

ISSN 2225-9309

# Вестник УГАТУ



МОЛОДЕЖНЫЙ

2012. № 2 (3)



Молодежный Вестник УГАТУ

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (3) / 2012

Учредитель и издатель:

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

Ответственный редактор: Михайлова Александра Борисовна,  
Мухачева Наталья Николаевна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

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

Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

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

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

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

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	5
<b>Ахмедзянов Д. А., Михайлова А. Б., Давыдов Н. А.</b> Методика моделирования рабочего колеса осевого компрессора в ANSYS CFX.....	5
<b>Ковтуненко А. С., Козлова В. А.</b> Построение нелинейных имитационных моделей реальных систем на основе экспериментальных данных .....	9
<b>Никифоров Р. В., Бычков В. М.</b> Обобщение литературных данных по режимам и анализ их применимости к моделированию аргонодуговой сварки.....	16
<b>Никифоров Р. В., Бычков В. М., Логоня А. А., Паутов А. Н.</b> Моделирование формы проплавления при электронно-лучевой сварке с применением пакета ANSYS.....	22
<b>Савичев М. П., Бычков В. М.</b> Оценка применимости современных методов неразрушающего контроля применительно к контролю сварных соединений блиска .....	29
<b>Матвеев Е. Л., Слепец И. А., Султангалеев Р. Н., Пашали Д. Ю.</b> Автоматизированный стенд для испытаний вентильных двигателей постоянного тока.....	38
<b>Рихтер М. Р.</b> Решение задачи проектирования СБИС .....	44
<b>Алетдинов Р. Ф.</b> Система относительных единиц в расчётах характеристик ёмкостных электрических машин .....	48
<b>Дударева Н. Ю.; Цыганов В. В.</b> Исследование влияния искрового упрочнения на свойства поверхности образца из титана .....	51
<b>Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.</b> Моделирование авиационного ГТД совместно с элементами его автоматики .....	54
<b>Маркина К. В., Кишалов А. Е.</b> Исследование характеристик ступеней осевых компрессоров в ANSYS 13.0 CFX .....	60
<b>Сенюшкин Н. С., Лоскутников А. А., Ялчибаева Л. Н.</b> Повышение эффективности использования теплоты топлива.....	67
<b>Михайлов А. Е., Ахмедзянов Д. А., Михайлова А. Б.</b> Использование расчетной динамической характеристики гтд для алгоритмизации управления разгоном.....	71
<b>Сенюшкин Н. С., Зырянов А. В., Суханов А. В.</b> Применение экспертных систем для оценки рациональности выбора судовой силовой установки .....	81

<b>Агеев Г. К., Давыдов М. Н., Латыпов Э. М.</b> Многокритериальное планирование эксперимента при многофакторном исследовании прочности лопаток турбин .....	86
<b>Агеев Г. К., Долгополов П. С., Латыпов Э. М., Гишваров А. С.</b> Обоснование рациональной степени аппроксимирующего полинома при решении задач по интерполяции и прогнозированию изменения параметров агрегатов ГТД по наработке .....	91
<b>Павлов Д. В.</b> Распределение данных по серверам .....	97
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b> .....	104
<b>Кидрачев Р. Н., Валетдинова Э. Н.</b> Анализ финансовых потоков спортивных обществ РБ.....	104
<b>Ахметова Ю. Ф., Богданова Д. Р., Котельников В. А.</b> Системный анализ процессов кредитования в коммерческом банке.....	110
<b>Галеева А. Э., Дзинтер Н. В.</b> Система мотивации труда основных производственных рабочих при внедрении инструментов бережливого производства на предприятии .....	120
<b>Валеева К. И.</b> Разработка информационной подсистемы выплаты заработной платы работникам Филиала ОАО .....	126
<b>Сомов М. А., Кидрачев Р. Н.</b> Развитие организаций и изменения логотипа на примере спортивных клубов .....	130
<b>Лисовская М. В.</b> Обоснование направлений реализации стратегии компании на основе когнитивного моделирования.....	136
<b>Барышева М. С.</b> Управление инновационными проектами .....	141
<b>ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b> .....	149
<b>Юечэн Дун, Ситдигов В. Д., Александров И. В.</b> Процессы текстурообразования при равнаканально-угловом прессовании меди .....	149

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 629.7.03-135

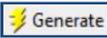
## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА В ANSYS CFX

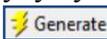
Ахмедзянов Д. А., Михайлова А. Б., Давыдов Н. А.

Чрезвычайная сложность геометрии компрессорных лопаток и необходимость точной ее передачи для получения достоверных результатов моделирования делает проектирование лопатки непростой задачей. Численные трехмерные термогазодинамические модели позволяют значительно ускорить процесс проектирования, позволяют получить требуемые характеристики лопатки задолго до ее изготовления без проведения дорогостоящих экспериментов. В данной статье рассмотрена методика моделирования рабочего колеса компрессора с помощью программного комплекса ANSYS CFX. Создание модели рабочего колеса в ПК ANSYS может вестись различными путями, рассмотрено построение геометрии лопатки в BladeModeler с последующим получением сетки в ANSYS TurboGrid [1–3].

### 1. Построение геометрии в BladeModeler

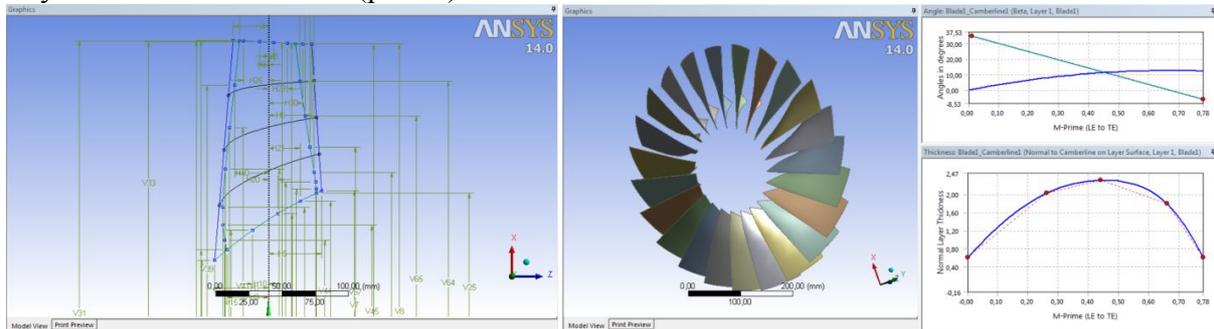
Для начала требуется задать геометрию проточной части. Специфика приложения BladeModeler требует, чтобы контуры для обода (Shroud), ступицы (Hub), входа (Inlet) и выхода (Outlet) задавались в отдельных эскизах на плоскости ZX, причём осью вращения считается Z. Также необходимо создать два эскиза LE (входная кромка) и TE (выходная кромка) соответственно, с помощью инструментов  и  [4].

Задается проточная часть . Выбирается тип машины («Axial Compressor») и направление вращения («Left Handed»), для назначения соответствующих контуров в жёлтых ячейках, выбирается соответствующий эскиз и нажимается . Также следует вставить ещё три равномерно распределённых слоя между концевым сечением и втулочным. Щёлкнуть правой кнопкой на «Layer Details: 1» и выбрать «Insert Layer Below». После задания трех слоев можно нажать кнопку .

В «BladeEditor» выбирается . В ячейке «Flow Path» выбирается ранее сделанный «FlowPath1». В «Type» (Тип машины) ставится «Rotor». «Number of Blade Sets» задаёт количество лопаток, для данного рабочего колеса – 23. Ячейке «Contour» в «Leading Edge Details» присваивается эскиз «LE». Аналогично для ячейки «Contour» в «Trailing Edge Details» эскиз «TE». В деталях кромок можно выбрать тип: эллиптическую (Ellipse), квадратную (Square), срезанную (CutOff). В случае эллиптической кромки можно указать соотношение осей эллипса отдельно для концевой сечения и втулочного (1;1 означает окружность во втулочном и концевом сечениях, большие значения будут утонять кромку). По умолчанию применяется (2;2). После этого можно нажать  для генерации лопатки (рис. 1).

На следующем этапе требуется задать углы (Angle) и толщину лопатки (Thickness) в «Blade1». Так как было задано пять слоев, то требуется задать их в каждом слое. Чтобы ввести параметры, например, для втулочного сечения, необходимо нажать «Blade1\_Camberline1». Справа в рабочей зоне появляются два дополнительных окна – «Angle» и «Thickness». Смысл «Angle» зависит от значения «Angle Definition Type», может быть «Theta» (окружная координата) или «Beta» (угол наклона кривой). В поле «Thickness Definition» значения принимают или «Yes» или «No» (в этом случае толщина будет задаваться из другого сечения). «% M (LE to TE)» – это меридиональная координата

от передней кромки лопатки (LE) до задней (TE), в процентах, для криволинейной проточной части – вдоль кривой, более подробные сведения находятся в документации [5]. Добавление дополнительных точек осуществляется нажатием правой кнопки мышки на нужном окне – **Insert Point** (рис. 1).



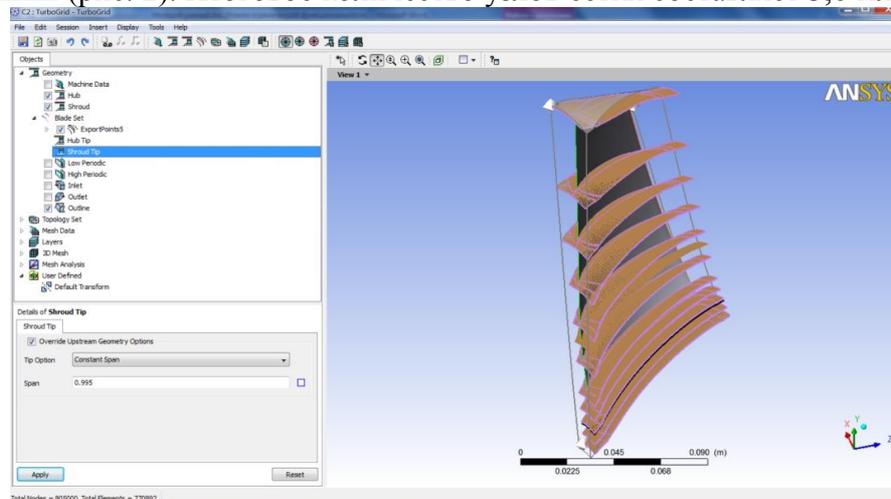
**Рис. 1.** Меридиональное сечение рабочего колеса и модель рабочего колеса

Для построения сетки необходимо, чтобы геометрия была экспортирована в ANSYS TurboGrid, для этого необходимо нажать **ExportPoints**, в «Blade or Flow Path» выбрать «FlowPath1», «Number of Blades» (число лопаток) – 23, «Blade Row Number» (число рядов) – 1. В «Blade Surfaces» (поверхности лопатки) выделить все поверхности любой одной лопатки, далее нажать **Apply** и **Generate**. Далее необходимо открыть полученную геометрию в ANSYS TurboGrid – сеточный генератор, включающий почти полностью автоматизированные средства создания гексаэдрических сеток высокого качества.

## 2. Построение геометрии в ANSYS TurboGrid

Методом построения сетки по умолчанию является «ATM Optimized». Этот тип построения сетки в отличие от «Traditional with Control Points» позволяет создавать более качественные сетки без необходимости настройки контрольных точек. Он не применяется при квадратной задней или передней кромке лопатки. «Global Size Factor» на вкладке «Mesh Size» в **Mesh Data** по умолчанию равен 1, увеличение или уменьшение этого фактора приводит соответственно к увеличению или уменьшению сетки. Изменение количества элементов сетки при этом нелинейное. Значение этого фактора принято 1,85.

**Shroud Tip** (радиальный зазор) установлен как 0,995. Число дополнительных слоев на вкладке **Layers** (слои) равно 15. Увеличение количества слоев улучшает 3D-сетку путем создания кривой сетки проходящей между втулочным и концевым сечением лопатки. Заключительным этапом перед расчетом полученной сетки является ее генерация на вкладке **3D Mesh** (рис. 2). Итоговое количество узлов сетки составляет 3,6 млн. элементов.



**Рис. 2.** Создание сетки

## 3. Задание граничных условий в ANSYS CFX

Для турбомашин предусмотрен автоматизированный режим. Доступ к мастеру

можно получить, если выбрать в «Tools» режим  Turbo Mode... Изменить тип машины (Machine Type) на «Axial Compressor» (осевой компрессор), это необходимо только для автоматической загрузки шаблона постпроцессинга. Стрелка указывает направление вращения (при положительной угловой скорости). Ось вращения по умолчанию Z, можно поменять, если модель создавалась по другим принципам. Следует нажать «Next» и перейти на задание свойств расчётной области. В «Components» выделяем «R1». Тип компонента для ротора оставить «Rotating», для статоров – «Stationary» (стационарная область). Включить «Wall Configuration» и переключить «Tip Clearance at Shroud» на «Yes», таким образом, обод станет стационарным. Нажать «Next» для дальнейшего определения физики. «Fluid» оставить как есть «IdealGas», т.е. модель газа, в которой пренебрегается взаимодействием частиц газа (средняя кинетическая энергия частиц много больше энергии их взаимодействия). При необходимости можно в проекте переопределить данные для другой температуры, только следует указать все теплофизические свойства для данной температуры. Тип анализа – стационарный (SteadyState). Модель турбулентности поставить «Shear Stress Transport». В шаблонах условий (Inflow/Outflow Boundary Templates) выбрать «P-Total Inlet Mass Flow Outlet». В качестве «P-Total» указать 0 Pa, заданное значение это только относительное давление, т.е. полное давление за исключением «Reference Pressure». Для «T-Total» задать 288,15K. Для «Mass Flow» выбрать «Per Mashine» и указать 34,68 [kg^s-1]. В «Solver Parameters» сменить тип «Auto Timescale» на «Physical Timescale» равный 0,0002 [s] [5]. «Next».

Далее следует задание периодического интерфейса. Выбрав его можно убедиться, что автоматически выбрались нужные области (или в других случаях выбрать их самостоятельно). При создании сетки в других сеточных генераторах можно самим называть регионы подобным образом, и они будут подхватываться автоматически. Нажать «Next» (рис. 3). Теперь открыть в дереве  Solver Control и на вкладке «Basic Settings» задать «Max. Iterations» – 500. «Residual Type» – Max, «Residual Target – 0.0001. Можно сохранить проект (в самом «CFX-Pre» или, закрыв его, в «Workbench»). Закрыть «CFX-Pre».

