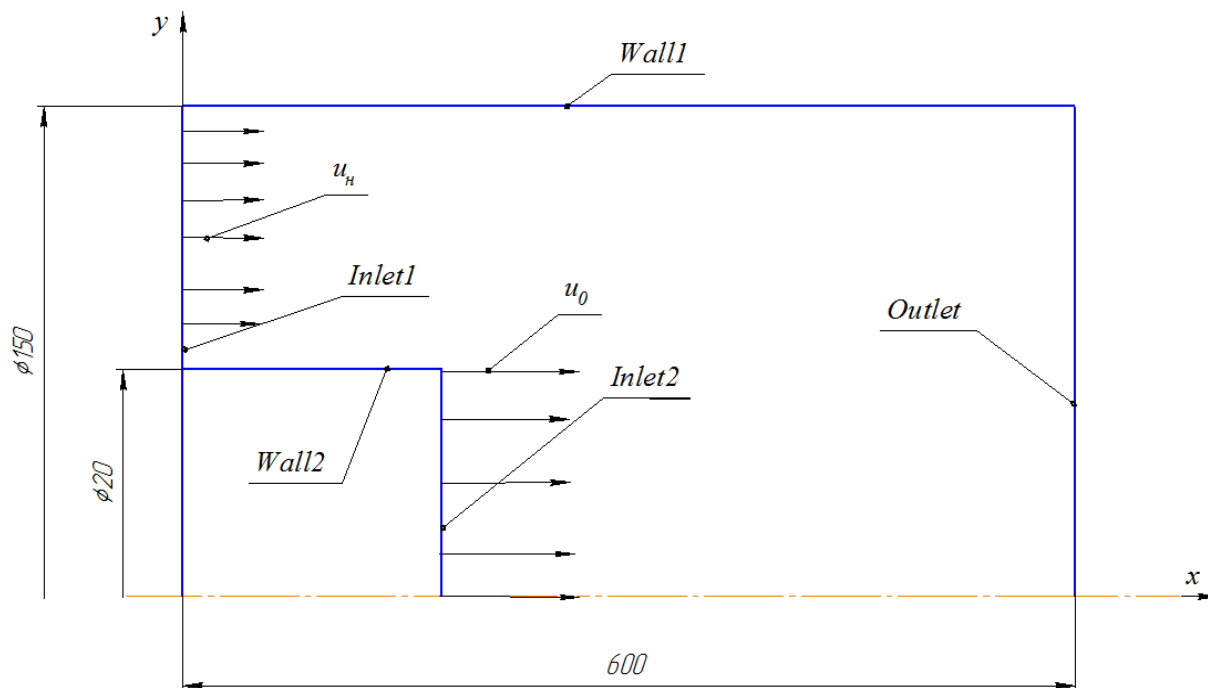


Рис. 3. Схема расчетной модели

Схема представляет собой коаксиальные цилиндры, на левой поверхности которых вход в модель (Inlet1 – вход спутного потока, Inlet2 – вход основного потока), потоки взаимодействуют в рабочей зоне, на правой поверхности модели – выход (Outlet). Диаметр входа для спутного потока превышает диаметр входа для основного потока в 7,5 раза. Это делается для того, чтобы граничные условия не влияли на зону смешения. Длина модели составляет 30 калибров (за калибр берем диаметр входа основного потока). Такая длина позволяет отслеживать величину начального участка при различных вариантах конечно-элементных сеток и, также, благодаря такой длине, уменьшается влияние граничных условий на расчетную область. Расчеты проводились при 5 различных конечно-элементных сетках, в которых средний размер элемента варьировался от 1,5 до 2,2 мм. Для уменьшения времени счета и ресурсов компьютера, необходимых для расчета, используем сектор, величиной в 20° , (т. к. течение осесимметричное).

Рабочее тело представляет собой смесь AirIdealGas, состоящей из AirIdealGas1, который является основным потоком и AirIdealGas, который является спутным потоком.

Расчеты проводятся при $k-\varepsilon$ и SST моделей турбулентности. На граничном условии Inlet1 (вход спутного потока) задаются полная температура $T^* = 288$ К и скорость u_n . Скорость потока в различных расчётах варьируется от 64, 43, 23 до 0 м/с. На граничном условии Inlet2 (вход основного потока) задается полная температура $T^* = 288$ К и скорость $u_0 = 100$ м/с. На граничном Outlet (выход из модели) задается избыточное статическое давление $\Delta P = 0$, полная температура $T^* = 288$ К. На цилиндрических поверхностях модели (Wall1, Wall2) установлены граничные условия

адиабатической стенки с проскальзыванием (без прилипания пограничного слоя). На боковых поверхностях модели установлены граничные условия симметрии (Sym1, Sym2, рис. 4).

После задания граничных условий производится расчет в CFX-Solver. Расчет считается законченным, когда сходимость основных уравнений достигает 10^{-5} , а дисбаланс основных уравнений достигает порядка 0,1 %.

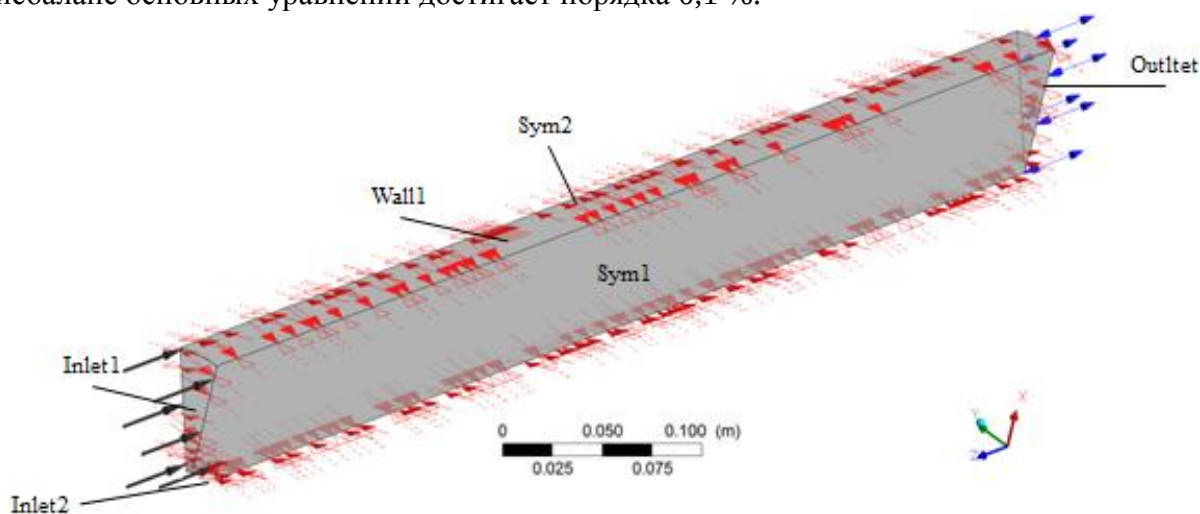


Рис. 4. Задание граничных условий

На рис. 5 и 6 приведены некоторые результаты расчётов для модели с $m = u_{\infty} / u_0 = 0,23$.

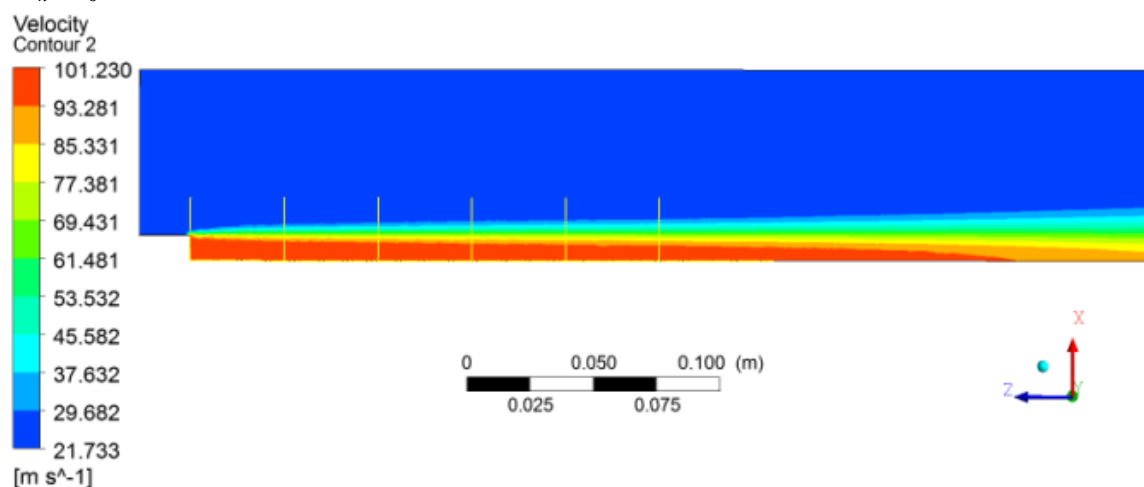


Рис. 5. Поля скоростей

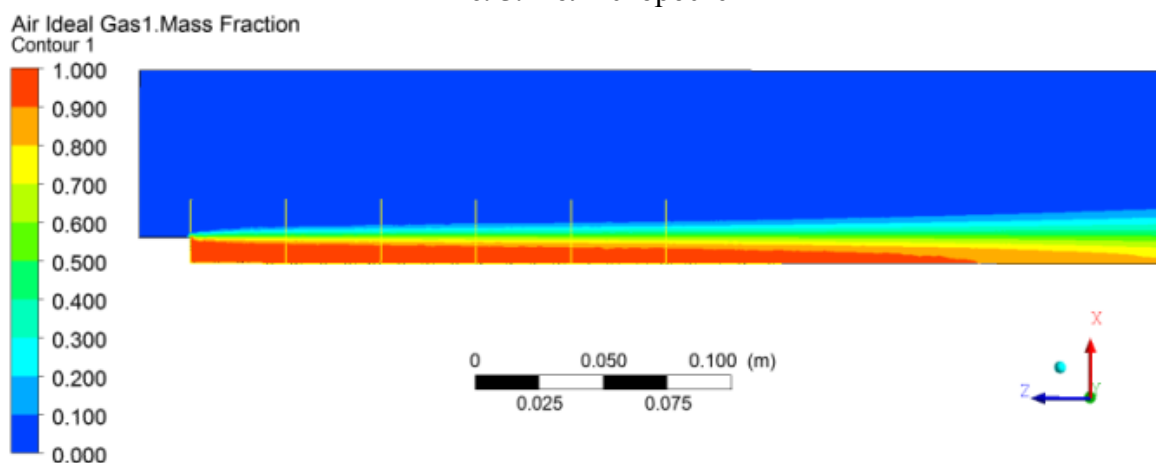


Рис. 6. Поля концентраций

Профили безразмерных избыточных скоростей строятся на начальном участке. Принимаем, что границей начального участка является место на оси потока, где происходит падение скорости в потенциальном ядре на 1%. Определив границу начального участка струи, делим его на пять равных частей и на них проводим замеры параметров потока.

На рис. 7–10 приведены профили безразмерных избыточных скоростей на различных расстояниях (x) для густой и редкой конечно-элементных сеток, модель турбулентности $k - \varepsilon$.

Результаты расчёта с моделью турбулентности $k - \varepsilon$ с более густой сеткой (рис. 7) дают максимальную погрешность порядка 8%, с грубой сеткой (рис. 8) – погрешность достигает порядка 20 %.

Результаты расчёта с моделью турбулентности SST также дают подобную прямую зависимость густоты сетки и результатов обработки: чем гуще сетка, тем погрешность оказывается меньше.

Вторым этапом исследования является определение величины начального участка и сравнение ее со значениями, полученными по зависимости [3]. Если результаты моделирования в виде профилей безразмерных избыточных скоростей дают хорошие результаты по сравнению с экспериментальными данными, и они не зависят от того, в каком месте на начальном участке проводятся замеры, то длина начального участка струи в ANSYS CFX моделируется с большей погрешностью. По результатам моделирования длина начального участка струи зависит от количества элементов в сетке и от отношения начальных скоростей основного и спутного потоков $m = u_{\text{н}} / u_0$ (табл. 1 и 2).

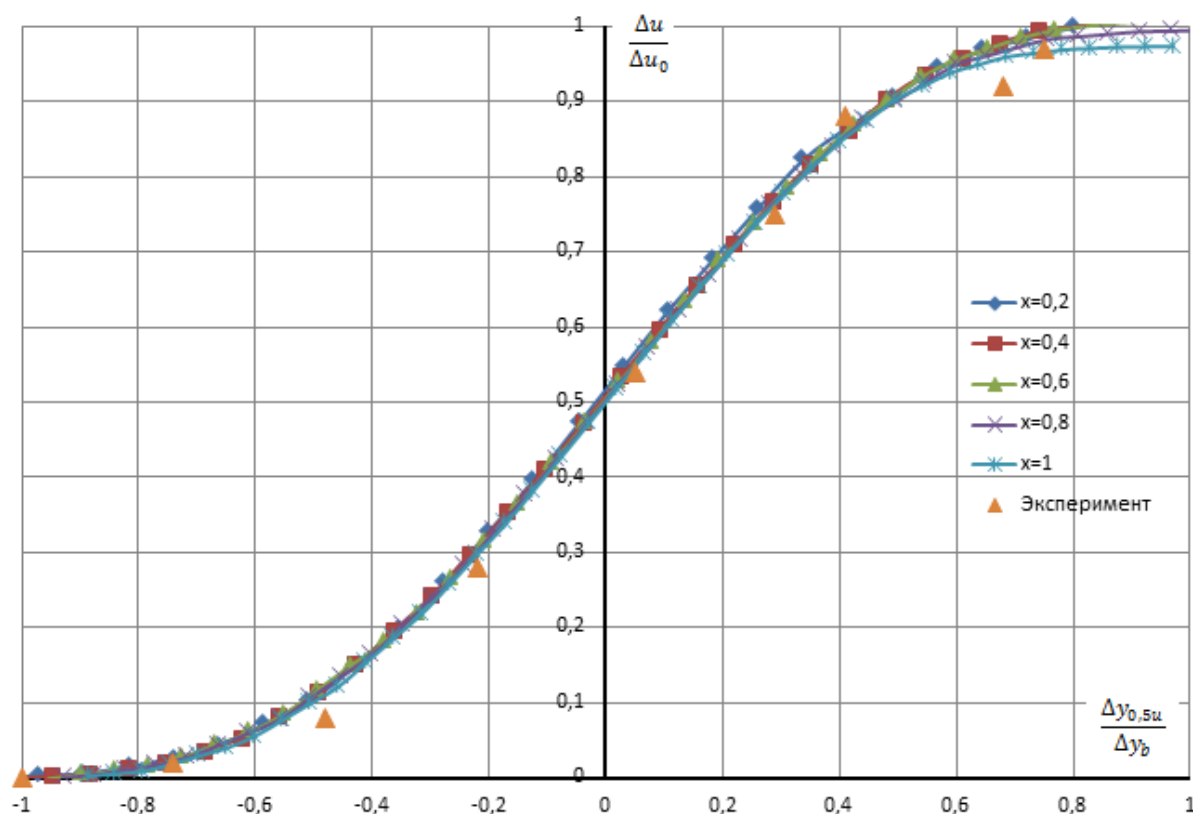


Рис. 7. Профили безразмерной избыточной скорости для густой сетки ($k - \varepsilon$)

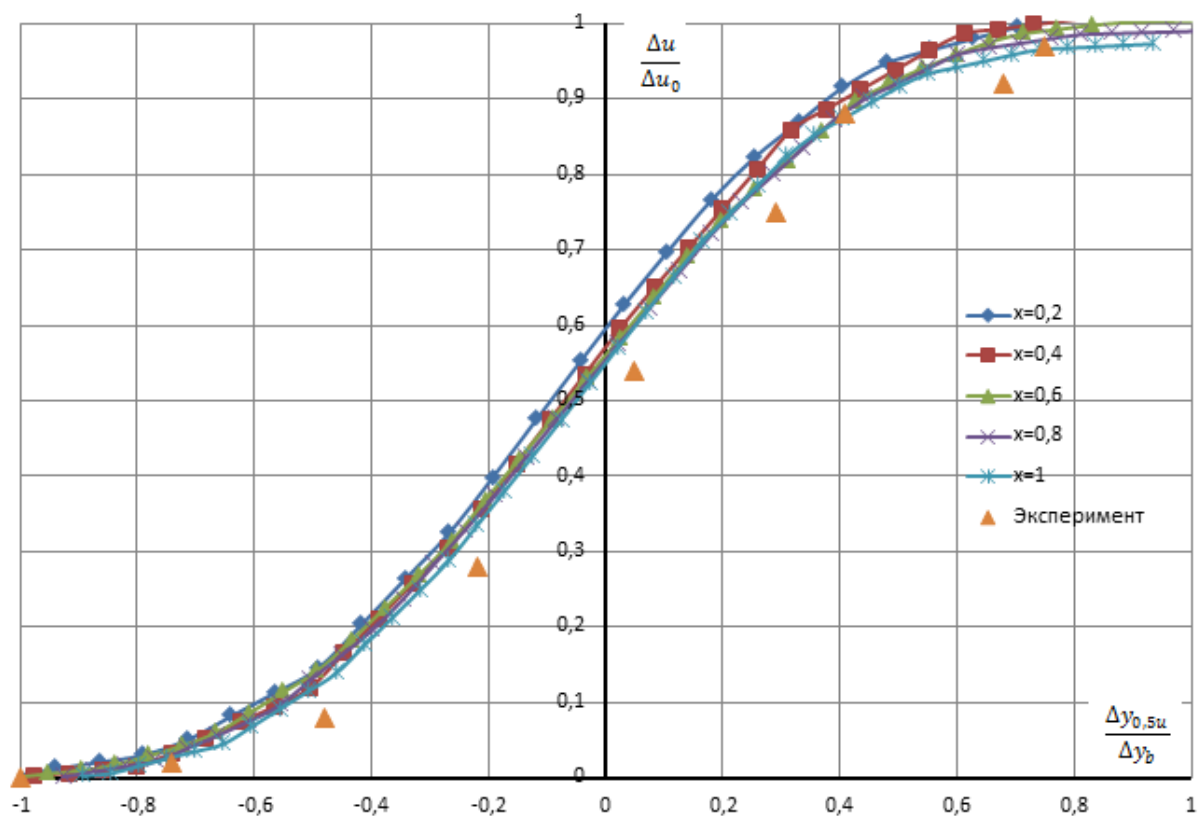


Рис. 8. Профили безразмерной избыточной скорости для редкой сетки ($k - \varepsilon$)

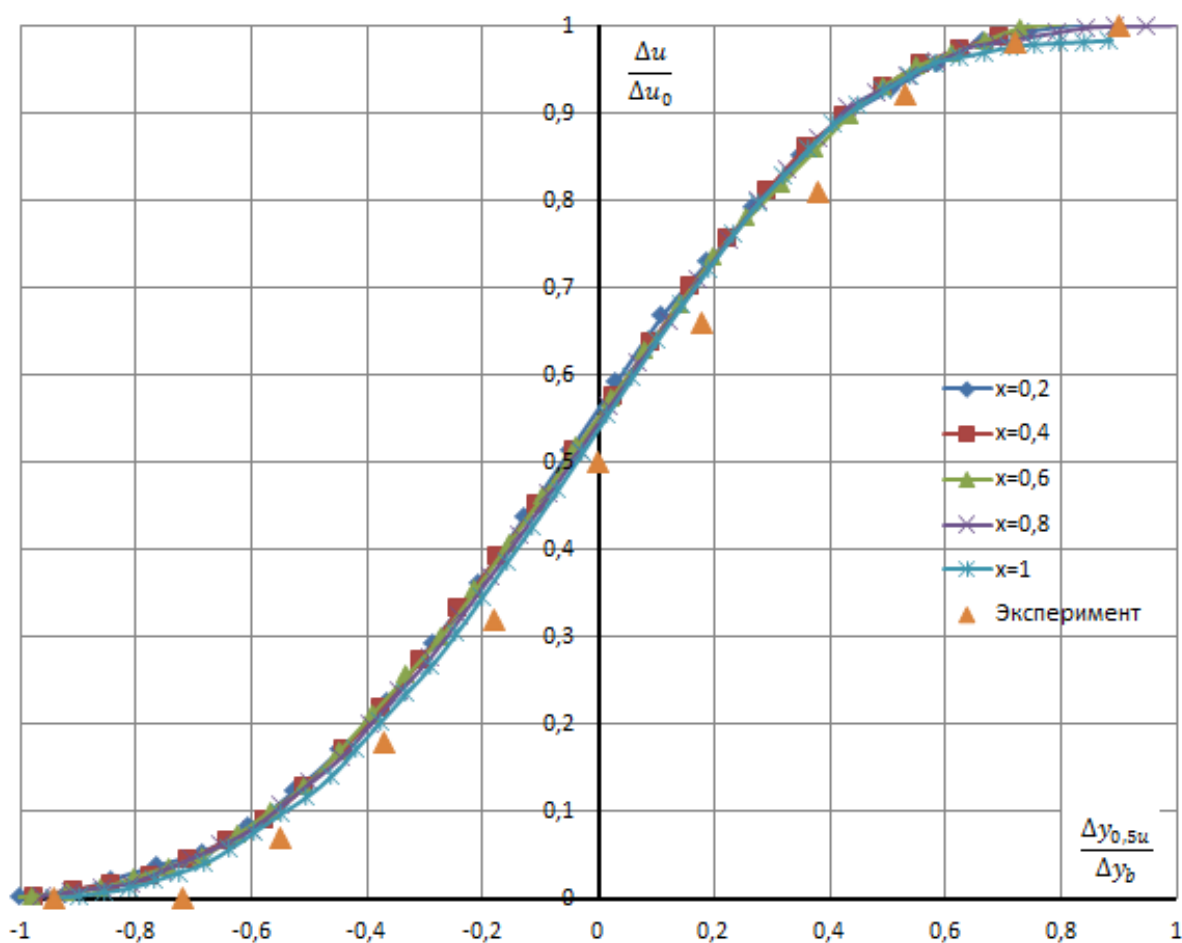


Рис. 9. Профили безразмерной избыточной скорости для густой сетки (SST)

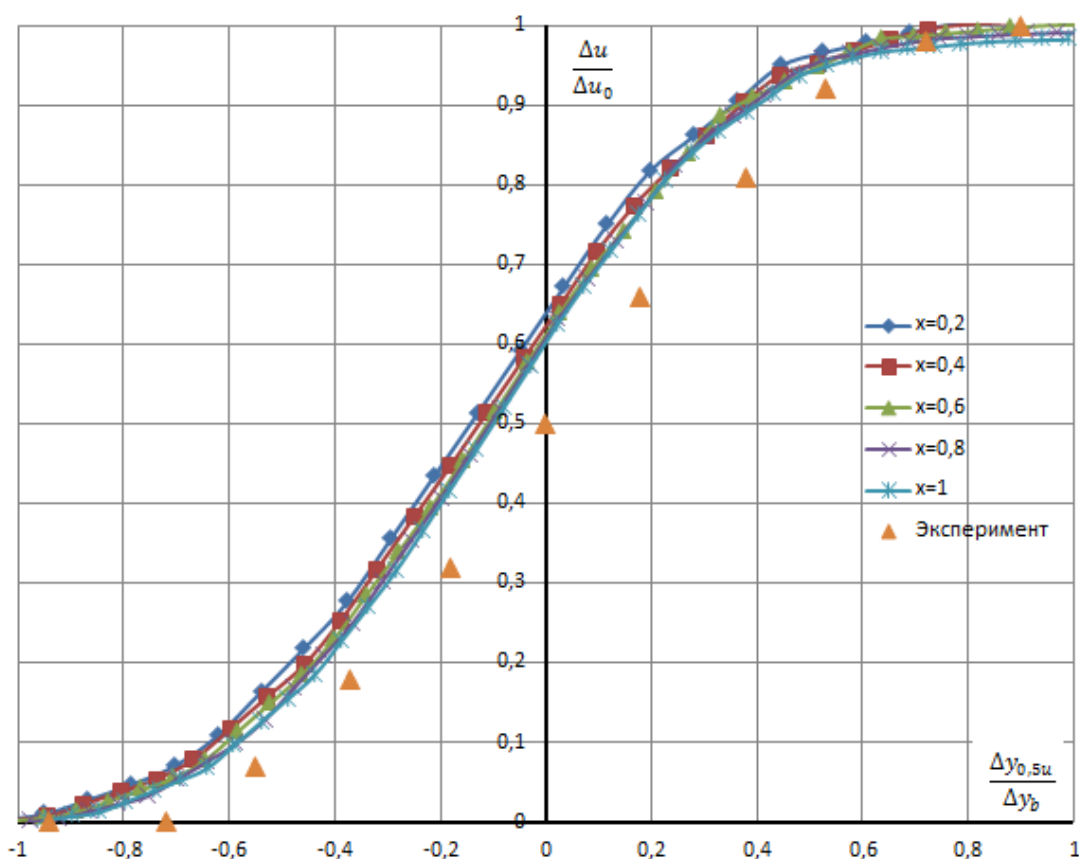


Рис. 10. Профили безразмерной избыточной скорости для редкой сетки (SST)

Таблица 1

Длина начального участка при $k - \varepsilon$ -модели турбулентности

	X_n , мм		
	На основании зависимости для начального участка	Расчет в ANSYS CFX, сетка из 650 000 элементов	Расчет в ANSYS CFX, сетка из 1,5 млн элементов
$m=0,64$	336	250	530
$m=0,43$	196	185	410
$m=0,23$	132	185	277
$m=0$	90	160	195

4.

Таблица 2

5. Длина начального участка при SST-модели турбулентности

	X_n , мм			
	На основании зависимости для начального участка	Расчет в ANSYS CFX, сетка из 440 000 элементов	Расчет в ANSYS CFX, сетка из 508 000 элементов	Расчет в ANSYS CFX, сетка из 760 000 элементов
$m=0,64$	336	260	230	330
$m=0,43$	196	165	196	243
$m=0,23$	132	143	170	185
$m=0$	90	107	125	165

По [1] длина начального участка определяется по следующим формулам:

- для затопленной струи ($m=0$) $x_n = 9b_0$;
- для спутных струй ($0 < m < 1$) $x_n = b_0 \frac{1+m}{0,27(1-m)(0,416+0,134m)}$.

Выводы

В ходе проведённого исследования моделирования струйных турбулентных течений в ANSYS CFX, установлено, что профили безразмерных избыточных скоростей одинаково хорошо воспроизводятся как для модели турбулентности $k-\varepsilon$, так и для модели турбулентности SST. При относительном размере элемента $l/d > 0,125$ (где l – средний размер элемента сетки, d – диаметр основного потока) максимальная погрешность составляет порядка 20%. При $l/d < 0,075$ – максимальная погрешность не превышает 8 %.

Длина зоны смешения, которая косвенно характеризуется величиной начального участка, более качественно моделируется на моделях турбулентности SST. Установлено, что длина начального участка зависит от среднего размера элемента сетки в зоне смешения и от отношения начальных скоростей основного и спутного потоков. Наиболее оптимальные результаты наблюдаются при относительном размере элемента $l/d = 0,095 \dots 0,11$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кишалов А.Е. Верификация моделирования процесса горения гомогенной бензино-воздушной смеси, определение тепловых границ факела за одиночным V-образным стабилизатором / Вестник УГАТУ, Уфа, 2012. Т.16, №2 (47). – С.113-119.
2. Ахмедзянов Д.А. Верификация процесса горения и оценка полноты сгорания в камерах сгорания авиационных газотурбинных двигателей. / Д.А. Ахмедзянов, О.А. Баулин, А.Е. Кишалов // «Башкирский химический журнал», Уфа: изд. «Реактив», 2011. – Том 18 №4. С.230-235.
3. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика / М.: Наука, 1991. – 600 с.

ОБ АВТОРАХ



Кишалов Александр Евгеньевич, доц. каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ, дипл. инж. (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2010) Исследования в области имитационного моделирования автоматики авиационных ГТД, трёхмерного численного моделирования процессов, происходящих в камерах сгорания авиационных ГТД.

e-mail: kishalov@ufanet.ru



Игнатьев Олег Игоревич студент каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ. Исследование в области численного математического моделирования рабочих процессов, происходящих в элементах авиационных ГТД.

e-mail: oleg.defg@yandex.ru

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОПТИМИЗАЦИИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Горюнов И. М., Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Усов Д. В.

Рассмотрены примеры использования разработанной авторами системы DVIGwT для автоматизированного проектирования, выбора особенностей конструкции, термодинамических параметров и оптимизации статических и динамических характеристик газотурбинных энергетических установок различной размерности и принципа действия.

Энергетические установки, термогазодинамические расчеты, имитационное моделирование.

Введение

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 требуемыми эксплуатационными характеристиками для различных потребителей. Сложность рабочих процессов, происходящих на установившихся и неуставившихся режимах работы, разветвлённость системы автоматического управления (САУ), обуславливает необходимость разработки 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 и неуставившихся режимах [1, 2]. Разработанная авторами СИМ газотурбинных установок и газотурбинных двигателей различных схем и их САУ описана в [1,2,6].

Рассмотрим примеры моделирования различных ГТЭУ в СИМ DVIGwT.

Разработка и идентификация математической модели газотурбинной установки ГТЭ-25ПЭР

Основные исходные данные при разработке и идентификации математической модели ГТЭ-25ПЭР приняты по [4,5].

Состав и термодинамические свойства расчетного природного газа приняты по ГОСТ 23194-83.

На основании составленной расчетной схемы (рис. 1) разработана в системе DVIGwT математическая модель ГТЭ-25ПЭР (рис. 2), которая состоит из функциональных элементов, соответствующих основным узлам и элементам установки.

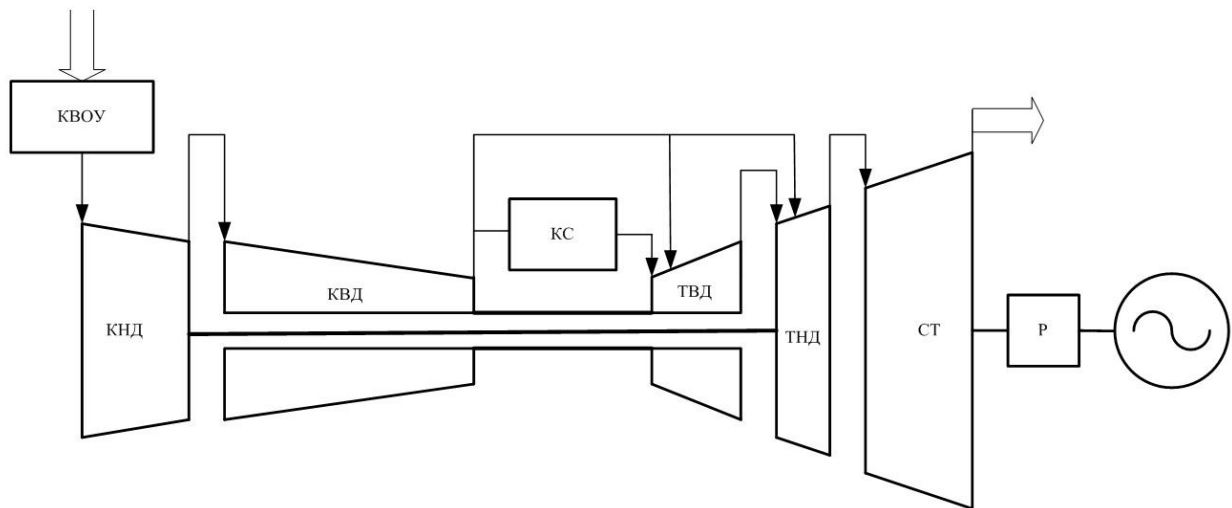


Рис. 1. Расчетная схема ГТЭ-25ПЭР

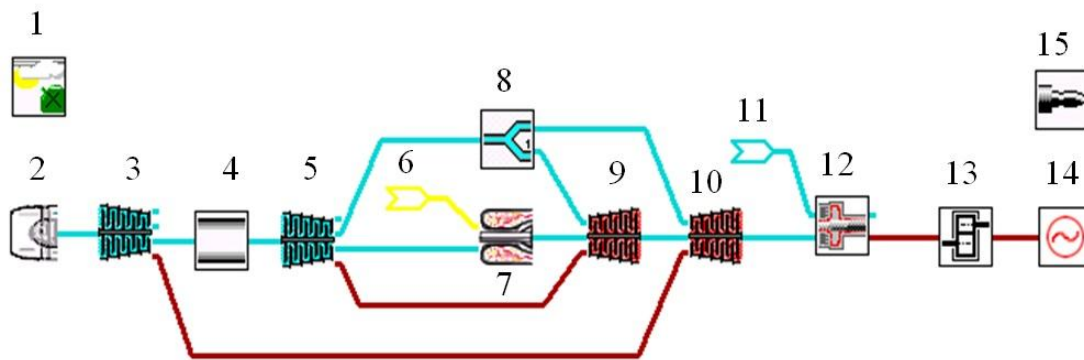


Рис. 2. Топологическая схема модели ГТЭ-25ПЭР

1 – начальные условия; 2 – ВУ; 3 – КНД; 4 – канал; 5 – КВД; 6 – вход топлива; 7 – КС; 8 – охл. ТВД; 9 – ТВД; 10 – ТНД; 11 – охл. СТ; 12 – СТ; 13 – редуктор; 14 – эл. генератор; 15 – общие результаты

Результаты моделирования приведены на рис. 3-6.