Для выполнения расчёта двойным кликом на «Solution» запускаем «CFX-Solver Manager». Единственное, что можно изменить это «Run Mode» с «Serial» на один из параллельных вариантов. «Platform MPI Local Parallel» и количество «Partitions» 8 (достаточно нажать «+») – т.е. количество ядер процессора, которые будут задействованы при расчете. После чего можно запустить расчет, нажав 

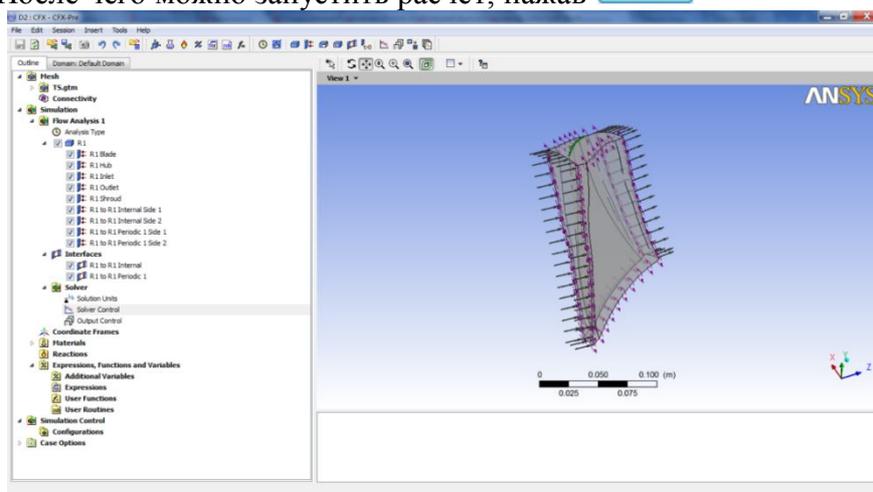
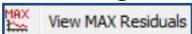


Рис. 3. Модель граничных условий

Переключение между режимом отображения осреднённых и максимальных невязок производится кнопками  View RMS Residuals и  View MAX Residuals, по умолчанию режим отображения – «RMS». На вкладке «Range Settings» можно сменить режим временного окна, например чтобы не мешали большие значения на первых шагах.

Для получения квазистационарного решения потребовалось осуществить 306 итераций, что соответствовало 4,5 часам работы центрального процессора, с достижением указанной сходимости, но можно войти в препроцессор (как один из вариантов или отредактировать в «Command Editor») и повысить планку до  $1e-5$  (MAX), чтобы добиться лучшей сходимости по мощности на валу. Очень часто судить о сходимости необходимо именно по интегральным параметрам, а не только по невязкам. Например, в случае сильного срыва потока, каких-то пульсаций, задача может плохо сходиться по невязкам, но может дать удовлетворительный результат по интегральным параметрам. Что касается сообщений о создании искусственной стенки в логге, то следует оценить, какой процент площади она занимает. Лучший способ борьбы с подобным – отдаление границ или присоединение области входа и/или выхода (т.е. по сути то же отдаление границ). Далее закрыть «CFX-Solver Manager» и перейти к постпроцессингу, дважды щёлкнув на ячейке «Results» системы «CFX» и запустив «CFD-Post».

Отчёт был получен с помощью шаблона отчётов. Для этого достаточно выполнить «File» → «Report» → «Load 'AxialCompressorPotorReport' Template» и дождаться когда постпроцессор выполнит все необходимые операции.

После этого во вкладке «Report Viewer» (внизу 3D-окна) можно просмотреть подробный отчёт и сохранить его. Этот включает все, что необходимо для анализа осевого компрессора: интегральные параметры, распределения по лопатке, распределения параметров в канале на разных радиусах.

### Результаты работы

Следующий ряд графиков отражает результаты расчета (рис. 4–5).

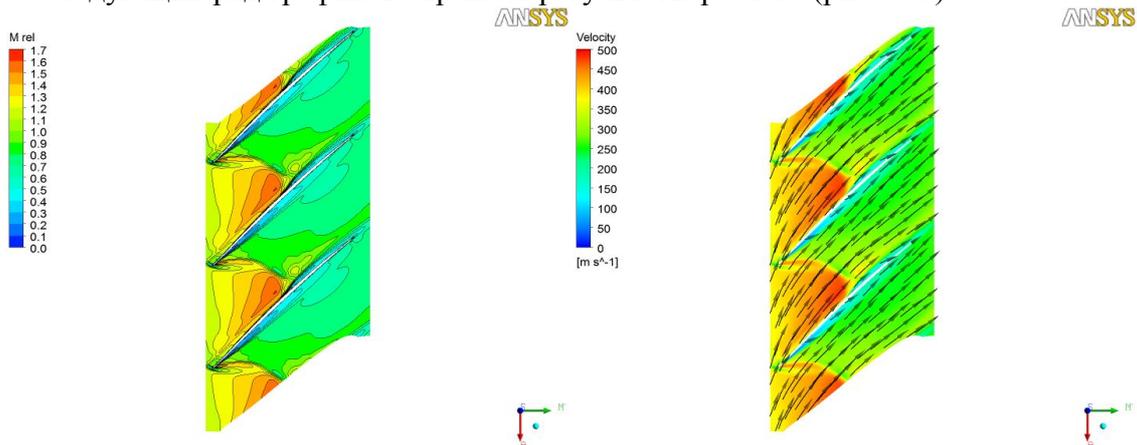


Рис. 4. Распределение чисел Маха и векторов скоростей в межлопаточном канале на среднем диаметре

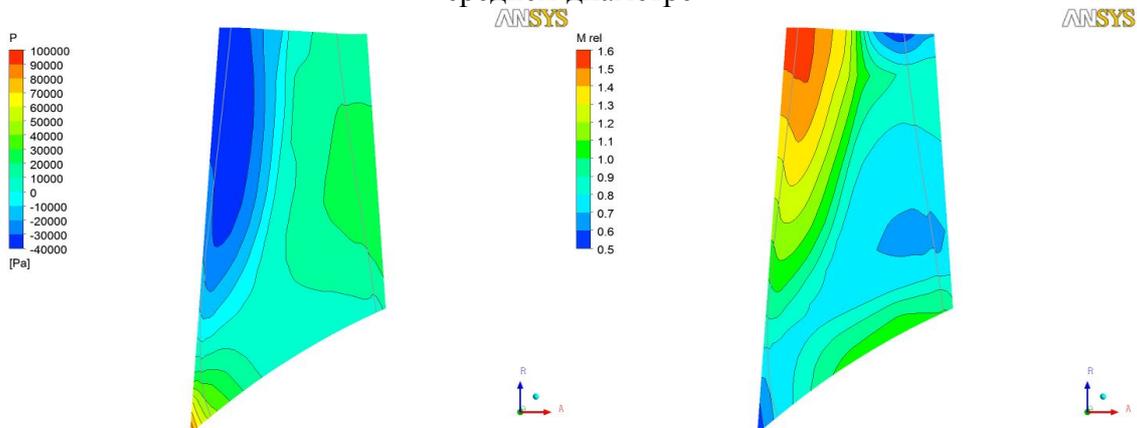


Рис. 5. Распределение статического давления и чисел Маха в меридиональном сечении

### Выводы

Таким образом, разработана методика моделирования рабочего колеса осевого компрессора в ANSYS CFX. Данная методика позволяет производить моделирование

компрессоров с различными входными параметрами, используя специализированные модули создания геометрии и сетки ANSYS BladeModeler и ANSYS TurboGrid.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS/ S. Moaveni / 3rd edition. Prentice Hall, 2008. – 868 с.
2. Басов К. А. ANSYS справочник пользователя / К. А. Басов – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
3. Скибин В. А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию лопаточных машин для перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор) / В. А. Скибин, В. И. Солонин. – М.: ЦИАМ, 2004. – 424 с.
4. <http://www.procae.ru/examples/complex-uroki/123-fan-modeling.html>

### ОБ АВТОРАХ



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

e-mail: ada@ugatu.ac.ru



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

e-mail: alexandra11112007@yandex.ru



**Давыдов Николай Александрович**, магистрант каф. авиац. двигателей, дипл. бак. техники и технологии по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2010). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием 3D-CAD/CAE моделирования

e-mail: nik-davydov.ya@yandex.ru

УДК 519.652

## ПОСТРОЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Ковтуненко А. С., Козлова В. А.**

### ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование в настоящее время является наиболее распространенным и удобным инструментом исследования и проектирования сложных систем. Обусловлено это, прежде всего, тем, что с развитием элементной базы вычислительных устройств и систем появилась возможность строить все более сложные и точные имитационные модели, учитывать все большее количество факторов. Кроме того,

развитие технологий программирования и обработки данных позволяют разрабатывать имитационные модели в произвольном масштабе времени, что дает дополнительные возможности в исследовании реальных систем.

Имитационная модель представляет собой вычислительный алгоритм, который обеспечивает, чтобы изменение значений переменных определенным образом соответствовало изменению некоторых физических величин. Традиционно, имитационная модель представляет собой алгоритм численного интегрирования заданной математической модели. Математическая модель строится независимо и, как правило, не столько с целью имитации, сколько для других исследований (исследования устойчивости, аналитический синтез систем управления). Поэтому чаще всего она является линейной или линеаризованной. Это существенно сказывается на точности и универсальности имитационного моделирования.

Методы исследования реальных систем с целью построения моделей условно можно разделить на следующие:

- активные, при которых на реальную систему подаются особые тестовые воздействия и регистрируется отклик;
- пассивные, при которых регистрируются входные и соответствующие им выходные воздействия в режиме функционирования реальной системы без специального вмешательства.

Очевидно, что наиболее точными являются активные методы, поскольку они позволяют более полно исследовать систему. Однако в реальных задачах редко имеется возможность активно воздействовать на объект моделирования. В связи с этим, развитие и совершенствование пассивных методов исследования являются актуальными направлениями в современной науке.

В статье предложен подход к моделированию и описанию систем, который позволяет строить имитационные модели на основе данных, полученных при наблюдении за реальными системами. Подход основан на представлении динамической системы общего вида в форме, позволяющей идентифицировать модель методами, основанными на данных наблюдения за реальной системой.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим математическую модель динамической системы с  $n$  входами,  $m$  выходами и  $k$  переменными состояниями.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u), \\ y &= g(x, u), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x \in X \subseteq R^k$  – вектор переменных состояний;

$u \in U \subseteq R^n$  – вектор входных переменных;

$y \in Y \subseteq R^m$  – вектор выходных переменных;

$f = \{f_i : X \times U \rightarrow X \mid i = \overline{1, k}\}$ ,  $g = \{g_i : X \times U \rightarrow Y \mid i = \overline{1, m}\}$  – некоторые функции.

Рассмотрим частный случай модели с одним входом и одним выходом (SISO). Тогда  $U \subseteq R^1$ ,  $Y \subseteq R^1$ . Если движение системы описывается следующим нелинейным обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^k y}{dt^k} = \Phi\left(y, \frac{dy}{dt}, \dots, \frac{d^{k-1} y}{dt^{k-1}}, u\right), \quad (2)$$

то уравнения состояния будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= x_2, \\
 \dot{x}_2 &= x_3, \\
 &\dots \\
 \dot{x}_k &= \Phi(x_1, \dots, x_k, u), \\
 y &= x_1.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где  $\Phi(x, u)$  – некоторая нелинейная функция векторного аргумента.

Имитационная модель такой системы может быть представлена в виде следующей структурной схемы (рис. 1).

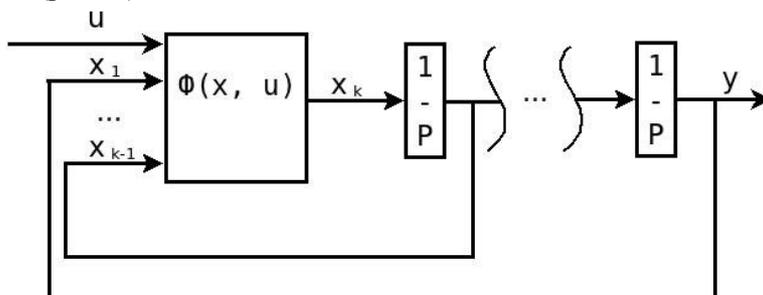


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели

Для реализации такой математической модели требуется задание некоторой функции  $\Phi(x, u)$ . Она может быть определена с помощью аппроксимации по экспериментальным данным.

## 2. ПРЕПРОЦЕССОРНАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В рамках предлагаемой модели состояние системы определяется следующим набором параметров:  $(u, y, \dot{y}, \dots, y^{(n)})$ , где  $n$  – порядок полученной модели.

Предполагается, что движение системы может быть произвольно дискретизовано на конечный набор состояний и представлено как переход от одного состояния к другому согласно некоторой функции. Задача препроцессорной обработки состоит в выделении из зашумленного сигнала наблюдения полезной составляющей – информации о текущем состоянии системы. Для получения первичной информации о состояниях системы необходимо дифференцировать выходной сигнал реальной системы столько раз, каков порядок получаемой модели.

Затем исходный набор точек фазовой траектории необходимо кластеризовать согласно некоторому критерию [1]. В качестве критерия кластеризации может быть выбрано количество кластеров или максимальное евклидово расстояние внутри кластера. Каждый кластер соответствует одному состоянию системы в какой-то момент времени. Параметры состояния (значения сигналов управления, выхода системы, а также производные) предлагается определять как координаты центра масс кластера.

Например, может применяться иерархическая кластеризация: построение иерархической структуры над множеством исходных точек и отсечение в зависимости от выбранного критерия кластеризации.

Таким образом, исходной информацией для следующего этапа построения имитационной модели является набор состояний – координат центров кластеров. Кластеризация состояний системы в данном случае играет роль цифрового фильтра для исходных данных.

## 3. СХЕМА АППРОКСИМАЦИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ

Поскольку данные для аппроксимации являются выборочными, и регулярная сетка аргументов отсутствует, применение традиционных схем аппроксимации невозможно [2]. В данной работе предлагается строить неравномерную сетку в виде триангуляции

множества экспериментальных состояний методом Делоне.

При аппроксимации нелинейной характеристики системы и вычислении значения функции возможны два случая:

1. когда её значение может быть получено из экспериментальных данных методом интерполяции;
2. когда интерполяция невозможна, и необходимо применять экстраполяцию.

Рассмотрим кусочно-линейную интерполяцию неравномерно распределенных данных с помощью разбиения пространства аргументов на симплексы.

Симплекс – выпуклая оболочка  $n+1$  точек, не лежащих в одной гиперплоскости  $n$ -мерного евклидова пространства. Разбиение пространства аргументов на симплексы называется триангуляцией.

Наиболее распространенным видом триангуляции является метод Делоне, который представляет собой разбиение множества точек на такие симплексы, что в описанную вокруг каждого симплекса гиперсферу не попадает ни одна точка из исходного множества [3]. Триангуляция Делоне разбивает пространство аргументов на симплексы, избегая слишком острых и слишком тупых углов, по которым удобно производить интерполяцию. Каждый симплекс представляет собой ограничение области действия линейной функции.