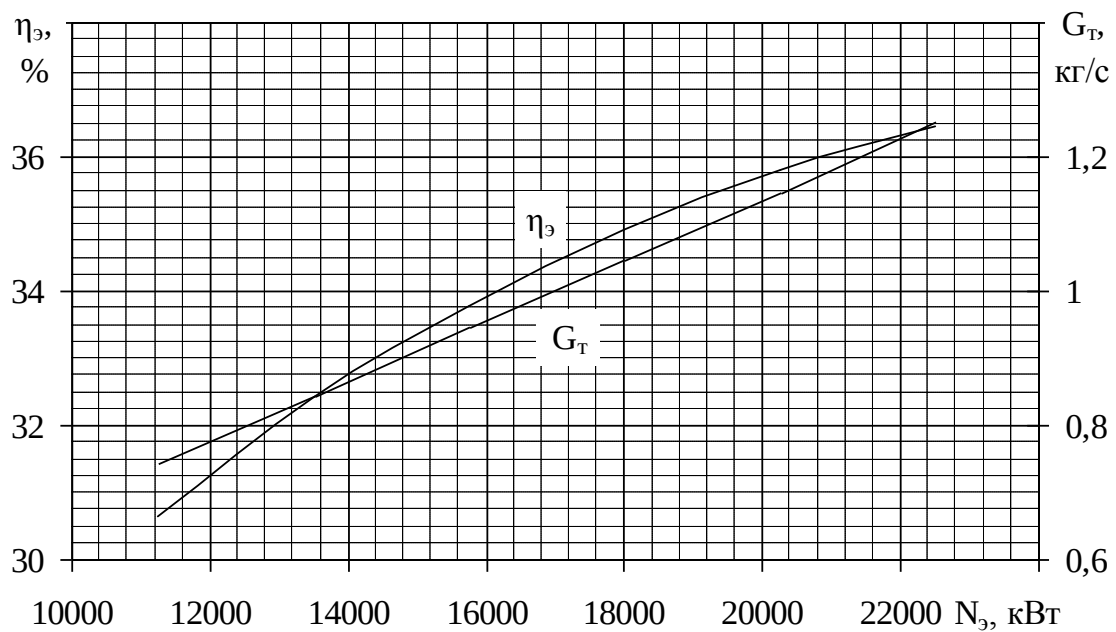


Рис. 3. Зависимость $\eta_{э}, G_{т} = f(N_{э})$

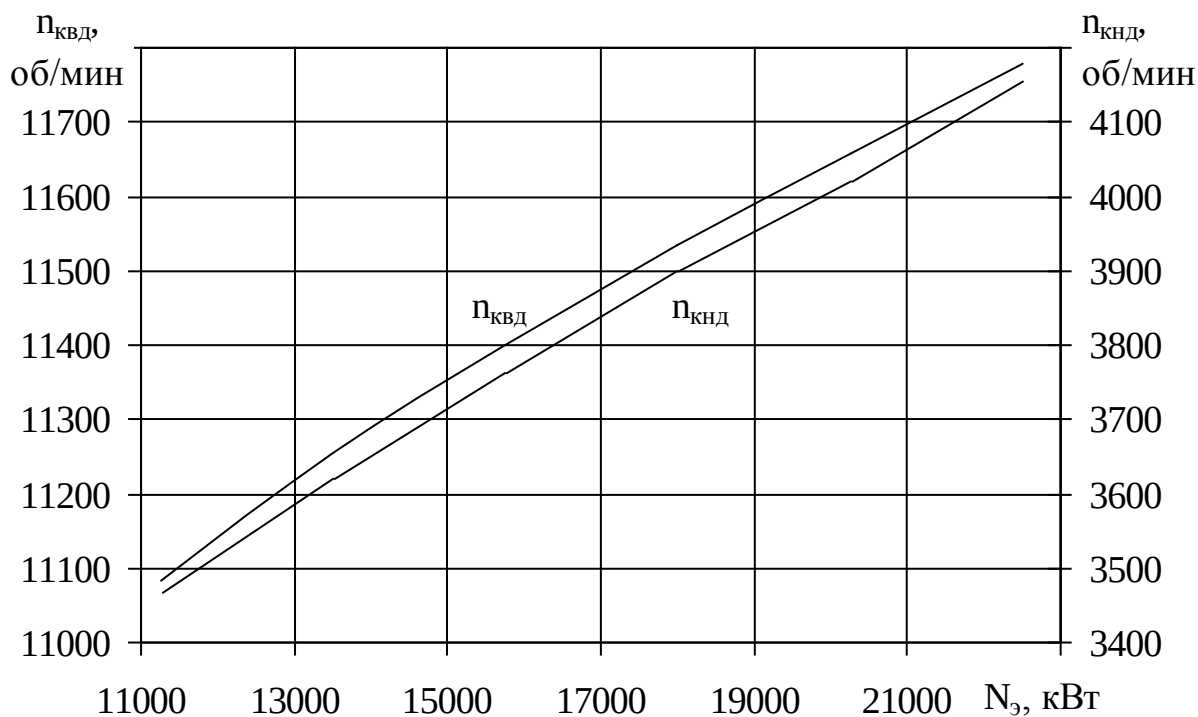
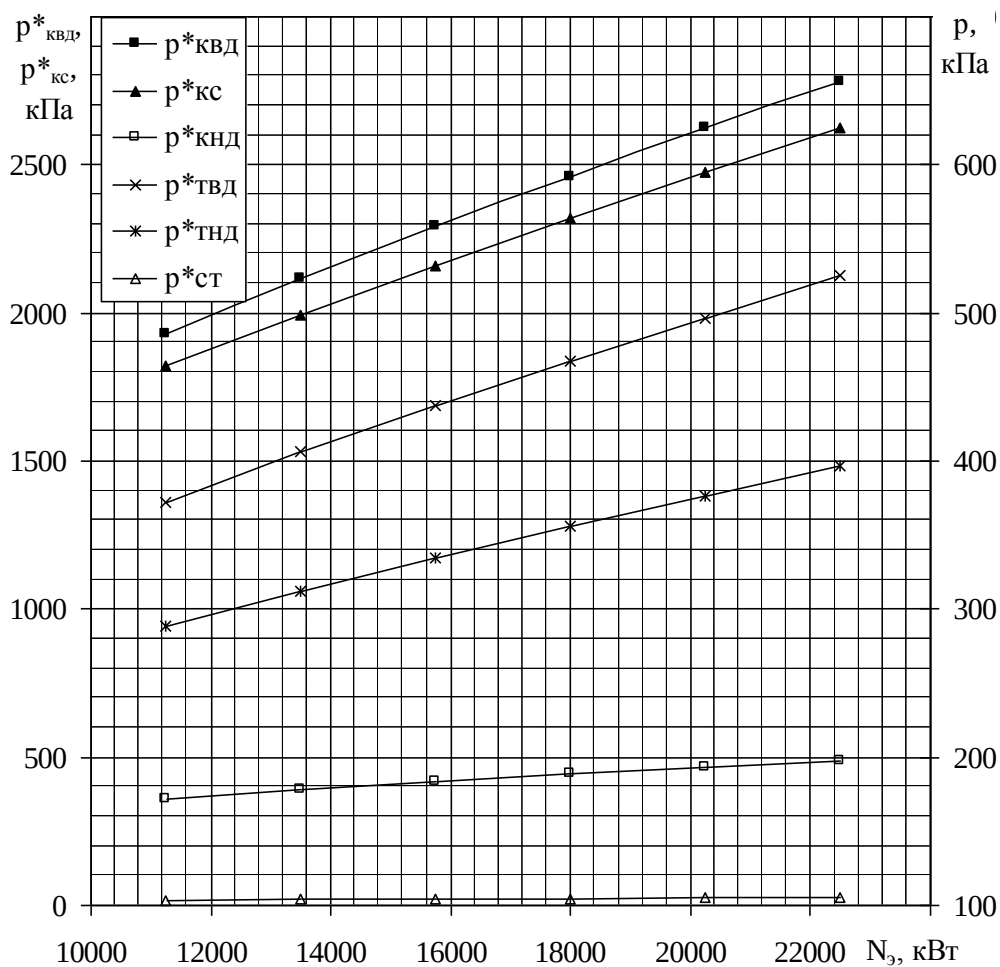
Рис. 4. Зависимость n_{KVD} , $n_{KND} = f(N_3)$ 

Рис. 5. Зависимость давления в характерных сечениях ГТУ от нагрузки

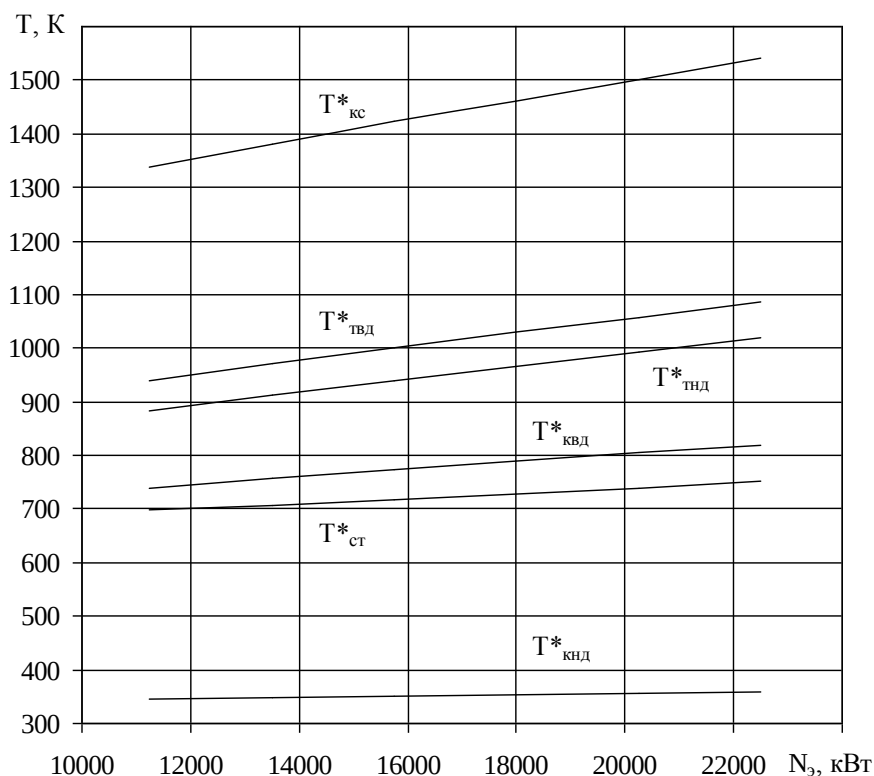


Рис. 6. Зависимость температуры в характерных сечениях ГТУ от нагрузки

Анализ полученных результатов показал - погрешность определения параметров ГТЭУ по разработанной математической модели на номинальном режиме при частичных нагрузках в сравнении с данными ОАО «Авиадвигатель» не превышает $\pm 1\%$. Погрешность определения параметров ГТЭУ при расчете климатических характеристик по $T^*_{СТ}$ до $-1,73\%$ и по $n_{ВД}$ до $-14,57\%$ при температуре наружного воздуха $t_{вх} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ объясняется отсутствием конкретных характеристик узлов ГТУ. В реальном диапазоне температур воздуха погрешность по $T^*_{СТ}$ не превышает 1% .

Математическое моделирование энергетической установки с впрыском водяного пара в проточную часть ГТУ и его регенерации из парогазовой смеси в контактном конденсаторе-утилизаторе

Выполнено моделирование энергетической установки с впрыском водяного пара в проточную часть ГТУ и его регенерации из парогазовой смеси в контактном конденсаторе-утилизаторе («Водолей» НПП «Машпроект») [7].

Газы охлаждаются до точки росы, а пары переходят в жидкую фазу, которую собирают и возвращают в основной бак для последующей рециркуляции. При этом удастся уловить воду, полученную в результате химической реакции в процессе сгорания топлива. Установка, приведенная на рис. 7, состоит из газотурбинного двигателя, теплоутилизующего контура, контактного конденсатора-газоохладителя, системы впрыска охлаждающей воды в конденсатор, системы впрыска водяного пара в проточную часть ГТД, и охлаждения турбин насыщенным водяным паром.

В системе DVIGwT составлена расчетная модель, представленная на рис. 8, и выполнены расчеты выходных параметров ПГУ по исходным данным, приведенным в работах [7, 8].

Применяемое топливо согласно ГОСТ 5542-87 – метан с низшей теплотворной способностью топлива $H_u = 50056\text{ кДж/кг}$.

Коэффициент, определяющий расход пара в экологическую зону был принят равным $k = G_{\text{п.эк.}} / G_{\text{т}} = 2,5$, где $G_{\text{п.эк.}}$ – количество пара, подаваемого в экологическую зону камеры сгорания; $G_{\text{т}}$ – секундный расход топлива.

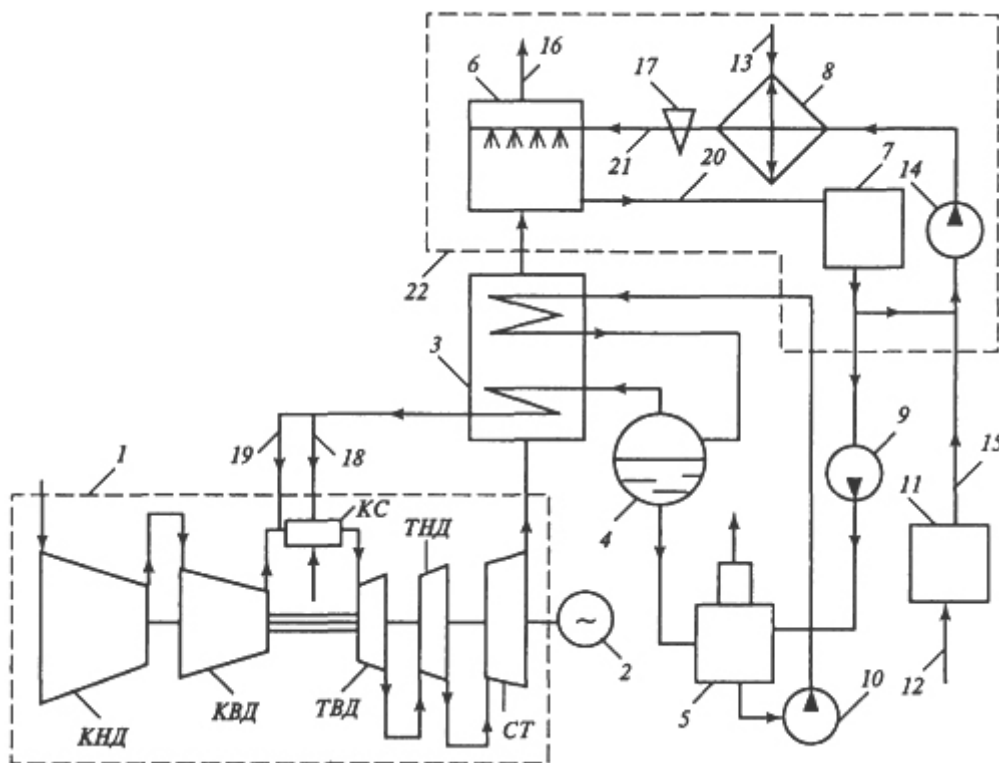


Рис. 7. Принципиальная схема энергетической установки "Водолей":

КНД – компрессор низкого давления; КВД – компрессор высокого давления; КС – камера сгорания; ТВД – турбина высокого давления; ТНД – турбина низкого давления; СТ – силовая турбина; 1 – газотурбинный двигатель;

2 – генератор; 3 – котел-утилизатор; 4 – сепаратор; 5 – деаэратор;

6 – контактный конденсатор; 7 – резервуар для хранения воды; 8 – охладитель конденсированной воды; 9 – питательный насос; 10 – циркуляционный насос; 11 – система водоподготовки котла; 12 – подача технической воды к системе водоподготовки; 13 – подача технической воды к системе охлаждения конденсированной воды; 14 – насос конденсированной воды;

15 – пополнение воды котла; 16 – выходное устройство; 17 – фильтр конденсированной воды; 18 – подача пара для повышения мощности;

19 – подача пара для уменьшения выбросов NO_x ; 20 – дренаж из конденсатора; 21 – подача охлаждающей воды к конденсатору; 22 – система охлаждения

Коэффициент, определяющий расход пара на охлаждение турбины двигателя по отношению к расходу воздуха через компрессор, линейно изменялся от температуры газа перед турбиной от 0,08, при $T_{\text{см.2}}^* = 1473 \text{ K}$, до 0,11 при $T_{\text{см.2}}^* = 1873 \text{ K}$. В этом случае количество энергетического пара будет равно $G_{\text{п.энер.}} = G_{\text{п}} - G_{\text{п.эк.}} - G_{\text{п.охл.}}$, где $G_{\text{п}}$ – общее количество пара, сгенерированного в КУП. Относительная доля пара, идущая на охлаждение соплового аппарата турбины бала принята равной $\bar{G}_{\text{охл.ст}} = 0,7$. Охлаждение турбины двигателя производится насыщенным паром.

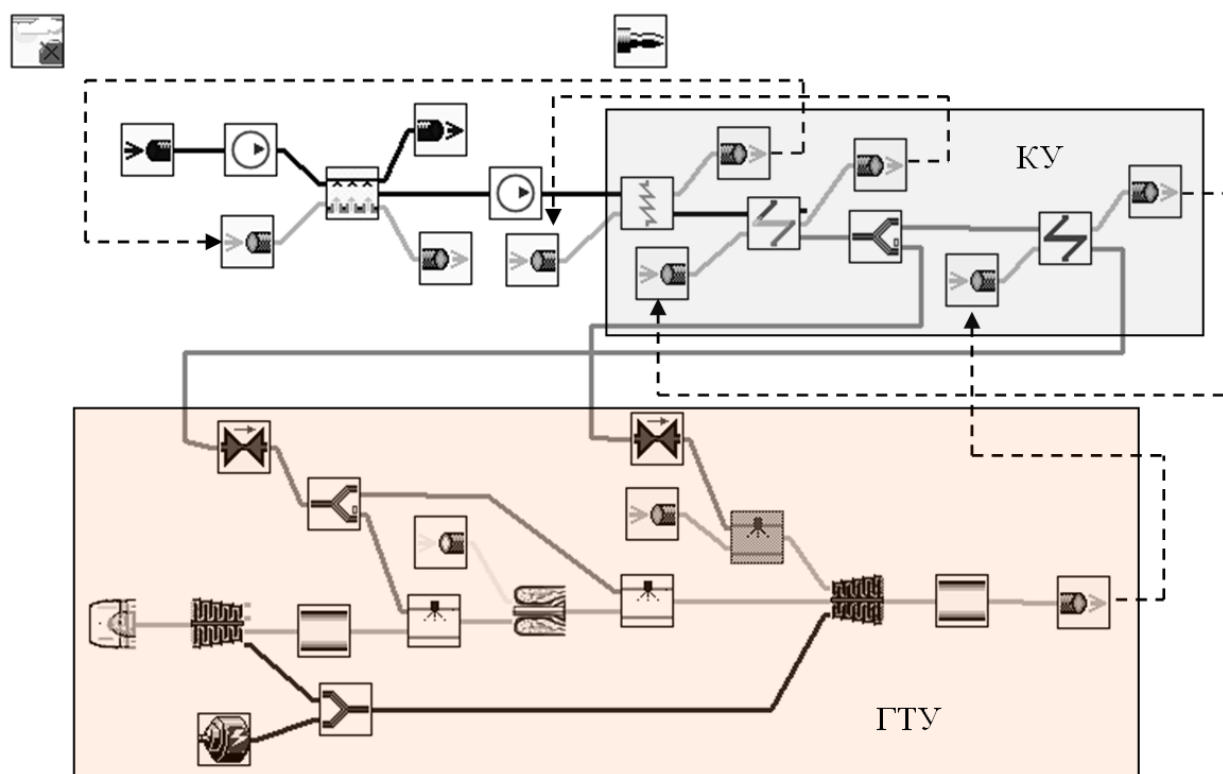


Рис. 8. Структурная схема модели ПГУ типа «Водолей»

Температура пара на выходе из КУП определяется температурой парогазовой смеси за СТ: $T_{\Pi}^* = T_{\text{вых.ст}}^* - \Delta T_{\text{г.п.}}$.

Расчеты проведены для значений температуры газа перед турбиной, равной $T_{\text{см.2}}^* = 1473, 1573, 1673$ и 1873 K, при варьировании степени повышения полного давления в компрессоре $\pi_{\text{к}}^*$.

Результаты расчетов в виде зависимостей $\eta_{\text{пгу}}, N_{\text{уд.пгу}}, \bar{G}_{\Pi} = f(\pi_{\text{к}}^*, T_{\text{см.2}}^*)$ приведены на рис. 9 – 11, где сплошными линиями представлены результаты расчетов по разработанной системе DVIGwT, точками – по данным работы [7], пунктирными линиями – по данным работы [8].

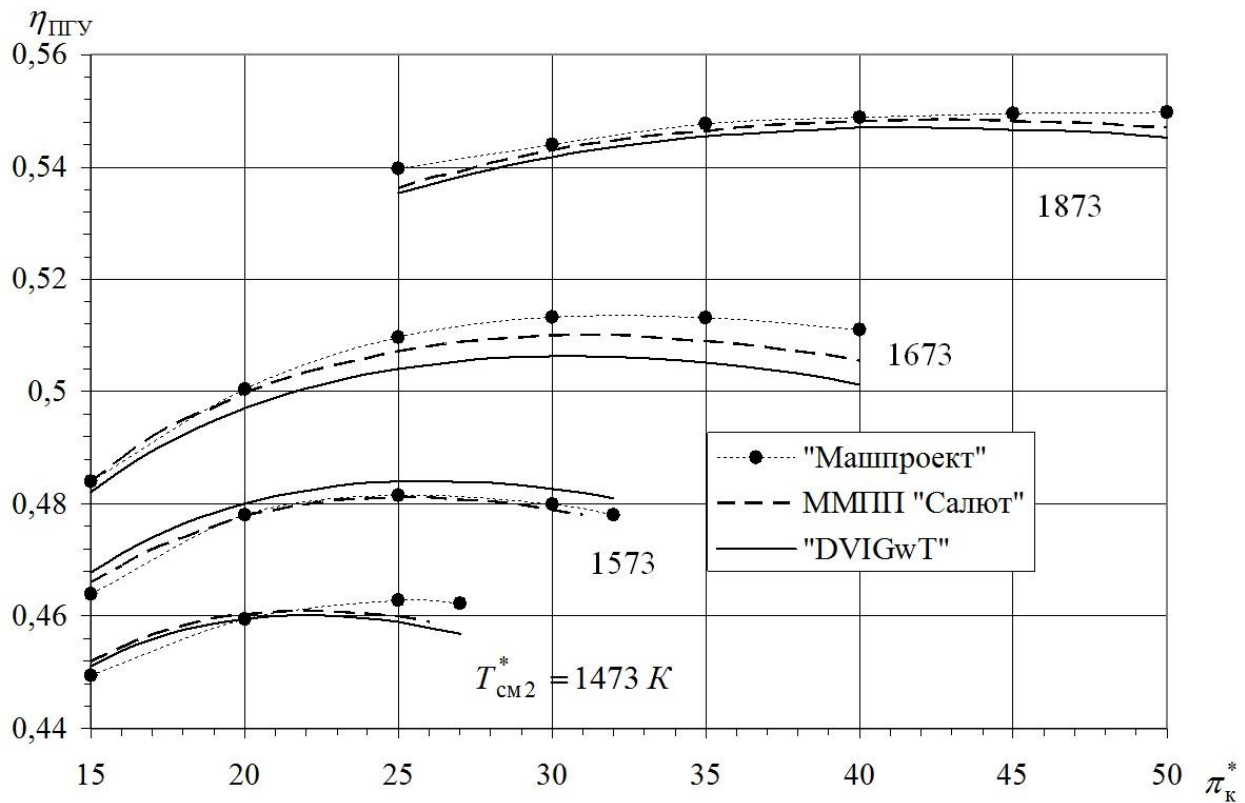


Рис. 9. Зависимость КПД ПГУ от степени повышения полного давления в компрессоре и температуры парогазовой смеси перед турбиной

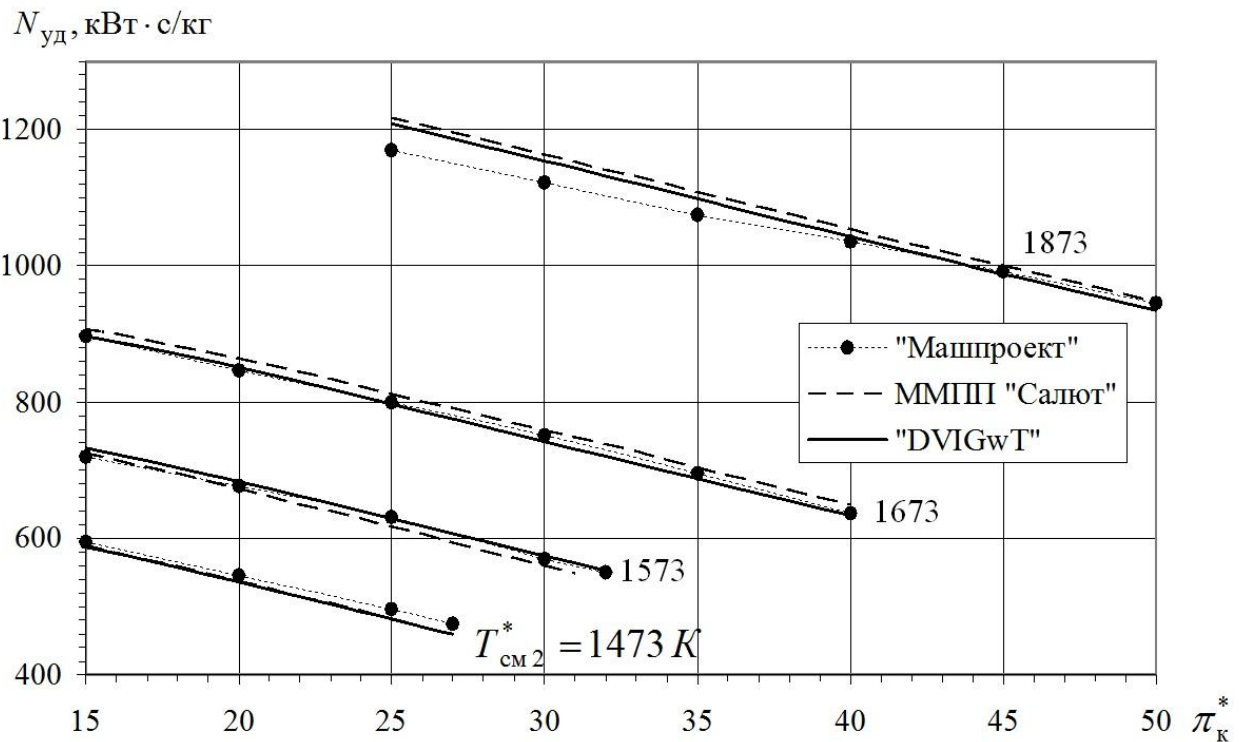


Рис. 10. Зависимость удельной мощности ПГУ от степени повышения полного давления в компрессоре и температуры парогазовой смеси перед турбиной

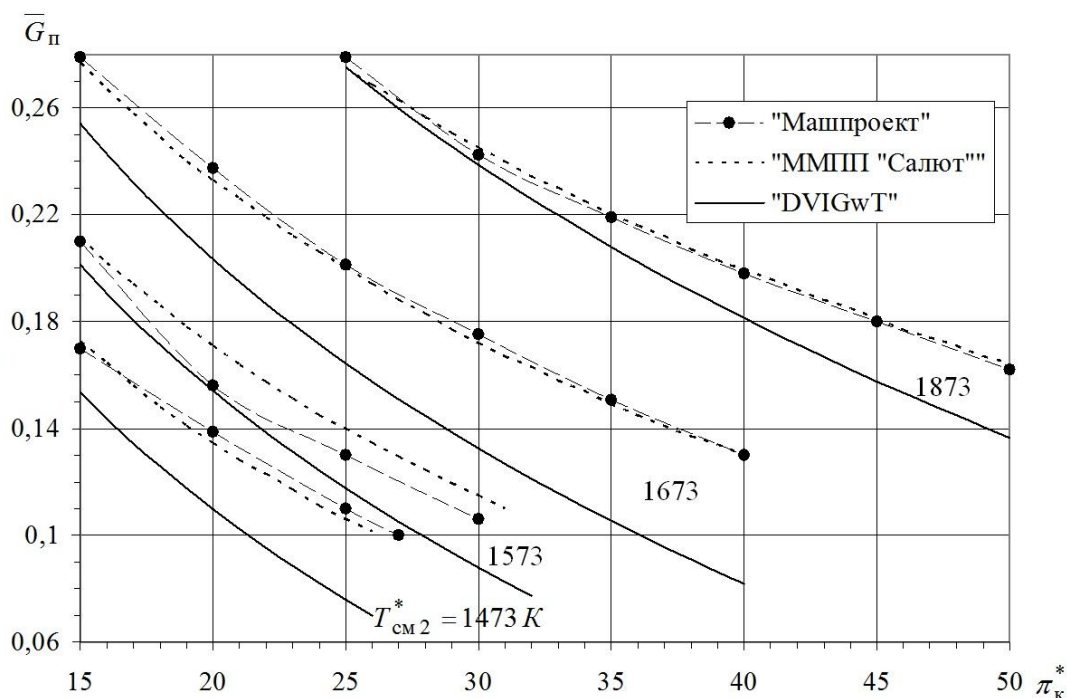


Рис. 11. Зависимость относительной паропроизводительности КУП ПГУ от степени повышения полного давления в компрессоре и температуры парогазовой смеси перед турбиной

Видно, что имеет место достаточно хорошая сходимость результатов: максимальное отклонение рассчитанных характеристик в величинах $\eta_{\text{пгу}}$ не превышает $\approx 1,9\%$ в сравнении с данными НПП «Машпроект», и $\approx 0,83\%$ в сравнении с данными ММПП «Салют», а в величине $N_{\text{уд.пгу}}$ соответственно — $\approx 3,3\%$ и $\approx 2,7\%$.

Энергетическая установка ГТЭ 10/95. Моделирование резкого изменения нагрузки на электрогенераторе

На примере моделирования резкого (ступенчатого) изменения нагрузки на электрогенераторе ГТЭ-10/95 (рис.12) при условии автономной работы (в локальной сети — наиболее сложный для регулирования случай) произведена отработка соответствующих методов и средств моделирования. С помощью модели подобран закон управления, в соответствии с которым регулятор вырабатывает управляющее воздействие, учитывающий реальные возможности топливной системы установки в условиях экстремального регулирования.

Газотурбинная энергетическая установка ГТЭ 10/95 предназначена для электро- и теплоснабжения жилых массивов, предприятий промышленности, объектов строительства, в отдаленных от энергосистем районах, а также в качестве дополнительного источника на крупных ТЭЦ для покрытия пиковых нагрузок. ГТЭ 10/95 номинальной электрической мощностью 10 МВт, создана в ОАО «НПП Мотор» (г. Уфа).

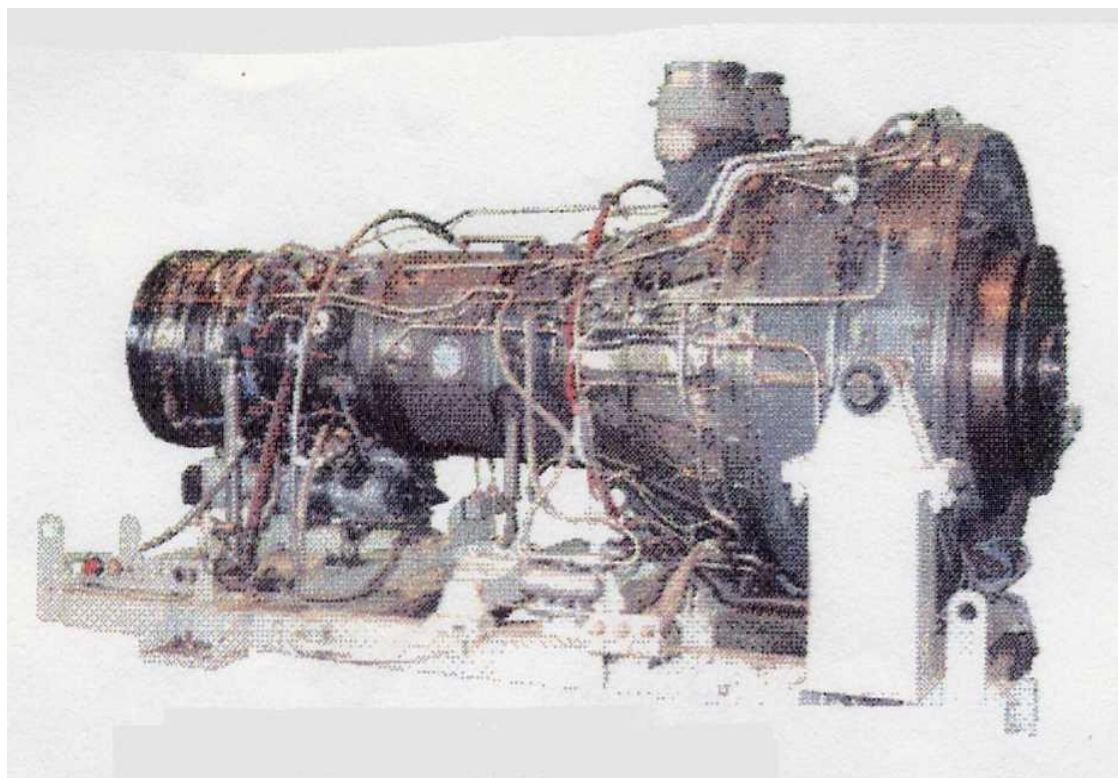


Рис.12. Энергоустановка ГТЭ-10/95

Основными элементами газотурбинной энергетической установки являются газотурбинный привод, электрогенератор и котёл утилизатор.

Параметры ГТЭ10/95:

Номинальная электрическая мощность 10 МВт.

Тепловая мощность 18 Гкал/ч.

Напряжение вырабатываемого тока с частотой 50 Гц – 10,5 кВ.

Расчетная эффективность КПД привода на валу СТ – 30,1 %.

Общий КПД с учетом теплоутилизации – 82 %.

Примем следующие исходные данные для математической модели:

Внутренняя мощность турбины – 9950 кВт.

Частота вращения ротора СТ – 3000 об/мин.

Частота вращения РНД- 9990 об/мин. Частота вращения РВД - 10760 об/мин.

Расход топлива в камере сгорания – 0,4208 кг/с. Расход воздуха – 57,9 кг/с.

Степень повышения давления КНД – 3,03.

Степень повышения давления КВД – 2,71.

Момент инерции РВД - $3,81 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Момент инерции РНД - $4,42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент инерции ротора свободной турбины – $106 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент инерции ротора электрогенератора – $2600 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Схема энергоустановки ГТЭ-10/95 в СИМ DVIgwr показана на рис. 13.

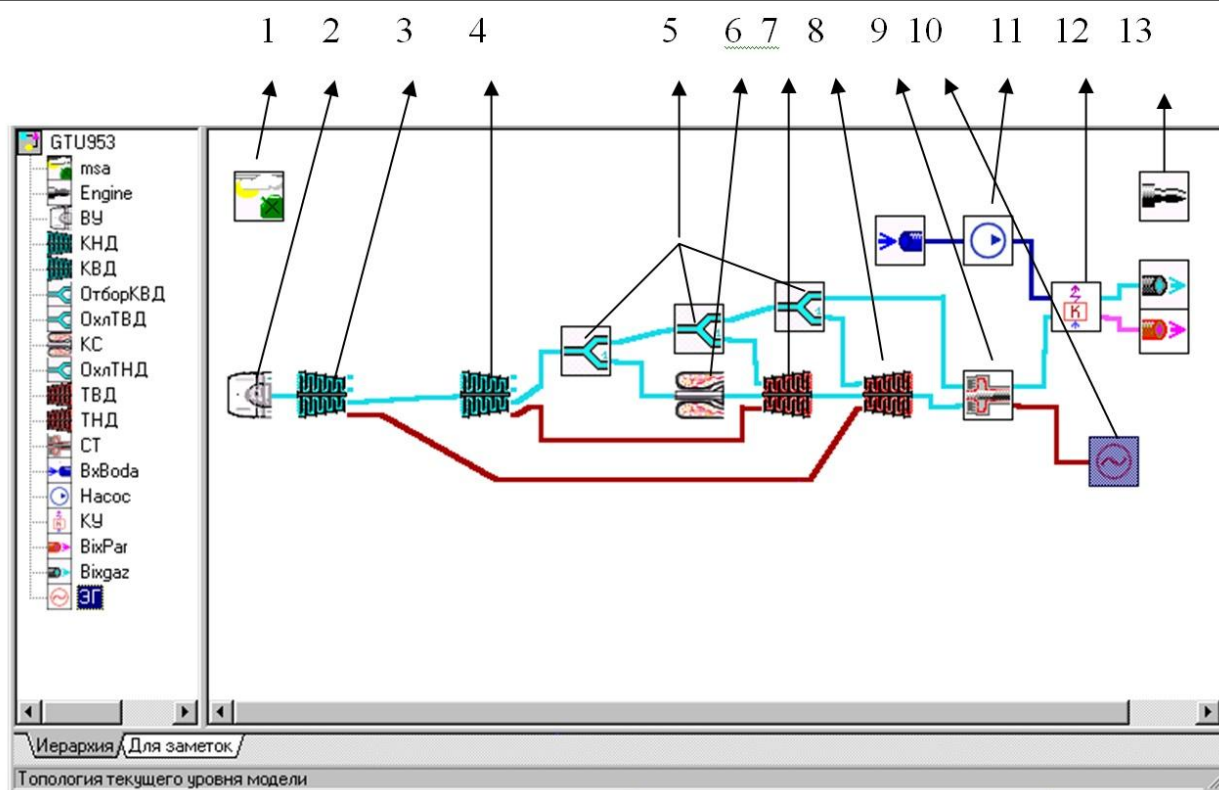


Рис.13. Схема энергоустановки ГТЭ-10/95 в системе DVIGwpr, где 1- внешние условия; 2-входное устройство; 3-КНД; 4 – КВД; 5- отбор газа; 6 – камера сгорания; 7 – ТВД; 8 - ТНД; 9 – свободная турбина; 10 – генератор; 11 – насос; 12- котел-утилизатор; 13 – общие результаты

На рис. 14-16 показаны характеристики ТВД, ТНД и СТ.

Получение заданной мощности установки $N=10$ МВт необходимо при условиях минимума расхода топлива (максимум КПД установки) и минимума температуры газа перед турбиной (максимальный ресурс двигателя).

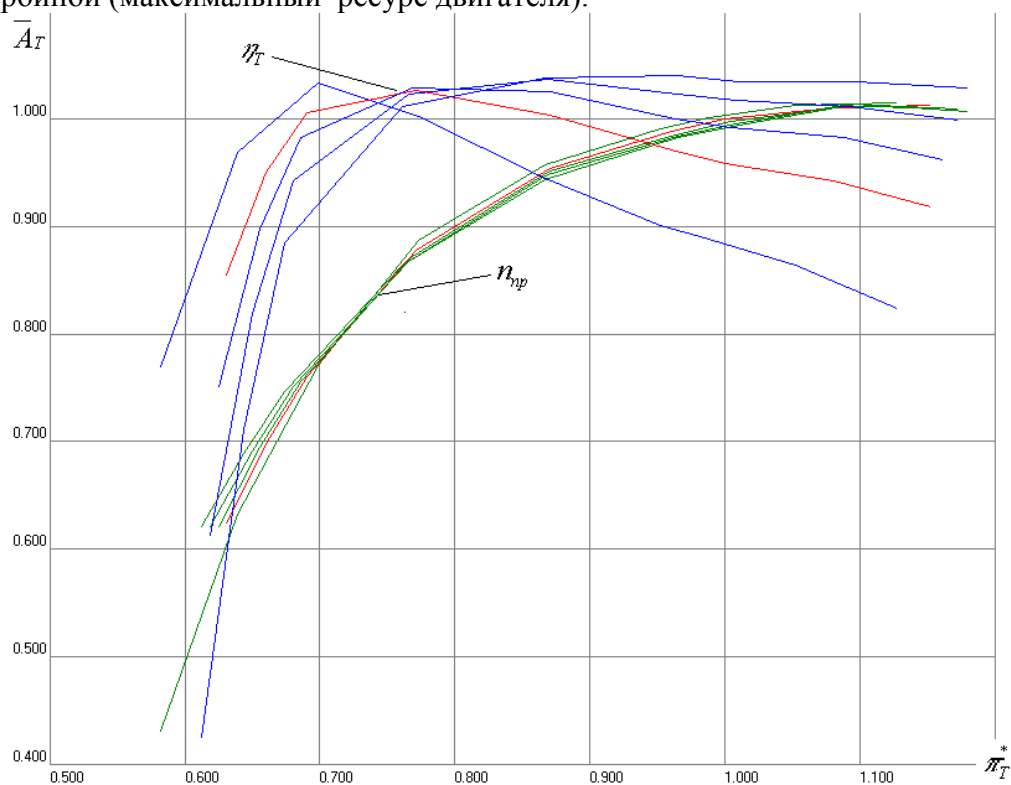


Рис.14. Характеристика турбины высокого давления

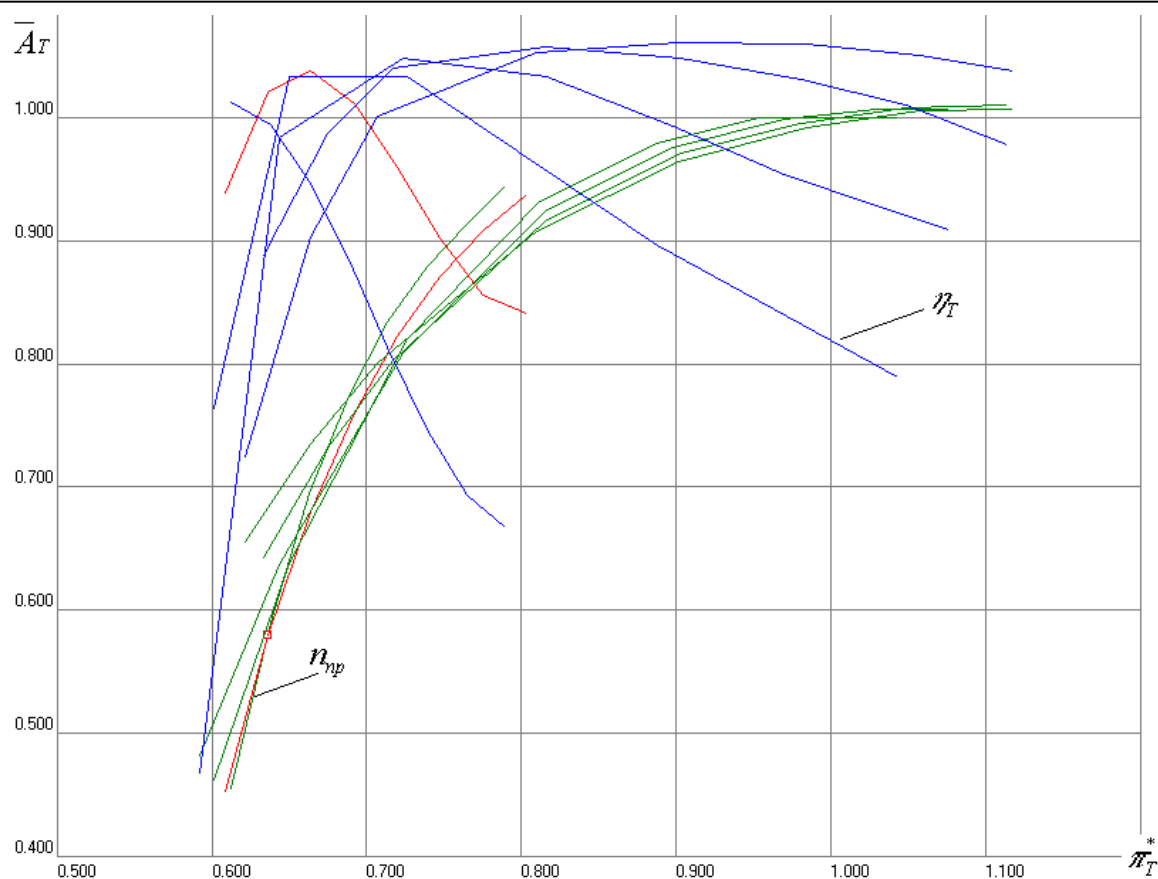


Рис.15. Характеристика турбины низкого давления

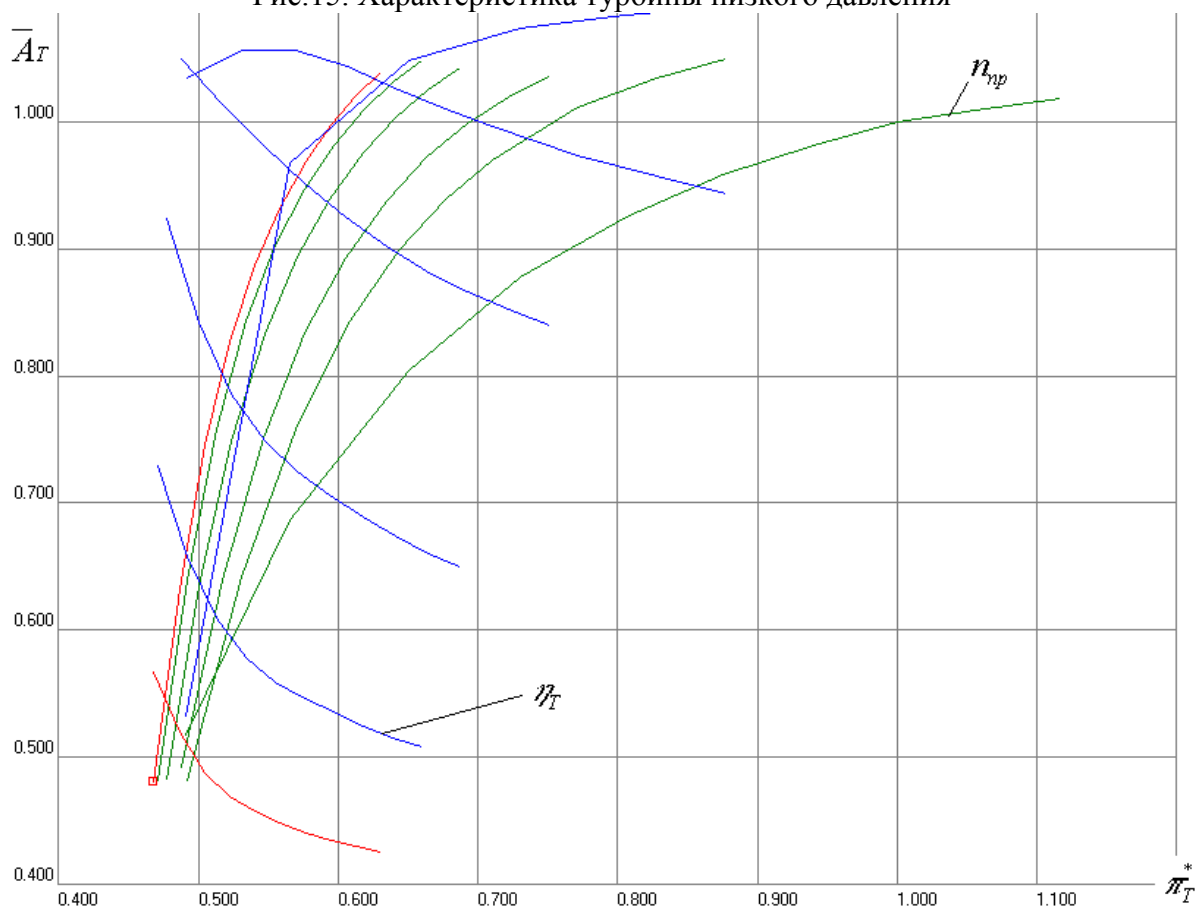


Рис.16. Характеристика свободной турбины

Результаты моделирования приведены на рис.17-21.