Интерполяция на каждом симплексе будет производиться по формуле:

$$\Phi_i^u(x) = - \frac{\sum_{j=0}^{n-1} |A_j^i| \cdot x_j}{|A_n^i|}; \quad (4)$$

где  $i$  – номер симплекса;

$x_j$  –  $j$ -ая компонента аргумента,  $j = \overline{1, n}$ ,  $x_0^i = 1$ ;

$A_j^i$  – матрица, состоящая из координат  $x_k^l$  вершин симплекса:  $l$ -ая строка матрицы представляет собой координаты  $l$ -ой вершины данного симплекса,  $k = \overline{1, n}$ ,  $l = \overline{1, m}$ , при  $k = j$   $x_k^l = 1$ .

Экстраполяция – особый тип аппроксимации, при котором находятся значения функции вне заданного интервала. Экстраполяция производится на основе вычисления расстояний от текущей точки фазовой траектории до центров ближайших симплексов по следующей формуле:

$$\Phi_\vartheta(x) = \sum_{i=1}^s \frac{f_i(x)}{norm} \cdot \Phi_i^u(x); \quad (5)$$

где  $s$  – число соседних симплексов;

$f_i(x)$  – радиальная функция для  $i$ -ого соседнего симплекса;

$norm = \sum_{i=1}^s f_i(x)$  – коэффициент нормировки;

$$f_i(x) = e^{-\frac{d_i^2(x)}{2\sigma^2}}; \quad (6)$$

где  $\sigma^2$  – параметр экстраполяции;

$d_i(x)$  – евклидово расстояние от  $i$ -ого соседнего симплекса до точки экстраполяции.

Вычисление значения аппроксимирующей функции происходит по следующему алгоритму:

1. Построение триангуляции по исходным данным наблюдения за объектом методом Делоне.

2. Вычисление значения аппроксимирующей функции для некоторой точки в зависимости от ее расположения относительно области триангуляции:
  - если некоторая точка находится внутри триангуляции, то вычисление значения функции производится по формуле (4);
  - если некоторая точка выпадает из области триангуляции, то вычисление значения функции производится по формуле(5).

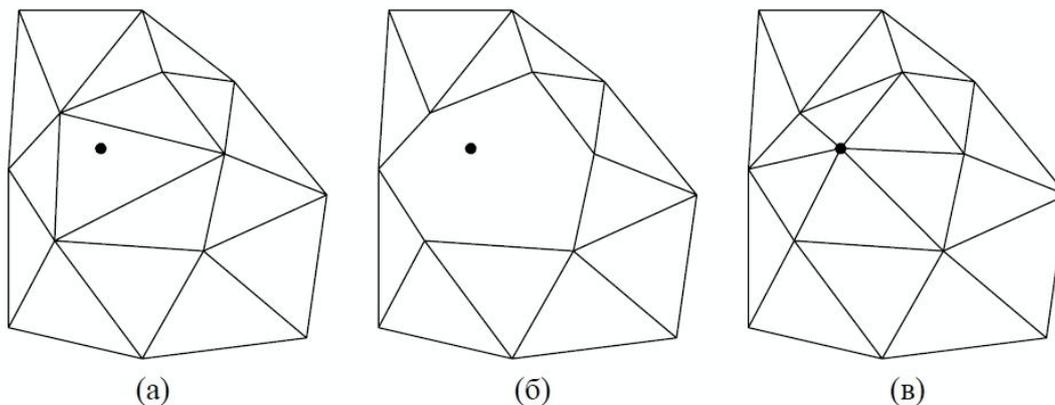
#### 4. АДАПТАЦИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

При регистрации новой пары «вход-выход» происходит адаптация модели. Происходит это по следующему алгоритму.

– Идентификация текущего состояния системы в рамках рассматриваемой модели. Вычисление необходимых производных сигнала выхода.

– Определение относится ли текущее состояние системы к ранее зарегистрированным. На основе имеющихся данных о кластеризации необходимо либо определить новую точку в один из имеющихся кластеров (с последующим пересчетом центра кластера), либо создать новый.

– Перестройка сетки интерполяции в соответствии с изменениями. Если был создан новый кластер (зарегистрировано новое состояние системы), новая сетка требует перестройки триангуляции по следующей схеме (рис. 2,а). Удаляются все треугольники, у которых внутри описанных окружностей попадает новая точка (рис. 2,б). При этом все удаленные треугольники неявно образуют некоторый многоугольник. После этого на месте удаленных треугольников строится заполняющая триангуляция путем соединения новой точки с этим многоугольником (рис. 2,в). Если же был скорректирован один из имеющихся кластеров (была получена новая информация об известном состоянии системы), данные о прежнем положении центра кластера уничтожаются, и перестройка триангуляции осуществляется по вышеописанной схеме.



**Рис. 2.** Перестройка триангуляции: а) локализация точки в треугольнике; б) удаление треугольника; в) построение новых треугольников

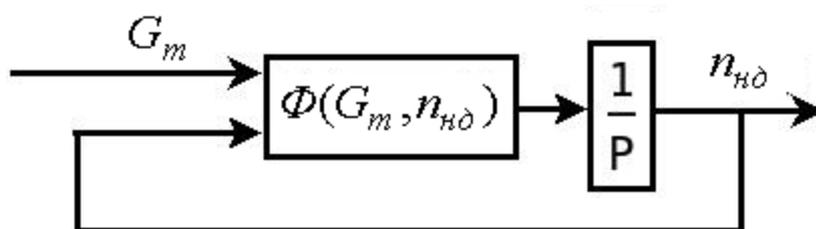
– Пересчет коэффициентов линейной интерполяции в соответствии с измененной сеткой.

Таким образом, механизм адаптации позволяет предложенной модели оставаться адекватной реальной системе.

#### 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

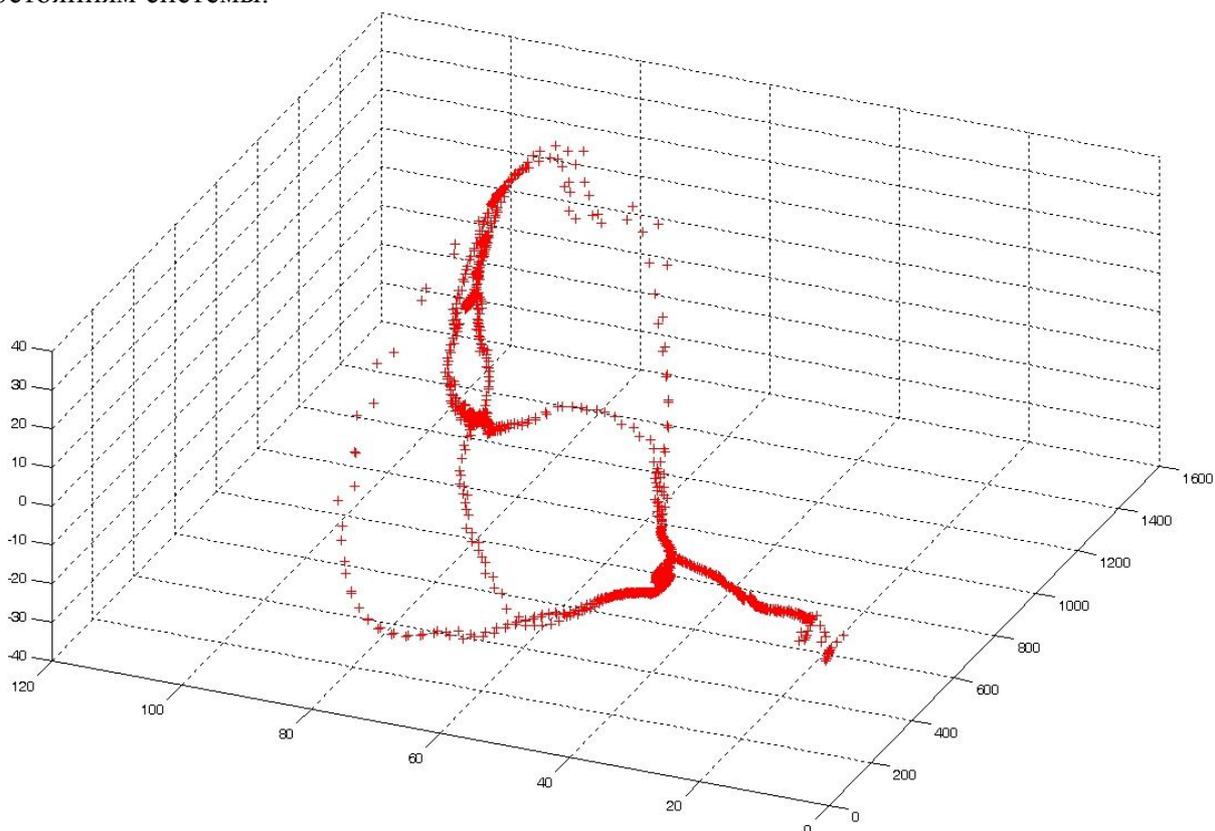
В качестве примера применения предлагаемой методики рассмотрим построение имитационной модели одного из каналов управления газотурбинным двигателем. Исходная выборка представляет собой множество значений параметров физического процесса функционирования двигателя, которые фиксировались во время стендовых испытаний. В данном примере построена имитационная модель скорости вращения

ротора низкого давления ( $n_{нд}$ ) в зависимости от подачи топлива в камеру сгорания ( $G_m$ ) (рис.3).



**Рис. 3.** Структурная схема имитационной модели первого порядка

На рис. 4 показаны результаты препроцессорной обработки данных. Крестиками обозначены центры полученных кластеров, которые соответствуют дискретным состояниям системы.



**Рис. 4.** Кластеризация экспериментальных данных

На множестве точек, которые соответствуют состояниям системы, методом Делоне была построена сетка для интерполяции. Фрагмент сетки, полученной в результате триангуляции, показан на рис. 5.

Для оценки качества полученной модели на ее вход подается зарегистрированный сигнал входа реальной системы, а затем выход модели сравнивается с зарегистрированным выходом реальной системы. На рис. 6 представлены результаты запуска полученной имитационной модели. Черным цветом показан выходной сигнал реального объекта, серым – выходной сигнал модели.

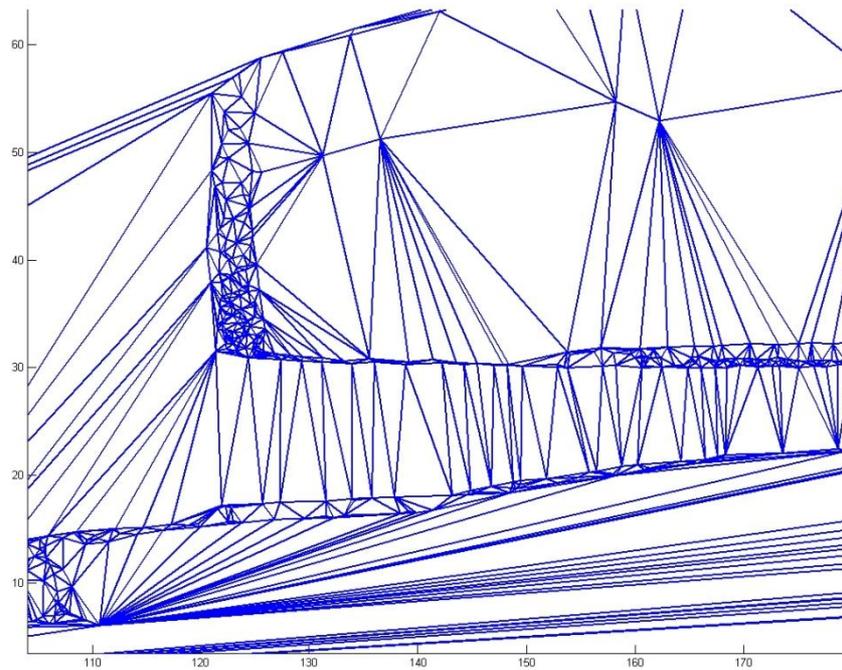


Рис. 5. Фрагмент неравномерной сетки

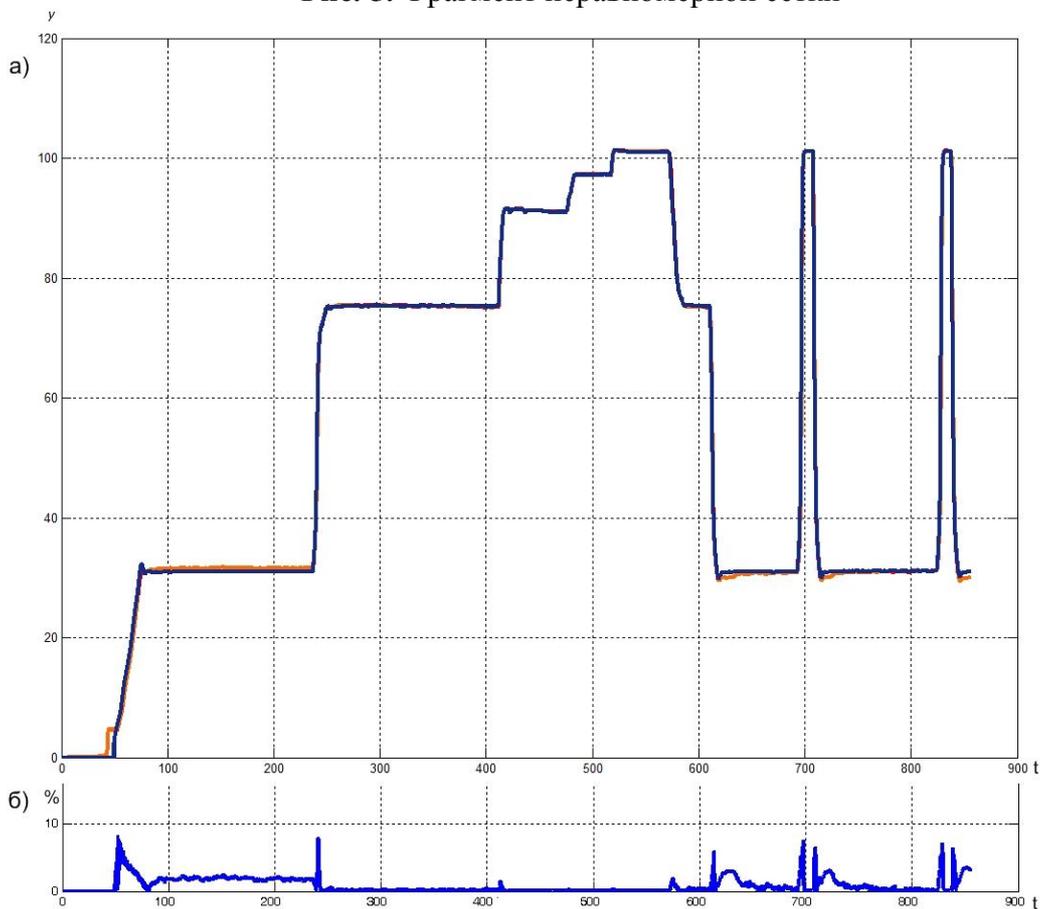


Рис. 6. Оценка качества модели: а) значения выходных сигналов модели и реального объекта; б) ошибка модели

Мерой эффективности имитационного моделирования является величина ошибки, которая вычисляется как разница между выходом реального объекта и выходом модели. На рисунке 6 видно, что ошибка модели на статических участках не превышает 2%, а на динамических участках – не превышает 5%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен метод построения имитационных моделей на основе экспериментальных данных пассивного наблюдения за реальной системой. Для построения имитационной модели движение системы дискретизируется на конечный набор состояний и строится неравномерная сетка в виде триангуляции множества экспериментальных состояний методом Делоне.

Результаты экспериментальной проверки показали, что данный метод позволяет строить имитационные модели высокой точности.

Таким образом, предложенный метод может быть использован для построения многоагентных имитационных моделей сложных динамических систем на основе выборочных данных, а также адаптации их в режиме реального времени [4].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Д. Мандель. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
2. А.М. Половко, П.Н. Бутусов. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. СПб.: ВHV – Петербург, 2004. — 320 с.
3. А.В. Скворцов. Триангуляция Делоне и её применение. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. — 128 с.
4. A.S. Kovtunenکو, S. S. Valeev, Multi-agent control system based on java agent development (JADE) framework//Proceedings of the International Workshop on Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics. Ufa 2010



### ОБ АВТОРАХ

**Ковтуненко Алексей Сергеевич**, соискатель кафедры информатики УГАТУ, дипл. инж. по специальности моделирование и исследование операций в организационно-технических системах (УГАТУ, 2007). Исследования в области теории управления, имитационного моделирования и многоагентных технологий.

e-mail: kobtyhehko@yandex.ru



**Козлова Виктория Александровна**, дипл. инж. по специальности моделирование и исследование операций в организационно-технических системах (УГАТУ, 2012). Исследования в области нелинейных моделей, имитационного моделирования.

e-mail: toriandra@rambler.ru

УДК 621.791

### ОБОБЩЕНИЕ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО РЕЖИМАМ И АНАЛИЗ ИХ ПРИМЕНИМОСТИ К МОДЕЛИРОВАНИЮ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ

**Никифоров Р. В., Бычков В. М.**

В настоящее время в связи с увеличением количества данных в области сварки, полученных в результате научных исследований и производственного опыта, возникает необходимость обобщения этих данных в виде закономерностей, которые могли бы использоваться в сварочных компьютеризированных автоматах, а также служить справочным материалом для широкого круга специалистов. В нормативных материалах,

справочниках, учебных пособиях для конкретного материала определенной толщины приводится широкий диапазон значений сварочного тока и скорости сварки. В таблице 1 представлены данные по режимам для тонколистовой нержавеющей стали. Основным критерием качества сварки было выбрано соответствие размеров сварного шва ГОСТу 14771-76, тип соединения С2 и С4.

Таблица 1

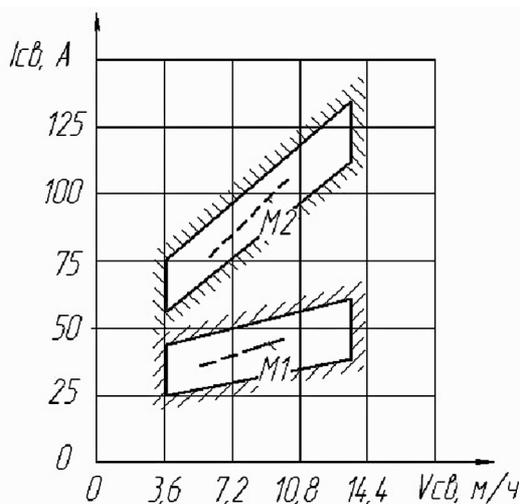
## Экспериментальные данные по режимам

№ статьи	Особенности сварки	Материал	Толщина материала, мм	Сила тока, А	Скорость сварки, м/ч
[3]	Нет данных	1X18H10T	1,0	30	16
			1,5	50	16,2
			2,0	50-100	10,4-21,2
[6]	Без разделки	1X18H10T	2,5	70-100	8
[9]	Без разделки	X18H10T	2,5	70	8
[10]	Без разделки на медной подкладке	1X18H10T	0,8	75	15
			1,5	110	13
			2,0	150	11,8
[11]	Без разделки	X18H9T	1,35-2,0	75-120	-
[12]	Без разделки на весу	X18H10T	3,0	100-240	5-35
[13]	На медной водоохлаждаемой пластине	1X18H10T	2,0-4,0	80-210	-
[14]	Без разделки кромок	12X18H10T	1,5	43	-
			3,5	98	-
[15]	Без разделки кромок	X18H9T	1,35	75	19
[16]	Нет данных	SUS 304	1,0	35-60	7,2-10,8
[18]	Нет данных	SUS304	3-9	120-300	3-19
[20]	Нет данных	AlSi 304	3,4	110-200	-

Использование такой информации весьма затруднено, поскольку на практике для данного материала заданной толщины фиксированному значению скорости сварки соответствует определенный сварочный ток. Нами была сделана попытка проанализировать данные, накопленные в справочной литературе об основных параметрах режима сварки различных материалов в среде аргона неплавящимся электродом.

Авторами статьи [16] обобщались данные о сварке алюминиевых и титановых сплавов с обязательным сквозным проплавлением. Зависимость  $I_{св}=f(V_{св})$  для сварки

титановых сплавов толщиной  $\delta=1-5$  мм без присадочной проволоки имела вид  $I_{св}=19,2V_{св}^{0,408}$ . В работах [15,18] была сделана попытка разработать на основе статистических методов регрессионные модели дуговой сварки с учетом влияния множества факторов, провести их оптимизацию, найти оптимальную точку режима и в этой точке вести процесс, управляя им по моделям, полученным из уравнений квазистатического равновесия ванны или баланса энергий дуги. При этом использовали различные критерии оптимальности - для сварки неплавящимся электродом стали 12X18H10T без присадочной проволоки [14] – постоянство размеров шва (ширины провара  $B$ , выпуклости со стороны провара  $h$  и мениска снаружи  $h_1$  шва) для труб размерами 33x1,5 и 33x3,5 мм были найдены координаты точек  $M_1$  и  $M_2$  оптимальных режимов:  $I_1=43A$ ,  $V_{св1}=8,6$  м/ч и  $I_2=98A$ ,  $V_{св2}=8,6$  м/ч (см. рис.1). Для изделий из сплава OT4 толщиной 2 мм неплавящимся электродом без присадки – из условия получения ширины проплава  $b_{ш}=2,5\delta$  - оптимальными режимами являются –  $V_{св}=21,5-24$  м/ч;  $I_{св}=145-160A$  [15].

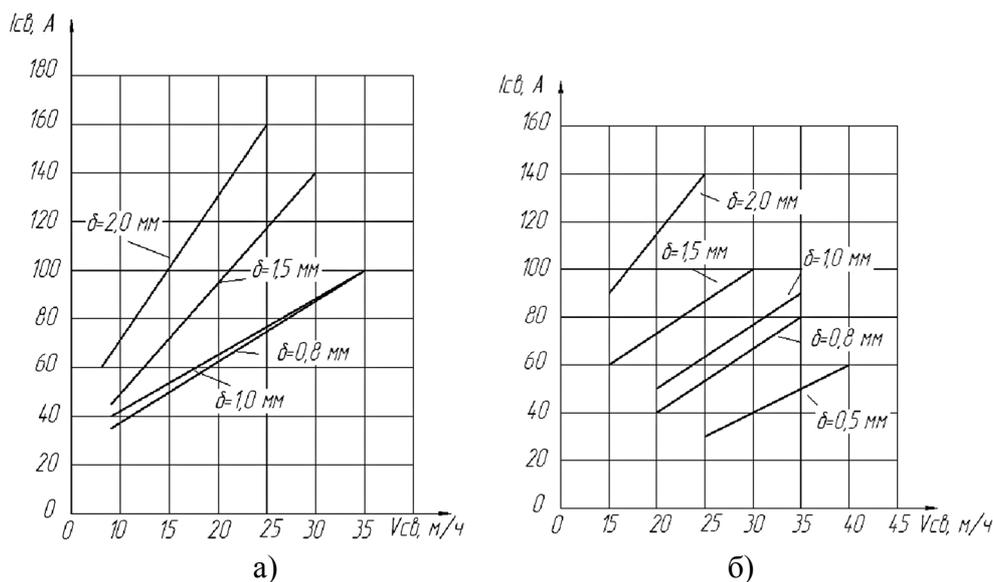


**Рис. 1.** Зависимость величины тока от скорости сварки стали 12X18H10T толщиной 1,5 мм ( $M_1$ ) и 3,5 мм ( $M_2$ ) без присадочной проволоки.

В инженерной практике широко применяются приближенные методы построения решений, разработанные Н.Н. Рыкалиным [1-7]. Так при аргонно-дуговой сварке без присадки со сквозным проплавлением геометрические размеры (ширину и длину) и все ванны можно рассчитать по формулам, выведенным для быстродвижущегося линейного источника тепла с использованием поправочных коэффициентов. Такие коэффициенты были получены для Стали 3  $\delta=4$ мм для  $UI=680-1760$  ВА и  $V_{св}=3,5-9$  м/ч, 12X18H10T  $\delta=2,5; 4$  и 6 мм -  $UI=560-1580$  ВА и  $V_{св}=3,5-9$  м/ч, сплава BT1-1  $\delta=3$  мм для  $UI=750-1370$  ВА и  $V_{св}=4,6-9$  м/ч. Расчетные значения ширины шва при этом для всех материалов за исключением меди, оказались близки к опытным (ошибка не более 15%) [7]. По этой же схеме были обработаны результаты экспериментального определения геометрических параметров зоны проплавления при аргонно-дуговой сварке в нижнем положении на весу неплавящимся электродом пластин из стали X18H10T  $\delta=4-6$  мм [4] и сплава АМг6  $\delta=3$  мм [5]. Полученные экспериментальные данные описывали критериальными уравнениями в виде связи между безразмерным критерием Пекле, включающий характерный линейный размер сварочной ванны, и параметром режима. Для количественной характеристики разброса экспериментальных данных были определены геометрические размеры и вес ванны на 12 швах, сваренных на строго неизменном режиме ( $I_{св}=210A$ ,  $V_{св}=0,239$  см/сек,  $r=8,04$ ). Ошибка при аналитическом определении параметров ванны при этом не превышала в среднем 10% [4]. В работе [10] было отмечено некоторое расхождение

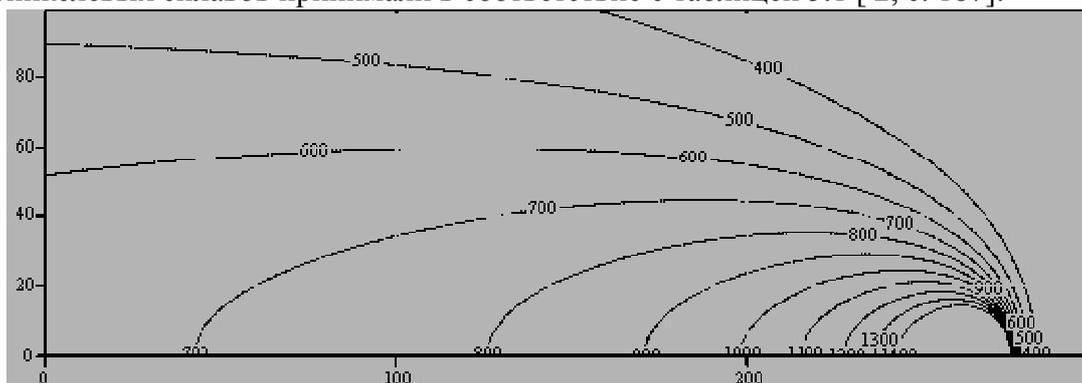
результатов расчета по методикам [1-4], это объясняется принятой схемой идеализацией процесса и отсутствием учета энергии фазовых переходов. Для устранения указанных недостатков рекомендовано применять более полную модель теплопереноса.

Были исследованы ранее опубликованные зависимости сварного шва от параметров режима сварки для нержавеющей стали и хромоникелевых жаропрочных сплавов различных толщин (рис. 2). Графики получены после обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов.



**Рис. 2.** Зависимость величины тока от скорости сварки для а) стали 12X18H10T и б) титановых сплавов на медной подкладке.

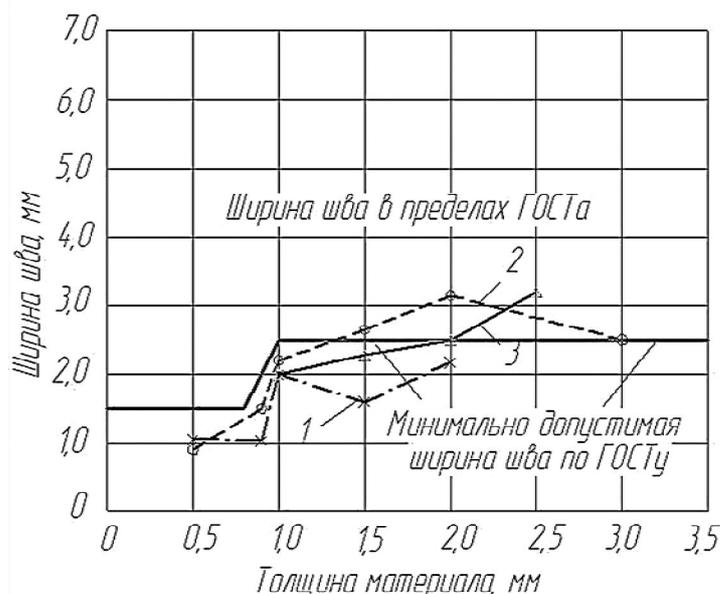
Изучив все обнаруженные в сварочной литературе данные по режимам сварки, предприняли попытку проверки ширины шва при сварке нержавеющей стали, хромоникелевых жаропрочных и титановых сплавов по схеме движущихся линейных источников (рис.1), реализованных в программной среде *Mathcad*, в крайних точках режимов. Теплофизические свойства материалов титана, стали 12X18H10T и хромоникелевых сплавов принимали в соответствие с таблицей 5.1 [2, с. 187].