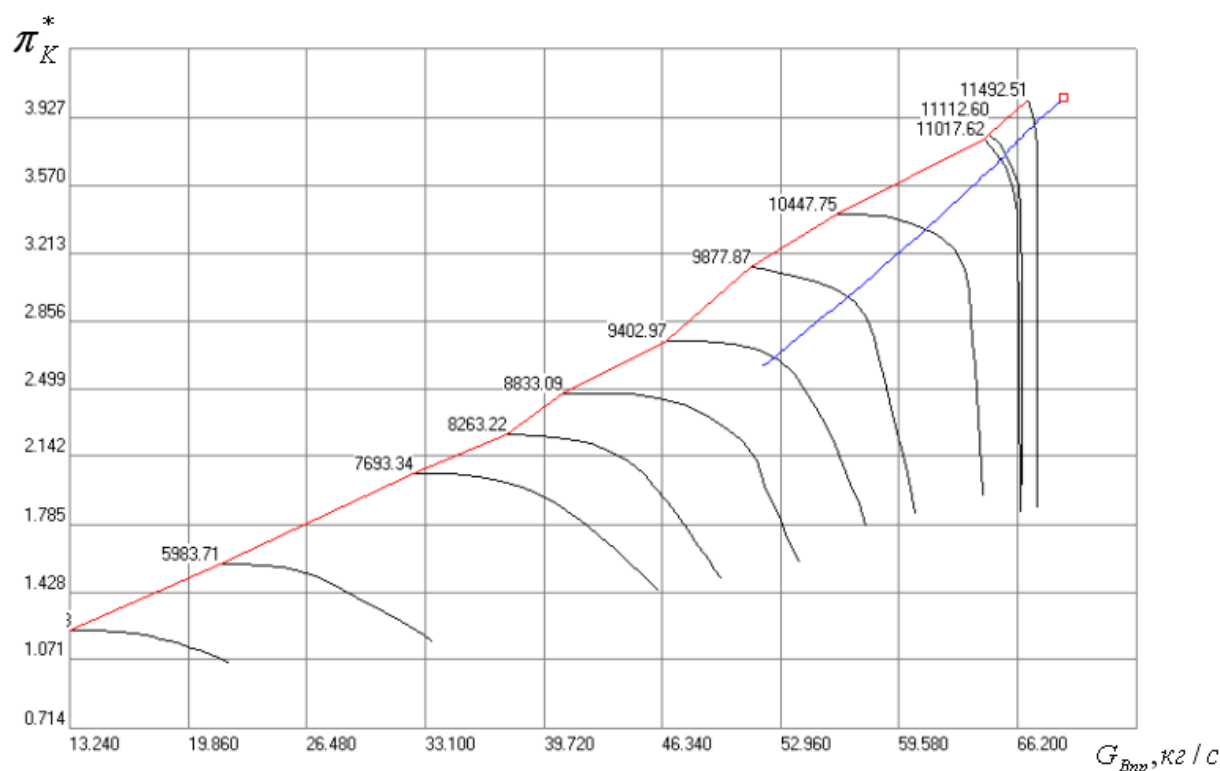


Рис.17. Линия рабочих режимов на характеристике КНД

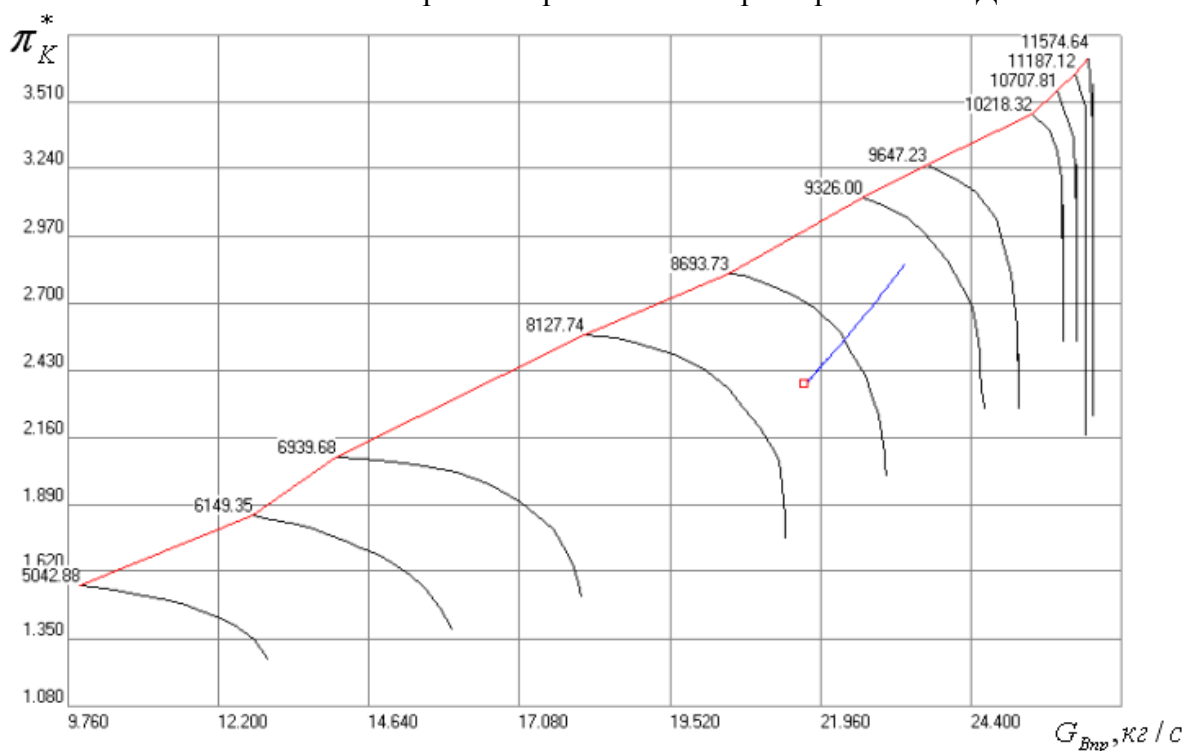


Рис.18. Линия рабочих режимов на характеристике КВД

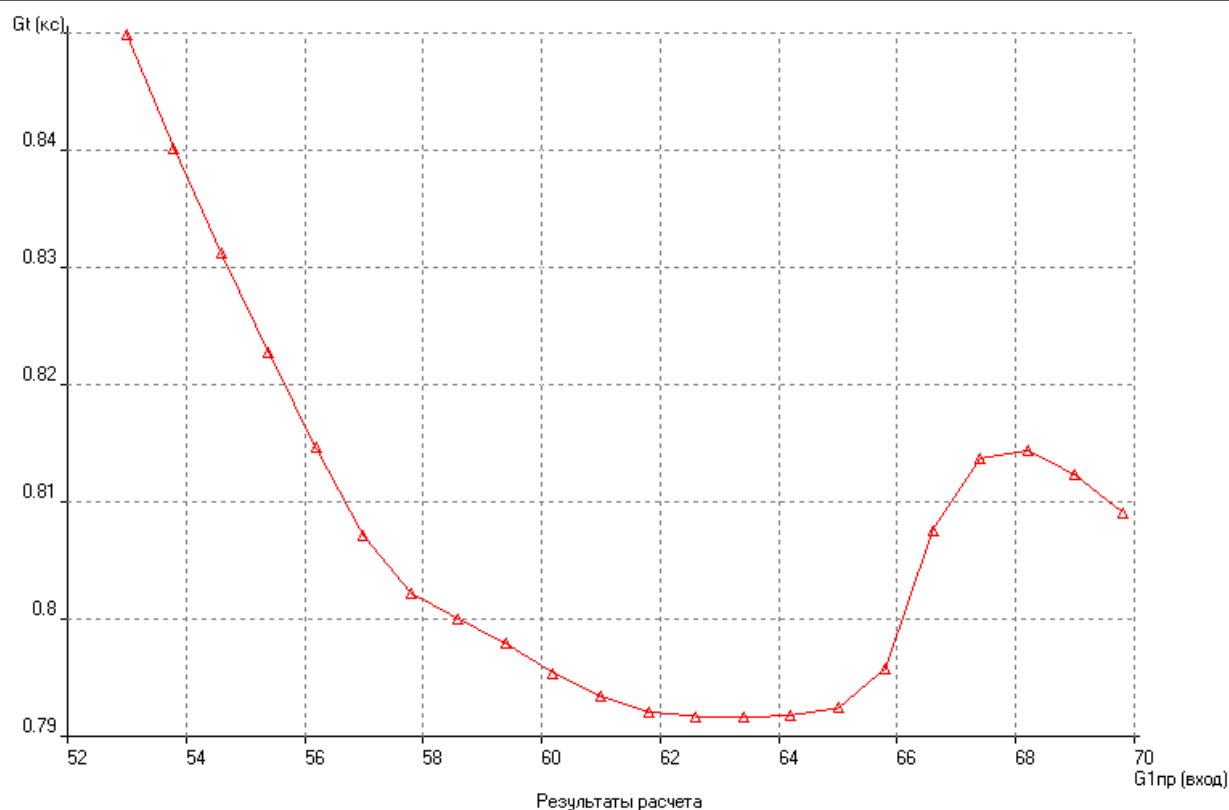


Рис.19. Изменение расхода топлива при дросселировании (определение режима максимума КПД установки: минимум расхода топлива соответствует максимуму КПД установки)

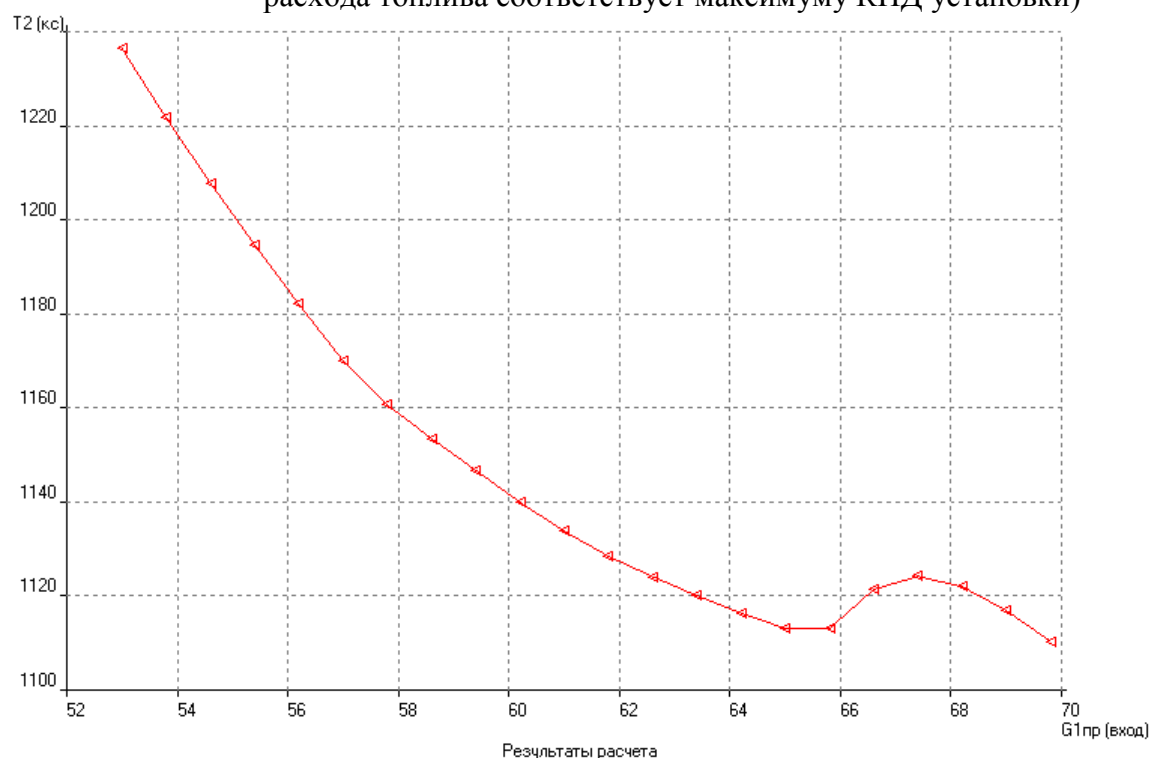


Рис.20. Изменение температуры в КС при дросселировании (определение режима максимума ресурса двигателя: минимум температуры газа перед турбиной - максимальный ресурс двигателя).

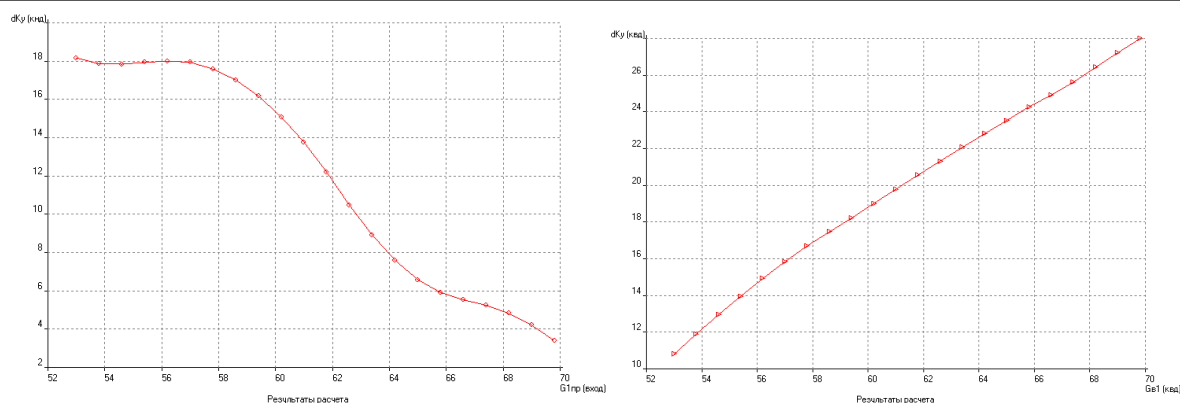
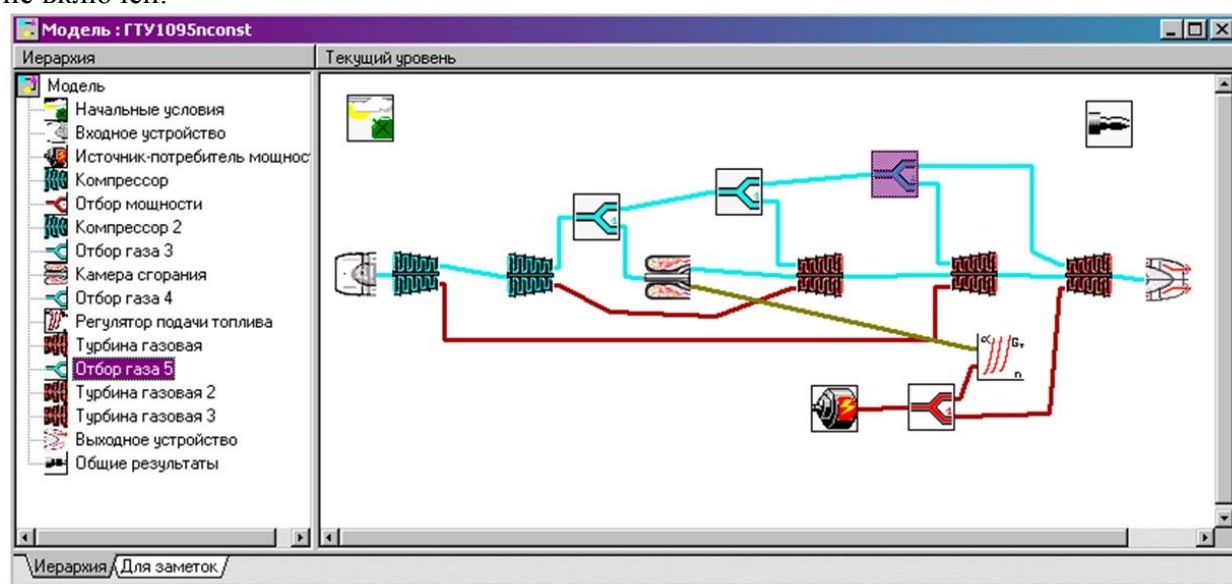


Рис.21. Изменение запаса устойчивости КНД и КВД при дросселировании

Сравнение полученных статических характеристик с экспериментальными данными подтверждает достаточную (с учетом предъявленных требований) степень адекватности модели. Проведем моделирование динамических характеристик установки при резком изменении нагрузки на электрогенераторе ($N_{\min}=5$ МВт; $N_{\max}=10$ МВт). Используем модель с регулятором для поддержания частоты вращения свободной турбины, показанную на рис.22. Котел-утилизатор при моделировании динамики в схему не включен.

Рис.22. Модель ГТЭ 10/95 с регулятором $n_{св.тур} = const$ в СИМ DVIW

На рис. 23 показано изменение нагрузки на электрогенераторе (входное возмущающее воздействие).

Допустимое отклонение частоты вращения составляет не более 1,5-2 % (при условии автономной работы), что требует точного регулирования. Был составлен закон расчёта в системе DVIWp (табл.1), который позволил определить приблизительный способ подачи топлива в камеру сгорания для поддержания постоянной частоты вращения свободной турбины, а значит и электрогенератора.

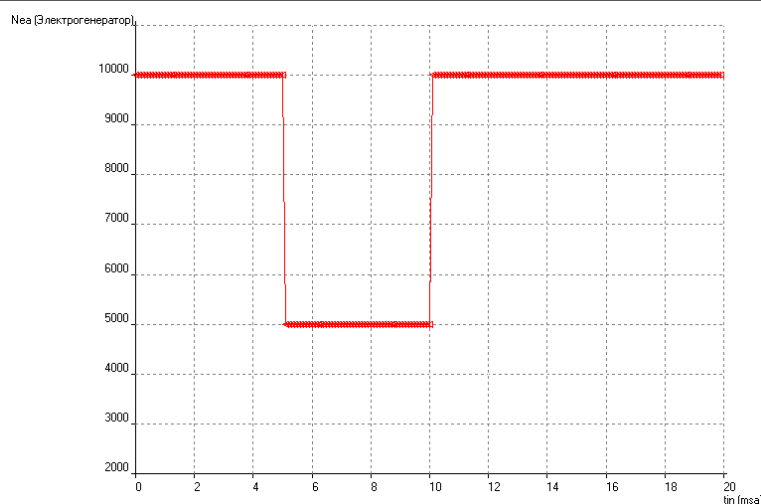


Рис. 23. Возмущающее воздействие в виде резкого изменения нагрузки на электрогенераторе

Таблица 1

Варьируются	Поддерживаются	Табулируется
$\pi_{K_{HD}}^*$ $\pi_{K_{BD}}^*$ $G_{B_{IP}}$ $\dot{n}_{ZEN}$ T_G^* N_{ex}	$A_{T_{HD}}$ $A_{T_{BD}}$ $A_{T_{св.тур}}$ $P_{2_{св.тур}}$ K_G $N_{блX}$	t (время переходного процесса)

На рис. 24 показан полученный закон подачи топлива для топливорегулирующей аппаратуры при различных характеристиках регулятора поддержания частоты вращения свободной турбины. Оба реализуемых закона управления подразумевают наличие инерционных динамических свойств регулятора. Результаты моделирования показывают, как влияют свойства регуляторов на качество переходного процесса – время регулирования и перерегулирования, затухание колебаний, статическую ошибку регулирования.

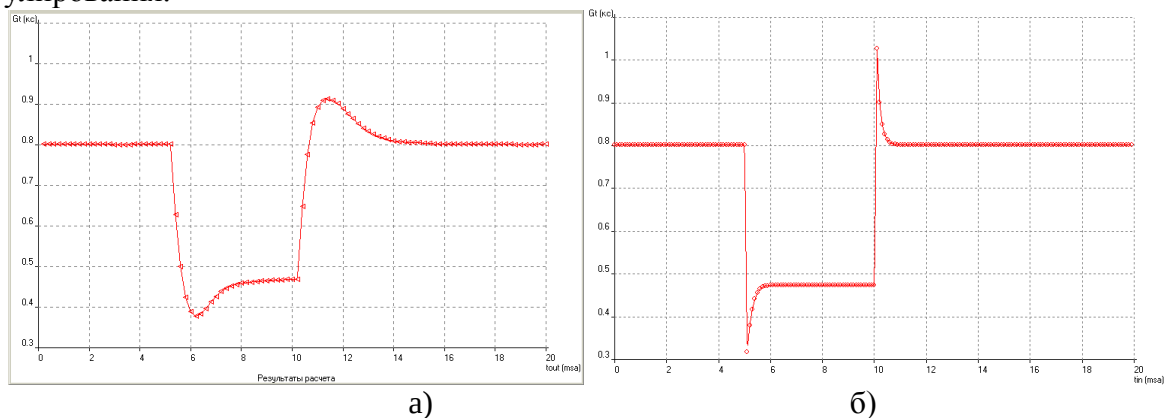


Рис.24. Закон подачи для топливорегулирующей аппаратуры, в процессе сброса и восстановления нагрузки реализуемый
 а) П – регулятором (пропорциональным);
 б) ПД – регулятором (пропорционально-дифференциальным)

На рис. 25-26 показаны некоторые результаты моделирования резкого изменения нагрузки на электрогенераторе с учетом запаздывания по времени подачи топлива.

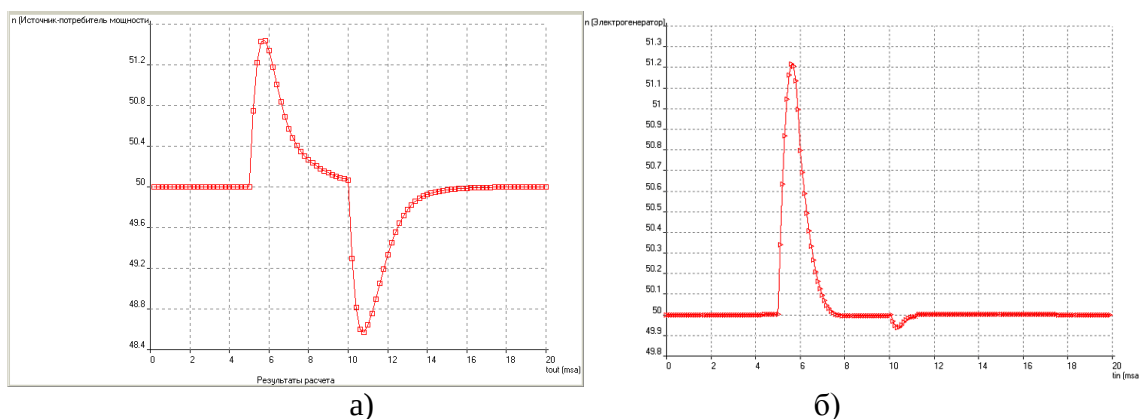


Рис.25. Изменение частота вращения ротора СТ по времени (об/с)
а) пропорциональный закон; б) пропорционально-дифференциальный

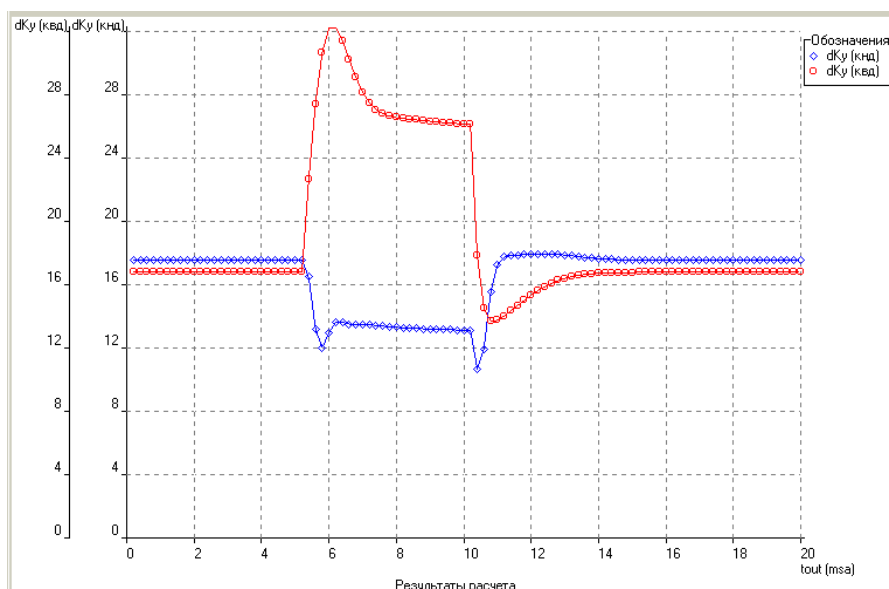


Рис.26. Изменение запасов устойчивости компрессоров по времени при пропорционально-дифференциальном законе управления

Оптимально совместить критерии получения максимума КПД установки и максимума её ресурса удаётся в окрестности $G_{Впр}=61$ кг/с, что соответствует $n_{кнд}=11156$ об/мин и $n_{квд}=11362$ об/мин, при этом обеспечиваются КПД компрессоров, близкие к максимальным, и запасы устойчивости компрессоров не ниже 12%. Варьируя параметрами регуляторов (постоянными времени, коэффициентами демпфирования) удалось оптимизировать законы управления и получить необходимое качество переходных процессов (время регулирования, перерегулирование, колебательность и т.п.).

Заключение

Таким образом, разработанные методы и средства автоматизированного проектирования позволяют осуществлять выбор особенностей конструкции, проводить термодинамические расчеты, оптимизацию статических и динамических характеристик газотурбинных энергетических установок различной размерности и принципа действия.

Разработанная СИМ позволяет решать широкий круг проектно-доводочных задач:

- термогазодинамические расчеты;
- идентификацию моделей, расчеты характеристик;

- исследование свойств ГТЭУ и их САУ на установившихся и неустановившихся режимах при различных внешних и внутренних воздействиях, в т.ч. нештатных ситуациях;
- научно-методическое сопровождение натурных испытаний и отладки, выбор законов управления и режимно-конструкторских параметров установки и элементов ее управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахмедзянов, А.М.** и др. Проектирование авиационных ГТД: Учеб.пособие. – Уфа: изд. УАИ, 1987. – 227 с.
2. **Горюнов, И.М.** Структурно-параметрический синтез и анализ энергоустановок различной размерности и разного принципа действия/ И.М. Горюнов, Д.А. Ахмедзянов, И.А. Кривошеев // Журнал «Нефтегазовое дело», Уфа.-2012.- Т.10.- №2.-С.65-73.
3. **Ахмедзянов, Д.А.** Моделирование энергоустановок на базе авиационных газотурбинных двигателей/Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, О.А. Баулин // Нефтегазовое дело, Уфа, УГНТУ, 2011. –Т9., №3. - С.102-108.
4. 325-00-900 ТУ. Установка газотурбинная ГТЭ-25ПЭР. Технические условия. ОАО «Авиадвигатель».
5. Газотурбинная электростанция ГТЭС-25П. Техническое предложение. ОАО «Авиадвигатель».
6. Система термогазодинамического моделирования газотурбинных двигателей// И.М. Горюнов, Д.А. Ахмедзянов, И.А. Кривошеев // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2004610624, Москва, Роспатент.
7. **Кривуца В.А.,** Кучеренко О.С., Дудкина И.Н. Параметрический анализ термодинамического цикла КГПТУ "Водолей" // Известия Академии инженерных наук Украины. НПП Машпроект 45 лет, 1999. вып. 1.
8. **Беляев В.Е.,** Елисеев Ю.С., Косой А.С., Маркелов А.П., Синкевич М.В. Конверсия в авиадвигателестроении: парогазовые установки на базе газогенераторов авиационных двигателей // Тезисы докладов на "6-м Международном научно-техническом симпозиуме - авиационные технологии XXI века: новые рубежи авиационной науки." 14-19 августа, 2001, г. Жуковский, Россия. С. 216 – 217.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0142

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, систем регулирования и автоматизации испытаний.
e-mail: 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.



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



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

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 338.45

РАЗВИТИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ НА БАЗЕ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кидрачев Р. Н., Дегтярева И. В.

На текущий момент экономика России весьма зависима от цен на минеральные ресурсы (нефть, газ и т.п.). При этом, правительство России неоднократно заявляло о потенциальных структурных изменениях в экономике. Отметим, что подобные изменения невозможны без развития наукоемких отраслей экономики.

В свою очередь, одним из важнейших секторов промышленности в инновационной экономике является высокотехнологичное машиностроение, в составе которого значительное место занимает авиационная промышленность.

Отечественный авиапром тесно интегрирован со многими отраслями экономики (в том числе и с сырьевыми). При этом авиационная промышленность играет заметную роль в обеспечении национальной безопасности страны, и защите ее внешних границ. Не стоит также, забывать, что далеко не все страны мира способны иметь свой собственный воздушный флот.

Очевидно, что страны, которые развивают собственную авиационную промышленность, в долгосрочном периоде получают неоценимые выгоды. Отметим, что к данным выгодам относятся не только денежные платежи, получаемые за счет экспорта летательных аппаратов в страны мира, но также группа нематериальных выгод. Так в частности к ним относят повышение международного авторитета страны, наличие высококвалифицированных специалистов (интеллектуальный капитал), гарантию сохранения внешних границ, решение ряда социальных проблем (одно рабочее место в авиапроме создает дополнительно 16 рабочих мест в смежных отраслях).

Целью данной работы является проведение анализа авиационной промышленности как потенциальной базы высокотехнологичных отраслей.

Авиационная промышленность в России имеет весьма непростую историю своего существования. Авиация в стране зародилась в середине 19 века, когда в 1870 году было создано первое в России общество воздухоплавания. Однако, фактически авиационная промышленность страны как двигатель ее экономики, и ее крупнейшая наукоемкая и трудоемкая отрасль сформировались в Советском Союзе.

Так в частности по состоянию на 1991 год в составе авиапрома страны работало около 2,5 миллионов человек (в то время как в 2011 году численность работающих в отрасли составляла 407,7 тысяч человек). [1]

Если учитывать мультипликативный эффект авиапромышленности (как выше указывалось, одно рабочее место в авиационной промышленности создает дополнительно 16 рабочих мест в смежных отраслях), то в Советском Союзе в составе авиапрома фактически трудилось более 32 миллионов человек, что составляло порядка 20% от численности населения страны (без учета космической отрасли). А если учесть, тот факт, что порядка 80% всех активов авиапрома находились на территории РСФСР – то это почти четверть населения советской России.

Большую роль в развитии авиационной промышленности сыграла государственная политика, а также личные качества и профессионализм конструкторов, летчиков, обслуживающего персонала. Все без исключения КБ (Микояна, Ильюшина Туполева, Сухого, Антонова, Королева и т.д.), НИИ, авиационные заводы и прочие активы находились в собственности государства, которое обеспечивало их государственным

заказом, стимулировало проведение научно-исследовательских и опытно конструкторских работ, и создавало все необходимые для развития авиационной промышленности условия.

Наиболее красноречиво о достижениях советской авиации говорит тот факт, что по состоянию на 1 января 1991 года порядка половины всех действующих рекордов в авиации были поставлены в Советском Союзе (см. таблицу 1). [2]

Так, в частности, из 1873 авиационных рекордов, 842 были поставлены в СССР, при этом авиаконструкторы и пилоты его «ближайшего» преследователя в лице США смогли установить лишь 619 мировых рекордов. Остальные страны, в первую очередь в данной группе выделяются авиазаводы Франции, Германии, Италии и Испании, которые впоследствии создадут на базе своих авиационных заводов единый концерн Airbus – всего лишь 412.

Отметим, что в данной таблице учитываются рекорды во многих сферах авиационной деятельности: помимо рекордов в области самолёта- и вертолестроения, парашютные, космические рекорды, а также – в области дирижаблестроения, микро авиации, планеров, воздушных шаров, аппаратов на воздушной подушке и т.д.

Таблица 1.
Мировые авиационные рекорды по состоянию на 1 января 1991

Всего рекордов	Из них		
	СССР	США	др. страны
1873	842	619	412

После распада Советского Союза, в авиационной отрасли, начались существенные изменения, которые были связаны с либерализацией рынка. Однако парадоксален тот факт, что государство смогло сохранить в своей собственности практически все крупнейшие авиационные активы, однако не смогло обеспечить производственные объединения полноценным государственным заказом (кроме ОПК (оборонно-промышленного комплекса)).

Процитируем дословно высказывания и утверждения из интервью генерального директора Межведомственного аналитического центра – Колпакова Сергея Константиновича: «Может сложиться обманчивое впечатление, что последствия отделения малой доли авиастроительных предприятий бывшего СССР в условиях их очевидной избыточности не были особенно заметны. Но это не так хотя бы потому, что в результате раздела советского авиапрома Россия полностью и надолго лишилась потенциала создания военно-транспортных самолетов. Конструкторская база почти всех самолетов, состоявших на вооружении военно-транспортной авиации России, оказалась на Украине. Там были сконструированы и в большинстве случаев произведены легкие (Ан-26, Ан-32, Ан-74), средние (Ан-12) и сверхтяжелые (Ан-22, Ан-124) военно-транспортные самолеты. Производственные мощности Ташкентского авиационного производственного объединения, обеспечивавшие выпуск тяжелого военно-транспортного самолета Ил-76 (единственный разработанный в России военно-транспортный самолет из стоявших на вооружении ВВС), оказались в независимом Узбекистане. России до сих пор не удалось восстановить независимое производство военно-транспортных самолетов.

Выход ОКБ Антонова из единого авиапромышленного комплекса повлек за собой серьезные проблемы, связанные с межгосударственным характером отношений при производстве в Новосибирске Ан-38, в Самаре — Ан-140, в Воронеже — Ан-148. «Украинский фактор» сказался на сотрудничестве и конкуренции российского гражданского самолетостроения с создаваемыми китайским и иранским авиастроительными комплексами. Развертывание в Ташкенте серийного производства

разработанного в России пассажирского самолета Ил-114 также стало вопросом международных отношений». [3]

Таким образом, вывод из состава России даже 20% производственных мощностей нанес существенный непоправимый ущерб современному состоянию авиационной промышленности.