**Рис. 3.** Общий вид движущегося линейного источника, реализованного в пакете *MathCAD*.

Режимы сварки были следующими: для стали 12X18H10T  $\delta=0,5-2,0$  мм –  $I_{св}=30-140$ А,  $V_{св}=25-40$ м/ч и  $U_{д}=7-12$ В, титановых сплавов  $\delta=0,5-3,0$  мм -  $I_{св}=20-190$ А,  $V_{св}=10-25$ м/ч и  $U_{д}=6-11$ В, хромоникелевых жаропрочных сплавов  $\delta=0,8-2,0$  мм -  $I_{св}=35-160$ А,  $V_{св}=8-30$ м/ч и  $U_{д}=10-15$ В. На рис. 2 показана ширина шва, полученная по схеме линейного движущегося источника тепла на основе экспериментальных данных, полученных из

литературы [3-14].



**Рис.1.** Расчетная ширина шва по схеме линейного источника для:

- 1) Стали 12X18H10T; 2) Титановых сплавов;
- 3) Хромоникелевых жаропрочных сплавов.

На рис. 3 видны некоторые расхождения между рекомендованными режимами сварки и минимально допустимой шириной шва для стыкового соединения С4 по ГОСТу 14771-76 без присадочной проволоки для стали 12X18H10T толщиной 0,8 и 1,5 мм и хромоникелевых жаропрочных сплавов – 0,8 и 1,0 мм. Рассчитанная по этой схеме ширина шва несколько меньше фактической, что, вероятно, обусловлено объемным распределением источника тепла, не учитываемое схемой.

## ВЫВОДЫ

1. При аргонно-дуговой сварке без присадки со сквозным проплавлением минимальную ширину сварочной ванны можно рассчитать по формулам, выведенным для подвижного линейного источника тепла, с использованием опытных коэффициентов, учитывающих объемное распределение источника тепла и материала.

2. Необходимы экспериментальные подтверждения расхождений между расчетной (по схеме подвижного линейного источника) и допустимой шириной шва, а также уточнения в рекомендованных режимах для сварки стали 12X18H10T толщиной 0,8 и 1,5 мм и хромоникелевых жаропрочных сплавов – 0,8 и 1,0 мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Н. Рыкалин. Расчеты тепловых процессов при сварке // Изд.: Машиностроительная литература, М. – 1951г.

2. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752с.: ил.

3. И.В. Варламов, И.В. Программирование режима аргонодуговой сварки трубок неплавящимся электродом // Сварочное производство. - №6. – 1961. – с.5-9.

4. А.А. Ерохин, Ю.С. Ищенко. Расчет размеров и веса ванны при сварке со сквозным проплавлением // Автоматическая сварка. - №2. – 1967. – с.6-8.

5. Н.Н. Рыкалин, А.И. Бекетов. Расчет термического цикла околошовной зоны по очертанию плоской сварочной ванны // Сварочное производство. - №9. - 1967. - с.22-25.

6. А.Г. Симоник, А.В. Петров. Некоторые причины блуждания дуги и нестабильного проплавления при аргоно-дуговой сварке неплавящимся электродом // Сварочное производство. - №10. - 1968. - с.34-37.

7. А.А. Ерохин, В.А. Букаров, Ю.С. Ищенко. Расчет основных параметров ванны при сварке пластин // Сварочное производство. - 1970. - №12. - с.1-3.

8. Р.А. Цепенев, Э.С. Секретарева. О стабилизации параметров режима при аргоно-дуговой сварке // Сварочное производство. - №1. - 1971. - с.35-36.

9. И.М. Ковалев. Некоторые особенности формирования сварных соединений при сварке электродом с неплавящимся катодом // Сварочное производство. - №10. - 1972. - с.3-5.

10. Ю.Е. Сергеев, Э.С. Секретарева. Влияние параметров процесса сварки на геометрические размеры шва изделий с криволинейным контуром в вертикальной плоскости // Сварочное производство. - №6. - 1972. - с.23-25.

11. В.М. Елагин, Ф.И. Кислюк. Влияние отдельных параметров режима аргонодуговой сварки на механические свойства соединений стали 000X18H12ВИ // Сварочное производство. - №9. - 1972. - с.4-7.

12. В.М. Елагин, Б.И. Мартюшов, Г.Г. Козлова. Статистический анализ влияния параметров режима аргонодуговой сварки на механические свойства соединения // Автоматическая сварка. - №7. - 1972. - с.13-17.

13. А.И. Акулов, Г.Н. Гусаков. О формировании шва при автоматической аргоно-дуговой сварке на весу неплавящимся электродом // Сварочное производство. - №3. - 1974. - с.16-18

14. Э.А. Гладков, Н.А. Юхин, А.И. Акулов. Процессы саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне // Сварочное производство. - №7. - 1974. - с.1-4.

15. А.А. Осокин. Выбор режима автоматической аргонодуговой сварки тонколистового титанового сплава ОТ4 // Сварочное производство. - 1975. - №12. - с.41-42.

16. Б.Н. Бадьянов, В.А. Давыдов, Ю.Ф. Колупаев, А.В. Панюхин. Зависимость между током, скоростью сварки и толщиной материала, установленная по литературным данным // Автоматическая сварка. - №1. - 1982. - с.72-73.

17. В.П. Будник, Б.А. Стебловский, М.Г. Буцько, В.Г. Крылов. Проплавающая способность дуги постоянного и переменного тока // Автоматическая сварка. - №2. - 1982. - с.68-70.

18. В.А. Букаров. Разработка моделей управления дуговой сваркой в защитных газах // Сварочное производство. - №2. - 1997. - с.13-17.

19. А.М. Попков. Расчет параметров режима дуговой сварки стыковых соединений по заданным геометрическим параметрам швов // Сварочное производство. - №9. - 2003. - с.33-35.

20. Y.M.Zhang. Interval model based robust control of weld joint penetration // Journal of manufacturing Science and Engineering. - №8. - 1999. - p.425-433.

21. S.Honma, K.Yasuda. Study of semi-automatic TIG welding // Welding International 2004 18 (6) 450-455.

22. R.-I. Hsieh, Y.-T. Pan, and H.-Y. Liou The Study of Minor Elements and Shielding Gas on Penetration in TIG Welding of Type 304 Stainless Steel // Journal of Materials Engineering and Performance. - February 1999.

## ОБ АВТОРАХ



**Никифоров Роман Валентинович**, аспирант каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ, дипл. инж. по спец. Обор-е и технология свар. пр-ва (УГАТУ, 2009). Моделирование в мат. пакетах различных видов сварок, исследования в области аргонодуговой сварки.



**Бычков Владимир Михайлович**, доцент каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ, зам. зав. каф. УГАТУ, к-т техн. наук по направлению « Моделирование процессов сварки» (УГАТУ, 1980). Физические и технологические аспекты дуговой сварки и линейной сварки трением.

УДК 621.791

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ANSYS

**Никифоров Р. В., Бычков В. М., Логоня А. А., Паутов А. Н.**

Для описания геометрии проплавления при различных видах сварки широко применяется комбинация схематических подвижных источников нагрева, процесс распространения теплоты от которых описывается аналитическими выражениями. Поскольку эти выражения являются решениями линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, то сумма любого числа таких решений также удовлетворяет соответствующим дифференциальным уравнениям. Физически это означает, что процессы распространения теплоты от отдельных источников не взаимодействуют друг с другом, а просто накладываются друг на друга. Согласно принципу суперпозиции изменение температуры в процессе распространения теплоты при совместном действии ряда источников теплоты рассматривается, как алгебраическая сумма изменений температуры от действия каждого источника в отдельности.

Однако принцип суперпозиции неприменим, если считать зависящими от температуры теплофизические свойства материала – коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , объемная теплоемкость  $c_p$  и коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , также если необходимо учитывать фазовые или структурные превращения в материале, происходящие с выделением или поглощением теплоты.

Таким образом использование аналитических выражений дает достаточно приближенное описание температурных полей от комбинации схематичных подвижных источников.

В связи с этим часто используют численные методы, основанные на использовании конечных элементов (КЭ), в которых возможно задание зависимости теплофизических свойств материала от температуры. ANSYS является одним наиболее востребованных конечно-элементных комплексов для решения самых различных задач, в том числе по тепловому анализу. Этот пакет как и многие аналогичные ему (MSC MARC, Abaqus, и т.д.) позволяет моделировать движущиеся источники нагрева (распределенные и сосредоточенные) на поверхности тела при сварке, наплавке и локальной термообработке.

Для моделирования геометрии проплавления при ЭЛС использовались комбинация 2х теплоисточников – линейного и нормально-кругового распределенного с решением задачи распространения тепла в модуле ANSYS/Multiphysics.

Линейный тепловой источник задан как тепловой поток через плоскость, разделяющей образец на 2 части (рис.1, а) :

$$q = \frac{q_1}{4ah} \exp^{-(\Delta X / a)^2}, \quad (1)$$

где  $a$  – размер конечного элемента, м ;  $h$  – высота образца, м.;  $q_1$  – тепловой поток на линейный источник, Вт;  $\Delta X$  – перемещение источника по координате  $x$ ,  $\Delta X = X_0 - Vt$ .

Нормально-круговой – как тепловой поток через верхнюю грань по формуле:

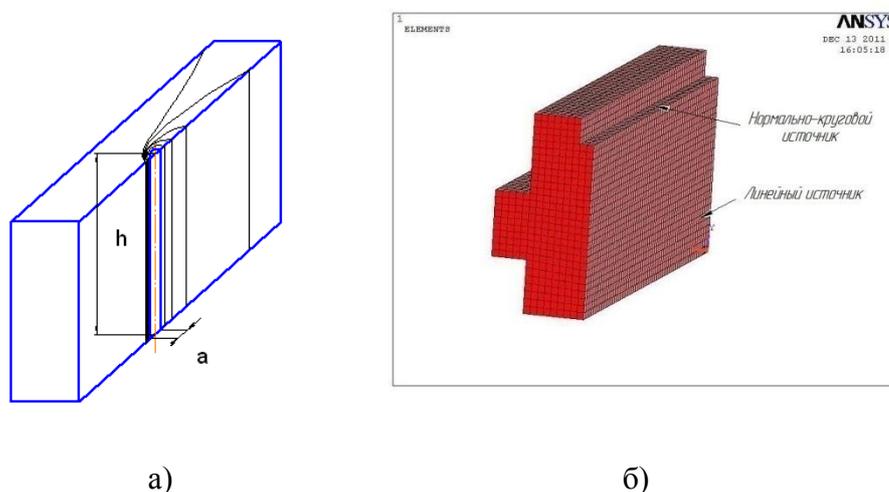
$$q = \frac{k}{\pi} \eta UI \exp^{(-k(\Delta X^2 + Y^2))}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение, В;  $I$  - сила тока, А;  $\eta$  – эффективный КПД процесса ( в нашем случае  $\eta = \text{const}$  и принималось равным 0,9);  $k$  – коэффициент сосредоточенности луча,  $\text{см}^{-2}$ .

При построении модели были приняты теплофизические свойства аналога сплава ВТ6 – Ti6Al4V, взятые из базы данных пакета DEFORM 3D.

ANSYS/Multiphysics не позволяет моделировать идеальные источники нагрева, такие как линейный, поэтому в качестве полосы, по которой равномерно распределен тепловой поток, принимался размер конечного элемента и тепловой поток вводился через прямоугольную поверхность  $ah$ , где  $a$  – размер конечного элемента, мм;  $h$  – высота образца, мм.

Схема расположения вводимых теплоисточников представлена на рисунке 1, б.



**Рис. 1.** Имитация линейного источника тепла и расположение теплоисточников по поверхностям в ANSYS.

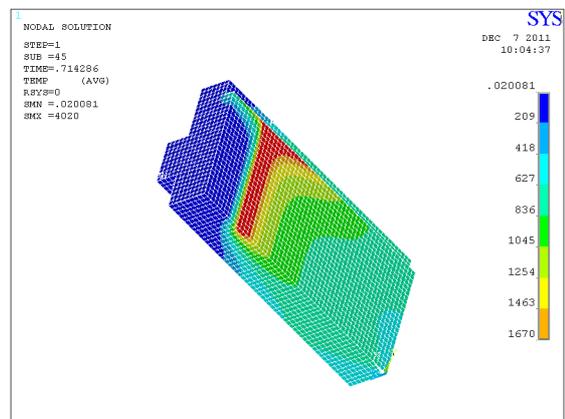
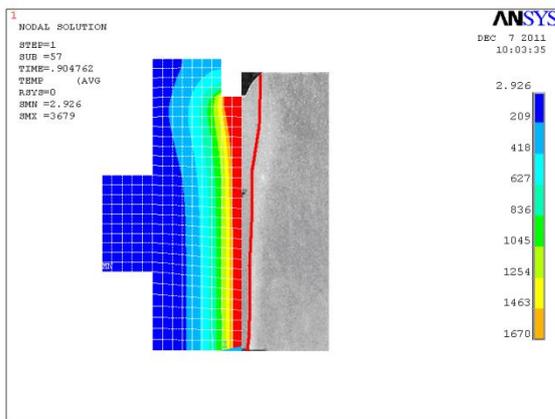
Методика моделирования – сначала по макрошлифам подбирались мощность линейного источника, которой соответствовала ширина обратного провара шва, после чего коэффициент сосредоточенности луча, соответствующий ширине шва. Визуализация расчетов представлена на рисунке 2 а-и, соответствуют номерам образцов в таблице 1. Красным показана зона сплавления. Размер образцов выбирался таким образом, чтобы температурное поле от источником перешло в квазистационарный режим.

Таблица 1

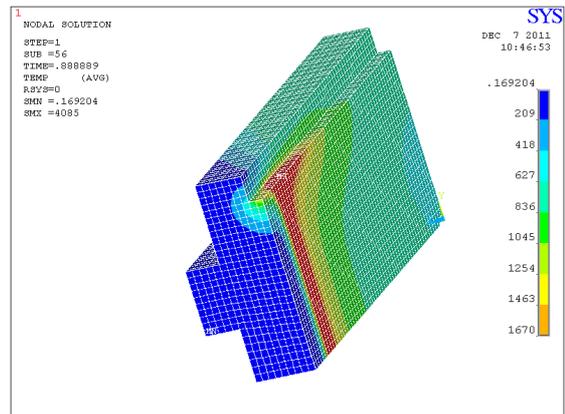
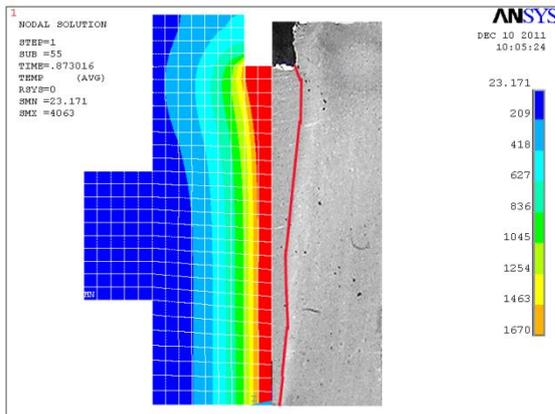
Параметры режима ЭЛС

№ образца	Напряжение, кВ	Ток, мА	Скорость, м/ч	Фокус, мА
1	120	38	90	2100
2	120	40	90	2100
3	120	42	90	2100
4	120	44	90	2100
5	120	48	120	2100
6	120	50	120	2100
7	120	52	120	2100
8	120	54	120	2100

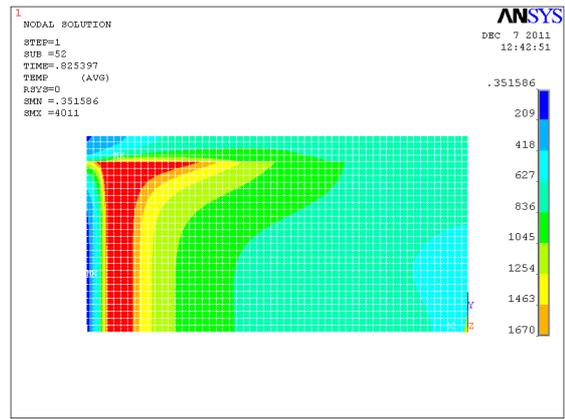
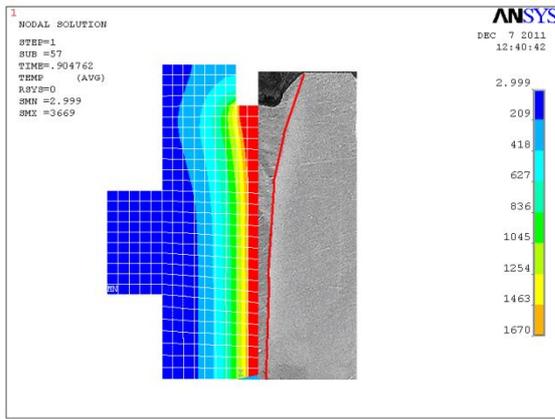
Часть результатов моделирования в среде ANSYS показаны на рисунке 3.



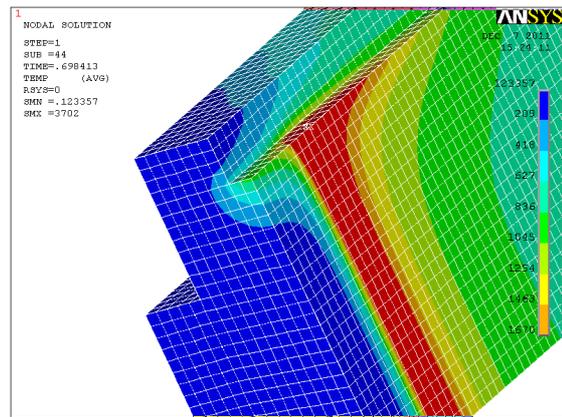
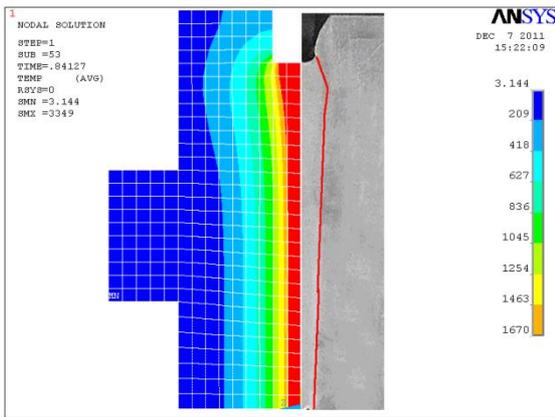
а) Образец 1.



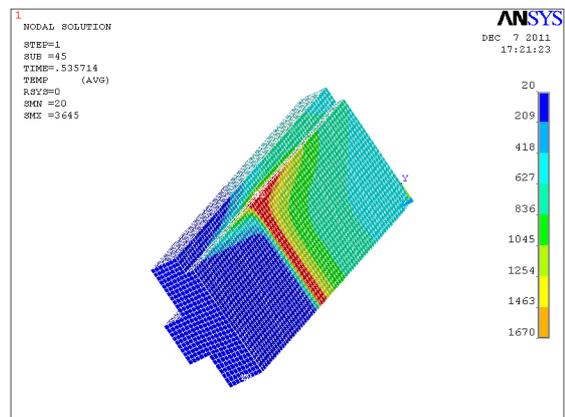
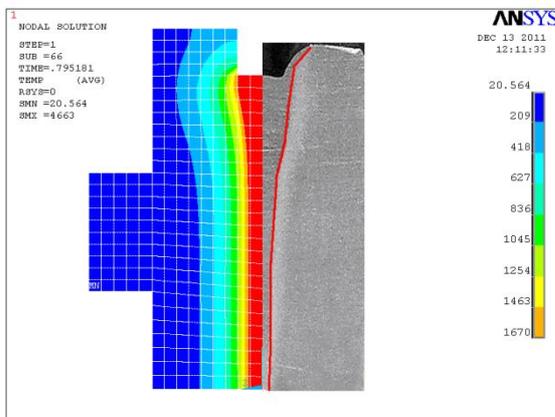
б) Образец 2.



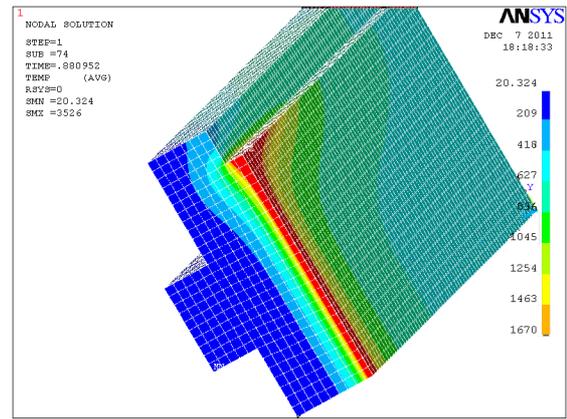
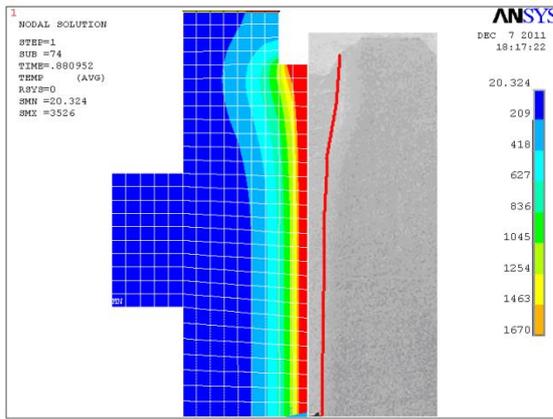
в) Образец 3.



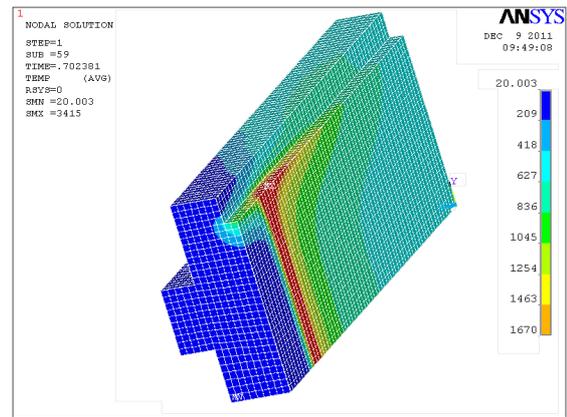
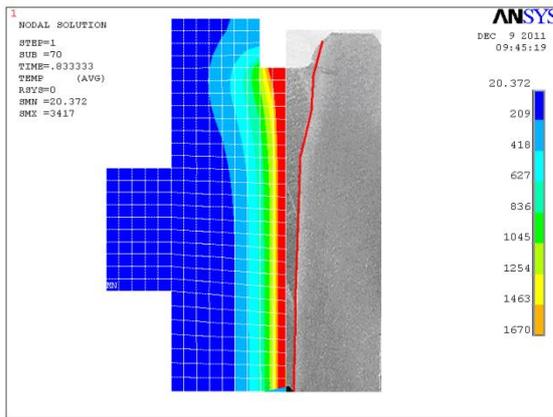
г) Образец 4.



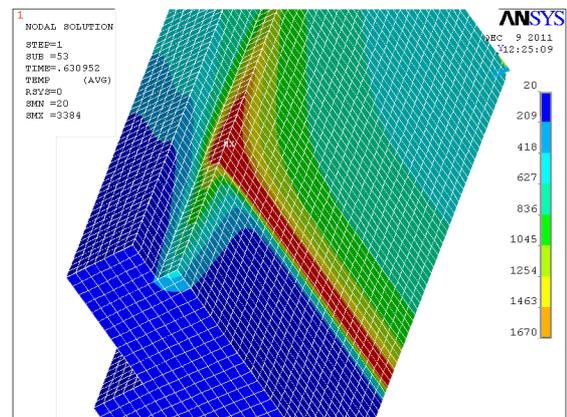
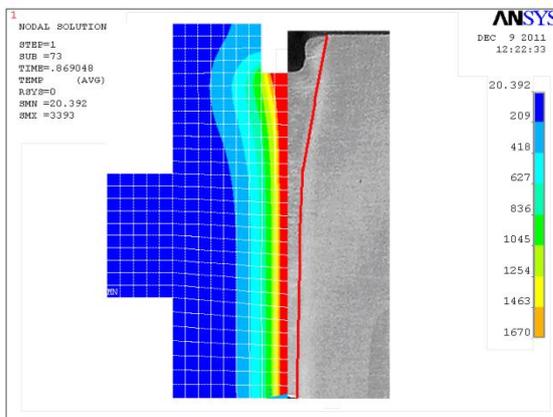
д) Образец 5.



е) Образец 6.



ж) Образец 7.



з) Образец 8.

Рис. 3. Визуализация результатов расчета в ANSYS.

Параметры сварного шва и подобранные коэффициенты сосредоточенности представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обмера швов и подобранные коэффициенты сосредоточенности дуги.

№ образца	Ширина шва, мм	Ширина провара (b), мм	Распределение мощности между источниками		Коэффициент сосредоточенности и k, см <sup>-2</sup>
			ЛИ	НКР	
1	1,7	0,6	0,55	0,45	3,5
2	1,8	0,7	0,55	0,45	3,7
3	1,6	0,7	0,55	0,45	3,1
4	1,4	0,7	0,55	0,45	2,1
5	1,6	0,5	0,68	0,32	3,3
6	1,5	0,6	0,68	0,32	1,9
7	1,2	0,6	0,68	0,32	1,6
8	1,2	0,6	0,68	0,32	1,5

Из таблицы 2 видно, что с увеличением силы тока как на скорости 90 м/ч, так и на 120 м/ч, несколько снижается коэффициент сосредоточенности луча. Для нахождения вероятной зависимости b(I) была реализована в среде *Mathcad* программа, позволяющая линейно аппроксимировать полученные данные.

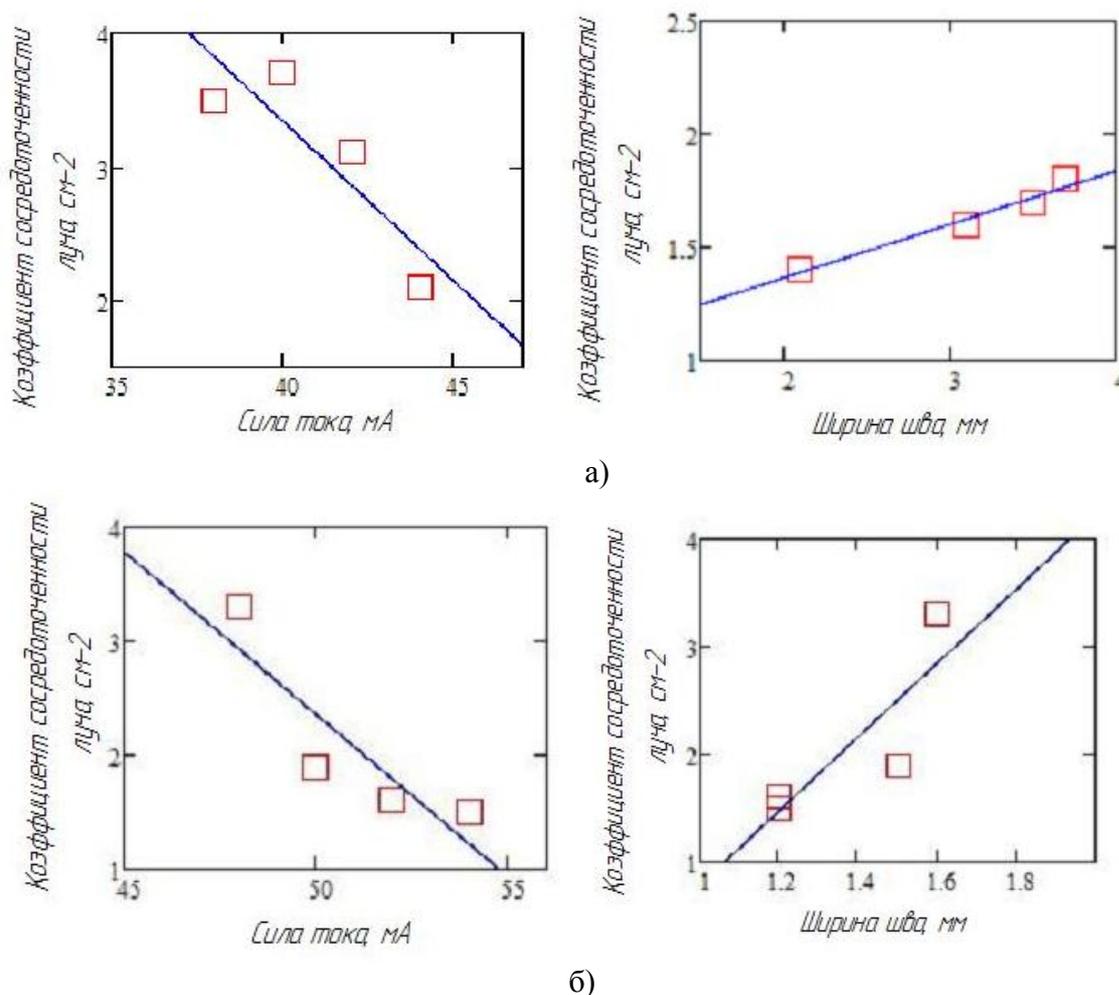


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента сосредоточенности луча от силы тока и ширины шва при скорости 90 м/ч (а) и 120 м/ч (б).