Сегодня согласно википедии: «Активы российского авиастроения сконцентрированы в двух профильных интегрированных структурах: Объединённая авиастроительная корпорация (в неё входят крупнейшие самолётостроительные предприятия) и Оборонпром (объединяет крупнейшие вертолётостроительные и двигателестроительные предприятия). Эти компании включают в себя 214 предприятий и организаций, в том числе 103 — промышленные, 102 — НИИ и ОКБ. Общая численность занятых в российской авиационной промышленности — более 411 тыс. человек». [4]

Отметим, что обе структуры находятся под контролем государства. По данным все той же википедии акционерами «Оборонпрома» являются следующие компании: «Ростехнологии» (58,32% доли в уставном капитале соответственно), Российская Федерация (27,82%), ОАО РСК «МиГ» (5,79%), и ряд других акционеров. Основными акционерами ОАК является «Росимущество», которому принадлежит 83,18% акций компании, а также Внешэкономбанк — 9,77%, частным акционерам принадлежит 7,05% соответственно. [5]

Отличительной особенностью современной государственной политики в области, как и авиастроения, так и авиаперевозок, является тот факт, что государственное регулирование осуществляют несколько федеральных министерств и ведомств, а также государственных корпораций (о которых будет сказано ниже).

Таким образом, перманентная реорганизация, а также постоянная смена высшего руководства на фоне децентрализации политической системы и существенного ослабления позиций государства во всех секторах экономики породили существенные проблемы в области менеджмента авиационной промышленности России, что впоследствии привело к плачевным результатам.

Проведем отраслевой анализ авиационной промышленности современной России в сравнении с советским периодом.

Так, в частности, если в 1990 году 40% всей летающей авиатехники в мире были произведены в Советском Союзе, то в 2010 году - всего лишь 1%, что свидетельствует о существенном снижении спроса на отечественные летательные аппараты.

Начиная с 1991 года, значительно сократилось количество выпускаемых самолетов. Даже при том, что 80% всех производственных мощностей, включая военные, (кроме КБ Антонова на Украине), а также 60% всего летного состава, после распада Советского Союза остались на территории России.

Сравним количество производимых самолетов и вертолетов (основных видов летательных аппаратов в авиации) в России в период существования СССР и в постсоветский период. В частности, если в 1981 году в СССР было произведено порядка 310 самолетов, в 1983 — 190, в 1989 году 177 самолетов, то в 2011 — всего лишь 12 самолетов (более подробно см. рис 1). Очевидно, что начиная с начала 90-х годов наблюдается постоянное снижению количества производимых самолетов. В 2009 году был зафиксирован максимум за последние 12 лет. Однако дальнейшего развития он не получил, поскольку в 2011 году было произведено всего лишь 12 самолетов.

При этом отечественные авиакомпании преимущественно используют в своем авиапарке самолеты западного производства (как правило, самолеты американской авиакомпании Boeing) с весьма высокой степенью изношенности (см. таблицу 2), что значительно снижает безопасность перелётов

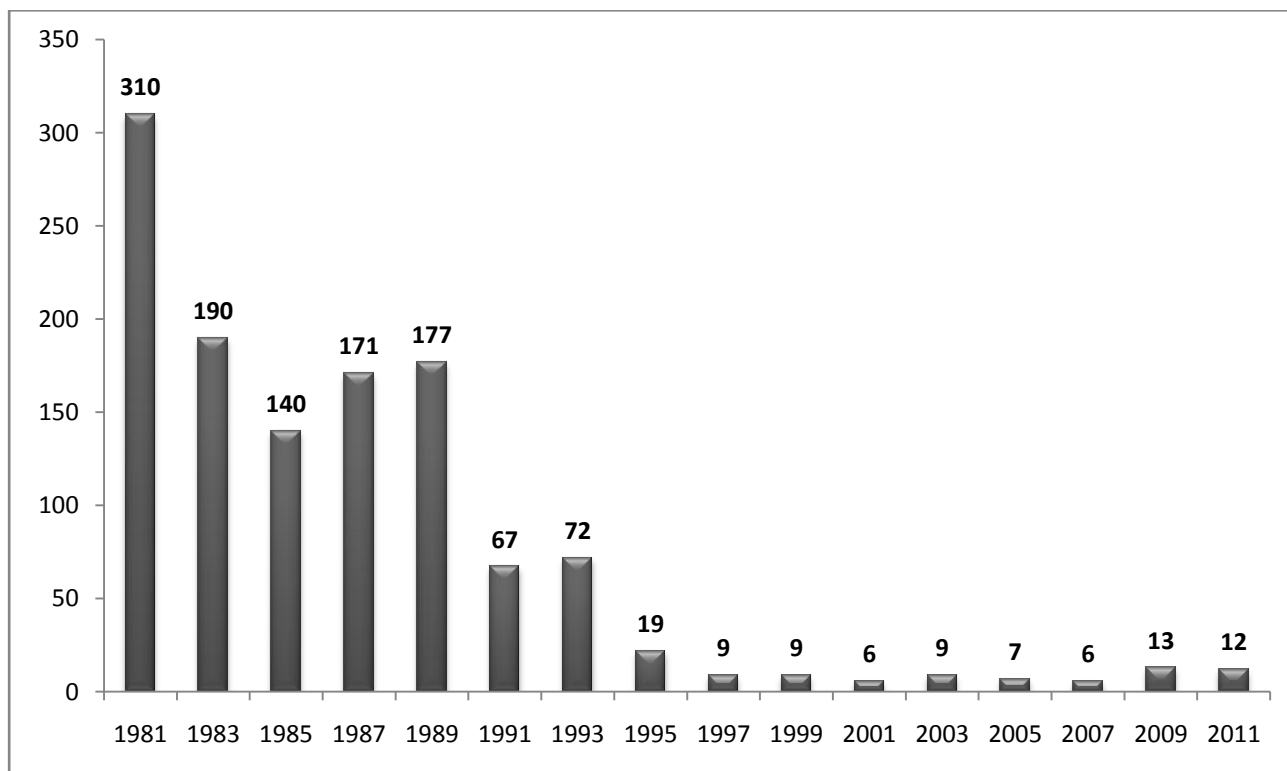


Рис. 1. Производство самолетов в России и СССР

По данным таблицы 2 очевидно, что кроме Аэрофлота крупнейшие авиакомпании России используют в своих авиапарках изношенные самолеты иностранного производства. Интересно, что удельный вес самолетов иностранного производства в составе авиакомпаний России составляет порядка 80% (то есть 8 из 10 летающих самолетов на территории России выпущены в других странах мира). При этом единственным, принципиально новым, разработанным и выпущенным на территории России за последние 20 лет самолетом, стал среднемагистральный SSJ-100, который на 80% состоит из комплектующих деталей западного производства.[6] 5 мая 2012 года в Индонезии с одним из выпущенных самолётов SSJ-100, случилась авиакатастрофа, в результате которой погибли 45 человек.

Таблица 2.

Средний возраст авиапарка отечественных и иностранных авиаперевозчиков

Российские авиакомпании	Средний возраст самолетов	Зарубежные авиакомпании	Средний возраст самолетов
Аэрофлот	5,6	Emirates Airlines	3
Сибирь (S7)	9,4	Australian Airlines	4,9
Россия	12,4	Singapore Airlines	6
Уральские авиалинии	15,3	China Eastern	7
Трансаэро	18,2	Lufthansa	7
Sky Express	20	GOL Transports	7,5
Ютэйр	22,7	United Airlines	10

Как было сказано, численность работающего персонала в авиационной промышленности сократилась более чем в 5 раз (с 2,5 миллиона человек в 1991 году, до 411 тысяч в 2010 году).

На рисунке 2 представлено количество выпущенных вертолетов на территории России за период с 1983 по 2011 год. Из представленных данных видно, что максимум производства был, достигнут в 1987 году, когда было произведено порядка 403 вертолетов России. Наименьшее значение было зафиксировано в 1999 году, когда экономика России находилась в глубочайшем кризисе (дефолт 1998 года). Положительной тенденцией является постепенное увеличение количества выпускаемых вертолетов на территории России. Отметим, что при данной динамике Россия имеет все шансы уже в ближайшее время достичь показателей конца 80-х годов.

Интересно, что 96% всего вертолетного авиапарка составляют вертолеты отечественного производства, что свидетельствует о высокой конкурентоспособности как вертолётостроительных предприятий (в частности «Вертолеты России»), так и самих машин. При этом в мире эксплуатируется до 8500 российских вертолетов! Подчеркнем, что в России выпускаются и экспортируются как вертолеты гражданского назначения (всемирно известный многоцелевой вертолёт Ми-26), Ми-8, который, между прочим, выпускается на протяжении более чем 40 лет, а также, вертолеты военного назначения (Ка-50 (или Черная акула), КА-52 (Аллигатор), Ми-34, а также Ми-28).

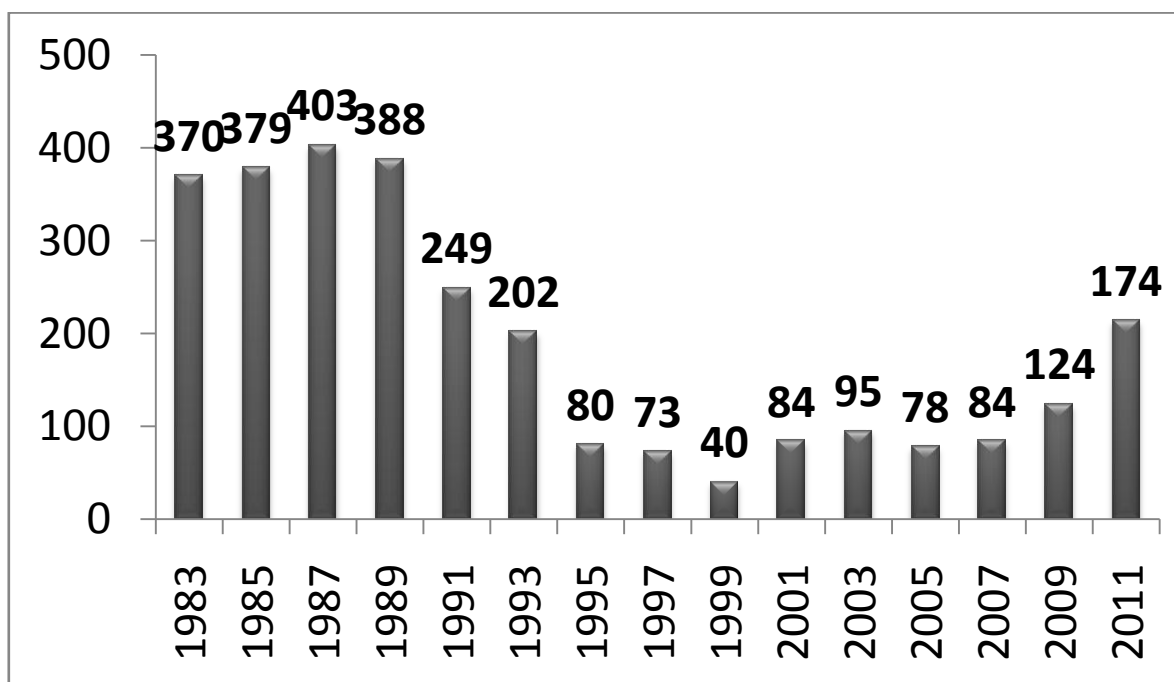


Рис. 2. Производство вертолетов в СССР и России

Далее рассмотрим авиаперевозчиков. До распада СССР, крупнейшим и, по сути, единственным авиаперевозчиком страны был «Аэрофлот». После его крушения количество авиаперевозчиков заметно увеличилось (см. рисунок 3), что было связано с либерализацией рынка.

Отметим, что межправительственными соглашениями деятельность иностранных авиаперевозчиков на территории страны запрещена (разрешены только перелеты внутри России, по которым она, взимает роялти (платежи)). Однако со вступлением в ВТО данные платежи будут отменены, в частности на Транссибирской магистрали.

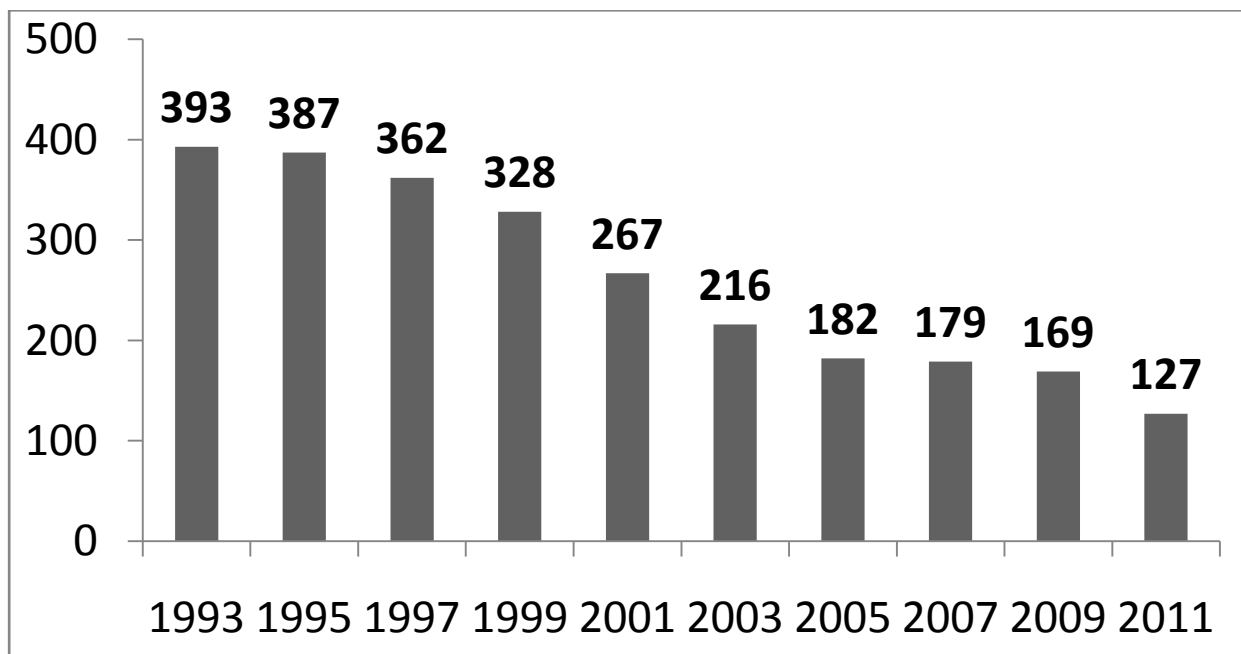


Рис. 3. Количество авианесущих кораблей на территории России

Увеличение количества авианесущих кораблей не привело к существенным улучшениям в отрасли. Так, в частности на рисунке 4 представлен пассажирооборот авиакомпании России за период с 1970 по 2011 год. По данным рисунка видно, что максимум пришелся на 1991 год, когда «Аэрофлот» перевез рекордные 91 миллион человек. После распада СССР, наблюдается более чем двукратное снижение (уже в 1993 году) пассажирооборота, связанного, во-первых, с существенным сужением внешних геополитических границ Российской Федерации, а во-вторых, в связи с существенным снижением покупательной способности, как со стороны гражданского населения, так и со стороны производственных и коммерческих предприятий. При этом в 1993 году на территории России функционировало порядка 393 авианесущих кораблей (против одного Аэрофлота в 1991 году).

Минимумы авианесущих кораблей пришлось на 1997 и 1999 год, когда все авиакомпании России смогли перевезти 26 и 22 миллиона человек соответственно.

В последние годы ситуация несколько улучшилась: «В 2001-2010 годах средние годовые темпы роста перевозок российских авиакомпаний составляли 10,7% по пассажирообороту и 6,5% по грузообороту». [7] Таким образом, по данным показателям за последние 10 лет наблюдается положительная тенденция. Так в 2011 году все авианесущие корабли страны сумели перевезти уже 64 миллиона человек.

В дальнейшем также можно ожидать рост данного показателя в связи с окончанием мирового финансового кризиса, поскольку на авианесущие корабли большое влияние оказывает уровень благосостояния как гражданского населения (уровень доходов, учетная ставка рефинансирования, которая определяет стоимость потребительских кредитов и т.д.), так и финансовое состояние предприятий (рост объемов выручки, расширение деятельности и т.д.).

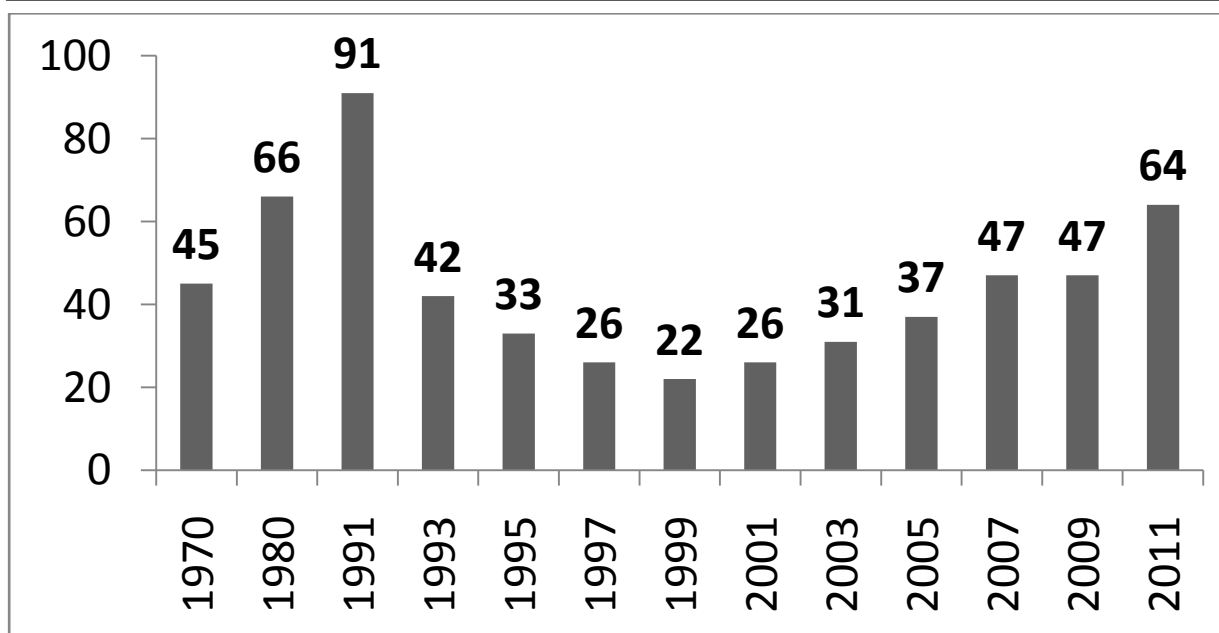


Рис. 4. Пассажирооборот авиакомпании России за период с 1970 по 2011 год

Важнейшей проблемой, вставшей в последнее время перед авиакомпаниями, стало отсутствие высококвалифицированных летных кадров (в частности пилотов). «В стране всего 6 летных училищ, из них лишь 2 выпускают пилотов с высшим образованием. Все вместе они сегодня закрывают только половину имеющихся потребностей. Сейчас ситуация несколько нормализовалась, выпуски с каждым годом наращиваются. Например, в этом году все 6 училищ дадут стране 500 пилотов, в 2013 году - 600, а в 2014-м - 700. Но вот только нужно их до 1000, и не в будущем, а сейчас».[8] По законодательству страны, на воздушных судах авиакомпании России могут летать пилоты только с Российским паспортом. При этом сегодня наблюдается их острейший дефицит. Отметим, что основной причиной авиакатастроф является пресловутый человеческий фактор – в мировой практике на него приходится около 70% всех крушений.[9] Согласно исследованию австралийского Бюро по безопасности на транспорте примерно 15-26% авиакатастроф по всему миру происходят из-за того, что во время полета пилоты самолетов теряют ориентацию в пространстве из-за странных видений.»[10] Очевидно, что для снижения вероятности наступления данного риска необходимо повышать уровень компетентности и психологической устойчивости пилотов.

Резюмируя все вышесказанное, отметим, что авиационная промышленность России переживает глубокий системный кризис (кроме вертолётостроения), основными причинами которого стало нарушение производственных связей в условиях трансформационных процессов в экономике страны, хроническое недофинансирование отрасли, деградация государственного управления в области авиастроения.

Инвестиции в авиационную промышленность России как крупнейшую, наукоемкую отрасль ее экономики и решение накопившихся в ней проблем позволит производить продукцию с высокой долей добавленной стоимости и даст импульс развитию таких наукоемких технологий как электроника и микроэлектроника, производство средств радиосвязи, радиолокации и радионавигации, приборостроение и ряд других.

Стратегическая важность развития авиационной промышленности для России в конечном счете определяется тем, что успех или стагнация в этой сфере существенно влияет на место нашей страны в мировом сообществе: сохраним ли свое место среди развитых стран как научно-техническая держава или станем лишь сырьевым источником для других стран.

Список использованных источников

1. <http://oao-aviaprom.ru/novosti/244-soustoulos-godovoe-sobrania-akcionerov-aviaprom>
2. <http://binolet.ru/aviastory/2267-rekordy-aviacionnye-binolet.html>
3. <http://www.ru-90.ru/node/1322>
4. http://ru.wikipedia.org/wiki/Авиационная_промышленность_России
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Оборонпром>
6. <http://svpressa.ru/economy/article/55301/>
7. <http://www.utair.ru/img/uploaded/2011070618092284.pdf>
8. <http://www.rg.ru/2012/09/27/letchiki.html>
9. <http://www.chuchotezvous.ru/technogenetics-disasters/211.html>
10. <http://www.audit-center.biz/aticle27.html>

ОБ АВТОРАХ

Кидрачев Руслан Наилевич, студент каф. Финансы денежное обращение и Экономическая безопасность УГАТУ.
e-mail: kidrachev@myrambler.ru

Дегтярева Ирина Викторовна, проф., доктор экон. наук, зав. каф. экономической теории. Исследования в области экон. теории и методологии экон. науки, инвестиций, факторных рынков.

УДК 336.714

О СЫРЬЕВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Кидрачев Р.Н., Дегтярева И.В.

В последнее время не умолкают споры об обеспечении экономической безопасности страны. Такие споры и дискуссии далеко не случайны, ведь в ближайшее десятилетие экономику России ожидает немало испытаний. Апробация таможенного союза, вступление в ВТО, снижение или рост цен на нефть, введение в строй Сколково – лишь малый перечень серьезных изменений с которыми столкнется отечественная экономика.

В данной работе будут приведены и проанализированы некоторые показатели экономической конъюнктуры за период становления в России рыночной экономики.

Рассмотрим соотношение ВВП и ВНП России. Как известно ВВП больше ВВП, если доходы владельцев факторов, используемых за рубежом, превышают доходы иностранцев от использования принадлежащих им факторов в экономике данной страны, и наоборот. На рисунке 1 представлено соотношение ВВП и ВНП России за период с 2002 по 2011 год в млн.\$ (по данным Мирового банка).

Как видно из рисунка 1, ВВП и ВНП тесно коррелируют между собой, что позволяет говорить об их тесной зависимости. Особый интерес представляют собой значения данных показателей в посткризисные годы. Так если до кризиса 2008 года наблюдалась практически идеальное совпадение динамики значений ВВП и ВНП. То после 2009 года, темпы их изменений оказались совершенно различными.

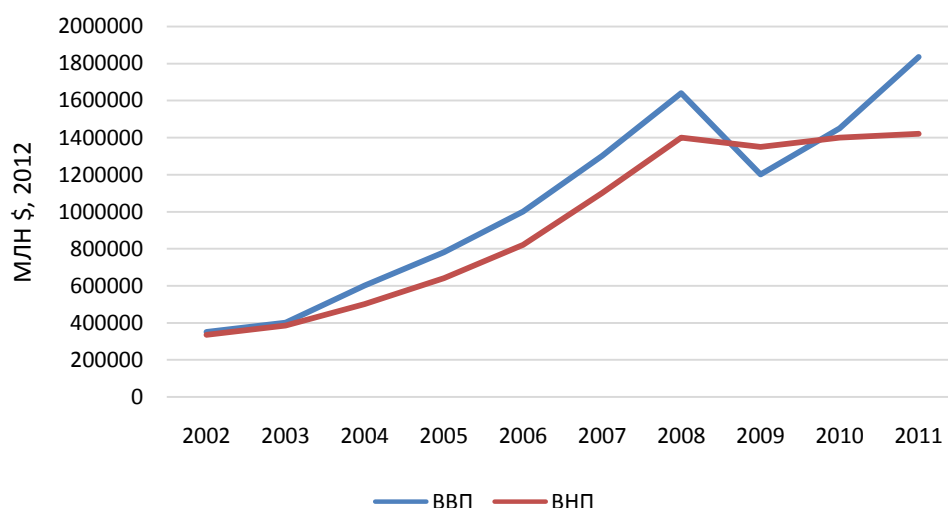


Рис. 1. Соотношение ВВП и ВВП России за период с 2002 по 2011 год в млн.\$ (по данным Мирового банка)

Для сравнения, ВВП Японии более чем в 2 раза уступает ВВП. Так как территория Японии мала, и фактически уже заселена (то есть не пригодна для постройки промышленных заводов), крупнейшие японские корпорации стремятся размещать свои производственные мощности в других странах мира. Не стоит также забывать, что промышленность наносит непоправимый ущерб окружающей среде. Что касается России, то мы вывозим капитал почти также интенсивно как некоторые развитые страны, но по большей части он оседает в виде депозитов в иностранных банках, а его инвестиционная составляющая крайне мала.

Далее проанализируем динамику изменений ВВП России за период с 1998 по 2010 год, представленную на рисунке 2. Как видим, ВВП России в кризисные для мирового финансового рынка (1998 и 2008) годы показывал существенное снижение (в сравнении с предыдущим периодом) своего значения.

С одной стороны, это можно объяснить зависимостью экономики России от деловой активности мировых финансовых центров, но с другой стороны - в большей степени зависимостью отечественной экономики от цен на нефть.

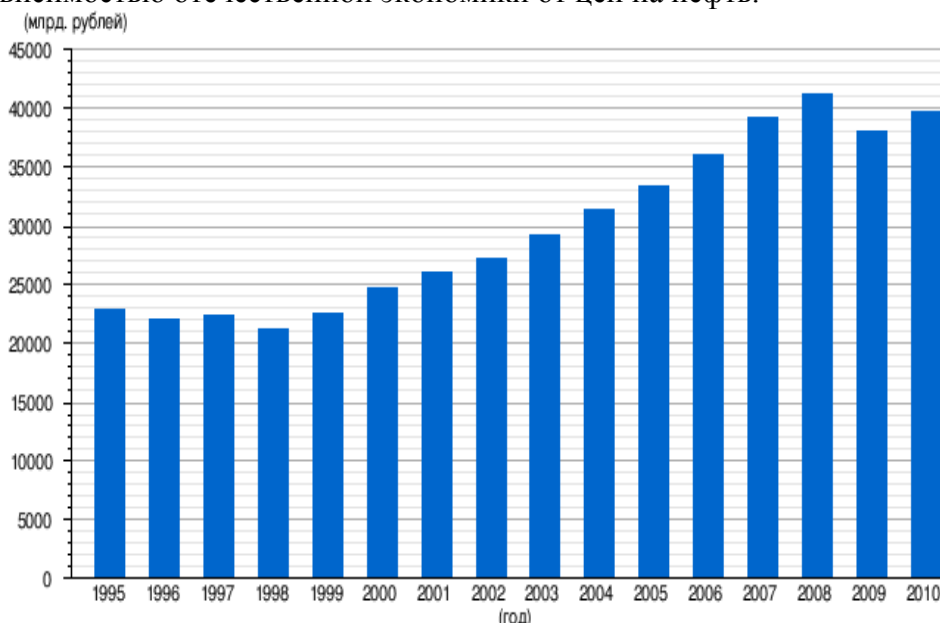


Рис. 2. Динамика изменения реального ВВП РФ в млрд. рублей за период с 1995 по 2010 год (в ценах 2008 года)

Для доказательства последнего тезиса рассмотрим ряд показателей.

Для начала отметим, что Россия является энергетической сверхдержавой 21 века. Так, в 2009 году в России было добыто 494 млн. тонн нефти (первое место в мире), что на 1,2 % выше уровня 2008 года.

По данным википедии: «По итогам 2009 года Россия находилась на втором месте в мире по добыче и экспорту нефти и на первом месте в мире по добыче и экспорту природного газа». [1] Отметим также, что слишком высокие или низкие цены на нефть принесут больше вреда экономике страны, нежели чем пользы. Так при слишком низкой цене на нефть государство просто не сможет получить прибыль от ее поставок, (продавая товар ниже себестоимости), а при слишком высокой цене, просто не найдет такого количества покупателей.

С переходом к рыночной системе российская экономика стала тесно интегрироваться в мировое хозяйство. Существенно возросла роль внешнеэкономических связей в ее развитии. Проанализируем состав, структуру и динамику экспорта и импорта России за период с 1995 по 2010 год (по данным ГКС РФ). Данные представлены на рисунках 3 и 4 соответственно (информация взята с официального интернет сайта федеральной службы государственной статистики). [2]

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010		В процентах к итогу							
	Миллиардов долларов США								Экспорт - всего	100	100	100	100	100	100	100	100
Экспорт - всего	78,2	103	241	301	352	468	302	397	в том числе:								
в том числе:									продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье (кроме текстильного)	1,8	1,6	1,9	1,8	2,6	2,0	3,3	2,2
продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье (кроме текстильного)	1,4	1,6	4,5	5,5	9,1	9,3	10,0	8,8	минеральные продукты	42,5	53,8	64,8	65,9	64,9	69,8	67,4	68,4
минеральные продукты	33,3	55,5	156	199	228	326	203	271	продукция химической промышленности, каучук	10,0	7,2	6,0	5,6	5,9	6,4	6,2	6,2
продукция химической промышленности, каучук	7,8	7,4	14,4	16,7	20,8	30,2	18,7	24,5	кожевенное сырье, пушнина и изделия из них	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
кожевенное сырье, пушнина и изделия из них	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3	древесина и целлюлозно-бумажные изделия	5,6	4,3	3,4	3,2	3,5	2,5	2,8	2,4
древесина и целлюлозно-бумажные изделия	4,4	4,5	8,3	9,5	12,3	11,6	8,4	9,6	текстиль, текстильные изделия и обувь	1,5	0,8	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
текстиль, текстильные изделия и обувь	1,1	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,8	металлы, драгоценные камни и изделия из них	26,7	21,7	16,8	16,3	15,9	13,2	12,8	12,8
металлы, драгоценные камни и изделия из них	20,9	22,4	40,6	48,9	56,0	61,8	38,5	50,5	машины, оборудование и транспортные средства	10,2	8,8	5,6	5,8	5,6	4,9	5,9	5,4
машины, оборудование и транспортные средства	8,0	9,1	13,5	17,4	19,7	22,8	17,9	21,5	прочие	1,0	1,6	2,5	3,1	4,4	4,5	3,8	9,6
прочие	1,0	1,6	2,5	3,1	4,4	4,5	3,8	9,6									

Рис. 3. Товарная структура экспорта России с 1995 по 2010 год (в % к итогу; в млрд. \$.)

Как видно по данным рисунка 3, Россия с каждым годом увеличивает экспорт минеральных продуктов в другие страны мира. При этом происходит рост не только абсолютных, но и относительных значений показателя в структуре экспорта. Так экспорт России увеличился с 78,2 млрд.\$ в 1995 году до 397 млрд. \$ в 2010 году. При этом если в 1995 году на долю экспорта минеральных продуктов приходилось лишь 42,5% от всего экспорта, то в 2010 году уже 68,4 % (соотношение растет с каждым годом).

Доля экспорта высокотехнологичной продукции (машины и оборудование) за этот же период снизилась в 2 раза с 10,2% (в 1995 году), до 5,4% (в 2010 году). Также отметим, что значительно снизился экспорт драгоценных металлов, а также продукции и сырья химической и лесной промышленности.

Тем самым создаются потенциальные угрозы экономической безопасности экономики страны, поскольку увеличивая долю экспорта минеральных продуктов, Россия

увеличивает свою зависимость от конъюнктурных колебаний цен на мировых рынках нефти и других сырьевых товаров.

При анализе импорта (рисунок 4) наблюдаются прямо противоположные тенденции. Так за период с 1995 по 2010 год значительно вырос импорт наукоёмкой продукции с 33,6% (в 1995 году) до 44,4% (в 2010 году). При этом за период с 2008 года импорт наукоёмкой продукции стал заметно снижаться (52,7% в 2008 году, 43,4% в 2009, 44,4% в 2010 году).

Удельный вес импорта продукции обрабатывающей промышленности также неуклонно растет (в отличие от экспорта), что свидетельствует о снижении уровня конкурентоспособности отечественных обрабатывающих отраслей.

Следует отметить, что при этом доля импорта минеральных продуктов в общем объеме импорта невелика: в 1995 году она составляла 6,4 %, а в 2010 году и вовсе 2,3% от всего импорта.

Таким образом, в составе экспорта удельный вес наукоемких отраслей, создающих значительную добавленную стоимость в структуре ВВП экономики, неуклонно снижается, при этом, Россия ввозит все больше технологичной продукции. Это свидетельствует об увеличении иностранной технологичной продукции на внутреннем рынке и снижении конкурентоспособности собственной продукции. При этом следует учитывать, что в США и ряде других развитых стран сохраняются ограничения в отношении поставок в Россию новейших технологий, особенно связанных с технологиями двойного назначения. На западе предпочитают рассматривать Россию в качестве поставщика топливно-сырьевых ресурсов и емкого рынка для реализации своих промышленных изделий и не выращивать здесь потенциальных конкурентов на мировых рынках.

	1995	2000	2005	2007	2008	2009	2010										
	Миллиардов долларов США							Импорт - всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Импорт - всего	46,7	33,9	98,7	200	267	167	228	в том числе:									
в том числе:								продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье (кроме текстильного)									
продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье (кроме текстильного)	13,2	7,4	17,4	27,6	35,2	30,0	36,4		28,1	21,8	17,7	13,8	13,2	17,9	15,9		
минеральные продукты	3,0	2,1	3,0	4,7	8,3	4,1	5,2	минеральные продукты	6,4	6,3	3,1	2,3	3,1	2,4	2,3		
продукция химической промышленности, каучук	5,1	6,1	16,3	27,5	35,2	27,9	37,6	продукция химической промышленности, каучук	10,9	18,0	16,5	13,8	13,2	16,7	16,2		
кожевенное сырье, пушнина и изделия из них	0,2	0,1	0,3	0,7	1,0	0,8	1,2	кожевенное сырье, пушнина и изделия из них	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5		
древесина и целлюлозно-бумажные изделия	1,1	1,3	3,3	5,3	6,5	5,1	5,8	древесина и целлюлозно-бумажные изделия	2,4	3,8	3,3	2,7	2,4	3,0	2,6		
текстиль, текстильные изделия и обувь	2,6	2,0	3,6	8,6	11,7	9,5	14,0	текстиль, текстильные изделия и обувь	5,7	5,9	3,7	4,3	4,4	5,7	6,2		
металлы, драгоценные камни и изделия из них	3,9	2,8	7,7	16,4	19,3	11,3	16,8	металлы, драгоценные камни и изделия из них	8,5	8,3	7,7	8,2	7,2	6,8	7,4		
машины, оборудование и транспортные средства	15,7	10,7	43,4	102	141	72,7	102	машины, оборудование и транспортные средства	33,6	31,4	44,0	50,9	52,7	43,4	44,4		
прочие	4,1	4,1	3,7	7,2	6,1	6,1	10,0	прочие	4,1	4,1	3,7	3,6	3,4	3,6	4,5		

Рис. 4. Товарная структура импорта России с 1995 по 2010 год
(в % к итогу, в млрд. \$)

Далее проанализируем состав, структуру и динамику доходов федерального бюджета, которая представлена на рисунке 5. В её составе выделим нефтегазовые и прочие (остальные) доходы.

Согласно Федеральному закону от 26 апреля 2007 г. N 63-ФЗ (в редакции

Федерального закона от 2 ноября 2007 г. N 247-ФЗ) к нефтегазовым доходам федерального бюджета относятся доходы федерального бюджета от уплаты:

-налога на добычу полезных ископаемых в виде углеводородного сырья (нефть, газ горючий природный из всех видов месторождений углеводородного сырья, газовый конденсат из всех видов месторождений углеводородного сырья);

-вывозных таможенных пошлин на нефть сырую;

-вывозных таможенных пошлин на газ природный;

-вывозных таможенных пошлин на товары, выработанные из нефти. [3]

Как видно из гистограммы, удельный вес нефтегазовых доходов в структуре федерального бюджета неуклонно растет.

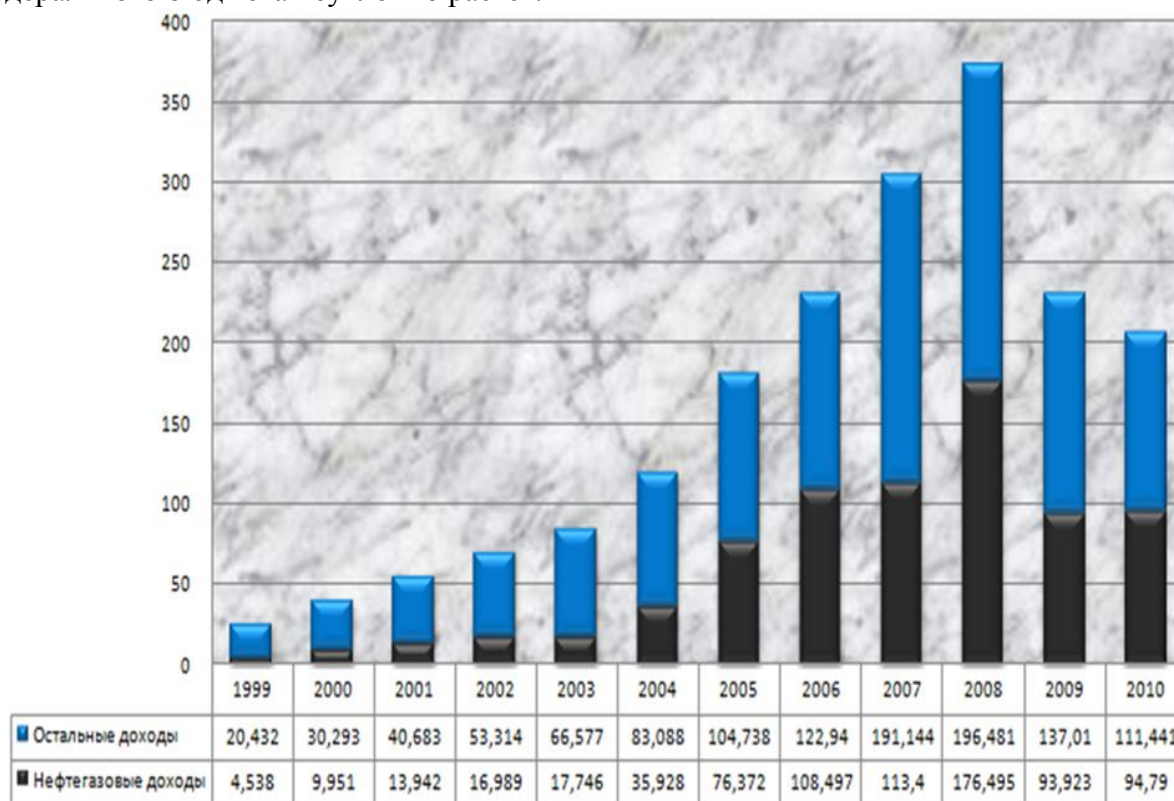


Рис. 5. Структура и состав доходов федерального бюджета РФ с 1999 по 2010 год (в млрд. рублей)

Так, если в 1999 (посткризисном) году нефтегазовые доходы составляли порядка 20% от всех доходов федерального бюджета, то в 2010 году – уже 46%. Также отметим, что одним из важнейших показателей при составлении бюджета на ближайшие 3 года, выступает цена на нефть. Именно данный показатель является ориентиром при определении, оптимистичного, пессимистичного и реального варианта бюджета.

Из выступления Д.А. Медведева в феврале 2010: «Топливо-энергетический комплекс обеспечивает почти треть валового внутреннего продукта страны и около 40% всех налоговых и таможенных поступлений в бюджет». [4]

Далее сопоставим динамику изменений ВВП России и цен на нефть за период с 1998 по 2010 года, которая представлена на рисунке 6.

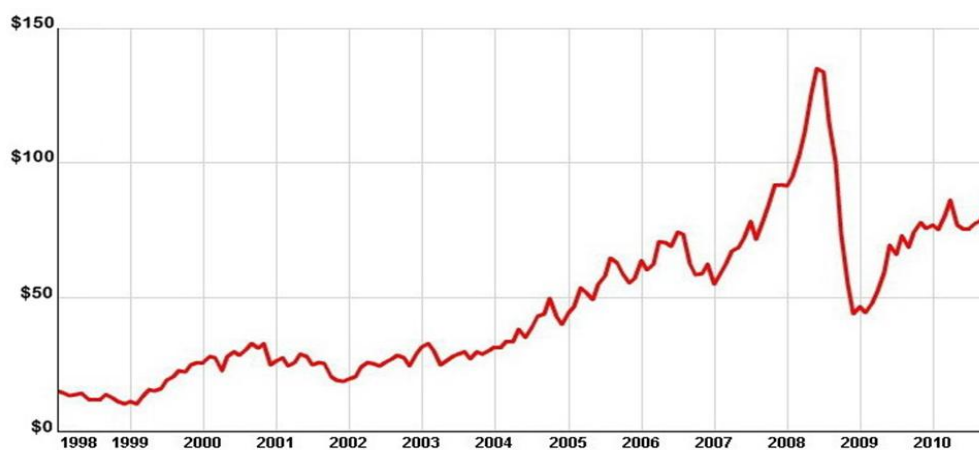


Рис. 6. Цена на нефть марки Brent за период с 1998 по 2010 год (\$ США)

Данный период охватил сразу 2 кризиса, последствия которых ощутила на себе экономика России (кризис 1998 и 2008 годов).

Как видно по данным рисунков 2 и 6 ВВП России в 90-е годы имел крайне неустойчивую тенденцию. Интересно, что максимальное значение ВВП России приходится на предкризисный год (значение составило 42000 млрд. рублей). В то же время именно в данный период были зафиксированы самые высокие цены на нефть (130\$ за баррель нефти). Отметим, также, что самое минимальное значение, как ВВП России, так и цен на нефть было зафиксировано в один и тот же год (1998).

По данным бюро экономического анализа коэффициент корреляции между ВВП России и ценой на нефть составил 0,61. [5]

Наконец сопоставим динамику изменений золотовалютных резервов России и цены на нефть (см. рисунок 7).

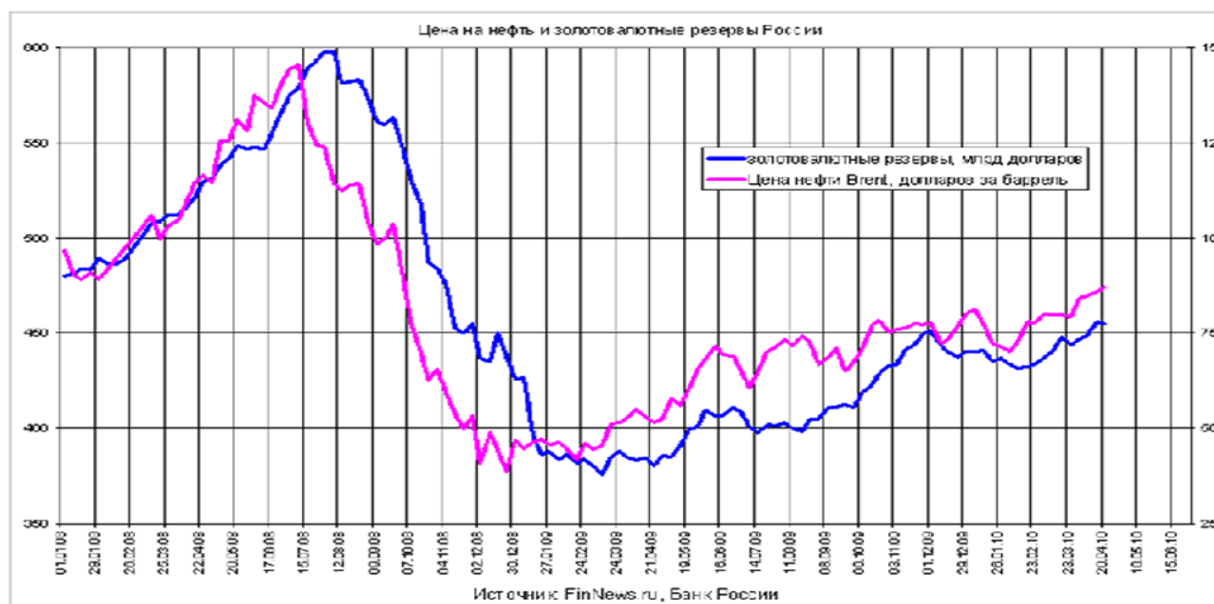


Рис. 7. Соотношение цен на нефть и золотовалютных резервов России

Как видно по данным рисунка 7 зависимость золотовалютных резервов от цен на нефть достаточно высока. Темпы прироста обоих показателей практически идентичны за весь анализируемый период, что также свидетельствует о тесной связи экономики страны с ценами на минеральные ресурсы.

В заключение сформулируем ключевые выводы. В данной работе были проанализированы такие основные макроэкономические показатели как ВВП и ВВП, товарная структура импорта и экспорта экономики России и ряд других показателей. Было

выявлено, что экономика России является экспортно-ориентированной, при этом наибольший удельный вес из всех статей экспорта занимает экспорт минеральных продуктов. Вразрез с тенденциями развития мирового товарооборота рост российского экспорта по-прежнему обеспечивается поставками топливно-сырьевых ресурсов, в большинстве своем не возобновляемых. При этом удельный вес продукции высокотехнологичных отраслей в составе экспорта неуклонно снижается, что свидетельствует о снижении конкурентоспособности отечественной экономики, и увеличении ее зависимости от конъюнктурных колебаний цен на мировых рынках минеральных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
2. http://www.gks.ru/bgd/regl/b11_11/IssWWW.exe/Stg/d2/26-08.htm
3. Федеральный закон от 26 апреля 2007 г. N 63-ФЗ (в редакции Федерального закона от 2 ноября 2007 г. N 247-ФЗ).
4. Президент.рф/transcripts/6856
5. <http://www.beafnd.org/ru/>

ОБ АВТОРАХ



Кидрачев Руслан Наилевич, студент каф. Финансы денежное обращение и Экономическая безопасность УГАТУ.
e-mail: kidrachev@myrambler.ru



Дегтярева Ирина Викторовна, проф., доктор экон. наук, зав. каф. экономической теории. Исследования в области эконом. теории и методологии экон. науки, инвестиций, факторных рынков.

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВЕРТОЛЕТОСТРОЕНИЯ

Бровко П. М.

Вертолетостроение является высокотехнологичной отраслью, производящей продукцию с высокой добавленной стоимостью. Россия по праву считается ведущей вертолетостроительной державой. Российскими предприятиями произведено свыше 26000 машин, что составляет треть всех выпущенных в мире вертолетов. До 1990 года российское (советское) вертолетостроение занимало до четверти мирового рынка. После распада СССР и начала рыночных реформ объем производства на предприятиях вертолетостроения резко упал от несколько сотен штук машин в год до нескольких машин.

После консолидации предприятий вертолетостроения в единой структуре – холдинге ОАО «Вертолеты России» - наблюдается рост объемов производства (рис. 1).

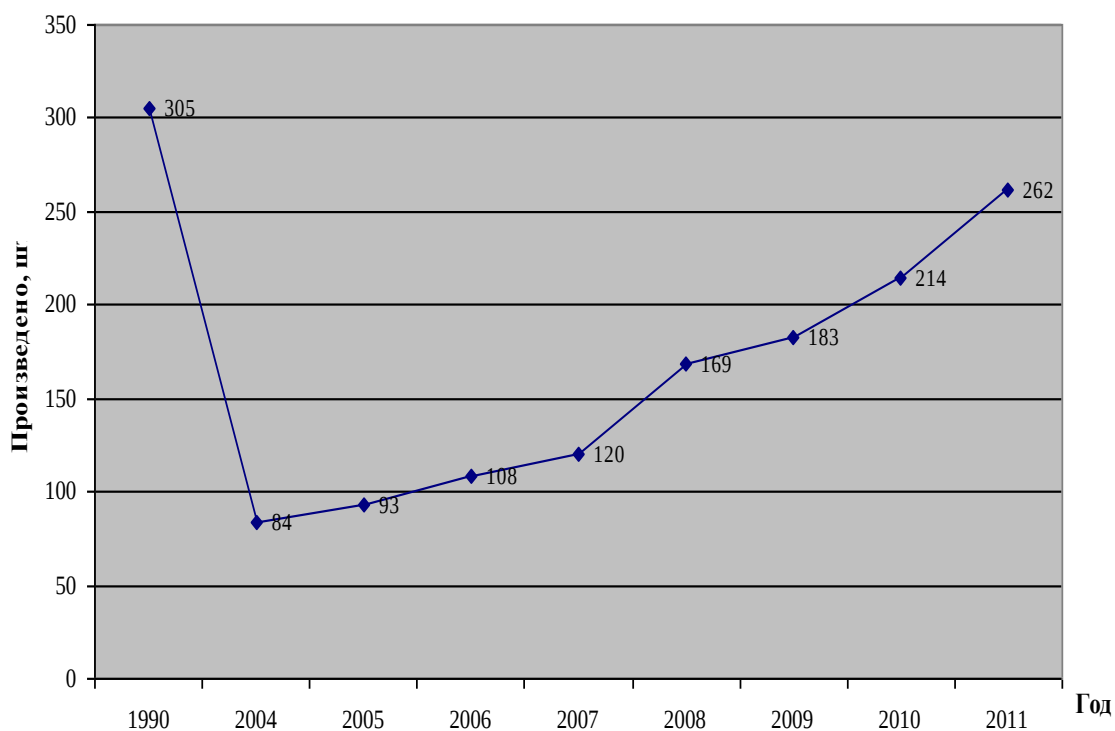


Рис. 1. Динамика производства вертолетов в России (1990 – 2011 гг.) [1]

Несмотря на положительные тенденции в развитии отрасли, российское вертолетостроение пока не занимает лидирующих позиций на мировом рынке и уступает ведущим конкурентам по ряду показателей (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика мировых производителей вертолетной техники

Показатель	Производитель									
	ОАО «Вертолеты России»		Eurocopter		Augusta Westland		Sikorsky		Bell	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
1. Поставлено машин, шт.	214	262	527	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	201	203
2. Доля рынка, %	9	12	21,9	21	14	14	22,3	22,5	11,8	12
3. Выручка от реализации продукции, \$млн.	2213	3228	5824	6394	4833	5050	6684	7355	3241	3525
4. Прибыль от реализации, \$млн	323	559	241	328	548	538	716	840	427	521
5. Численность занятых, чел.	38177	40000	15800	15700	13573	13300	18072	17780	10200	10700
6. Выручка на одного занятого, \$ тыс.	57,9	80,7	368	404	356	380	369	412	318	329
7. Рентабельность продаж, %	14,6	17,3	4,1	5,1	11,3	10,6	10,7	11,4	13,2	14,7

Как видно из таблицы российское вертолетостроение отстает от ведущих производителей по объему произведенной и реализованной продукции. В итоге ОАО «Вертолеты России» занимает меньшую долю рынка. По сравнению с ведущими мировыми производителями российское вертолетостроение имеет избыточную занятость, что негативно сказывается на производительности труда. Более высокая численность занятых обусловлена другим технологическим уровнем российских предприятий и избыточными производственными мощностями, доставшимися от СССР.

По показателям рентабельности ОАО «Вертолеты России» превосходит основных конкурентов. Высокая рентабельность холдинга поддерживается завышенными ценами на военную продукцию по Государственному оборонному заказу и низкими издержками производства вертолета Ми-8/17, доля которого в объеме произведенной продукции составляет свыше 50 %.

Отсюда можно сделать вывод, что холдинг ОАО «Вертолеты России» имеет нерациональную структуру, выпускаемой продукции. В случае резкого сокращения ГОЗ и падения спроса на вертолет Ми-8/17, отрасль окажется в кризисной ситуации, выйти из которой будет практически невозможно.

Повышение эффективности промышленного производства возможно за счет освоения инновационных технологий, которые обеспечивают предприятию устойчивое конкурентное преимущество на рынке. Это позволяет предприятию генерировать ренту (сверхприбыль). Освоение инновационных технологий выступает залогом эффективного развития хозяйствующих субъектов в условиях динамичной конкурентной среды.

Нами предлагается для повышения инновационной активности предприятий вертолетостроения механизм управления инновационными технологиями (рис. 2).

Предлагаемый механизм предполагает изменение принципов, методов и организационных структур управления новыми технологиями. В основе механизма лежит переход на программно-целевое управление инновационными технологиями.

Программно-целевое управление предполагает изменение структуры организации производства новых продуктов. Оно позволяет перейти от функциональной разобщенности, которая присуща существующей системе создания нового продукта к ориентации на конечный результат. При старой структуре постановки продукта в производства есть разрыв во взаимодействии между конструкторским бюро, которое

разрабатывает машину и серийным предприятием, где должен быть налажен выпуск машины.

При старой схеме управления конструкторское бюро разрабатывает конструкторскую документацию и передает её на серийное предприятие. Зачастую в разрабатываемой конструкторской документации не учитываются технологические особенности будущего производителя, документация содержит ошибки, неточности, требует больших затрат времени на её технологическую проработку. Это приводит к длительным периодам освоения продукта и крупным затратам ресурсов на подготовку производства.



Рис. 2. Механизм управления инновационными технологиями

Программно-целевой метод управления предполагает координацию работ на всей цепочки создания продукта. Для координации работ назначается ответственное лицо – руководитель программы. На основе полученного задания руководитель программы вместе с представителями конструкторского бюро разрабатывают план работ и

определяют бюджет работ, которые оформляются в виде бизнес-плана. Разработанный бизнес-план представляется в холдинг, где он должен быть утвержден. Холдинг ОАО «Вертолеты России» на основе утвержденного бизнес-плана занимается поиском источников финансирования работ. В качестве источника финансирования могут быть использованы собственные средства холдинга, средства государственного бюджета, кредиты коммерческих банков, средства, мобилизованные на финансовом рынке.

Получив необходимые финансовые ресурсы, конструкторское бюро проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Создание летательного аппарата представляет собой очень длительный и сложный комплекс работ, поэтому конструкторское бюро на условиях подряда привлекает и специализированные организации – ЦАГИ, ВИАМ, ЛИИ, разработчиков двигателей, авионики и т.д. В результате НИОКР должен быть произведен опытный образец и соответствующая конструкторская документация.

Параллельно с разработкой конструкции выбирается серийный завод, где будет осуществляться серийное производство. Руководитель программы с представителями конструкторского бюро и серийного завода разрабатывают бизнес-план подготовки производства, который представляется в холдинг, где принимается решение о выделении необходимых средств. Закрепление машины за серийным заводом оформляется приказом руководителя холдинга ОАО «Вертолеты России».

На серийном предприятии назначается ответственное лицо, которое занимается освоением вертолета. Это может быть заместитель технического директора. Для координации работ по освоению выпуска разрабатываемого вертолета создается программный комитет, куда входят руководитель программы, главный конструктор машины, ответственный за освоение машины на серийном заводе и другие специалисты программы, конструкторского бюро, серийного завода и внешних организаций, помощь необходима. Периодичность и время сбора программного комитета определяется руководителем программы. Программный комитет должен позволить оперативно решать возникающие вопросы при наличии ошибок в конструкторской документации, недопоставки ПКИ и др.

На основе полученной конструкторской документации ответственный за освоение производства на серийном заводе вместе с представителями других служб и центров технологической компетенций (ЦТК) (ЦТК механообработки, литья, композитного производства и т.д. производственно-диспетчерского отдела, планово-экономического отдела, отдела труда и заработной платы, ОТК) разрабатывают план подготовки производства, который согласовывается управляющим директором серийного завода и утверждается руководителем программы. При разработке плана подготовки производства определяется перечень деталей, которые может произвести серийное предприятие, и те которые нужно заказывать со стороны, а также указываются сроки поставок. Перечень необходимых деталей и комплектующих и сроки их поставки отдается руководителю программы, который передает в центральную логистическую службу холдинга, где определяется поставщик.

Руководитель программы на основе предоставленного плана подготовки производства контролирует ход освоения машины. Произведенная машина передается сервисной компании, которая её доставляет покупателю и занимается её послепродажным обслуживанием. Сервисная компания доводит до службы маркетинга пожелания клиентов в отношении произведенной машины. На основе поступающей информации служба маркетинга разрабатывает рекомендации по усовершенствованию продукта и доводит их до руководителя программы.

При серийном производстве машины руководитель программы занимается координацией работ по производству, а также освоением различных модификаций базовой машины.

Предлагаемый тип управления позволяет увязать работы по освоению выпуска

новой машины, повысит контроль за процессами освоения и выпуска вертолетной техники, обеспечить поступление денежной наличности, избавив предприятия от необходимости искать необходимые средства, что благоприятно скажется на их финансовом состоянии.

Новые принцип управления требует изменения производственной структуры предприятий вертолетостроения. Современное производство базируется на сетевой структуре создания ценности. При данной структуре компания оставляет в своем ведении ключевые компетенции создания ценности: маркетинг, НИОКР, производство ключевых узлов, послепродажное обслуживание. Изготовление простых деталей и комплектующих передается сторонней организации на аутсорсинг. При этом в рамках головной компании идет распространение получает специализация на создание того или иного элемента ценности. В результате сокращаются сроки и затраты на создания продукта.

Структура, где сосредоточены компетенции создания того или иного элемента ценности, представляет собой центр технологической компетенции (ЦТК) [1]. Основное отличие центра технологической компетенции от цеха заключается в том, что главной функцией ЦТК является не только производство элементов ценности, а описание технологических процессов производства, которые могут быть применены в другом месте. Центры технологической компетенции позволяют быстро приспособиться к изменению конъюнктуры рынка. Основу ЦТК составляет общность специалистов, способных создавать элементы ценности, производить описание технологии производства и внедрение её в производственный процесс. Развитие центров технологической компетенции дает возможность повышать компетенции производственной системы в создании ценности, что приводит к созданию устойчивого конкурентного преимущества.

Нами предлагается создание центра технологической компетенции в механообрабатывающем производстве ОАО ААК «Прогресс». На производственном предприятии ОАО ААК «Прогресс» в настоящий момент идет реконструкция и техническое перевооружение производства. Кардинально было обновлено литейное и механообрабатывающие производство. Однако новое оборудование не незагружено полностью. Создание ЦТК должно позволить повысить эффективность использования нового оборудования, что скажется на эффективности всего холдинга.

Произведенный расчет эффективности создания центра технологической компетенции позволит получить экономический эффект в размере 177 245 640 руб.

Эффективность внедрения новых типов управления зависит от эффективности коммуникационной политики. В условиях постиндустриальной экономики информация становится главным фактором эффективности производства. Способность наладить эффективный обмен информацией между различными заинтересованными субъектами дает высокие конкурентные преимущества на рынке [2]. Новые коммуникационные технологии позволяют лучше координировать деятельность различных звеньев системы создания ценности, оперативно принимать управленческие решения и следить за их выполнением в условиях реального времени.

Внедрение информационно-коммуникационных технологий изменяет характер контроля в управлении. Руководить проекта может отслеживать состояние работ и оперативно вносить изменения в них. Это повышает эффективность деятельности в рамках проекта.

Отсюда можно сделать вывод, что эффективность элементов механизма освоения инновационных технологий определяется качеством получаемой информации. Переход на проектный тип управления не принесет желаемого результата, если не будет изменен порядок информационного обмена между звеньями системы, не будут внедрены современные технологии информационной поддержки изделия (CALS – технологии) и информационные технологии системы управления предприятием (ERP-системы) [3,4]. Внедрение данных систем кардинальным образом меняет деятельность предприятия, создавая основу для освоения инновационных технологий.

Таким образом, переход на новые управленческие технологии позволит повысить эффективность деятельности предприятий российского вертолетостроения. Рост эффективности предприятий приведет к повышению конкурентоспособности российского вертолетостроения на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт ОАО «Вертолеты России» - Режим доступа: <http://www.russiauhelicopters.aero.ru>.
2. Реус А., Зинченко С., Крайчинская С., Талянский Д. О методе управления знаниями в процессах интеграции машиностроительной корпорации. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2011. – 80 с.
3. Буньков Н.Г. Современная информационная технология в создании летательного аппарата: (введение в CALS (ИПИ) – технологию): Курс лекций. – М.: МАИ, 2007. – 252 с.
4. Зубарев А.Е., Гасанов Э.А., Гасанов М.А. Технологический динамизм экономики и доминирующие инновационные кластеры// Вестник ТОГУ – 2011 - №1 – С.149 – 158

ОБ АВТОРЕ



Бровко Петр Михайлович, старший преподаватель филиала Дальневосточного федерального университета в г. Арсеньеве, дипломированный экономист (ДВГТУ, 2008 г.). Исследования в области повышения экономической эффективности производственных предприятий авиастроительного комплекса.

e-mail: petr_1883@mail.ru

ЭКОНОМИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Алексеев Ю. А., Игошева В. А.

Институт банкротства – один из важнейших элементов рыночной экономики, который призван стимулировать результативную деятельность хозяйствующих субъектов, способствовать ликвидации неэффективных организаций. В целом, действия института банкротства нацелены на обеспечение реструктуризации проблемных организаций в широком смысле, переводя их из категории неконкурентоспособных в категорию конкурентоспособных. Для отечественной экономики институт банкротства занимает особое место, так как переход российской экономики на рыночные отношения затронул ключевые аспекты экономической жизни общества – финансовые отношения между государством, предприятиями и населением. В российской экономике имеют место такие негативные аспекты, как отсутствие явных стимулов для ведения предпринимательской деятельности, структурные диспропорции в экономике, присутствие теневых сегментов. Поэтому в условиях российской действительности анализ данной сферы является актуальным, так как позволяет выявить основные тенденции, как положительные, так и отрицательные, и, в соответствии с ними, привести рекомендации для наиболее продуктивного функционирования рассматриваемой сферы.

В силу того, что рыночная экономика основывается на конкуренции, в ней постоянно происходит перераспределение собственности от менее успешных хозяйствующих субъектов к более успешным. Она выводит неэффективные предприятия из числа действующих. Однако признание должника банкротом имеет и негативные последствия, поскольку затрагивает не только имущественные интересы должника, но и права и интересы большого круга других лиц - его работников, партнеров, кредиторов и других, порождает во многих случаях значительные социальные издержки. Поэтому законодательство предусматривает комплекс мер по восстановлению платежеспособности должника, направленных на предотвращение массовых банкротств. В современных экономических условиях особую значимость приобретают мероприятия по предотвращению кризисных ситуаций, а также меры, направленные на восстановление платежеспособности предприятий и стабилизацию их финансового состояния.

Авторами статьи были проанализированы данные Высшего Арбитражного суда (ВАС) Российской Федерации по результатам банкротства предприятий в России за период с 2006 по 2012 годы.

Исследование проводилось с целью:

- анализа тенденций в российском институте банкротства;
- выявления доли предприятий, сумевших в результате процедур банкротства восстановить платежеспособность;
- анализа причинно-следственной связи тенденций и особенностей, выявленных в результате статистического исследования.

Структурный и динамический анализа проводился по следующим основным направлениям:

- инициированные заявителями и принятые к рассмотрению заявления о несостоятельности;
- возбужденные дела по видам процедур (финансовое оздоровления, внешнее управление, конкурсное производство, мировое соглашение);
- дела, завершившиеся восстановлением платежеспособности предприятий.

Данные ВАС РФ по делам от несостоятельности представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Рассмотрение арбитражными судами субъектов Российской Федерации дел о несостоятельности (банкротстве) в 2006 – 2012 гг.

Годы	Поступило заявлений о признании должников несостоятельными и (банкротами), (кол. дел)		Количество дел, по которым проводилась процедура финансового оздоровления			Количество дел, по которым проводилась процедура внешнего управления			Принято решений о признании должника банкротом и об открытии конкурсного производства (кол. дел)	Прекращено производство по делу в связи с утверждением мирового соглашения (кол. дел)	Завершено производство по делам о несостоятельности (банкротстве). (кол. дел)
	Всего	Принято к произв.	Всего	прекращено производство по делу в связи с погашением задолженности, (кол. дел)	%	Всего	прекращено производство по делу в связи с восстановлением платежеспособности, (кол. дел)	%			
2006	91431	83068	39	8	20,5%	947	31	3,3%	76 447	106	60848
2007	44255	30015	33	3	9,1%	752	41	5,5%	19 238	126	66816
2008	34367	27032	48	6	12,5%	579	40	6,9%	13 916	126	35051
2009	39570	35545	53	2	3,8%	604	11	1,8%	15 473	127	30840
2010	40243	33270	91	6	6,6%	908	14	1,5%	16 009	255	31195
2011	33385	27422	94	7	7,4%	986	13	1,3%	12794	376	26132
2011 (I полугод.)	16853	13938	76	4	5,3%	839	7	0,8%	6 955	150	13348
2012 (I полугод.)	19472	15853	79	2	2,5%	763	9	1,2%	7 114	266	14780

Примечание. В таблице представлены данные по инициированным и завершенным процедурам банкротства. Несоответствие количества инициированных дел с суммарным количеством завершенных дел, объясняется тем, что в отношении части дел продолжают приняты Арбитражными судами РФ процедуры.

По данным: Результаты работы арбитражных судов. Электронный ресурс, режим доступа: <http://www.arbitr.ru/press-centr/news/totals>

На основании данных, приведенных в таблице 1, построим график, отражающий динамику основных показателей (количество дел, по которым проводилась процедура финансового оздоровления и внешнего управления, количество дел, по которым заключено мировое соглашение и количество предприятий, признанных банкротами) по годам (рис.1).

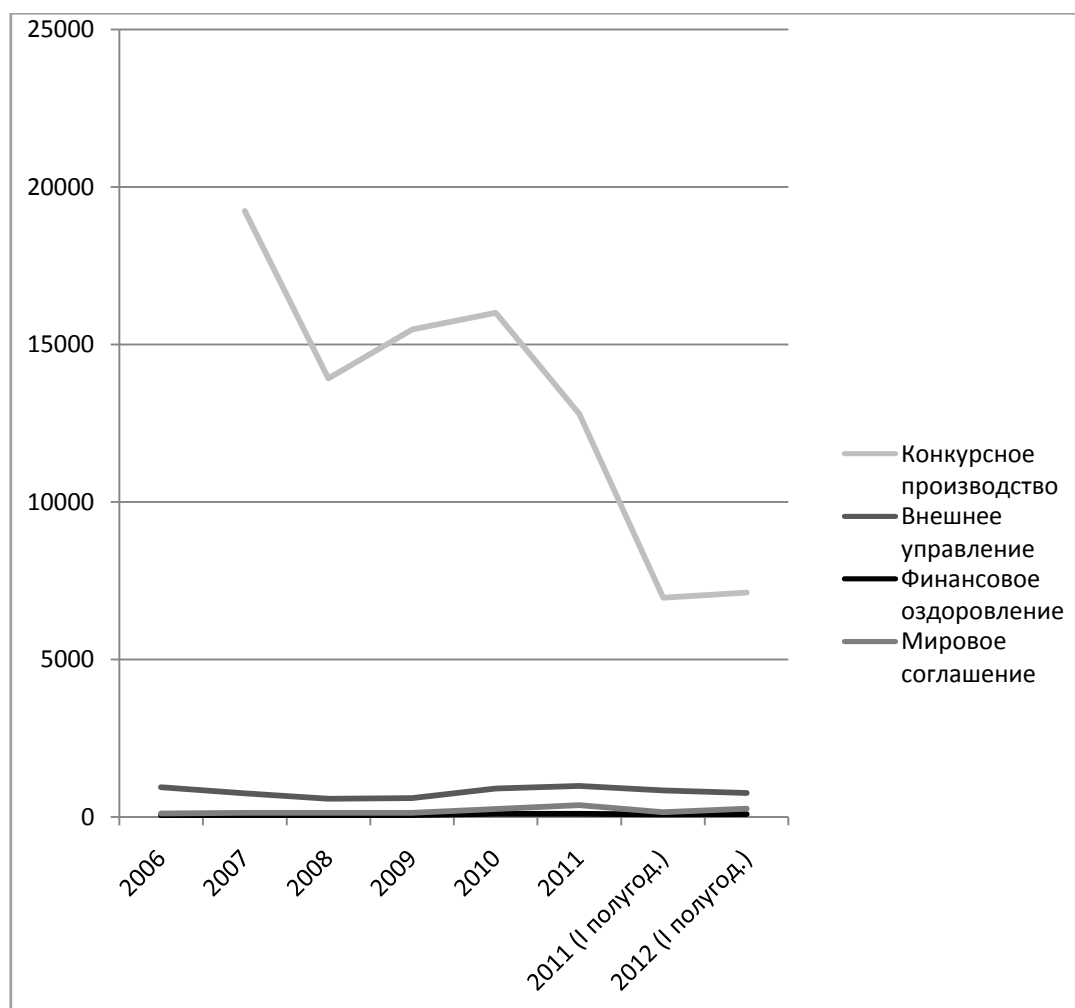
Из представленного графика в результате анализа можно сделать следующие выводы:

- по большинству дел, принятых к производству, выносится решение о банкротстве предприятия и об открытии конкурсного производства;

- наглядно видно, что доля дел, по которым проводятся процедуры финансового оздоровления и внешнего управления крайне малы в сравнении с количеством решений о признании предприятия банкротом. Положительным моментом является возрастание

процентного соотношения этих дел в рассматриваемый период;

- самая значительная тенденция к росту наблюдается по количеству дел, завершаемых мировым соглашением. Это, несомненно, является положительным моментом в российской арбитражной практике.



Примечание. С целью обеспечения наглядности графического воспроизведения информации показатель «Конкурсное производство» за 2006 год на графике не представлен.

Рис. 1. Динамика инициированных дел по годам.

Так как реализация законодательства о банкротстве должна способствовать предупреждению случаев банкротства и оздоровлению всей системы финансовых взаимоотношений, немаловажным параметром при анализе института банкротства является доля предприятий, оздоровившихся в результате проведения процедур финансового оздоровления и внешнего управления.

Особый интерес для нас представляет число предприятий, на которых проводилась процедура финансового оздоровления в сравнении с числом предприятий, успешно прошедших через эту процедуру, то есть тех, которые в результате финансового оздоровления погасили задолженность.

Соотношение данных предприятий представлено на рис. 2.

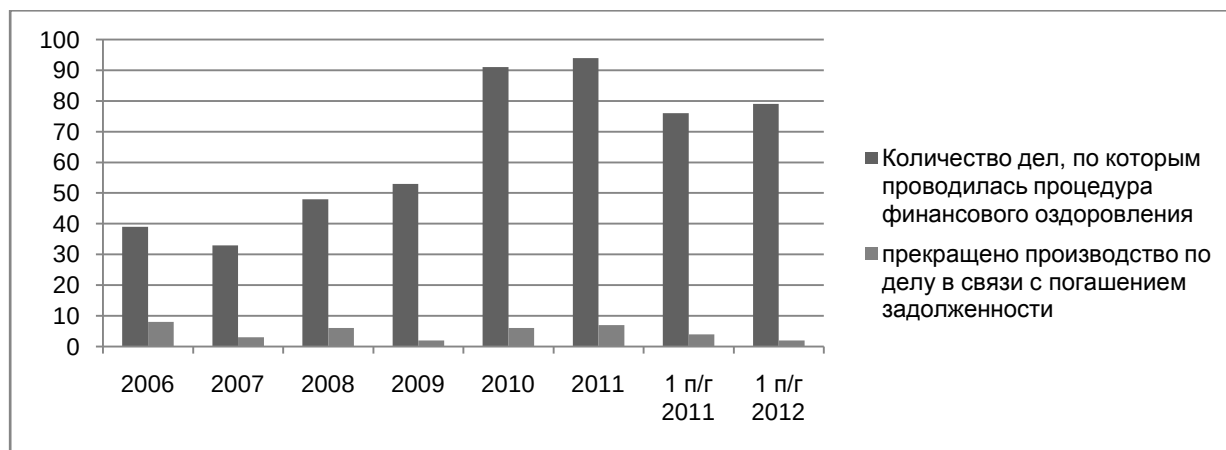


Рис. 2. Соотношение предприятий, прошедших через процедуру финансового оздоровления и предприятий, погасивших задолженность в ходе данной процедуры.

Из представленного графика видно, что с годами процедура финансового оздоровления проводится на все большем количестве предприятий, в то время как количество предприятий, погасивших задолженность остается на прежнем уровне – менее 10.

Для понимания соотношения доли оздоровленных предприятий в общем числе предприятий, прошедших через процедуру финансового оздоровления, построим график, отражающий их процентное соотношение (рис. 3):

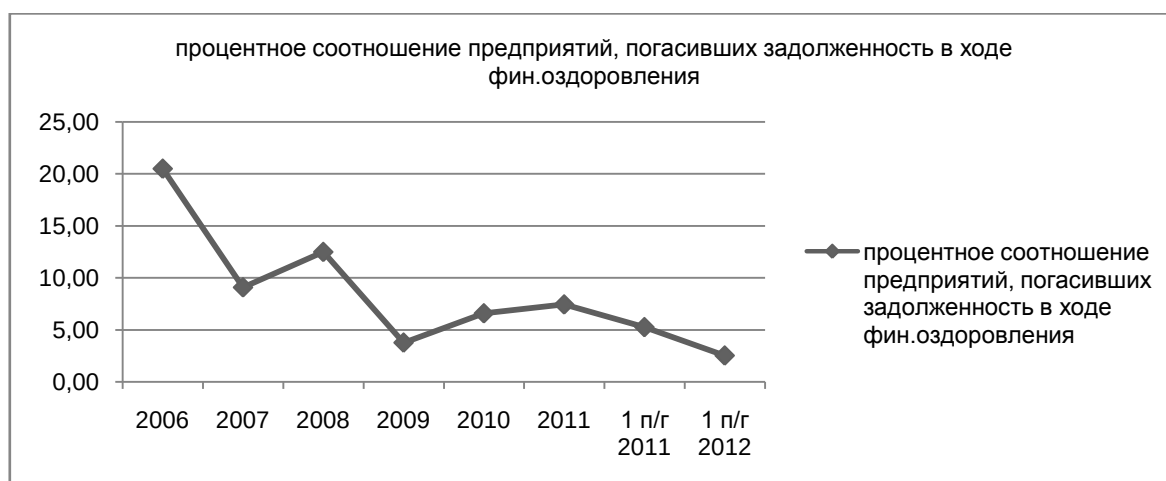


Рис. 3. Процентное соотношение предприятий, прошедших через процедуру финансового оздоровления и предприятий, погасивших задолженность

В данном сегменте в результате анализа была выявлена отрицательная тенденция: помимо низкой доли предприятий, сумевших в результате проводимого финансового оздоровления погасить задолженность, в рассматриваемый период эта доля сокращалась с течением времени. Из представленного графика наглядно видно, что эффективность проводимого финансового оздоровления с течением времени снижалась и не приводила к намеченным результатам.

Как уже было отмечено, финансовое оздоровление проводилось в отношении очень небольшого количества предприятий. Учитывая этот аспект, необходимо признать, что из общего количества дел о банкротстве в ходе финансового оздоровления платежеспособность восстанавливается в критически малой доле предприятий.

Причины и последствия неэффективности проводимой процедуры будут рассмотрены авторами ниже.

Также для оценки эффективности проводимых процедур необходимо провести анализ, показывающий долю предприятий, восстановивших платежеспособность в

результате процедуры внешнего управления. Далее представлен график, отражающий количество предприятий, в которых проводилось внешнее управление и которые, в результате, восстановили свою платежеспособность (рис. 4).

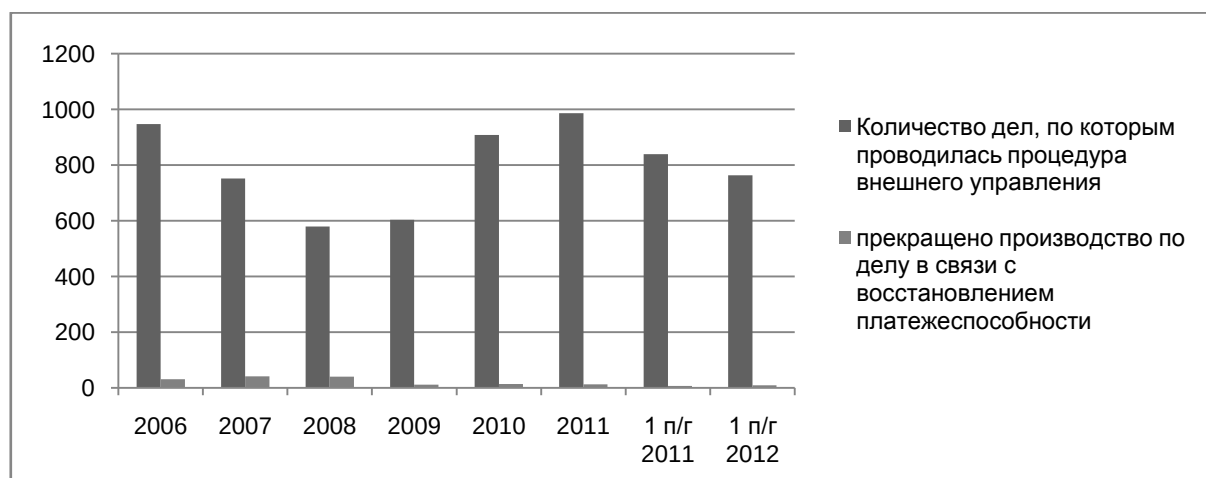


Рис. 4. Соотношение предприятий, прошедших через процедуру внешнего управления и предприятий, восстановивших платежеспособность в ходе данной процедуры.