В результате моделирования были получены следующие зависимости ширины шва от силы тока:

$$b = 4,017 - 0,058I - \text{для скорости } 90 \text{ м/ч};$$

$$b = 5,611 - 0,083I - \text{для скорости } 120 \text{ м/ч}$$

### ВЫВОДЫ

1) Разбиение составляющей удельной мощности на линейный и нормально-круговой источники позволяет смоделировать геометрию проплавления при ЭЛС.

2) Предложенный подход к моделированию геометрии проплавления дает возможность получить зависимости параметров сварного шва от режимов сварки в заданных диапазонах.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыкалин, Н.Н.** Расчеты тепловых процессов при сварке : Учебное пособие для машиностроит.вузов .— М. : Машгиз, 1951 .— 296с.
2. **Чигарев, А. В.** ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк .— М. : Машиностроение : Машиностроение-1, 2004 .— 512 с. : ил. ; 21 см .— Библиогр.: с. 511 .
3. **Басов, К. А.** ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование / К. А. Басов .— М. : ДМК Пресс, 2006 .— 240 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Бычков Владимир Михайлович**, доцент каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ, зам. зав. каф. УГАТУ, к-т техн. наук по направлению « Моделирование процессов сварки» (УГАТУ, 1980). Физические и технологические аспекты дуговой сварки и линейной сварки трением.



**Никифоров Роман Валентинович**, аспирант каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ, дипл. инж. по спец. Обор-е и технология свар. пр-ва (УГАТУ, 2009). Моделирование в мат. пакетах различных видов сварок, исследования в области аргонодуговой сварки.



**Логоня Артем Алексеевич**, студент 5 курса каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ. Исследования в области аргонодуговой и электронно-лучевой сварок.



**Пауров Анатолий Николаевич**, студент 5 курса каф. Обор-я и технологии свар. пр-ва УГАТУ. Исследования в области аргонодуговой и электронно-лучевой сварок.

УДК 621.791

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНТРОЛЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЛИСКА**

**Савичев М. П., Бычков В. М.**

Цельносварной диск компрессора (блиск) выполнен из титана и является ответственной деталью. Его сварные швы, полученные линейной сваркой трением, должны подвергаться неразрушающему контролю. Контроль наружных дефектов выполняется капиллярными методами и не вызывает затруднений. Внутренние дефекты располагаются в плоскости стыка, представляют собой остатки окисных пленок, несплавления, поры и имеют размеры порядка нескольких микрон. При этом средний размер зерен основного металла около 10 мкм в сплаве BT8M-1 и около 15 мкм в сплаве BT-6. В шве происходит измельчение зерна до размеров нескольких микрон. Методы контроля, такие как традиционный ультразвуковой контроль, рентгеноскопия, вихретоковый и магнитопорошковый методы, не обладают достаточным разрешением для выявления столь мелких дефектов. Поэтому главным методом контроля является анализ графиков параметров режима сварки. Согласно иностранному опыту производства блиска, он позволяет достаточно стабильно контролировать качество сварки, однако согласно требованиям нормативов отечественной авиационной промышленности необходим ультразвуковой или рентгенконтроль. Целью данной статьи является обзор современных методов неразрушающего контроля, таких как компьютерная томография (КТ) и ультразвуковой контроль с применением технологии фазированных решеток (УЗК с ФР) с точки зрения их максимальной разрешающей способности и применения к контролю блиска.

В настоящий момент выпуском компьютерных томографов занимается множество компаний. Наиболее значимые из них представлены ниже:

- ПромИнтро (Россия);
- North Star Imaging (США) и ее подразделения X-View CT;
- Varian Medical Systems (США);
- Toshiba IT & Control Systems (Япония);
- Hitachi (Япония);
- Shimadzu (Япония);
- Saki (Япония);
- Phoenix X-Ray (Германия);
- YXLon International (Германия);
- X-Tek Systems (Англия), входящее в Nikon Metrology;
- RayScan Technologies (Германия).

Выбор томографа рекомендуется выбирать в соответствии со следующей иерархией параметров [1]:

1) Габариты и масса объекта контроля. Наружный диаметр блиска около 560 мм, масса – около 30 кг. Многие томографы перечисленных фирм удовлетворяют этим требованиям (таблица 1);

Таблица 1 – Томографы с подходящими массогабаритными характеристиками

Наименование томографа	Максимальные габариты объекта контроля, мм	Максимальный вес объекта контроля, кг
X-View CT-X5000-CT	Ø320 (800)×1200	225
Varian – BIR 600/450	Ø600×1200	100
Inspe CTTM1MV	Ø800×800	100
Phoenix GE Vitome X450	Ø320 (800)×1000	100
YXLON-Y.CT Modular	Ø320 (600) ×630	65
Y.CT Universal	Ø320 (600)×1200	75
Nikon Metrology XT H 450 LC	Ø320×300	50
Ray Scan 500	Ø320×300	50
BT-600 XA	Ø600×1000	300
BT-800 XA	Ø800×1000 или Ø650×3000	1000

2) Энергия источника излучения, определяющая проникающую способность. Для просвечивания 50 мм стали необходима рентгеновская трубка 450 кВ. При больших толщинах применяется тормозное излучение ускорителя электронов. В случае контроля сварных швов блиска необходимо контролировать сечение около 10 мм толщиной (рисунок 1). 450 кВ должно “хватить с запасом”. Все томографы перечисленных фирм могут быть оснащены рентгеновской трубкой на 450 кВ;

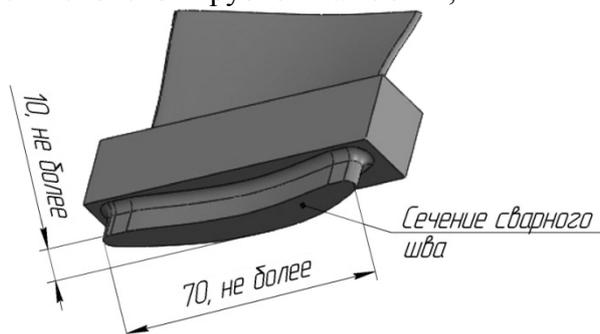


Рисунок 1 – Лопатка блиска и сечение его сварного шва

3) Второстепенные показатели, такие как, производительность, цена, надежность, средства радиационной защиты – не рассматриваются, так как не являются решающими критериями данного обзора;

4) Предел пространственного разрешения (ППР).

ППР заявлен определенно только для томографа BIR 600/450 – 25 пар/см и для отечественного томографа BT-600 XA – 50 пар/см. В документации на остальные томографы приводятся разрозненные данные рентгеновских пленок, детекторов, сканирующей системы, минимального размера пикселя (интервала дискретности томограммы), но ППР, как комплексная характеристика поставляемого оборудования не приводится, что не случайно.

ППР зависит от (рисунок 2):

- размера  $d_f$  фокусного пятна;
- апертуры  $p$  (шага пикселей) элементарного детектора;
- интервала  $f$  между детектирующим элементом и объектом контроля;
- расстояния  $d$  между объектом контроля и источником излучения.

$$\frac{1}{ППР} = \frac{d_{\phi} \cdot d}{f},$$

где  $\frac{1}{ППР}$  - ширина функции рассеяния “по уровню 0,5”, мм (характеризует размер минимально выявляемого дефекта);

$\frac{d_{\phi}}{f}$  - геометрическое увеличение.

Для достаточно крупных объектов контроля (около 500 мм) практически выполнимо  $\frac{d_{\phi}}{f} = \frac{1}{2}$ , что соответствует  $2^x$  -кратному увеличению. При этом размер пикселя реконструируемой томограммы должен быть:

$$p \leq \frac{d_{\phi}}{f} \cdot \frac{1}{ППР}.$$

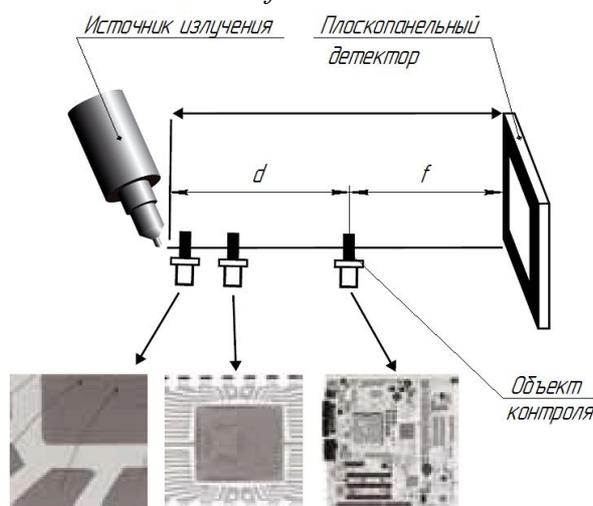


Рисунок 2 – Схема рентгенконтроля

При увеличении в 2 раза:

$$p \leq \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{ППР};$$

$$d \leq 2 \cdot \frac{1}{ППР}.$$

Например, для ширины функции рассеяния равной 2 мкм необходимо фокусное пятно диаметром менее 4 мкм и шаг пикселя 0,1 мкм. При этом необходима ширина зоны детектирования:

$$A = \frac{f}{d} \cdot B = 2 \cdot B,$$

где B - ширина объекта контроля.

ППР также зависит от:

- геометрической точности сканирующей системы;
- инерционности детектора в масштабе скорости сканирования;
- формата и алгоритма реконструкции томограммы;
- углового интервала при многокурсном сканировании;
- жесткости механики.

Ширина A зоны контроля блиска (рисунок 1) равна 70×10 мм. При двухкратном увеличении требуется зона контроля 140×20 мм. Ее может обеспечить как любой плоскостанельный детектор, так и любая рентгеновская пленка (размеры листа от 180×240 ми).

При использовании вместо рентгеновской трубки осевого излучения рентгеновскую трубку бокового излучения можно уменьшить ширину функции рассеяния примерно в 2 раза за счет сокращения расстояния  $d$  между объектом контроля и источником излучения. Тогда при рентгеновской трубке бокового излучения и двукратном увеличении:

$$p \leq \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{ППР};$$

$$d \leq 4 \cdot \frac{1}{ППР}.$$

Рассмотрим размер фокусного пятна и шаг пикселей, предлагаемые в прайсах разными производителями (таблица 2-8).

Как видно из таблиц для микрофокусных рентгеновских трубок диаметр фокусного пятна равен 0,4...3 мкм. Это обеспечит ширину функции рассеяния  $\frac{1}{ППР}$  равную 0,2...1,5 мкм.

Шаг  $p$  пикселей плоскопанельных детекторов всех производителей равен 100...200 мкм, что обеспечит  $\frac{1}{ППР}$  равную 200...400 мкм.

Таблица 2 – Рентгеновские трубки Phoenix X-ray

		Максимальное напряжение трубки, кВ	Диаметр фокус. пятна, мкм	Стержневой анод для панорамной просветки (опция)
Нанофокусные рентг. трубки	XS 160 hpnf	160	0,4	-
	XS180 hpnf	180	0,4	-
Микрофокусные рентг. трубки осевого излучения	XS 160t	160	1	+
	XS 180t	180	1	+
	XS225t	225	1	+
Микрофокусные рентг. трубки бокового излучения	XS 160d	160	2	+
	XS 225d	225	2	+
	XS 240d	240	2	+

Таблица 3 – Детекторы Phoenix X-ray

	Шаг пикселя детектора, мкм	Количество бит	Размер активного поля детектора, мм	Разрешение
DXR 250	200	14	410×410	2048×2048
DXR 500	100	14	307×240	3072×2400

Таблица 4 – Системы компьютерной томографии YXLON International

	Тип рентг. трубки	Максимальное напряжение трубки, кВ	Мощность трубки, кВт	Миним. фокусное расст-е, мм	Диаметр фокус. пятна, мкм
FXE-160.45	Осевого излуч.	160	160	6,75	6
FXE-160.48	Осевого излуч.		320	6,75	6
FXE-160.50	Бокового излуч.		64	0,25	4
FXE-160.51	Бокового излуч.		64	0,25	2

FXE-160.99 сдвоенная	Бокового и осевого излуч.		64/320	0,25/6,75	2/6
FXE-225.45	Осевого излуч.	225	225	6,75	6
FXE-225.48	Осевого излуч.		320	6,75	6
FXE-225.50	Бокового излуч.		64	0,25	4
FXE-225.51	Бокового излуч.		64	0,25	2
FXE-225.99 сдвоенная	Бокового и прямого излуч		64/320	0,25/6,75	2/6

Таблица 5 – Системы компьютерной томографии X-Tek Systems (Nikon Metrology)

	Диаметр фокус. пятна, мкм	Шаг пиксела плоскостной детектора, мкм	Геометрич. увеличение	Максимальное напряжение трубки, кВ	Мощность трубки, кВт	Массогабаритные характеристики объекта контроля
ХТ Н160	3	-	150 <sup>x</sup>	160	225	1773×935×1785 , 15 кг
ХТ Н225	3	200		225	225	1773×935×1785 , 15 кг
ХТ Н225ST	1...3	200		225	225	2214×1595×260 0, 50 кг
ХТ Н225/320LС	3...20	200		225/320	225/320	3288×1595×260 0, 50 кг
ХТ Н4503D	80	-	15 <sup>x</sup>	450	450	3500×1820×244 3, 50 кг
ХТ Н4502D	80	-	8 <sup>x</sup>	450	450	3500×1820×244 3, 50 кг

Таблица 6 – Системы компьютерной томографии Ray Scan Technologies

	Диаметр фокус. пятна, мкм	Массогабаритные характеристики объекта контроля	Детектор	Напряжение трубки, кВ
Ray Scan 100	0,4	700×1200 мм, 60 кг	16 бит, шаг пикселя 400 мкм	20...225
Ray Scan 150	1...150	300×300 мм, 20 кг	16 бит, шаг пикселя 200 мкм	10...250
Ray Scan 200	3...250	600×1500 мм, 80 кг		10...250
Ray Scan 200XE	3...250	2000×5000 мм, 250		10...250
Ray Scan 250	3...250	600×1500 мм, 80 кг		10...250
Ray Scan 500	0,4...1	600×1000 мм, 50 кг		50...600

Таблица 7 – Системы компьютерной томографии Varian Medical Systems  
(данные найдены только по плоскостельным детекторам)

	Размер экрана, см	Шаг пикселя, мкм	Разрешение, dpi	Максимальная энергия, кВ
PaxScan 1313	13×13	127	1024×1024	150
PaxScan 2020+	20×20	194	1024×1024	
PaxScan 2520E+	25×20	127	1920×1536	
PaxScan 2520D	25×20	127	1920×1536	
PaxScan 3030+	30×30	194	1536×1536	
PaxScan 4030E	40×30	127	3200×2304	
PaxScan 4030CB	40×30	194	2048×1536	
PaxScan 4336R	43×36	139	3072×2560	
PaxScan 4343R	43×43	139	3072×3072	

Таблица 8 – Системы компьютерной томографии North Star Imaging

	Напряжение, кВ	Увеличение (геометрич.)	Минимальный диаметр фокус. пятна, мкм	Массогабаритные характеристики объекта контроля	Детектор
X50	10...225	4000 <sup>x</sup>	< 1	2210×1310×2010 мм 11 кг	16 бит 40×40 см
X500	10...450	1200 <sup>x</sup>	< 1	-	16 бит 40×40 см
X5000	10...450	2000 <sup>x</sup>	< 0,5	-	16 бит 40×40 см
X-View Robotics Systems	Роботизированная система. Данных нет				
Системы могут быть оснащены микрофокусными трубками как бокового, так и осевого излучения					

Размеры пикселей экранов имеют слишком большие размеры. Потенциально возможное разрешение в 0,2 мкм не получить, так как сигнал от дефекта будет меньше, чем необходимо для выявления его как самостоятельный объект. Поэтому предлагается использовать вместо плоскостельного детектора ультрамелкозернистую рентгеновскую пленку (таблица 9).