Как видно из рисунка 4 количество предприятий, на которых проводилось внешнее управление, уменьшалось в кризисный период – 2006, 2007, 2008 годы, далее идет восстановление числа предприятий до прежнего уровня. Число предприятий, на которых внешнее управление было завершено успешно, то есть предприятий, которые в результате внешнего управления восстановили свою платежеспособность, - имеет негативную тенденцию. Для более объективного анализа представим график процентного соотношения числа предприятий, успешно прошедших через процедуру внешнего управления (рис. 5).

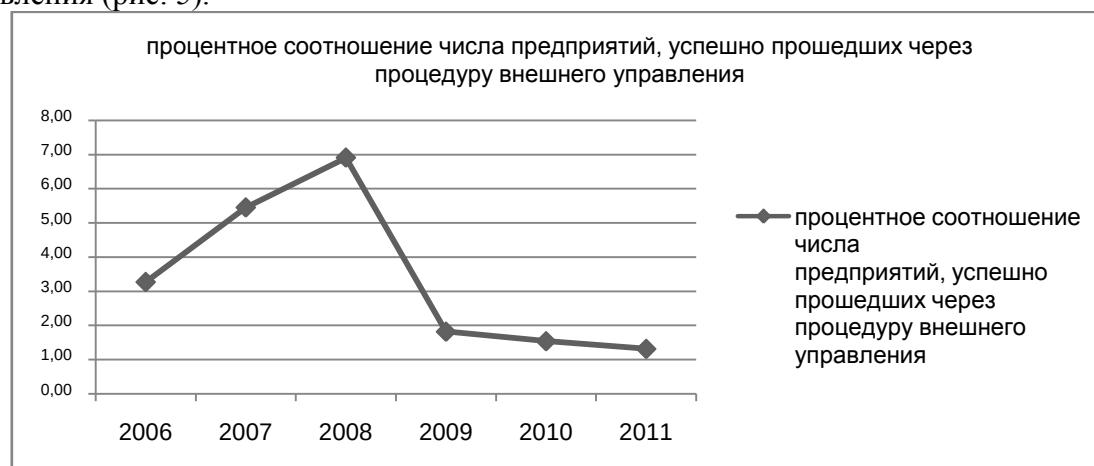


Рис. 5. Процентное соотношение предприятий, успешно прошедших через процедуру внешнего управления.

Из представленного графика видно, что пик приходится на послекризисный 2008 год, в целом же имеется тенденция к понижению, что говорит о низкой эффективности проведения процедуры внешнего управления.

Негативным фактором является то, что даже в периоды относительно высокой доли предприятий, восстанавливающих платежеспособность в ходе внешнего управления, процент предприятий, успешно прошедших процедуру внешнего управления, остается низким. Учитывая, что процедура внешнего управления проводится в малом количестве дел о банкротстве, результат данной процедуры неутешителен.

Следующие два графика, предлагаемые к рассмотрению – количество предприятий, признанных банкротами (рис. 6) и количество предприятий, по которым производство по

делу о банкротстве было прекращено в результате заключения мирового соглашения (рис. 7). Эти два графика предлагаются к рассмотрению в паре, так как имеют разнонаправленную тенденцию.



Рис. 6. Количество предприятий, признанных банкротом (по годам)



Рис. 7. Количество заключенных мировых соглашений (по годам)

Для обоих графиков значительным является 2008 год – именно в этом году число обанкротившихся предприятий опускается на максимально низкий уровень и в течение последующих лет остается относительно стабильным – не превышает двадцати тысяч. Судя по информации, представленной на графике, количество дел, в отношении которых производство было прекращено в результате мирового соглашения увеличивается – со 126 и 127 предприятий в 2008 и 2009 годах соответственно, до 376 в 2011 году. Безусловно, это является положительной тенденцией, благоприятным образом сказывающейся на развитии бизнеса и деловой практике.

В целом, в результате проведенного анализа было выявлено, что российская практика по делам о несостоятельности, с точки зрения восстановления платежеспособности, имеет отрицательный характер. Как было отмечено в работе, количество предприятий, в отношении которых инициируются процедуры по восстановлению платежеспособности крайне мало. Из практики банкротства можно констатировать, что из общего количества предприятий, в отношении которых инициируется процедура банкротства, на оздоровление могут претендовать не более 5-7%. Из них, количество предприятий завершивших процедуру банкротства восстановлением платежеспособности не превышает 1% от общего количества инициированных процедур.

Несмотря на наметившуюся тенденцию к благоприятному разрешению дел о банкротстве, процент предприятий, проходящих процедуры восстановления платежеспособности, остается на критически низком уровне. Это свидетельствует о

необходимости изменений в области дел о банкротстве предприятий. Необходима разработка методики, позволяющей восстанавливать платежеспособность в большем количестве рассматриваемых дел, необходимо перенимать опыт стран, имеющих положительные результаты в области разрешения дел о несостоятельности предприятий.

В настоящее время методика, применяемая для оценки финансового состояния предприятий с точки зрения возможности восстановления платежеспособности, не является объективной в полном смысле этого слова; в ней не учитываются отраслевые особенности предприятий, организация производства, конъюнктура рынка, влияние, оказываемое внешней средой. Анализ финансовых коэффициентов производится путем сравнения полученных значений с рекомендуемыми нормативными величинами, играющими роль пороговых нормативов. Чем удаленнее значения коэффициентов от нормативного уровня, тем ниже степень финансового благополучия предприятия и выше риск попадания в категорию несостоятельных предприятий.

Арбитражными управляющими не проводится всесторонний, полный анализ предприятия на предмет его дальнейших возможностей для погашения задолженности и восстановления платежеспособности. Выводы, которые делают арбитражные управляющие в процессе наблюдения в отношении предприятий, на которых введены процедуры банкротства, не в достаточной степени основываются на реальном положении дел; в значительной степени имеет место субъективизм и непрофессионализм самих управляющего, привлеченных лиц, недостоверности предоставляемой информации, коррупционные интересы отдельных участников процесса. Отсутствуют стимулы, направленные на оздоровление предприятий. По этой причине в отношении абсолютного большинства предприятий, на которых введены процедуры оздоровления, выносится решение об их ликвидации.

В результате некорректно проведенного финансового анализа предприятий, в отношении многих предприятий принимается неверное решение о возможности инициирования процедур финансового оздоровления или внешнего управления. Как было отмечено выше, порядка 90-95% их завершается введением конкурсного производства и банкротства предприятия.

Помимо очевидных негативных аспектов в виде ликвидации предприятия, банкротство предприятий, в отношении которых были ошибочно инициированы процедуры финансового оздоровления или внешнего управления, влечет за собой еще ряд негативных последствий:

- затягивание проводимых процедур;
- дополнительные финансовые затраты на проведение процедур (заработная плата управляющего, расходы на содержание, охрану объектов банкротящегося предприятия, привлечение специалистов и т.д.);
- нарушение интересов конкурсных кредиторов (замораживание финансов);
- дополнительные судебные издержки, связанные с сопровождением процедур, и другие.

Современное положение дел свидетельствует о необходимости внесения изменений в существующие методики финансово-экономического анализа предприятий. В частности, авторами данной статьи вносятся следующие предложения: по результатам предварительного финансово-экономического анализа, при наличии показателей, дающих основания предполагать возможность оздоровления предприятия, выполняются прогнозные финансово-экономические расчеты по специальной методике разработки прогнозного бизнес-плана предприятия.

С этой целью:

1. Разработать методику выполнения прогнозного финансово-экономического анализа предприятий во время проведения процедуры банкротства – наблюдение, с использованием специального бизнес-плана, с целью изучения возможности финансового оздоровления.

2. Обосновать методику в качестве нормативной и методической базы, регламентирующей порядок разработки специального бизнес-плана для выбора последующей процедуры банкротства, разработки плана финансового оздоровления или плана внешнего управления.

3. Обосновать методику для использования в качестве нормативной и методической базы, используемой в процессе проведения наблюдения при обосновании введения последующей процедуры банкротства: финансовое оздоровление, внешнее управление или конкурсное производство.

4. Заручиться согласием разработчиков программных продуктов Project Expert и «Помощник арбитражного управляющего» с целью защиты авторских прав или совместной разработки и внедрения данного проекта. Обратить внимание на защиту интересов сторон, возможных участников проекта.

5. Применить принципы и механизмы управления проектами для осуществления процедуры наблюдения при принятии решения о возможности (невозможности) восстановления платежеспособности предприятий, в отношении которых инициируется банкротство.

Основной целью предлагаемых мероприятий является создание системы по повышению объективности при принятии решений о возможности или невозможности восстановления платежеспособности предприятий, в отношении которых предполагается применение соответствующих процедур банкротства.

Реализация предложенных мер будет способствовать предупреждению недобросовестных случаев банкротства, оздоровлению всей системы финансовых взаимоотношений между предпринимателями, а в случае признания должника банкротом - сведению к минимуму отрицательных последствий банкротства для всех заинтересованных сторон, осуществлению всех необходимых процедур в цивилизованной форме.

ОБ АВТОРАХ



Алексеев Юрий Анатольевич, старший преподаватель кафедры ЭП ИНЭК УГАТУ, диплом инженера-экономиста (УГАТУ, 1982 г.). Исследования в области бизнес-планирования, управления проектами, банкротства и финансового оздоровления предприятий, арбитражный управляющий.
e-mail: alekseevyura@mail.ru



Игошева Вероника Александровна, магистрант 6 курса направления 080100 «Экономика» (очная форма обучения). Научный руководитель: доктор технических наук, заведующий кафедрой «Экономика предпринимательства», профессор Исмагилова Лариса Алексеевна
e-mail: veronika_0804@mail.ru

ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Елкина Л. Г., Яминова В.Г., Коземирова Т.А.

Современный этап развития экономики страны характеризуется переходом к устойчивому развитию, сущность которого заключается в том, чтобы не только сохранить структуру и функцию биосферы как необходимой системы, обеспечивающей существование жизни, но и решить ряд важных проблем социально-экономического характера. А именно, обеспечить рост экономики при условии сохранения природных ресурсов и качества окружающей среды существующим и будущим поколениям.

Проблема образования отходов производства и потребления имеет первостепенное значение и является приоритетной государственной задачей, так как охрана окружающей природной среды - одна из наиболее актуальных проблем современности. За последние десятилетия загрязнение природной среды отходами приобрело угрожающие масштабы, в связи с чем, деятельность по обеспечению экологической безопасности, предотвращению негативного техногенного воздействия на окружающую среду и ликвидации экологического ущерба, связанного с образованием и обращением отходов производства и потребления является приоритетным направлением.

Можно назвать несколько причин возникновения отходов:

- высокая ресурсоемкость экономики;
- рост производства товаров массового потребления одноразового использования;
- повышение уровня жизни, позволяющее пригодные к использованию вещи заменять новыми;
- использование устаревших технологий производства продукции.

В таблице 1 представлена классификация и количество образованных отходов производства и потребления по видам экономической деятельности в 2011 году.[1] Данные таблицы свидетельствуют о том, что основными «поставщиками» отходов являются добывающие и перерабатывающие отрасли.

Таблица 1

Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации в 2011 году.
(млн. тонн)

Сельское хозяйство	27,5	0,64 %
Добыча полезных ископаемых	3818,7	89,50 %
Производство пищевых продуктов	16,2	0,38 %
Производство изделий из дерева	3,9	0,09 %
Целлюлозно-бумажное производство	6,1	0,14 %
Производство кокса и нефтепродуктов	1,7	0,04 %
Химическое производство	41,9	0,98 %
Производство неметаллических минеральных продуктов	15,5	0,36 %
Производство готовых металлических изделий	186,8	4,38 %
Производство транспортных средств	3,2	0,07 %
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	58	1,36 %
Строительство	14,1	0,33 %
Транспорт и связь	3,7	0,09 %
Коммунальные, социальные услуги	69,6	1,63 %
Всего	4266,9	100%

При этом динамика образования отходов промышленного производства определяется динамикой изменения объема производства продукции: с 2005 по 2011 год количество отходов промышленного характера увеличилось в 1,44 раза (рис.1).

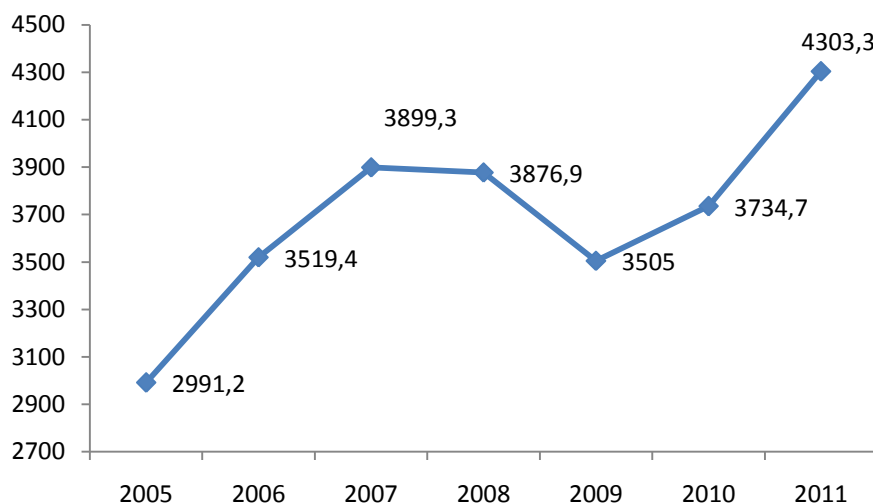


Рис.1 Динамика образования отходов производства по РФ (млн. тонн)

Скачок вниз с 2007 по 2009 год связан с финансово-экономическим кризисом 2008-2010 годов в России рис.2. [2]

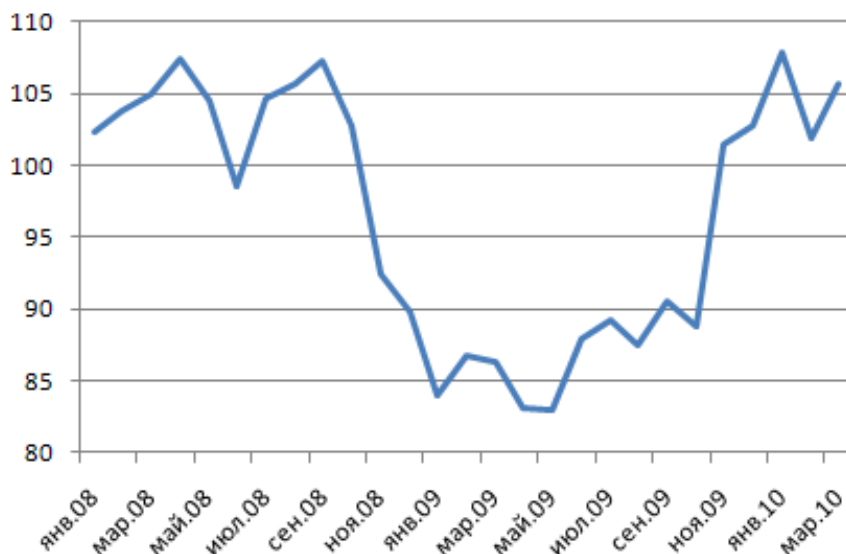


Рис. 2 Индекс изменения промышленного производства в России в 2008—2010 годах, в процентах к соответствующему периоду предыдущего года.

Сравнение динамики темпов промышленного производства и образования отходов свидетельствует о прямолинейной зависимости этих показателей. Очевидно, что экономическое развитие страны будет сопровождаться увеличением потока отходов производства и потребления при прочих равных условиях.

Общество и граждане несут все более крупные прямые и косвенные издержки в связи с образованием, обработкой и удалением отходов. Поэтому крайне важное значение имеют углубление знаний и распространение информации об экономических принципах предотвращения образования опасных отходов и их удаления, совершенствование механизма привлечения инновационных и инвестиционных ресурсов в сферу переработки

отходов с целью производства продукции, востребованной рынком.

Очевидно, что деятельность промышленных предприятий является источником образования отходов так, как здесь протекают производственные процессы, связанные с изготовлением продукции. Главная проблема, с которой сталкиваются предприятия это отсутствие малоотходных и ресурсосберегающих технологий, реализующих инновационные методы и способы изготовления продукции, что способствует росту объемов образования отходов, требующих утилизации.

Сегодня в мире существует уже около 20 различных методов их переработки, которые можно объединить в следующие группы:

- организация специально оборудованных полигонов и свалок, на которых скапливаются отходы производства и потребления;
- компостирование древесных и бумажных отходов;
- термообработка - сжигание и пиролиз;
- утилизация (переработка), направленная на получение и дальнейшее использование вторичного сырья;

В настоящее время в РФ получило распространение строительство полигонов для накопления мусора.

Преимущества данного метода:

- относительно низкие затраты на содержание;
- предусматривают размещение широкого спектра отходов;
- возможность дальнейшей рекультивации площадок под сельскохозяйственные, оздоровительные нужды (спортивные площадки, заповедники и т.д.)

Недостатки:

- загрязнение почвы, грунтовых вод и атмосферы токсичными химикатами, тяжелыми металлами, свалочными газами и т. д.;
- большая потребная площадь земли;
- сложность организации новых свалок в связи с отсутствием свободных земельных участков;
- значительные затраты на транспортировку ТБО[3]

Несмотря на то, сто эколого-экономическая целесообразность хранения отходов на свалках и полигонах сомнительна, в РФ перерабатывается всего 4% отходов. На рис. 3 представлена информация, свидетельствующая о том, что Россия заметно отстает в использовании инновационных подходов в сфере обращения с отходами. [3]

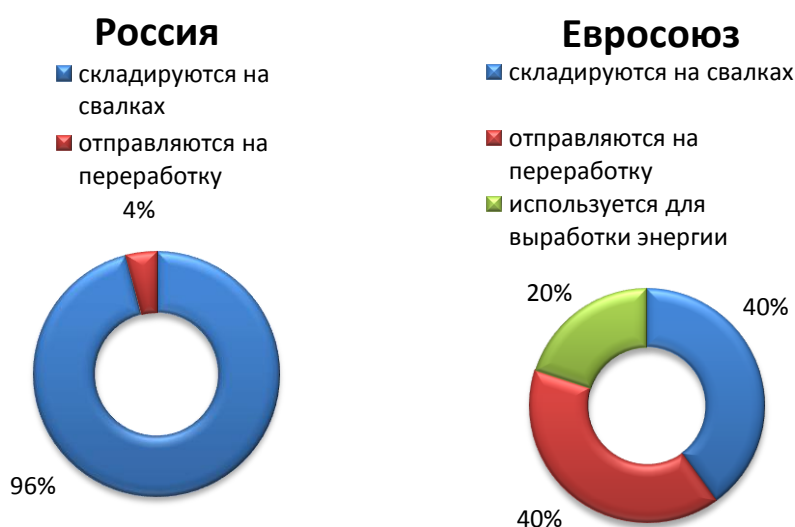


Рис.3 - Сравнительная характеристика переработки отходов в РФ и странах Евросоюза.

Более прогрессивным методом переработки отходов является компостирование, которое является результатом биологического декомпостирования. Питательные вещества отходов подвергаются переработке как сырье для новых растений. Для компостирования можно использовать бытовые, производственные сельскохозяйственные отходы, отходы перерабатывающих предприятий, растительную почву, торф или сапропель, навоз, навозную жижу, траву и другие растительные продукты, а также используются древесные опилки. Для компостирования не следует использовать опасные отходы и отходы от уборки: металл, стекло, пластмассу, искусственные опилки, мел или пепел, жидкости.

Достоинства компоста очевидны. Для растений компост, внесенный в почву – это прекрасное органическое удобрение, насыщенное необходимыми микроэлементами и гумусом. Для почвы – натуральный кондиционер, средство улучшения структуры грунта, оказывающее разрыхляющее и сберегающее влагу действие. Разложенный слоем на поверхности почвы, компост является великолепной органической мульчей, подавляющей рост сорняков и помогающей сохранять влагу у корней растений.

Главный недостаток технологии компостирования в том, что он основан только на использовании различных органических природных отходах, сбалансированных добавками из минеральных веществ.

Метод утилизации пиролизом известен мало, особенно в нашей стране, вследствие дороговизны. Это самый доступный и известный метод обеззараживания отходов. Разработка пиролиза заключается в необратимом химическом изменении мусора под воздействием температуры без доступа воздуха. По степени температурного действия на вещества мусора пиролиз как процесс, символически разделяется на низкотемпературный (до 900°C) и высокотемпературный пиролиз (выше 900° C).[4]

Превосходство пиролиза заключается в его экологичности. При помощи пиролиза, возможно, перерабатывать отходы, тяжело поддающиеся утилизации. После пиролиза не остается опасных биологических и химических веществ, потому подземное складирование пиролизных отходов не наносит вреда природной среде. При пиролизе не происходит восстановления (выплавки) тяжелых металлов. К превосходству пиролиза относятся и легкость хранения и транспортировки получаемых отходов, а, помимо прочего - небольшая мощность оборудования, используемого для реализации этой технологии. В общем, процесс требует минимальных инвестиций.

Сжигание мусора происходит на специальных заводах при температуре около 800 градусов по Цельсию. Сжиганию подвергаются, в основном, бумажно-полимерные отходы, которые помещаются в специальные топки. При отсутствии как минимум двух стадий очистки образуемых газов такой способ оказывает немалое негативное воздействие на окружающую среду.[5]

Преимущества термообработки:

- сжигание органических отходов может резко уменьшить вероятность загрязнения грунтовых вод;
- отходы уничтожаются полностью и под влиянием высоких температур обезвреживаются;

Недостатки:

- возможность загрязнения воздуха, эксплуатационные трудности и стоимость процесса;

Термическая переработка отходов в нашей стране не развита. Всего, по данным Росприроднадзора, в России 10 мусоросжигательных комплексов. Крупнейшие из них, совокупной мощностью до 700 тыс. тонн в год, расположены в Москве. Основное препятствие для развития мусоросжигания — капиталоемкость проектов. Самая затратная статья — обеспечение экологической безопасности: помимо фильтров для нейтрализации продуктов сгорания нужна высококачественная известь, активированный уголь, модификаторы и прочие химикаты. [6] Этот способ переработки отходов распространен в зарубежных странах.

Так, в Голландии существует целая сеть мусоросжигательных или мусороперерабатывающих заводов. На предприятие Maltha перерабатывается стекло. Мусоросжигательный завод AVR, расположенный в г. Дайвен, специализируется на преобразовании отходов в энергию. В частности, при сжигании отходов производится пар, который потом преобразуется в электричество, используемое в производстве или для отопления домов.

Целесообразность утилизационных методов переработки мусора сложно отрицать так, как они обеспечивают вторичное использование ресурсов. Сравнение методов ликвидации отходов показаны в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика различных способов
ликвидации отходов**

Способ ликвидации отходов	Стоимость утилизации 1 т мусора (в долларах)	Степень уменьшения массы отходов	Возможность повторного использования отходов
Специально оборудованная свалка	35	1/3	Нет
Компостирование отходов	35-70	½	Есть (в виде удобрения)
Переработка отходов	55-70	9/10	Есть (для получения энергии)

Под утилизацией подразумевается переработка промышленных отходов в полезные сырьевые материалы и энергию. Например, теплота, выделяющаяся при сжигании опасных отходов, может быть использована для создания пара, приводящего в движение генератор электроэнергии, а свинец, извлеченный из отслуживших автомобильных аккумуляторов, – в производстве новых аккумуляторов. Значительное снижение издержек производства и расхода энергии может быть достигнуто путем утилизационной переработки таких материалов, как лом металлов (в частности, железа, стали, алюминия, меди, свинца и магния), макулатура, древесные отходы, стекломой и пластмассовые отходы.

Преимущества переработки:

- сохранение природных ресурсов;
- сокращение объемов ТБО, подлежащих уничтожению, и соответствующая экономия затрат;
- сырьевое обеспечение производств;

Недостатки:

- высокий уровень материальных и энергетических затрат на сбор, транспортировку, сортировку мусора;
- загрязнение окружающей среды (зависит от выбранного метода переработки);
- значительный разброс цен на вторичные материальные ресурсы;
- несмотря на наличие спроса, некоторые компоненты не подлежат переработке;

Проблему сортировки мусора решили ученые из Нидерландов, представив последние разработки в сфере переработки отходов — улучшенную технологию, которая без предварительной сортировки, в рамках одной системы, разделяет и очищает все отходы, поступающие на переработку, до первоначального сырья. Система полностью ориентирована на переработку все видов отходов (медицинские, бытовые, технические) в закрытом цикле, без остатка. Сырье полностью очищается от примесей (вредных веществ, красителей и т. д.), пакуется и может быть использовано вторично. При этом система

экологически нейтральна.

В Японии территория страны слишком мала, чтобы использовать ее под мусорные полигоны. Поэтому на сегодняшний день в Японии подвергается вторичной переработке около 45% всех отходов, сжиганию - 37%, а вывоз мусора на полигон и последующее его хранение занимает всего лишь 18%. И они постоянно стремятся свести последний показатель к нулю. Так, закон о рециклировании упаковок и банок действует в Японии с 1995г. В соответствии с ним, каждый житель Японии обязан сортировать и выкидывать упаковки строго в отведенные для определенного материала контейнеры. Муниципальные службы занимаются пересортировкой и хранением отходов, а производители превращают их во вторичное сырье. Обязательна переработка отходов следующих видов: всех типов стеклотары, пластиковых бутылок, банок, коробок, бумажных и пластиковых упаковок.

В соответствии с действующим законодательством утилизация мусора в Японии – это отлаженный процесс, в котором успешно сотрудничают три участника: потребители, предприниматели и государственные структуры. Результат – Япония одна из самых «чистых» стран в мире.

Швеция также является примером по переработке отходов для многих европейских стран. На сегодняшний день в Швеции перерабатывается более 80% всех видов бытовых отходов. Примерно 18% оставшегося мусора сжигают. И только 2% занимает вывоз отходов на полигоны для их захоронения [7]

Все, что может нанести вред экологии: вывоз мусора, его утилизация или хранение строго контролируется государством. За незаконный вывоз мусора налагается огромный штраф. А на всех предприятиях переработки вторсырья установлены датчики по контролю за предельно допустимой концентрацией вредных веществ. Информация с этих датчиков постоянно поступает в государственные органы надзора за состоянием окружающей природной среды

Сегодня «мусорный бизнес» является вполне привлекательным сегментом для частного инвестора. Конкуренция слабо развита, мусороперерабатывающих компаний немного, самого мусора — огромное количество. Вложенные деньги можно вернуть за несколько месяцев. При этом рентабельность бизнеса доходит до 50%. Высокая эффективность и рентабельность «мусорного бизнеса» в странах Евросоюза обусловлена использованием высоко технологических способов переработки развитой системой организации сбора, сортировки отходов, а также экономически взвешенной составляющей политики в этой деятельности.

В условиях централизованно управляемой экономики бывшего СССР затраты на сбор и предварительную переработку отходов относились на себестоимость продукции отрасли. В новых хозяйственных условиях Минэкономики (Минэкономразвития) России не стало рассматривать вторичные ресурсы в числе объектов, требующих специальных мер государственного регулирования, а природоохранные ведомства пока не смогли создать эффективные нормативные ограничения и экономические инструменты государственного регулирования в этой области. [8]

В РФ низкий уровень использования отходов объясняется использованием устаревших технологий, отсутствием системы сбора и первичной сортировки мусора, что предопределяет низкий уровень рентабельности их переработки.[9] Очевидно, что разработка и внедрение ресурсосберегающих и инновационных технологий обращения с отходами требует значительных инвестиций. А привлечение частных и корпоративных инвесторов в сферу обращения отходов возможно при наличии благоприятных условий хозяйствования, способных обеспечить достаточно высокий уровень доходности капиталовложений. Однако действующий механизм управления процессами в сфере обращения отходами неэффективен и не способствует развитию предпринимательства в этом рыночном сегменте.

Таким образом, для решения накопившихся проблем в сфере обращения отходов в РФ необходимо совершенствовать существующий механизм управления отходами,

который должен сформировать условия развития «мусорного бизнеса»: создание и внедрение в практику высокотехнологичных способов переработки отходов, основанных на инновациях, создание современной инфраструктуры по всей цепочке образования и переработки отходов, создание условий для привлечения в эту сферу крупных инвесторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 6.
1. Федеральная служба государственной статистики <http://www.gks.ru>
2. Ежедневная деловая газета РБК daily <http://rbcdaily.ru/>
3. «Независимая газета» <http://www.ng.ru>
4. Газета «Ведомости» <http://www.vedomosti.ru>
5. Экология города (урбоэкология) <http://files.school-collection.edu.ru>
6. Переработчики и образователи вторичного сырья <http://pererabotkatbo.ru/>
7. Газета «Эксперт» <http://m.expert.ru>
8. Сайт ООО «УралВторРесурс» <http://www.urvtor.ru>
9. Управление развитием эколого-экономической системы: теория и практика: монография / Л.Г. Елкина. -- М.: Издательство "Палеотип", 2009. - 252 с.

ОБ АВТОРАХ



Ёлкина Людмила Геннадьевна, проф. каф. Экономики предпринимательства. Дипл. инженер-экономист (УАИ). Д-р экон. наук. Иссл. в обл. экономики природопользования.

e-mail:



Яминова Венера Галимовна, студент специальности «Экономика и управление на предприятии» УГАТУ

e-mail: farisa25@mail.ru



Коземирова Татьяна Александровна, студент специальности «Экономика и управление на предприятии», УГАТУ

e-mail: kozem21@rambler.ru

РЫНОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В РЕГИОНЕ

Коземирова Т. А., Яминова В. Г., Елкина Л. Г.

Механизм управления природопользованием представляет собой совокупность методов и инструментов управления, с помощью которых организуются, регулируются и координируются процессы природопользования в совокупности с производственными и социально-экологическими процессами, обеспечивается должный уровень экологичности производства и потребления, сохраняется качество охраны окружающей среды. Конкретный состав инструментов и средств определяется с учетом целевых ориентиров экологической политики и текущего состояния экономики предприятия. Традиционно инструменты экологического управления объединяются в следующие группы: административные, финансово-экономические, рыночные. [1]

Административное регулирование в природопользовании осуществляется через систему природоохранного законодательства, которое устанавливает жесткие рамки негативного воздействия на окружающую среду путем установления нормативов, стандартов, регламентов для производства, технологий или выбросов (сбросов) загрязнителей, прямых запретов, разрешений и лицензий. Недостаток метода заключается в том, что требуются значительные финансовые ресурсы на создание и содержание развитой организационной структуры.

Финансово-экономический блок охватывает все виды экономического стимулирования рационального природопользования методами позитивной (дотации, льготное кредитование, субсидирование проектов природоохранного назначения) и негативной (штрафные санкции, возмещение ущерба) мотивации, инвестирование природоохранных проектов, финансовое регулирование. Одной из основных причин тому является явно недостаточный уровень инвестиционных вложений в сферу природопользования, а также низкая эффективность использования ограниченных финансовых ресурсов: практически не финансируются научные и инновационные программы природоохранного назначения (не более 2% на НИОКР), но активно реализуются технологии «конца трубы».

Создание рыночных отношений в экологической сфере предполагает формирование рынка экологических товаров и услуг, а также рынка прав на загрязнение. По своей сути, рыночные инструменты управления направлены на обеспечение рационального использования экологических ресурсов территорий.

Все три подхода в управлении природопользованием должны использоваться в комплексе. Так, без экологического нормирования трудно представить эффективно работающие правовые и финансово-экономические инструменты, не располагающими цифровыми характеристиками управляемых объектов.

Рассматривая данную проблему, становится совершенно очевидным, что при правильном подходе, возможно извлечение прибыли и не малой. Однако для извлечения прибыли необходимы серьезные финансовые вливания в эту сферу со стороны инвесторов и предпочтительно, частных. Как правило, здесь и возникает масса противоречий между частными инвесторами и властями. Не всегда удается закрепить права собственности на тот или иной объект, действующий в сфере обращения с отходами, что приводит к большим финансовым потерям со стороны инвесторов. В этой связи необходима выработка таких инструментов, которые позволили бы инвестиционному капиталу чувствовать себя наиболее комфортно в сфере обращения с отходами. Одним из таких инструментов является концессия, по сути представляющая собой долгосрочную форму осуществления инвестиций, основанную на разрешении исключительно государством

эксплуатации возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов, а также осуществления иных видов хозяйственной деятельности на условиях долгосрочной аренды. По договору коммерческой концессии одна сторона (правообладатель) обязуется предоставить другой стороне (пользователю) за вознаграждение на срок или без указания срока право пользоваться в предпринимательской деятельности комплексом исключительных прав, принадлежащих правообладателю, в том числе правом на фирменное наименование или коммерческое обозначение, на охраняемую коммерческую информацию, а также на другие предусмотренные договором объекты исключительных прав.

Структура и содержание блоков концессионного механизма представлены на рис. 1.

Если рассматривать концессионный договор в разрезе недропользования, то к его содержательным признакам можно отнести предоставление инвестору права использования природных ресурсов на долгосрочной возвратной и платной основе, или иными словами кредитование инвестора государством в особой, специфической форме. В данном случае в отличие от обычного кредитования, предоставляемого в денежной форме, или кредитования в натурально-вещественной форме происходит кредитование имущественными правами.

Отличительные признаки классической концессии следующие:

- концессионеру для использования передается большая площадь;
- продолжительность срока концессионного договора составляет 60-75 лет (в исключительных случаях — 99 лет);
- неиспользованные площади в собственность государства не возвращаются;
- концессионер имеет полный и единоличный контроль над всеми аспектами хозяйственной деятельности в рамках концессии.

В случае успешной реализации концессионных принципов в сфере обращения отходов, станет возможным достижение максимальной экономической эффективности, которая будет выражаться в виде поступления денежных средств в бюджеты различных уровней, с одной стороны, а с другой — снижение расходов бюджета на содержание объектов инфраструктуры.

Таким образом, эффективное использование инструментов концессии дает следующие преимущества в сфере обращения с отходами потребления:

- создание максимально конкурентной среды в сфере обращения с отходами потребления;
- снижение нагрузки на бюджеты различных уровней в области реализации проектов, связанных со сбором и обезвреживанием отходов потребления, включая создание новых высокотехнологичных предприятий по переработке отходов, а также модернизацию старых предприятий;
- привлечение дополнительных инвестиционных ресурсов в регион;
- создание дополнительного количества рабочих мест, с высоким уровнем заработной платы;
- повышение экономической эффективности проектов, работающих в сфере обращения с отходами потребления
- возврат в собственность государства или муниципального образования модернизированного и современного оборудования после истечения срока действия договора;
- возможность передачи концессионеру как предприятия в целом, так и отдельных объектов сферы обращения с отходами, включая полигоны, объекты коммунального хозяйства и т.д.

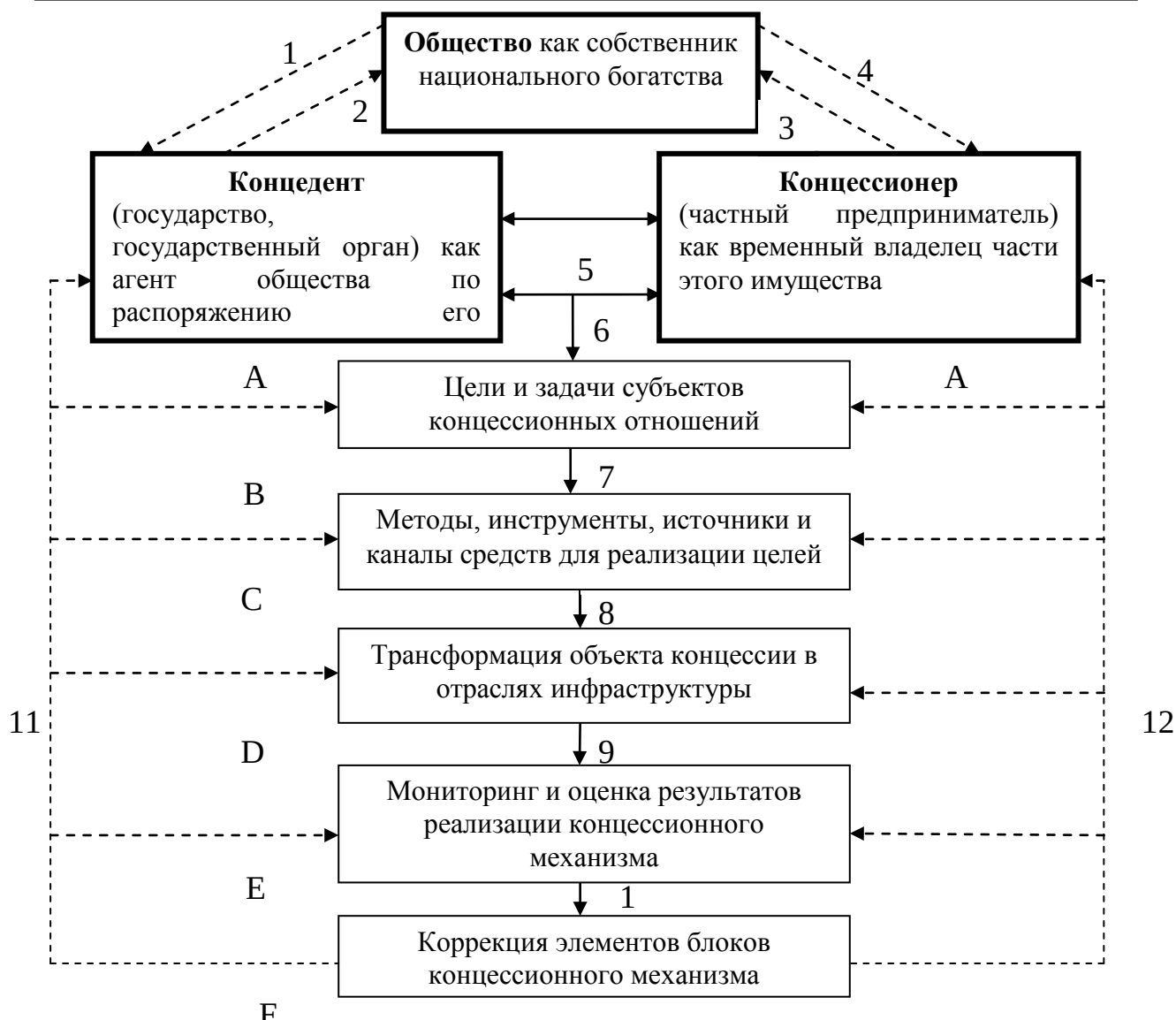


Рис. 1. Структура и содержание блоков концессионного механизма

Условные обозначения:

1 – делегирование обществом государству полномочий по обеспечению инфраструктурных функций; 2 – ответственность государства перед обществом за эффективное функционирование инфраструктурных объектов и удовлетворение общественных потребностей; 3 – удовлетворение потребностей членов общества; 4 – социальная ответственность концессионера; 5 – выбор субъектов и объектов концессионного соглашения; 6 – определение целей и задач концессии; 7 – выбор методов, инструментов, источников и каналов финансирования реализации целей соглашения; 8 – трансформация объекта концессионного соглашения; 9 – мониторинг и оценка эффективности результатов реализации концессионных отношений; 10, 11, 12 – коррекция отдельных элементов блоков механизма концессии; A – выбор субъектов и объектов концессионных отношений; B – постановка субъектами целей и задач; C – определение методов, инструментов, источников и каналов средств достижения поставленных целей; D – трансформация инфраструктурного объекта концессионных отношений; E – мониторинг и оценка результатов трансформации объекта концессии; F – коррекция отдельных элементов блоков концессионного механизма.

Использование концессионных инструментов позволит более эффективно управлять потоковыми процессами в сфере обращения с отходами потребления за счет привлечения дополнительных инвестиций в эту сферу.

Для сохранения используемого природно-ресурсного потенциала при возможности снижения издержек на природоохранные мероприятия используется такой инструмент как кластер.

Кластер - это территориально-отраслевое добровольное объединение предприятий (предпринимателей), которые тесно сотрудничают с научными учреждениями, общественными организациями и органами местной власти с целью повышения конкурентоспособности собственной продукции и содействия экономическому развитию региона. Актуальность темы формирования и развития кластерной экономики можно связать с широкой популярностью кластерного механизма организации экономики, наличием успешных примеров в международном аспекте и относительно высокой эффективностью кластеризации, связанной с довольно низкими организационными затратами при достаточно высокой отдаче.

Экономико-экологический кластер характеризуется рядом характеристик, представленных в табл. 1 [3]:

Таблица 1

Базовая структура характеристик экономико-экологического кластера и их содержание

Характеристика	Описание
Наличие группы компаний/организаций	Выделяется одно или несколько крупных предприятий – лидеров, образующих центр (ядро) и определяющих структуру кластера.
Географическая локализация	Масштабы кластера могут варьироваться от одного района, города, региона, страны или группы стран или их регионов.
Кооперирование участников кластера	Наличие устойчивых экономико-экологических связей (коммуникаций) и доминирующее значение этих связей для участников кластера. Объединение предприятий разных отраслей и организаций различных типов, технологически и экономически связанных друг с другом.
Конкуренция внутри кластера	Наличие конкуренции между участниками кластера является ключевым элементом его создания. Способствует постоянному совершенствованию деятельности и инновационному поиску.
Инновационная направленность кластера	Кластеры обладают большой инновационной способностью. Это объясняется возможностью участников кластера быстро реагировать на потребности покупателей, доступом к новым технологиям внутри кластера, кооперацией в осуществлении научно-исследовательских работ, а также конкурентным давлением, которое стимулирует предприятия к созданию инноваций.
Экологичность кластера	Наличие базовых императивов сохранения совместно используемого природно-ресурсного потенциала и наличие возможности снижения издержек на природоохранные мероприятия.
Взаимосвязь интересов предприятий кластера, территорий размещения, а так же ее природных ресурсов	Осуществляется путем сбалансирования интересов, развития регионов и территорий, его социально-экономических, экономико-экологических показателей, и интересов конкретных предприятий.

Целью предприятий, в случае их наличия в кластере, является изыскание внутренних резервов для обеспечения непрерывности воспроизводственных процессов, достижение стратегических выгод, связанных в первую очередь с повышением мобильности развития и реализации технологического потенциала всего кластера.

Создание экологического кластера не только поможет улучшить экологическую ситуацию в регионах, но и станет привлекательной площадкой для инвестиций, производства высокотехнологичных материалов и развития экологического образования.

Таким образом, природопользование выступает неотъемлемой специфической системой функций и операций производственно-хозяйственной и воспроизводственной деятельности любого предприятия вне зависимости от формы собственности и масштабов производства. Окружающая природная среда выступает не только источником естественных ресурсов, но и обеспечивает саму возможность производственной деятельности, реализацию целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление развитием эколого-экономической системы: теория и практика: монография / Л.Г. Елкина. – М.: Издательство "Палеотип", 2009. – 252 с.
2. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2011 году / Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mprrb.ru/upload/iblock/1f0/axtufbpbrwvjhobain%202011.pdf>
3. Трофимова О.М. К вопросу о формировании инновационных кластеров в региональной экономике / О.М. Трофимова / Научный вестник Уральской академии государственной службы: политология, экономика, социология, право. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.uapa.ru/ru-ru/about/>

ОБ АВТОРАХ



Коземирова Татьяна Александровна, студент специальности «Экономика и управление на предприятии», УГАТУ

e-mail: kozem21@rambler.ru



Яминова Венера Галимовна, студент специальности «Экономика и управление на предприятии», УГАТУ

e-mail: farisa25@mail.ru



Елкина Людмила Геннадьевна, доктор экон. наук, профессор кафедры ЭП. Иссл. в обл. экон. природопользования.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 621.45.02

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕТАСТАЗИРОВАНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Кишалов А. Е., Султанбаев А. В.

Ключевые слова: имитационная модель метастазирования рака, рак молочной железы, диссеминация.

Резюме

Работа посвящена вопросам моделирования процессов происходящих в лимфоциркуляторной системе при раке. Предложенный вариант имитационной модели рассматривает процессы лимфодинамики и лимфоциркуляции с учетом состава и свойств лимфы на примере рака молочной железы. В модели рассматриваются возможности влияния факторов внешней среды на метастазирование рака. Предложенные модели являются универсальными и могут применяться при любых локализациях злокачественных новообразований.

Имитационная модель лимфодинамики имеет научно практическое значение в понимании общих процессов диссеминации рака, расширяет представления об основных закономерностях, происходящих в лимфатической системе при развитии злокачественных новообразований и его метастазировании. Полученные данные являются неотъемлемой частью в изучении процессов происходящих при онкозаболеваниях.

Введение

Проблема метастазирования злокачественных опухолей всегда привлекала к себе внимание исследователей и клиницистов. В изучении метастазирования большую роль играет изучение природы факторов влияющих на метастазирование – выявление механизмов, определяющих опухолевую прогрессию. Актуальность вопроса о поиске мер, предотвращающих возникновение и развитие метастазов трудно переоценить. При этом важнейшие данные о механизмах, лежащих в основе данного явления, могут быть получены, преимущественно, при анализе результатов экспериментальных исследований [1, 2].

Формирование метастазов рака является многошаговым процессом, который зависит от факторов внутренней и внешней среды. Метастазирование опухолей проходит через серию последовательных этапов, каждый из которых имеет особое значение в вопросе метастазирования [1, 3]. Обязательным этапом образования метастатического очага является продвижение клеток первичной опухоли по лимфатической системе, с последующей остановкой дальнейшего движения и формированием вторичных опухолевых узлов [4]. Одним из ключевых моментов данного процесса является физико-химические свойства лимфы и анатомо-морфологические свойства путей лимфотока. Все эти моменты связаны с канцерогенезом.

С развитием вычислительной техники, с многократным повышением её мощности, появилась возможность проводить исследование механизмов метастазирования и развития раковой опухоли при помощи исследования математических моделей в основе которых заложены результаты уже проведённых исследований и основополагающие теоретические

выкладки. При помощи математического моделирования можно прогнозировать развитие заболевания, оценивать влияние факторов внешней и внутренней среды, определить тактику с учетом индивидуальных характеристик пациента.

Определением факторов риска и оценкой их влияния на лимфогенное метастазирование долгое время занималась научно-исследовательская команда профессора Ш.Х. Ганцева [4 – 8].

Целью данного исследования является разработка методов и средств моделирования метастазирования рака молочной железы.

Материалы и результаты

При помощи, разработанной на кафедре АД УГАТУ Framework CAMSTO [9], создана система имитационного моделирования (СИМ) LMR. СИМ LMR предназначена для моделирования процессов происходящих в лимфатической системе человеческой груди. Главное окно системы представлено на рис. 1. Моделирование происходит при помощи составления топологической модели из набора структурных элементов (СЭ) и соединения их между собой взаимосвязями (потоками). Каждый структурный элемент представляет собой независимый алгоритм, описывающий некоторую элементарную часть лимфатической системы. Взаимосвязи передают некоторую информацию между СЭ (свойства и параметры лимфы, её характеристики и т.п.) [10]. На рис. 2 представлена топологическая модель некоторого участка лимфатической системы, собранная в СИМ LMR.

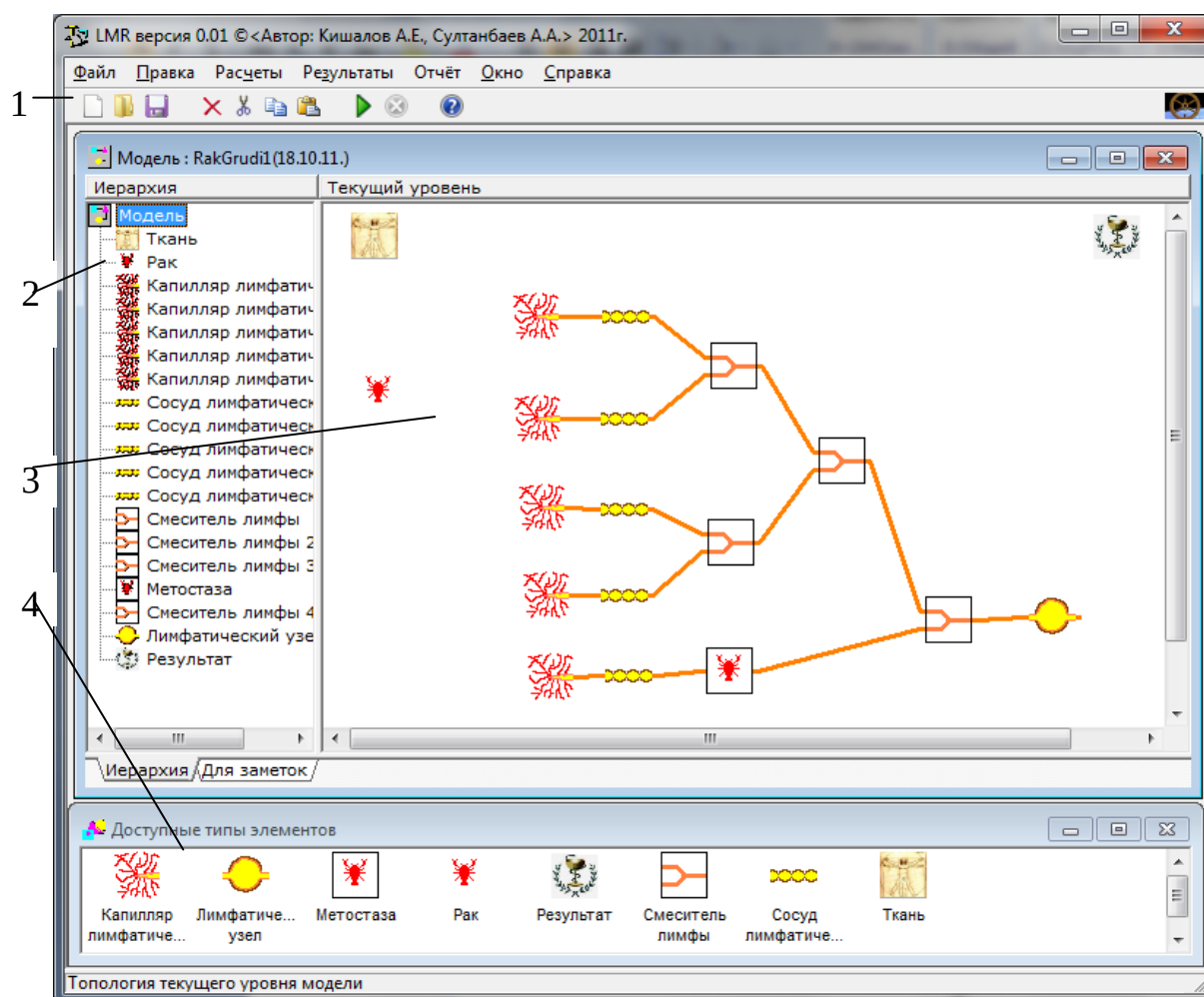


Рис. 1. Главное окно СИМ LMR, где 1 – главное меню системы; 2 – иерархия модели; 3 – топологическая модель; 4 – библиотека элементов

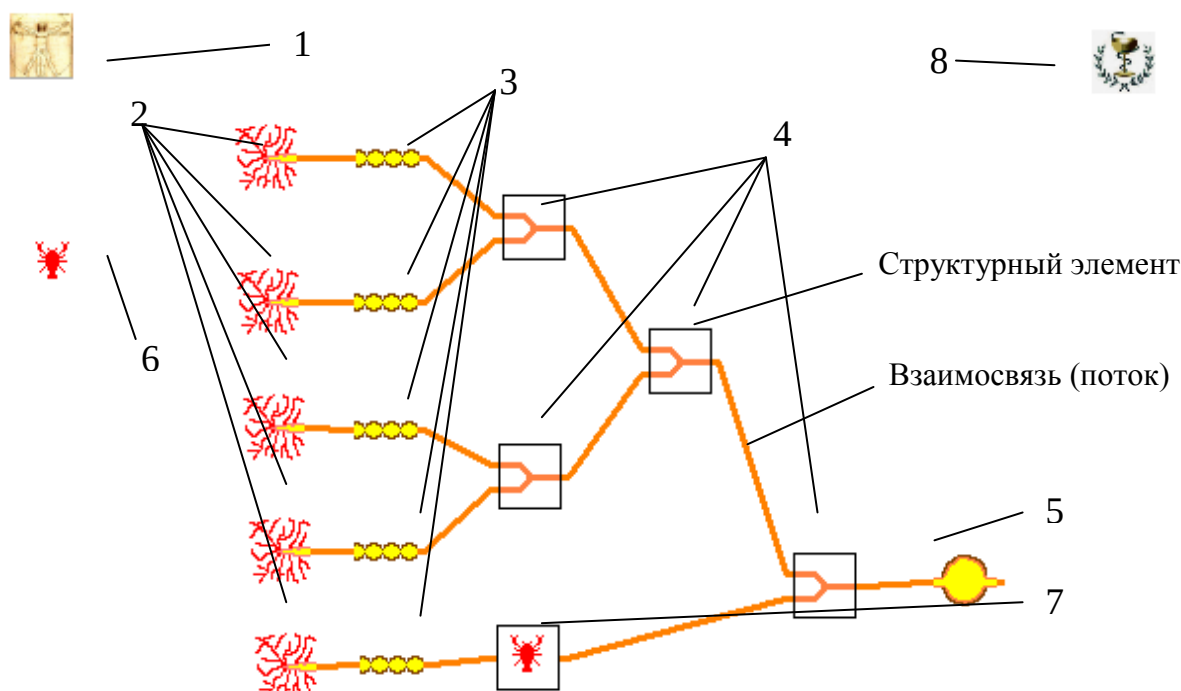


Рис. 2. Топологическая модель участка лимфатической системы, где 1 – СЭ «Ткань», 2 – СЭ «Капилляр лимфатический»; 3 – СЭ «Сосуд лимфатический»; 4 – СЭ «Смеситель лимфы»; 5 – СЭ «Лимфатический узел»; 6 – СЭ «Раковая опухоль в тканях»; 7 – СЭ «Метастаза»; 8 – СЭ «Результат».

В СИМ LMR в любой топологической модели лимфатической системы присутствуют два структурных элемента – модели «надсистемы»: СЭ «Ткани», который содержит характеристики и параметры человеческого тела, СЭ «Результат», который содержит интегральные параметры, полученные в результате моделирования.

В библиотеке структурных элементов содержится набор структурных элементов, из которых можно компоновать топологическую схему. В каждом СЭ есть входные и выходные параметры, характеризующие данный СЭ. По входным и выходным потокам (взаимосвязям) данные из одного СЭ передаются в другой.

Входными параметрами СЭ «Ткань» (рис. 3) являются:

Атмосферное давление, верхнее артериальное давление (никак не используется), нижнее артериальное давление (никак не используется).

Тканевое гидростатическое давление, тканевое коллоидно-осмотическое давление – необходимы для расчёта расхода лимфы в капилляре (режим работы капилляра – 1). Исходя из гидростатического давления определяется диаметр лимфатического сосуда и клапана (режим расчёта диаметра сосуда – 1).

Ткань	
Входные параметры	Выходные параметры
Атмосферное давление, [кПа]	101.325
Верхнее давление, [мм рт. ст.]	120
Возраст пациента, [лет]	28
Время переходного процесса, [с]	0
Входной расход лимфы, [л/с]	0.213792482974883
Динамическая вязкость лимфы, [мПа·с]	1.6
Коэффициент роста сосудов, [мм/сутки]	0.1
Начальный запас лимфы, [г]	10
Нижнее давление, [мм рт. ст.]	80
Плотность лимфы, [кг/м ³]	1020
Тканевое гидростатическое давление, [мм рт. ст.]	3
Тканевое коллоидно-осмотическое давление, [мм рт. ст.]	4.5
Шаг по времени, [с]	50
Эндолимфатическое коллоидно-осмотическое давление, [мм рт. ст.]	6.75

а)

Ткань	
Входные параметры	Выходные параметры
Время переходного процесса, [с]	50000
Избыточное среднее давление, [кПа]	0.399967105263158
Среднее давление, [кПа]	101.724967105263

б)

Рис. 3. Параметры СЭ «Ткань»: а) входные; б) выходные

Возраст пациента – индивидуальные характеристики пациента. Влияет, на количество обратных клапанов в лимфатических сосудах, на свойства и параметры стенок лимфатических сосудов.

Время переходного процесса и шаг по времени – технологические параметры – необходимы для расчёта переходного процесса (протекающего по времени), например, изменение во времени диаметра сосуда.

Динамическая вязкость лимфы и плотность лимфы – характеристики лимфы.

Коэффициент роста сосудов – параметр влияющий на увеличение диаметра сосуда за счёт его роста.

Начальный запас лимфы – количество лимфы, содержащееся в тканях пациента в начальный момент времени (с площади, на которой расположены моделируемые капилляры). Входной расход лимфы – количество лимфы образующейся в тканях за единицу времени (необходимо для моделирования «отёка» и «застоя» лимфы, а также влияния на увеличение расхода лимфы в капиллярах).

Выходными параметрами СЭ «Ткани» являются: время переходного процесса (при расчёте переходного процесса); избыточное среднее давление и среднее давление в тканях (рис. 3).

Входными параметрами СЭ «Капилляр лимфатический» (рис. 4) являются: давление лимфы, расход лимфы (при режиме работы капилляра – 0). Также входным параметром является номер элемента, он должен быть уникальным, целочисленным (для различения СЭ «Капилляр лимфатический»). Режим работы капилляра: 0 – расход лимфы задан во входных параметрах элемента; 1 – расход лимфы в капилляре определяется по формуле:

$$G_{\text{лимфы}} = k_{\text{фл}}(dD_{\text{тл}} - k_{\text{ол}}dO_{\text{тл}}) \cdot m_{\text{ткани}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{ткани}}$ – масса «омываемой» капилляром ткани (задаётся во входных параметрах); $k_{\text{фл}}$ – коэффициент фильтрации стенки лимфатического капилляра, задаётся во входных параметрах, мл/(мин 100 г тк. мм.рт.ст.); $k_{\text{ол}}$ – коэффициент ограничения проникания белка через стенку капилляра, задаётся во входных параметрах (0 – проходит, 1 – не проходит); $dD_{\text{тл}}$ – разница давления в капилляре (задаётся во входных параметрах) и тканевого гидростатического давления (задаётся во входных параметрах СЭ «Ткань»), мм. рт. ст.; $dO_{\text{тл}}$ – разность эндолимфатического коллоидно-осмотического и тканевого гидростатического давления, задаётся во входных параметрах СЭ «Ткань», мм. рт. ст.

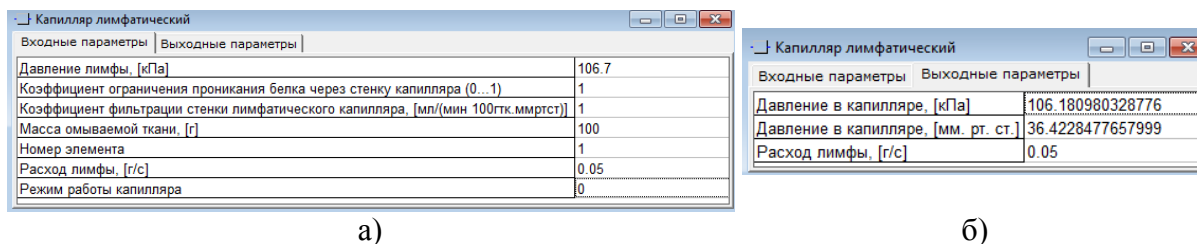
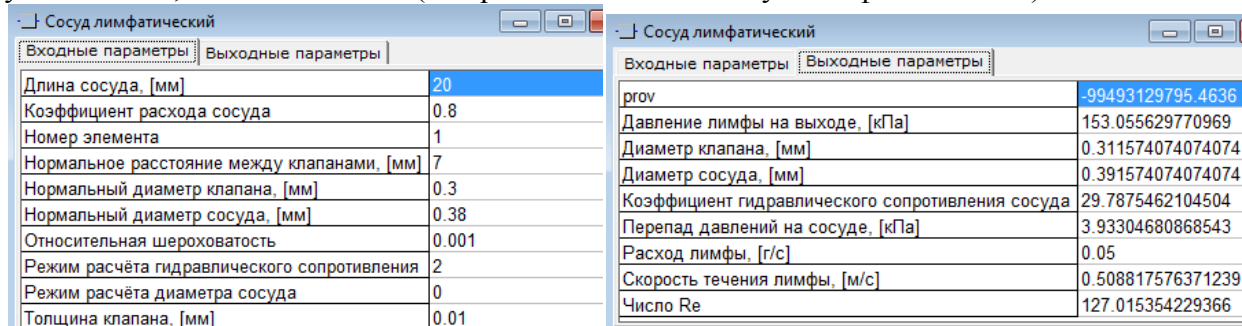


Рис.4. Параметры СЭ «Капилляр лимфатический»: а) входные; б) выходные

Выходные параметры СЭ «Капилляр лимфатический» – давление в капилляре (присваивается равным давлением из входных параметров), расход лимфы.

Входными параметрами СЭ «Сосуд лимфатический» (рис. 5) являются: длина сосуда (для расчёта гидравлического сопротивления); коэффициент расхода сосуда (для расчёта гидравлического сопротивления); нормальное расстояние между клапанами (для расчёта гидравлического сопротивления в режиме 2); нормальный диаметр клапана (для расчёта гидравлического сопротивления в режиме 2); нормальный диаметр сосуда (для расчёта гидравлического сопротивления в режиме 2); относительная шероховатость –

отношение величины шероховатости внутренней стенки сосуда к диаметру сосуда (для расчёта гидравлического сопротивления в режиме 1); толщина клапана (для расчёта гидравлического сопротивления в режиме 2); режим расчёта гидравлического сопротивления (0 – гладкая труба; 1 – труба с неравномерной шероховатостью (для высоких чисел Рейнольдса); 2 – гладкая труба с обратными клапанами); режим расчёта диаметра сосуда (0 – без изменения диаметра сосуда и клапана в зависимости от перепада давления; 1 – диаметр сосуда и клапана изменяются в зависимости от перепада давления). Также входным параметром является номер лимфатического сосуда, он должен быть уникальным, целочисленным (для различения СЭ «Сосуд лимфатический»).



Сосуд лимфатический		Сосуд лимфатический	
Входные параметры		Выходные параметры	
Длина сосуда, [мм]	20	Пров	-99493129795.4636
Коэффициент расхода сосуда	0.8	Давление лимфы на выходе, [кПа]	153.055629770969
Номер элемента	1	Диаметр клапана, [мм]	0.311574074074074
Нормальное расстояние между клапанами, [мм]	7	Диаметр сосуда, [мм]	0.391574074074074
Нормальный диаметр клапана, [мм]	0.3	Коэффициент гидравлического сопротивления сосуда	29.7875462104504
Нормальный диаметр сосуда, [мм]	0.38	Перепад давлений на сосуда, [кПа]	3.93304680868543
Относительная шероховатость	0.001	Расход лимфы, [г/с]	0.05
Режим расчёта гидравлического сопротивления	2	Скорость течения лимфы, [м/с]	0.508817576371239
Режим расчёта диаметра сосуда	0	Число Re	127.015354229366
Толщина клапана, [мм]	0.01		

Рис. 5. Параметры СЭ «Сосуд лимфатический»: а) входные; б) выходные

Выходными параметрами СЭ «Сосуд лимфатический» являются: давление на выходе (определяется по входному давлению, геометрическим параметрам, гидравлическому сопротивлению); перепад давления на сосуда (определяется по геометрическим параметрам, гидравлическому сопротивлению); диаметр клапана и диаметр сосуда (определяются по давлению на входе, среднему давлению в тканях, нормальному диаметру сосуда); коэффициент гидравлического сопротивления сосуда и число Рейнольдса (технологические промежуточные параметры); расход лимфы (определяется по входному потоку); скорость течения лимфы определяется из уравнения [11]:

$$G = \rho V F \mu, \quad (2)$$

где ρ – плотность лимфы, кг/м³; V – скорость течения лимфы, м/с; F – площадь поперечного сечения сосуда, м²; μ – коэффициент расхода; G – расход лимфы, кг/с.

Число Рейнольдса определяется по формуле [10]:

$$Re = \frac{v d}{\nu}, \quad (3)$$

где d – диаметр сосуда, м; $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость лимфы м²/с; η – динамическая вязкость лимфы, Па·с.

Гидравлическое сопротивление сосуда определяется в зависимости от режима расчёта: гладкая труба, труба с неравномерной шероховатостью (для высоких чисел Рейнольдса), гладкая труба с обратными клапанами.

Модель гладкой трубы. Делается предположение, что течение в лимфатическом сосуда будет подобно течению в гладкой трубе. Перепад давления на входе и выходе из сосуда будет определяться по формуле [10]:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2}. \quad (4)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления ζ определяется по формуле [10]:

$$\zeta = \lambda \frac{l}{d}, \quad (5)$$

где коэффициент сопротивления трения λ для ламинарного режима течения ($Re < 2000-2300$) определяется по формуле: $\lambda = \frac{64}{Re}$; l – длина; d – гидравлический диаметр сосуда.

Модель трубы с неравномерной шероховатостью. Делается предположение, что течение в лимфатическом сосуда подобно течению в трубе с неравномерной

шероховатостью [10]. Коэффициент сопротивления трения λ в этом случае определяется по формуле:

$$\lambda = 4,4Re^{-0,595}e^{\left(-\frac{0,00275}{\Delta}\right)}, \quad (6)$$

где $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$, Δ – величина средней шероховатости стенки сосуда, м.

Формула работает при высоких числах Рейнольдса (порядка 1000).

Модель гадкой трубы с обратными клапанами. Делается предположение, что течение в лимфатическом сосуде подобно течению в гладкой трубе с диафрагмами (отверстиями) [11]. Коэффициент гидравлического сопротивления в гладкой трубе определяется аналогично рассмотренному случаю. Коэффициент гидравлического сопротивления диафрагмы (отверстия/обратного клапана) определяется по формуле (для низких чисел Рейнольдса от 30 до 10000):

$$\zeta = \zeta_{\varphi} \left(\frac{F}{F_0}\right)^2 + \bar{\varepsilon}_0 \zeta_{1\text{кв}}, \quad (7)$$

где F – площадь поперечного сечения сосуда, м^2 ; F_0 – площадь отверстия (обратного клапана), м^2 ; $\zeta_{\varphi} = f\left(\frac{F}{F_0}, Re\right)$; $\bar{\varepsilon}_0 = \sum_{i=0}^5 a_i (\ln(Re))^i$; a_i – различные константы; $\zeta_{1\text{кв}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления для отверстия со срезанными краями.

Коэффициент гидравлического сопротивления для отверстия со срезанными краями определяется по формуле:

$$\zeta_{1\text{кв}} = \left[1 - \frac{F_0}{F} + \sqrt{\zeta'} \left(1 - \frac{F_0}{F}\right)^{0,375}\right]^2 \left(\frac{F}{F_0}\right)^2. \quad (8)$$

Коэффициент ζ' определяется по формуле:

$$\zeta' = 0,13 + 0,34e^{-7,94\bar{l} - 203,55\bar{l}^{2,3}}, \quad (9)$$

где $\bar{l} = \frac{l_0}{d_0}$, l_0 – толщина отверстия, м; d_0 – диаметр отверстия, м.

В СЭ «Сосуд лимфатический» заложена линейная взаимосвязь между избыточным давлением в сосуде и его диаметром:

$$d_{\text{сосуда}} = d_{\text{норм}} + \frac{(P - (P_{\text{ткани}} + 5))}{(140 - (P_{\text{ткани}} + 5))} (0,002 - d_{\text{норм}}). \quad (10)$$

Если давление в сосуде P равно среднему давлению в тканях плюс 5 кПа, то диаметр сосуда будет равен нормальному диаметру $d_{\text{норм}}$ (перепад давления на стенке сосуда 5 кПа). Если давление в сосуде равно 140 кПа, то диаметр сосуда 2 мм.

Для диаметра клапана заложена аналогичная зависимость.

При моделировании переходных процессов заложено, что диаметр сосуда не может измениться «мгновенно», он плавно изменяется во времени (зависит от скорости роста сосудов).

В системе определяется диаметр сосуда (по перепаду давления на стенке), определяется разность между определённым диаметром и диаметром сосуда на предыдущем шаге счёта (в начальный момент времени он равен нормальному диаметру сосуда). Эта разность сравнивается с коэффициентом роста сосудов (задаётся в СЭ «Ткани») умноженном на шаг по времени. Если разность диаметров больше, то текущий диаметр сосуда определяется по формуле:

$$d_{\text{тек}} = d_{t-\Delta t} + uegf \cdot \Delta t, \quad (11)$$

где $d_{\text{тек}}$ – текущее значение диаметра сосуда (на данном шаге по времени); $d_{t-\Delta t}$ – значение диаметра сосуда на предыдущем шаге по времени; Δt – шаг по времени; $uegf$ – коэффициент роста сосудов (на какую величину изменился диаметр сосуда в единицу времени).

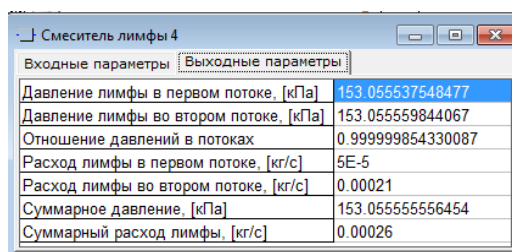
Если величина роста сосуда (разница диаметров) меньше, чем произведение $uegf \cdot \Delta t$ (необходимый рост сосудов меньше, чем он мог бы быть в таких условиях), то текущий диаметр сосуда будет равен диаметру сосуда определённому с коррекцией по

перепаду давлений на стенке.

Моделирование переходных процессов. Предположим, что в начальный момент времени система лимфатических сосудов работала нормально, в какой-то момент времени произошло увеличение гидравлического сопротивления на выходе из сосуда (появилась метастаза), поднялось давление в сосудах, сосуд начал «расти». Если через некоторое время гидравлическое давление стабилизируется, рост сосуда остановится.

СЭ «Смеситель лимфатический» – технологический элемент, необходим для смешения (соединения) лимфатических потоков (для унификации СЭ системы). Модель лимфатического узла пациента будет состоять из набора СЭ «Смеситель лимфатический» и СЭ «Лимфатический узел»

СЭ «Смеситель лимфатический» не содержит входных параметров (рис. 6). Выходными параметрами СЭ являются суммарные параметры смешиваемых потоков. Также выходным параметром является параметр «отношение давлений в потоках». Условием работы лимфатического узла является равенство давлений в смешиваемых потоках.



Выходные параметры	
Давление лимфы в первом потоке, [кПа]	153.055537548477
Давление лимфы во втором потоке, [кПа]	153.055559844067
Отношение давлений в потоках	0.999999854330087
Расход лимфы в первом потоке, [кг/с]	5E-5
Расход лимфы во втором потоке, [кг/с]	0.00021
Суммарное давление, [кПа]	153.05555556454
Суммарный расход лимфы, [кг/с]	0.00026

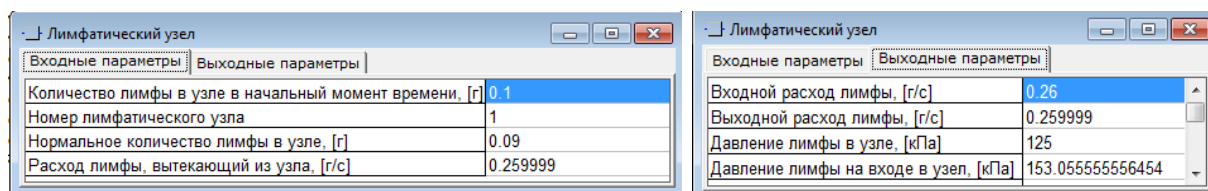
Рис. 6. Выходные параметры СЭ «Смеситель лимфатический»

Входными параметрами СЭ «Лимфатический узел» (рис. 7) являются: количество лимфы в узле в начальный момент времени (для расчёта переходного процесса); расход лимфы, вытекающей из узла (моделирование выходной системы лимфатических узлов, должно быть «связано» с давлением на выходе из узла); нормальное количество лимфы в узле – для определения связи давления и количества лимфы в узле (если лимфы в узле накопилось больше, чем положено, и она не вытекает, то поднимается давление в узле):

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} \frac{Q_{\text{норм}}}{Q_{\text{тек}}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{норм}}$ – нормальное количество лимфы в узле, задаётся во входных параметрах, кг; $Q_{\text{тек}}$ – текущее количество лимфы в узле, определяется как разница входного и выходного расхода лимфы (при моделировании переходного процесса), кг.

Также входным параметром является номер лимфатического узла, он должен быть уникальным, целочисленным (для различения СЭ «Лимфатический узел»).



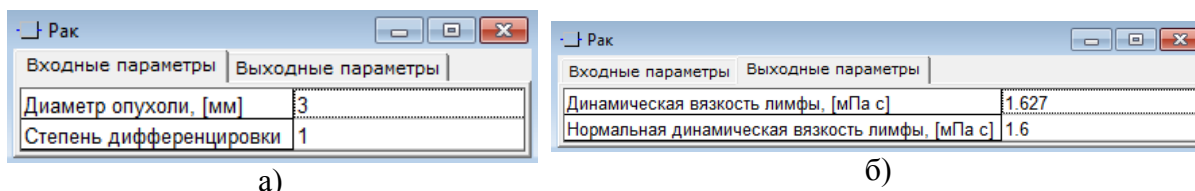
Входные параметры	
Количество лимфы в узле в начальный момент времени, [г]	0.1
Номер лимфатического узла	1
Нормальное количество лимфы в узле, [г]	0.09
Расход лимфы, вытекающий из узла, [г/с]	0.259999

Выходные параметры	
Входной расход лимфы, [г/с]	0.26
Выходной расход лимфы, [г/с]	0.259999
Давление лимфы в узле, [кПа]	125
Давление лимфы на входе в узел, [кПа]	153.05555556454

Рис. 7. Структурный элемент «Лимфатический узел»

Выходными параметрами СЭ «Лимфатический узел» являются: входной расход лимфы (определяется по входному потоку); выходной расход лимфы (определяется по входным параметрам СЭ); давление лимфы в узле (выходное давление, определяется в зависимости от входного давления и количества лимфы в узле); давление лимфы на входе в узел (определяется по входному потоку).

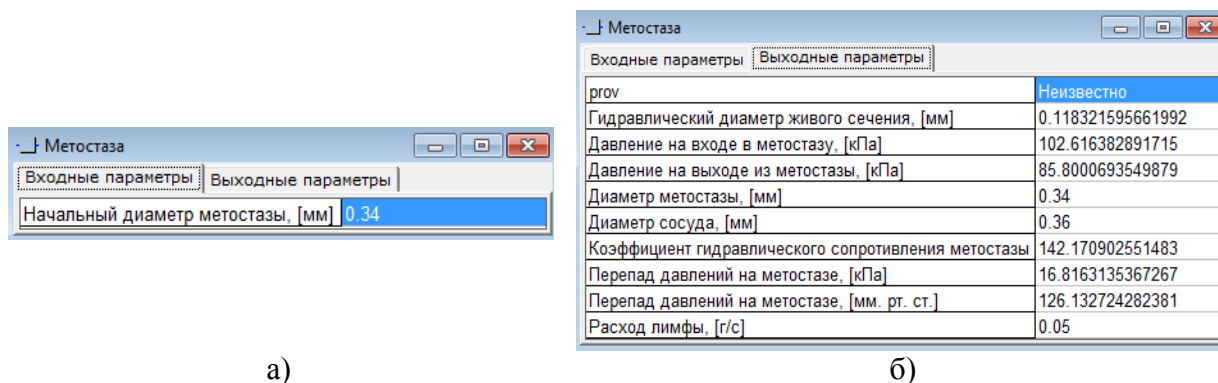
СЭ «Рак» – модель раковой опухоли в тканях (рис. 8). Во входных параметрах СЭ задаётся диаметр опухоли и степень дифференцировки. В зависимости от диаметра опухоли определяется динамическая вязкость лимфы во всей системе (корректируется динамическая вязкость лимфы, заданная во входных параметрах СЭ «Ткани»). Степень дифференцировки влияет на вероятность метастазирования.



а) б)
Рис. 8. Параметры СЭ «Рак»: а) входные; б) выходные

Выходные параметры СЭ «Рак» – динамическая вязкость лимфы (с коррекцией в зависимости от диаметра раковой опухоли) и нормальная динамическая вязкость лимфы (задаётся во входных параметрах СЭ «Ткани»).

СЭ «Метастаза» (рис. 9) необходим для моделирования метастаз в лимфатических сосудах, лимфатических узлах. В зависимости от местоположения СЭ в топологической модели, возможно моделировать различные стадии заболевания (блокирование одного лимфатического сосуда, двух сосудов и т.д., узла целиком).



а) б)
Рис. 9. Параметры СЭ «Метастаза»: а) входные; б) выходные

Во входных параметрах СЭ «Метастаза» задаётся начальный диаметр метастазы. В зависимости от него определяется проходная площадь сосуда («живая» площадь, не загромождённая площадь). Фактически сделано предположение, что метастаза перекрывает часть поперечного сечения сосуда, создавая дополнительное гидравлическое сопротивление. Чем больше метастаза, тем большее сопротивление она оказывает потоку лимфы.

Коэффициент гидравлического сопротивления метастазы (диафрагмы/отверстия) определяется по формуле (7), аналогично течению в сосудах с клапанами:

$$\zeta = \zeta_{\varphi} \left(\frac{F}{F_0} \right)^2 + \varepsilon_0 \zeta_{1\text{кв}},$$

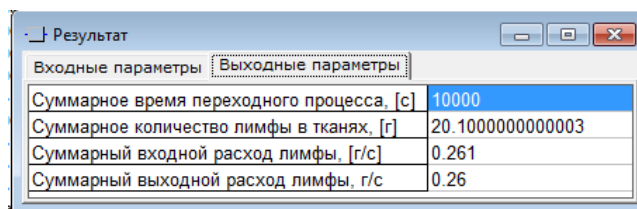
где $F_0 = F - F_{\text{мет}}$ – площадь отверстия, м^2 .

Перепад давления на метастазе определяется по формуле (4):

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2}.$$

СЭ «Результат» (рис. 10) не содержит входных параметров. Выходными параметрами СЭ «Результат» являются: суммарное время переходного процесса; суммарное количество лимфы в тканях (рассчитывается по входному и выходному

расходу лимфы, количеству лимфы в начальный момент времени); суммарный входной расход лимфы (определяется в СЭ «Ткани»); суммарный расход лимфы (определяется суммированием расходов в каждом капилляре).



Входные параметры	Выходные параметры
Суммарное время переходного процесса, [с]	10000
Суммарное количество лимфы в тканях, [г]	20.1000000000003
Суммарный входной расход лимфы, [г/с]	0.261
Суммарный выходной расход лимфы, г/с	0.26

Рис. 10. Выходные параметры СЭ «Результат»

Заключение

Разработанная в результате исследований математическая имитационная модель процессов происходящих в периферической лимфатической системе позволит расширить возможности прогнозирования метастазирования злокачественных новообразований. Математическая модель лимфодинамики даёт общее представление о процессах диссеминации рака, расширяет представления об основных закономерностях, происходящих в лимфатической системе.

Применение результатов исследования в клинической практике позволит исследовать процессы, происходящие в периферической лимфатической системе при появлении злокачественных новообразований, повысит точность прогнозирования метастазирования раковой опухоли. В представленной модели продемонстрированы связи сложных биологических процессов, что приводит к лучшему пониманию онкогенеза. Использование данной системы в процессе обучения студентов медицинских ВУЗов расширит представление обучающихся о процессах метастазирования.

В будущем, при продолжении данных исследований, после проведения сравнения результатов моделирования с результатами клинических испытаний, разработанные методы и средства позволят формализовать, ускорить и оптимизировать тактику лечения с учетом индивидуальных характеристик пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лойт, А.А. Теория лимфогенного метастазирования рака и пролиферации / А.А. Лойт, А.В. Гуляев // СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2005. – 88 с.
2. Айнсон, Х.Х. Зависимость интенсивности транскапиллярного обмена от условий депонирования серотонина / Х.Х. Айнсон, Э.И. Айнсон // Изв. АН ЭССР. Сер. Биология. – 1984. – Т. 33, № 3. – С. 177-186.
3. Петренко, В.М. Лимфатическая система. Анатомия и развитие / В.М. Петренко // - 2010.- 200 с.
4. Ганцев, Ш.Х. Новое к теории метастазирования рака и подходам к его лечению / Ганцев Ш.Х. // Креативная хирургия и онкология, 2010.- №4.- С. 5-11.
5. Особенности лимфореологии при раке молочной железы / А.В. Султанбаев, В.Ю. Фролова // Креативная хирургия и онкология, 2009.- №2. – С.59-61.
6. Аксиллярный лимфатический аппарат при раке молочной железы. / Ш.Х. Ганцев, М.Г. Галеев, Р.Ш. Ишмуратова, Ш.М. Хуснутдинов, К.Ш. Ганцев, А.В. Султанбаев, М.А. Татунов, В.Ю. Фролова // Атлас: издание второе, дополненное, с переводом на английский язык. Москва, МИА, 2011. – 194 с.
7. Динамика изменения белкового баланса биологических жидкостей при злокачественных новообразованиях / Ш.Х. Ганцев, А.В. Султанбаев, Р.Ш. Ишмуратова, В.Ю. Фролова // Клиническая лабораторная диагностика, 2012.- №10. – С. 26-28.
8. Султанбаев, А. В. Определение факторов риска и оценка их влияния на

лимфогенное метастазирование на примере рака молочной железы: дис. канд. мед. наук. / А. В. Султанбаев; науч. рук. Ш. Х. Ганцев. – Уфа: БГМУ, 2012. – 115 с.

9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2011611712 САМСТО. Москва, Роспатент, 2011.

10. Кишалов, А.Е. Создание методов и средств имитационного моделирования динамических процессов, происходящих в органах пищеварения человека, с учётом влияния на них различных заболеваний и внешних воздействий (лечения) / Ф.Д. Зайнуллин, А.Е. Кишалов // Журнал “Молодой ученый”, Чита, 2011. – Т1. №10 (33). – С. 31-33.

11. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

ОБ АВТОРАХ



Султанбаев Александр Валерьевич, заведующий межмуниципальным онкологическим центром, врач-онколог (БГМУ, 2007). Канд. мед. наук по онкологии (БГМУ, 2012) Исследования в области лимфогенного метастазирования злокачественных новообразований.

e-mail: sovaa@rambler.ru



Кишалов Александр Евгеньевич, доц. каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ, дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2010) Исследования в области имитационного моделирования автоматики авиационных ГТД, трёхмерного численного моделирования процессов, происходящих в камерах сгорания авиационных ГТД.

e-mail: kishalov@ufanet.ru

УДК 542.2

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КРОВИ, РАЗРАБОТКА ТРОМБОЭЛАСТОГРАФА С ОПТИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ

Булатова В. Р.

Введение

Гемостаз – это сложная цепочка физиологических процессов, завершающихся образованием фибринового сгустка вследствие протеолитического действия тромбина на фибриноген. Последние открытия при изучении коагуляции показывают важный вклад клеток в гемостатический процесс.

Существующие стандартные тесты на свертываемость, например, определение протромбинового времени (ПВ) и активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ) не учитывают такие факторы, как скорость формирования сгустка, общая прочность сгустка, скорость и степень растворения сгустка. Хотя является общепризнанным фактом, что эти факторы определяют основные взаимодействия клеток в процессе тромбообразования и являются значимыми для оценки системы гемостаза у пациентов. [1]

Большинство обычных коагуляционных тестов заканчиваются на этапе образования первых нитей фибрина, в то время как анализ вязкоупругих свойств крови включает все этапы коагуляции, в том числе ретракцию и лизис сгустка. Данный вид анализ показывает кинетику образования сгустка (время формирования сгустка), механические свойства сгустка (прочность на разрыв), и фибринолиз (время растворения сгустка). Измеренная прочность и эластичность сгустка дает информацию о возможности сгустка поддерживать гемостаз, а кинетика определяет достаточность или дефицит факторов свертывания крови. [2]

Клинически значимым преимуществом вязкоупругого тестирования динамики сгустка является широкая область применения данного анализа, причем не только в человеческой, но и в ветеринарной медицине. Использование таких анализаторов коагуляции привело к улучшению управления гемостазом пациента во время операции и в послеоперационный период, а также позволяет контролировать эффективность проводимой терапии антикоагулянтами. В этой статье будут рассмотрены технологии, реагенты, достоинства и недостатки РОС-анализаторов (point-of-care) вязкоупругих свойств крови доступных для клинического использования. [3]

В настоящее время в медицине и в ветеринарии используются три основных прибора; Sonoclot анализатор функций тромбоцитов и коагуляции или Sonoclot (Sienco Inc, Arvada, CO, США), TEG тромбоэластограф анализатор гемостаза или TEG (Haemonetics Corporation, Braintree, MA, USA), и ROTEM (Pentapharm GmbH, Мюнхен, Германия).

Sonoclot

Технология

Sonoclot анализатор использует цельную кровь или плазму и отслеживает вязкоупругие изменения, которые происходят во время свертывания крови.

Процедура начинается с того, что полый, одноразовый пластиковый зонд помещается на головной датчик перед добавлением образца в кювету. Проба перемешивается автоматически, а затем зонд погружается в образец и начинает колебаться. Когда начинает формироваться сгусток, он препятствует движению зонда путем создания вязкого медленного движения, и это сопротивление фиксируется электронным образом в виде сопротивления движению, с которым зонд сталкивается в образце крови. [3]

Анализатор Sonoclot предоставляет как количественную, так и качественную информацию о процессе свертывания крови в виде Sonoclot Signature (SS; рис. 1). Параметр SonACT (рис.1) – время реакции – определяется как расширение SS на 1,0 мм и рассчитывается автоматически. Крутизна первого уклона SS (R1) показывает начальную скорость формирования фибрина. В этой точке может быть определена склонность к гиперкоагуляции. Плечо между R1 и R2 представляет собой время задержки до начала сокращения нитей фибрина под действием тромбоцитов.

Крутизна второго уклона (R2) отражает вклад тромбоцитов в процесс коагуляции, результатом чего является сокращение сгустка, дальнейшее формирование фибрина и полимеризация фибрина. Третий уклон (R3) – нисходящий уклон, который отражает ретракцию тромбоцитов и отделение сгустка от стенок кюветы. R3 является показателем количества и функции тромбоцитов.

Как только нормальный сгусток сокращается, это затягивает и заставляет SS расти в связи с увеличением сопротивления зонда к движению. Затем через некоторое время, SS падает, когда тромб отрывается от внутренней поверхности зонда или кюветы, приводя к потере сопротивления, что позволяет зонду свободно двигаться. Измерения времени, проведенные для ретракции и степени ретракции, позволяют проводить анализ функции тромбоцитов.

На коагуляцию и формирование фибрина не влияет гиперфибринолиз или ранний пробой тромба, но в этих обстоятельствах функция тромбоцитов может быть значительно снижена вследствие ингибирования функции тромбоцитов плазмином. Если ретракция бедного тромбоцитами сгустка является результатом ингибирования тромбоцитов

плазмином, то лечение гиперфибринолиза с ингибитором плазмина улучшит аномальную ретракцию сгустка, как это наблюдалось на SS. В этом случае, на SS будет отсутствовать характерный подъем (R2) и спад (R3), связанные с нормальной ретракцией сгустка вследствие ингибирования плазмином функции тромбоцитов.

Количественные результаты Sonoclot анализа представлены такими параметрами, как время до пика (Time to peak, с) и пик прочности сгустка (Peak, отн.ед). Параметр Time to peak используется для характеристики ретракции сгустка, а параметр Peak является точкой на SS с самой большой амплитудой сигнала и представляет собой максимальную плотность сгустка.

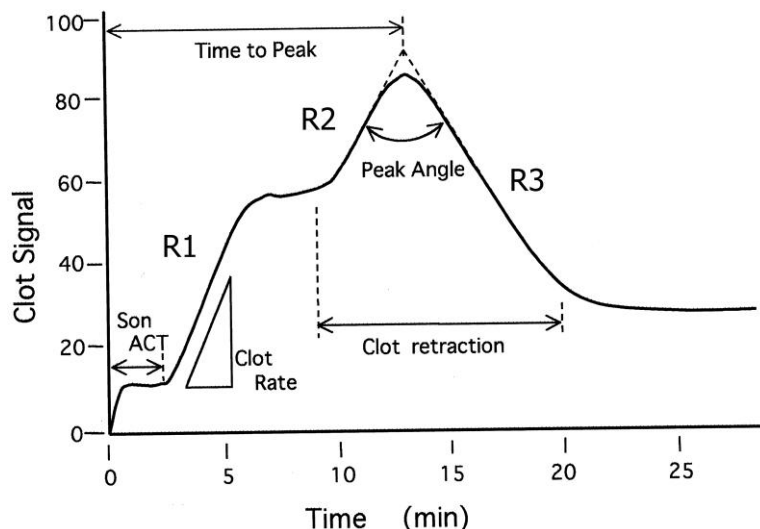


Рис. 1. Основные параметры Sonoclot Signature

Преимущества и недостатки

Sonoclot, как сообщается, имеет большую надежность в интерпретации результатов по сравнению с TEG. После проведения некоторых исследований, выяснилось, что Sonoclot результаты зависят от нескольких параметров, включая возраст, пол и число тромбоцитов. Дополнительные исследования показали плохую воспроизводимость результатов, особенно некоторых из измеряемых величин, таких как CR и PF. Другие исследования, однако, показали хорошую надежность анализов пациентов, перенесших операцию на сердце. В одном из исследований, точность Sonoclot была такой же, как для TE. Sonoclot имеет только 1 кювету и не позволяет проводить анализ дублируемых образцов одновременно. Кроме того, отсутствуют стандартные протоколы для описания процедуры проведения анализа. Так например, при применении Sonoclot используют различные активаторы, разное время нагрева крови, а некоторые лаборатории используют свежую цельную кровь, в то время как другие используют просто цельную кровь. Sonoclot является наименее дорогим из 3 РОС приборов анализа коагуляции.

Тромбэластография

Технология

Тромбэластография была впервые описана Хартертом в 1948 году. Подобно Sonoclot, TEG оценивает вязко-упругие свойства цельной крови в условиях сдвига при низких скоростях тока крови и предоставляет информацию о общей гемостатической функции с самого начала образования сгустка и далее в течении ретракции и фибринолиза сгустка.

TEG измеряет физические свойства сгустка с помощью цилиндрической чашки, нагретой до 37°C, которая колеблется в 10-секундных циклах. Контакт, подвешенный на торсионной нити, помещен в чашу и сигнал с него отслеживается в процессе анализа. Как только сгусток начинает формироваться, фибриновые нити образуются между контактом и внутренней стенкой кюветы. В результате контакт также начинает колебаться вслед за кюветой. Это колебание передается торсионной нити и преобразуются в электрический сигнал. Как только происходит лизис сгустка, связи между штифтом и сгустком ломаются, что приводит к уменьшению колебания контакта. Механический электрический

конвертор преобразует вращательное движение стержня в электрический сигнал, который отображается как TEG кривая (рис. 2). Имеются 2 слота для кювет, чтобы можно было проводить анализ одновременно для одинаковых проб или использовать различные реагенты.

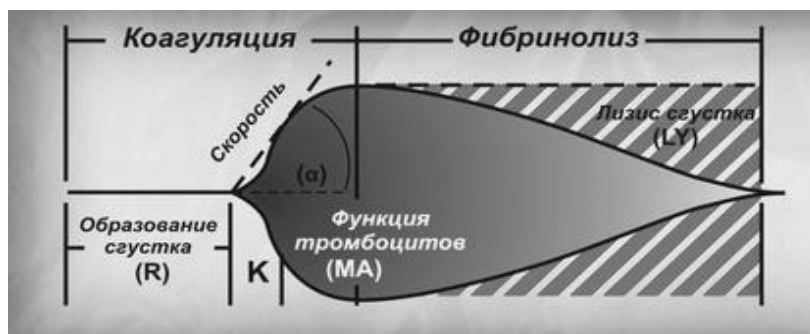


Рис. 2. Кривая TEG

Графическая кривая изменений вязкоупругих свойств крови показывает начальное образование фибрина (время реакции, R), кинетику формирования фибрина и развития сгустка (K и α угол), и максимальную прочность фибринового сгустка (максимальная амплитуда [MA]) (рис. 2). Два дополнительных параметра измерений, определяющих фибринолиз или лизис сгустка через 30 и 60 минут (CL30, CL60), показывают стабильность сгустка и часто не упоминаются в результатах, так как для их определения требуется длительное время.

Время реакции может быть выражено 2 эквивалентными способами, либо как расстояние в мм или время в минутах. На диаграмме скорость TEG составляет 2 мм/мин, таким образом, время в минутах равно расстоянию в мм, деленному на 2. В предыдущих докладах исследований с использованием нецитратной крови время реакции R было определено как время от начала испытания до точки, где кривая расширяется на 1 мм. Позже исследователи предложили использовать точку, где кривая расширяется на 2 мм для цитратной крови, и это наиболее часто применяемое определение измерения времени реакции R сегодня. Следует отметить, что время реакции – это точка, в которой стандартные анализы свертывания, проведенные на плазме, обычно заканчиваются. Пролонгированный показатель R связан с дефицитом факторов свертывания.

K и α -угол (α) определяют скорость развития сгустка от начала видимой фазы свертывания до определенного уровня прочности сгустка. K – это время от начала свертывания крови (2мм), до тех пор, пока амплитуда не достигнет 20 мм, данный показатель измеряется в секундах. Внешний вид кривой, как считается, зависит от активности фактора FII и FVIII, количества и функции тромбоцитов, концентрации тромбина и фибриногена.

MA показывает максимальную прочность фибринового сгустка и определяется как максимальная ширина расхождения линий кривой ТЭГ. Это показатель зависит от фибриногена, количества и функции тромбоцитов, тромбина, FXIII.

Лизиса тромба, представленный параметрами CL30 и CL60, показывает процент лизиса, который произошел на 30 и 60 минутах соответственно, после того как максимальная амплитуда MA была достигнута, и показывает стабильность сгустка. Высокий процент CL соответствуют быстрому фибринолизу или уменьшению тромбоцитов в крови.

K другим измеряемым величинам, которые были определены с использованием ТЭГ, относятся TEG-индекс, индекс коагуляции (CI), общая прочность сгустка (G), а также общее образование тромбина (TTG).

TEG-индекс был разработан для сравнения целит-активированной цельной крови с неактивированной (природной) цельной кровью у одного и того же пациента с помощью TEG. При целит-активации крови у нормальных пациентов имеет место гораздо более быстрое начало свертывания, более высокая скорость образования сгустка и большая

прочность сгустка по сравнению с натуральной кровью. Имеются данные о том, что более высокий TEG-индекс, отражающий гиперкоагуляцию, был найден у 98,9%.

Индекс коагуляции CI представляет собой рассчитанную с помощью компьютера линейную комбинацию R, K, MA и α -угла. Сведение всех TEG-параметров к одному одновременно значительно упрощает интерпретацию, но уменьшает возможности этой технологии для определения вклада различных гемостатических компонентов в процесс свертывания.

Модуль упругого сдвига G вычисляется по следующей формуле:

$$G = \frac{5000 \cdot MA}{100 - MA}; \quad (1)$$

Обратите внимание, что модуль упругого сдвига G зависит только от максимальной амплитуды MA, таким образом, подобно MA является функцией концентрации фибриногена, количества и функции тромбоцитов, концентрации тромбина, активности FXIII. Показатель G растет экспоненциально по сравнению с MA, что обеспечивает более чувствительное разрешение на высокой амплитуде.[3]

Преимущества и недостатки

У людей состояние гиперкоагуляции может быть определено как минимум двумя способами: по укороченному времени реакции R и увеличенному углу или по увеличенной максимальной амплитуде MA. Исследования проводились с различными образцами, в том числе на нецитратной цельной крови, цитратной и рекальцифицированной крови, с различными внутренними и внешними активаторами, и разным временем от забора крови до выполнения TEG анализа. В связи с отсутствием конкретных стандартных описаний процедур анализа в опубликованных отчетах, критическая оценка результатов, полученных с помощью этой технологии, осложняется.[2]

Тромбоэластометрия

Технология

Ротационная тромбоэластография, называемая тромбоэластометрией, также определяет вязкоупругие свойства цельной крови при низко-упругих сдвигах. ROTEM является модификацией классической тромбоэластографии. Также как и TEG, ROTEM дает информацию о глобальной гемостатической функции от начала формирования сгустка до его ретракции и фибринолиза.

Технические аспекты ROTEM немного отличаются от аспектов ТЭГ. Имеются четыре цилиндрических чашки и оптическая следящая система, которая отслеживает сигнал контакта, погруженного в кювету с образцом крови. Чашка неподвижна, а контакт колеблется. Как только между стенками кюветы и контакта образуется фибрин, обнаруживается сопротивление движению стержня. Как только кровь сворачивается, степень колебания контакта уменьшается, это определяется по углу отклонения луча света, направленного на контактно-проводную передающую систему, при этом происходит запись кривой ROTEM (рис. 3). Четыре канала могут быть использованы одновременно, позволяя проводить анализ нескольких проб. Кроме того, ROTEM оснащен электронной пипеткой, которая позволяет дозировать образец.

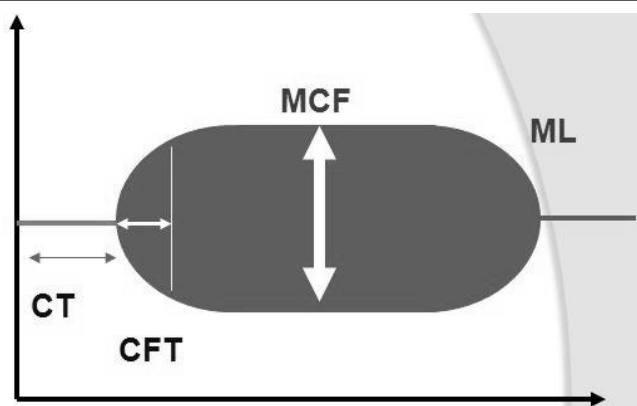


Рис. 3. Кривая ROTEM

Графическое отображение вязкоупругих изменений показывает начальное формирование фибрина (время свертывания, СТ), кинетику фибринообразования и развитие сгустка (время формирования сгустка [CFT]; угол), максимальную прочность фибринового сгустка (максимальная плотность сгустка [MCF]) и фибринолиз на 30 и 60 минутах (лизиса тромба, LY30, LY60). СТ описывает время, начала образования фибрина и отражает активность плазменных факторов свертывания. CFT соответствует начальной активации тромбоцитов и фибриногена; угол соответствует наклону касательной и отражает кинетику образования сгустка. MCF - максимальная амплитуда в мм, достигаемая во время теста; MCF отражает максимальную прочность сгустка и зависит от количества тромбоцитов, активации фибриногена и функции фактора FXIII.

Другие значения, которые могут быть рассчитаны, используя ROTEM измерения, – максимальная эластичность сгустка (MCE), общая прочность сгустка (G), и версии TTG на производные кривых. MCE является расчетной величиной, полученной от MCF:

$$MCE = \frac{100 \cdot MCF}{100 - MCF}; \quad (2)$$

G рассчитывается с использованием уравнения, идентичного для TEG, с заменой МА на MCF:

$$G = \frac{5000 \cdot MCF}{100 - MCF}. \quad (3)$$

Альтернативный метод анализа данных, отчасти сопоставимый с расчетом TTG, использует программное обеспечение, разработанное для анализа первой производной измерения формирования сгустка цельной крови.

Преимущества и недостатки

Использование шарикоподшипниковой системы передачи сигнала делает ROTEM менее восприимчивым к ударам и вибрациям. Наличие 4 каналов позволяет проводить одновременно 4 различных анализа с применением разных образцов крови и реагентов. ROTEM разработан достаточно прочным и легко транспортируется для прикроватного мониторинга больных. Электронная пипетка позволяет проводить точную дозировку крови и реагентов и упрощает работу персонала лаборатории с прибором. ROTEM является более дорогостоящим прибором по сравнению с TEG и Sonoclot.

Разработка тромбоэластографа с оптическим датчиком

На основе полученной в результате обзора литературы информации была разработана структурная схема тромбоэластографа, которая представлена на рис. 4. Данное устройство работает по принципу Хартерта. Основными элементами устройства является кювета, состоящая из двух частей, термостат, устройства перемещения, шток, оптический датчик, блок усиления сигнала, схема обработки, интерфейс и устройство управления. Измерительная кювета состоит из 2х частей – собственно кюветы, в которую помещается исследуемая кровь и стержня меньшего диаметра, который посредством шагового двигателя опускается в 1ю часть кюветы. Для уменьшения трения при вращении шток с

отверстием закрепляется на торсионной нити. Кювета помещается в термостат для поддержания температуры исследуемой крови на уровне 37°C. [1]

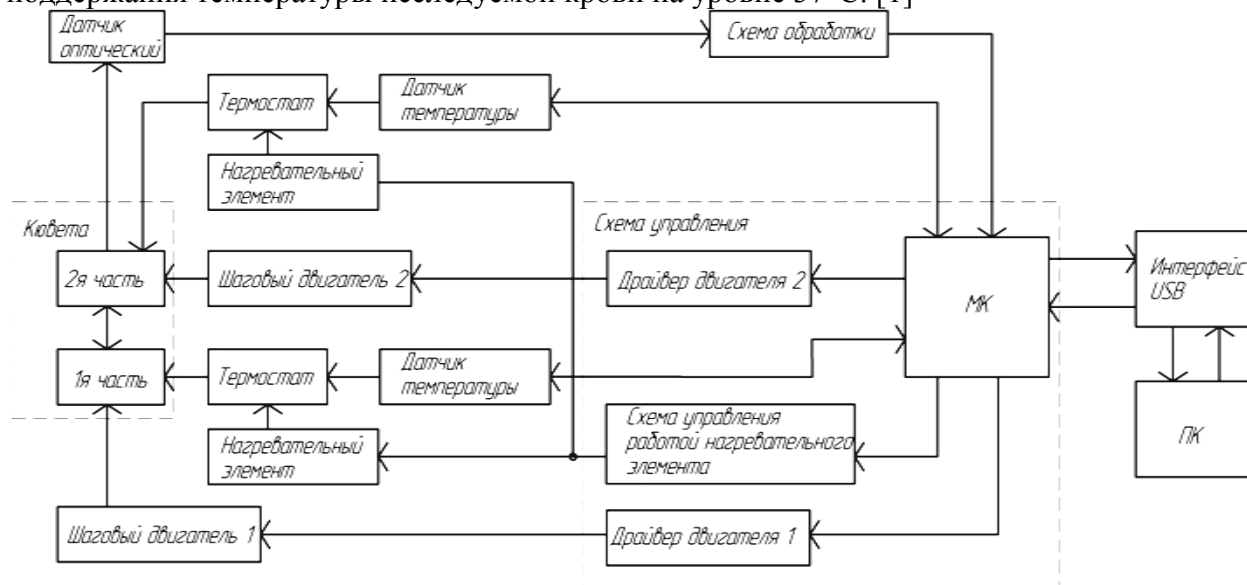


Рис. 4. Структурная схема тромбоэластографа с оптическим датчиком

Предлагаемый датчик (рис.5) для тромбоэластографа включает в себя светодиод, фотодиод, а также полое отверстие, расположенное в верхней части штока. Необходимый для светодиода ток задается источником тока. Для уменьшения трения при вращении шток с отверстием закрепляется на торсионной нити.

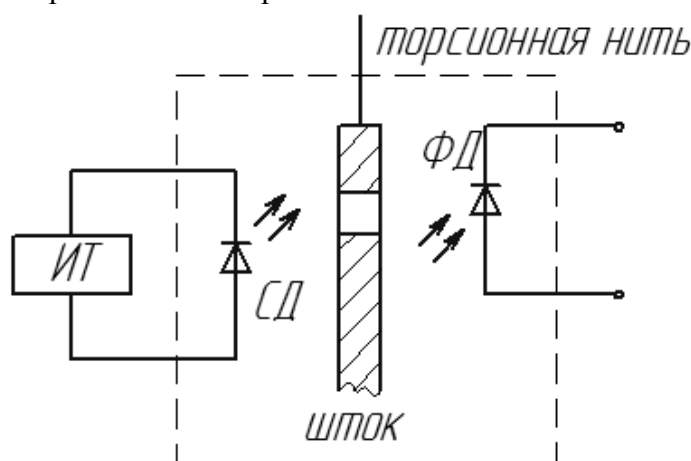


Рис. 5. Устройство датчика: ИТ – источник тока; СД – светодиод; ФД – фотодиод

Как только начинается процесс свертывания крови и образование первых нитей фибрина движение первой части кюветы передается стержню и штоку. При этом происходит изменение положения отверстия, а, следовательно, изменяется и количество света поступающего на фотодиод датчика. Далее сигнал фотодиода поступает на схему усиления и обработки.

Использование оптического датчика такой простой конструкции, позволяет значительно уменьшить стоимость прибора, по сравнению с ROTEM, TEG и SOOCLOT.

Также в приборе учтены недостатки описанных выше технологий, для того, чтобы повысить воспроизводимость и достоверность результатов, имеется дополнительный термостат и нагревательный элемент, который подогревает контакт, а чувствительность на высокой амплитуде повышается благодаря расчету модуля упругого сдвига G.

Так как прототипом предлагаемого прибора является анализатор TEG, то в процессе проведения анализов возможно применение фирменных реагентов TEG.

В структурной схеме присутствует один канал измерения, однако имеется

возможность модернизации прибора путем увеличения количества измерительных каналов до четырех.

Выводы

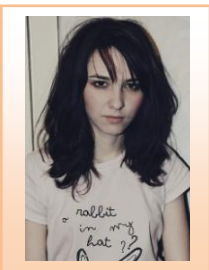
В данной статье сделан обзор основных современных анализаторов вязкоупругих свойств крови. Определение вязкоупругих свойств крови с помощью анализаторов Sonoclot, TEG и ROTEM может значительно улучшить диагностирование и управление гемостатических нарушений. Областью активных исследований как в человеческой, так и в ветеринарной медицине в настоящее время является поиск все новых сфер применения данной технологии, а также решение существующих в этой области проблем.

В результате обзора были выявлены такие недостатки существующих анализаторов вязкоупругих свойств крови, как плохая воспроизводимость, плохая чувствительность на высокой амплитуде и дороговизна анализаторов по сравнению с другими лабораторными приборами. Для решения этих проблем предлагается использовать тромбоэластограф с оптическим датчиком, который благодаря своей конструкции является более простым и доступным прибором для качественного и количественного анализа системы гемостаза человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

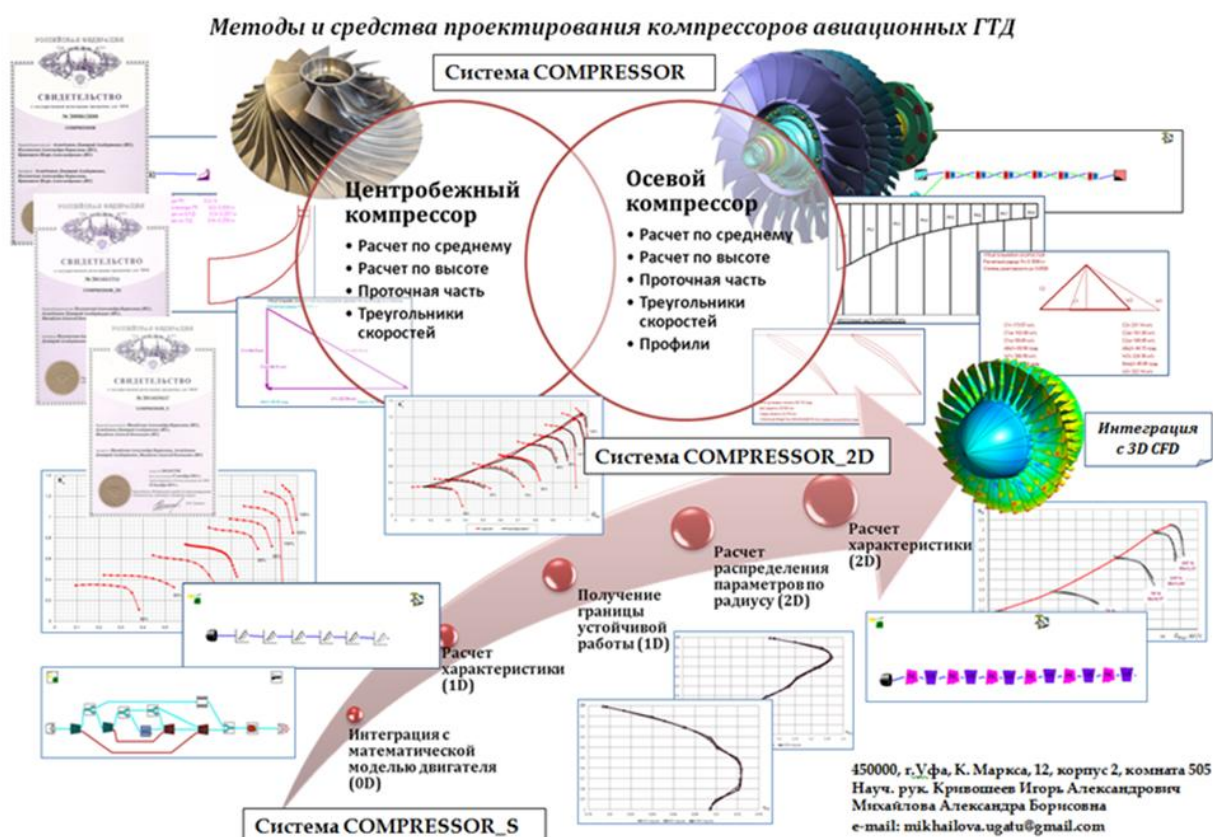
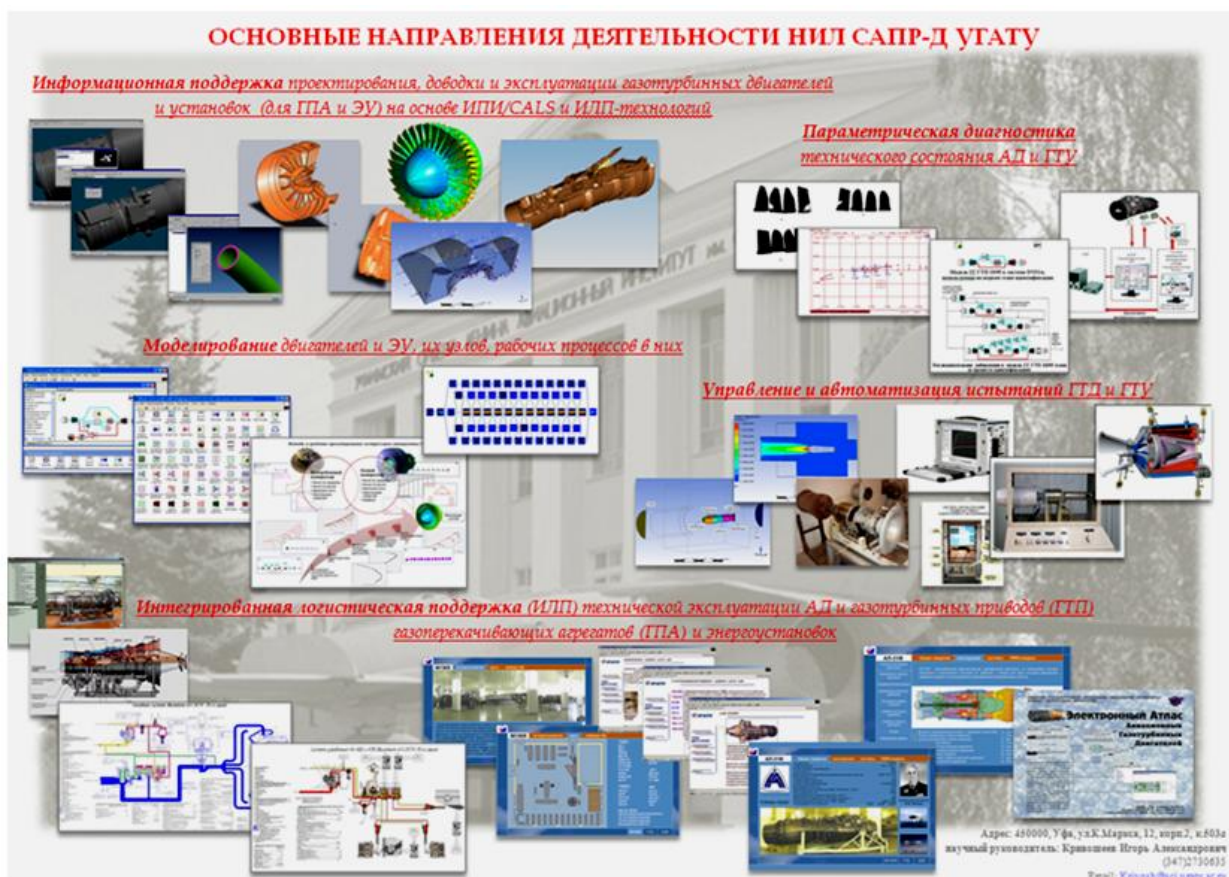
1. Долгов В.В., Свиринов П.В. Лабораторная диагностика нарушений гемостаза – СПб.: Триада, 2005. – 227с.
2. Клинико-лабораторные аналитические технологии и оборудование: учеб. пособ. для студ. средн. проф. учеб. заведений / под ред. проф. В.В.Меньшикова. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240с.
3. Maureen A. McMichael, Stephanie A. Smith Viscoelastic coagulation testing: technology, Applications and limitation Vet. Clin. Pathol 40/2(2011) 140-153

ОБ АВТОРАХ



Булатова Венера Рабилевна, магистрант каф. информационно-измерительной техники УГАТУ, дипл. инж. по биомедицинским и техническим аппаратам и системам (УГАТУ, 2011). Исследования в области аналитических технологий свойств гемостаза

e-mail: shinshila45@bk.ru





«Точка отрыва - Уфа»

- Радиоуправляемые модели самолётов, вертолёт, авто
- Вело-трофи
- Фристайл
- Прыжки с парашютом

Фестиваль технических видов спорта

.Точка отрыва



takeOFFpoint.ru

Фестиваль технических видов спорта



www.takeOFFpoint.ru
www.vk.com/clubtakeOFFpoint



Молодежный Вестник УГАТУ

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (7) / 2013

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 23.04.2013. Формат 1/8
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 20,8. Уч.-изд. л. 20,7.
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Редакционно-издательском комплексе УГАТУ
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12.