Таблица 9 – Ультрамелкозернистые рентгеновские пленки

Производитель	Наименование пленки	Класс ISO 11699-1: 2008	Чувствительность (обрат. Р)	Среднее значение градиента плотности (контрастность)			Зернистость (среднекв. отклонение оптической плотности)
				D=2	Среднее	D=4	
Kodak industrex	SR45	-	0,65(относительн.)	-	5,0	-	-
	DR50	C1	1,0(относительн.)	-	5,4	-	не более 0,018 при D=2
	M100	C2	0,45(относительн.)	-	5,4	-	0,017

Таблица 9 (продолжение)

Производитель	Наимен-е пленки	Класс ISO 11699-1: 2008	Чувствит-ть (обрат. Р)	Среднее значение градиента плотности (контрастность)			Зернистость (среднекв. отклон-е оптич. плотности)
				D=2	Средн-ее	D=4	
Fomadux	R2	C1	-	-	-	-	не более 0,018 при D=2
Fuji	IX20	-	10	-	-	-	-
	IX25	C1	20	-	-	--	Не более 0,018 при D=2
	IX29	-	22	-	-	-	-
Отеч. пленка	<a href="#">PT-K</a>	-	6,0...7,0	4,7	4,8	4,9	Разрешающая способность не менее 135 мм <sup>-1</sup>
AGFA Structurix	D2	C1	1,0...3,0	5,2	6,0	9,1	0,014

Размер зерна (AgBr) рентгеновской пленки зависит от ее класса по стандарту ISO 11699-1. Примерные значения зерна:

- а) крупномелкозернистая пленка - 1...3 мкм;
- б) мелкозернистая пленка - 0,5...1 мкм;
- в) особомелкозернистая пленка – 0,2...0,5 мкм.

Для ультрамелкозернистых пленок класса С зерна имеют размер 0,2...0,5 мкм. Этого достаточно для получения разрешения 0,4...1 мкм. Однако при работе непосредственно с пленкой размеры дефектов измеряются линейкой (точность 0,5 мм), либо специальной лупой со шкалой 0,1 мм (точность 0,05 мм или 50 мкм). Получается, что визуальный контроль ультрамелкозернистой рентгеновской пленки “сводит на нет” все преимущества ее использования.

Данная проблема решается оцифровкой рентгеновских пленок. Для их оцифровки необходим планшетный сканер со слайд-адаптером, специальный сканер пленок или промышленный барабанный сканер. Последний из них крайне дорог, хотя и обладает наилучшими характеристиками.

При сканировании пленок критичны следующие параметры сканера:

1) Глубина цвета. Большинство сканеров при сканировании в режиме оттенков серого имеют глубину цвета 16 бит. При этом каждый пиксель содержит 65536 уровней серого. Этого вполне достаточно.

2) Разрешение сканирования. Вычисляется оно по формуле:

$$R = \frac{A}{B} \times 2,54,$$

где R – разрешение сканирования, dpi;

A – максимальный размер картинки на экране, пикселей;

B – максимальный размер оригинала, см;

2,54 – множитель перевода в dpi.

При сканировании стандартной 35 мм пленки на 3200 dpi:

$$A = \frac{3200 \cdot 35}{2,54} = 44094 \text{ пикселей (по горизонтали).}$$

То есть размер пикселя равен

$$p = \frac{35 \cdot 10^3}{44094} = 0,8 \text{ мкм.}$$

Пиксела размером 0,8 мкм вполне достаточно для  $\frac{1}{ППР}$  равной 1,6 мкм. Этого вполне достаточно.

3) Оптическая плотность – диапазон цветовых тонов от светлого до темного, которые способен захватить сканер. Измеряется в пределах от 0·D до 4·D. 0·D соответствует абсолютно белому изображению, 4·D – абсолютно черному. Цветные сканеры имеют оптическую плотность менее 2,5·D. Сканер с 2,5·D не может различать участки изображения, имеющие оптическую плотность выше этого значения. Он не воспримет все детали как в светлых, так и в темных участках изображения. Поэтому необходим сканер с оптической плотностью не менее 3,2·D (барабанные сканеры имеют оптическую плотность 4·D). Подходящие сканеры представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Слайд – сканеры, подходящие для сканирования рентгеновских пленок

	Диапазон оптической плотности	Разрешение, dpi	Битность (кол-во градаций серого)	Цена, руб
			16	
Konica Minolta Dimage Scan Dual 4	4,8·D	3200	16	32 798
Nikon Coolscan V50 (LS-50ED)	4,2·D	4000	16	70 023
Plustek OpticFilm 7200	3,3·D	Заявлено 7200 (реальное < 3500)	16	-
Canon FS4000 US	3,5·D	4000	16	24 000
Nikon Super CoolScan 8000 ED	-	4000	16	33 600
Nikon Super Cool 9000	4,1·D	3200	16	300 000
Phoenix Film Scanning	4,7·D	3200	16	-

Таким образом, даже недорогие слайд-сканеры позволяют приемлемо оцифровывать рентгеновскую пленку.

Далее оценим возможность применения для контроля сварных соединений блиска УЗК с ФР.

Материал блиска – титан, обладает хорошей прозвучиваемостью как в литом, так и в деформируемом состоянии. Поэтому ультразвуковой контроль сварных швов титановых сплавов с этой точки зрения не вызывает затруднений, а образующаяся в процессе сварки мелкозернистая структура благоприятно влияет на прохождение ультразвуковых волн.

Разрешение получаемых графических изображений ограничено как длиной волны используемых УЗК колебаний, так и шириной диаграммы направленности и возможностями фокусировки УЗ-луча. Ультразвуковые преобразователи с фазированной решеткой позволяют обеспечить фокусировку УЗ-сигнала во всех точках контролируемого объема, существенно повышая разрешающую способность по сравнению с традиционными нефокусированными преобразователями и, соответственно, улучшая качество получаемых изображений.

Минимальный размер дефекта, надежно обнаруживаемого ультразвуковым

способом, зависит от множества факторов, включая уровень шума, частоту преобразователя, качество поверхности ввода. Рекомендованная длина волны [2]:

$$\lambda \leq 4 \cdot D,$$

где D – минимально выявляемый дефект, мкм

При большей длине волны, она не будет отражаться от дефекта. В этом случае дефект не будет обнаружен.

Ультразвуковые дефектоскопы известных фирм, основанные на технологии фазированных решеток представлены в таблице 11.

Таблица 11 -Ультразвуковые дефектоскопы с технологией фазированных решеток

	Диапазон рабочих частот дефектоскопа, МГц	Частоты датчиков, МГц
Olimpus Omni Scan MX2	0,75...18	1,5; 2,5; 3,5; 5; 7,5; 10
Isonic 2010	0,2...25	
PhasorXS	0,3...15	1; 2; 2,5; 4; 5; 10; 15
Harfang X32	1..15	2,25; 5,0; 7,5
Harfang Veo	0,5...18	
Epoch 1000	0,2...26,5	2; 2,5; 4; 5; 10

Максимальной представленной частоте преобразователя 15 МГц соответствует длина волны ультразвукового излучения в титане (скорость звука принята за 3127 м/с), равная 208 мкм. Минимальный выявляемый дефект при этом равен 52 мкм. Для контроля более мелких дефектов необходимо изготовление на заказ преобразователя с более высокой частотой.

Необходимо отметить, что существуют также высокочастотные одноэлементные датчики с частотой 20...225 МГц. Теоретически они позволят выявлять дефекты до 14 мкм. Однако в связи со сложной геометрией сварного соединения, традиционный контроль реализовать сложно, необходим именно УЗК с ФР.

Выводы:

Применение УЗК с ФР в качестве основного метода контроля сварных швов блиска нерационально, так как размеры выявляемых дефектов слишком велики (более 52 мкм). Однако не исключено использование УЗК с ФР в качестве дополнительного метода контроля, либо для контроля несварных участков. Компьютерная томография с применением ультрамелкозернистых пленок позволяет выявить дефекты необходимых размеров (до 1,6 мкм) и может быть применена в качестве основного метода контроля.

Работа выполнена в рамках работ по выполнению постановления правительства РФ №218 от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Список использованной литературы

1. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И. Универсальные компьютерные томографы для отработки технологии и сертификации ответственных промышленных изделий // Двигатель. 2011. №4. С. 19-23.
2. Olympus. Introduction to phased array ultrasonic technology applications, R/D Tech, 2007



## ОБ АВТОРАХ

**Савичев Максим Павлович**, аспирант каф. “Оборудования и технологии сварочного производства” УГАТУ, дипл. инж. по специальности “Оборудование и технологии сварочного производства” (УГАТУ, 2010). Исследования в области неразрушающего контроля “БЛИСКА”

e-mail: savichevmax@mail.ru



**Бычков Владимир Михайлович**, доцент каф. Оборудования и технологии свар. пр-ва УГАТУ, зам. зав. каф. УГАТУ, к-т техн. наук по направлению « Моделир процессов сварки» (, УГАТУ) 1980. Физические и технологические аспекты дуговой сварки и линейной сварки трением.

УДК 621.313

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Матвеев Е. Л., Слепец И. А., Султангалеев Р. Н., Пашали Д. Ю.

Обзор современных конструкций вентильных двигателей постоянного тока (далее ВДПТ), проведенный в [1,2] показал, что они являются хорошей альтернативой коллекторным машинам постоянного тока и специальным асинхронным двигателям в современных системах перспективных транспортных средств и с успехом заменяют их во многих приложениях. Это обосновано большой перегрузочной способностью по моменту, высокой надежностью и быстродействием, а также абсолютно жесткой механической характеристикой, практически неограниченным диапазоном регулирования частоты вращения, наилучшими энергетическими и массогабаритными показателями.

Одной из основных перспективных тенденций в развитии современных вентильных двигателей является стремление производителя к интеграции в единый корпус с двигателем управляющей электроники. Поэтому актуальной задачей является разработка автоматизированного стенда для испытаний вентильных двигателей постоянного тока (АСИВДПТ), который, благодаря идеальному подбору различных компонентов привода и интерфейсов компонент приводной системы, позволяет исследовать процессы в ВДПТ, максимально приближаясь к интегрированному исполнению ВДПТ.

АСИВДПТ предназначен для измерения параметров ВДПТ, исследования принципа действия двигателя и его системы управления, а также статических и динамических характеристик. АСИВДПТ является гибким, в конструктивном и программном отношении, объектно-компонентным решением, ориентированным на заданный тип электромеханического агрегата. Имеет минимальные массогабаритные показатели, удовлетворяющие современным требованиям.

АСИВДПТ позволяет решать следующие задачи:

- измерение параметров ВДПТ (тока инвертора, частоты вращения вала двигателя, вращающего момента), а также определение электромеханической постоянной времени, механической и электрической потребляемой мощности, КПД двигателя;
- расчет и графическое отображение в реальном времени на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ, англ. *GLCD*) статических и динамических характеристик при различных режимах работы ВДПТ (пуск, торможение, холостой ход, номинальный режим, реверс);

- осциллографирование фазных токов и напряжений ВДПТ, а также сигналов датчика положения ротора;
- автоматизация работы стенда, повышение точности и быстродействия измерений за счет использования микропроцессорного управления основными блоками стенда;
- расширение диапазона мощностей исследуемых ВДПТ (от 110 Вт до 1500 Вт).

Область применения АСИВДПТ: испытания при внедрении перспективного электропривода на базе ВДПТ; проведение лабораторных работ «Исследование характеристик вентильных двигателей» по дисциплинам «Автоматизированный электропривод» и «Электрические машины» – специальности 140601 – «Электромеханика», направления 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

К стенду разработано руководство пользователя и методическое обеспечение.

АСИВДПТ состоит из приборного блока (ПБ) и электромеханического агрегата, соединенных между собой кабелем. С помощью силового кабеля ПБ подключается к сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Приборный блок АСИВДПТ состоит из:

- блока питания (БП);
- переключательной и пускорегулирующей аппаратуры;
- драйвера ВДПТ *MDC151-050601*;
- электроизмерительных приборов и датчиков;
- электронного блока – платы микроконтроллера (МК) и графического ЖКИ;
- силовых разъемов.

Электромеханический агрегат состоит из объединенных в одной конструкции ВДПТ *BLZ364S-48V-3500* с номинальной мощностью 1 кВт, работающего совместно с блоком управления ВДПТ *MDC151-050601*, и нагрузочного устройства – синхронного двигателя (СД) на постоянных магнитах *EMJ-10APA22*, который работает в режиме динамического торможения. Валы двигателей жестко соединены. Датчик частоты вращения ДС, изображенный на структурной схеме, реализован как результат совместной работы датчика положения ротора (ДПР) и блока управления ВДПТ.

На левой боковой стороне приборного блока размещены разъем для подключения сетевого кабеля, сетевые выключатели (автомат и устройство защитного отключения (УЗО)), разъемы для подключения кабелей ВДПТ и СД.

ВДПТ выполнен со степенью защиты *IP54* с естественным охлаждением. Статор имеет трехфазную обмотку, соединенную в звезду. Ротор ВДПТ выполнен на основе постоянных магнитов – *Nd-Fe-B*, и имеет восемь полюсов. ВДПТ имеет встроенный ДПР. В составе ДПР, необходимого для коммутации ВДПТ, используются датчики Холла, расположенные друг относительно друга под углом 120 эл.гр.

Структурная схема АСИВДПТ показана на рисунке 1.

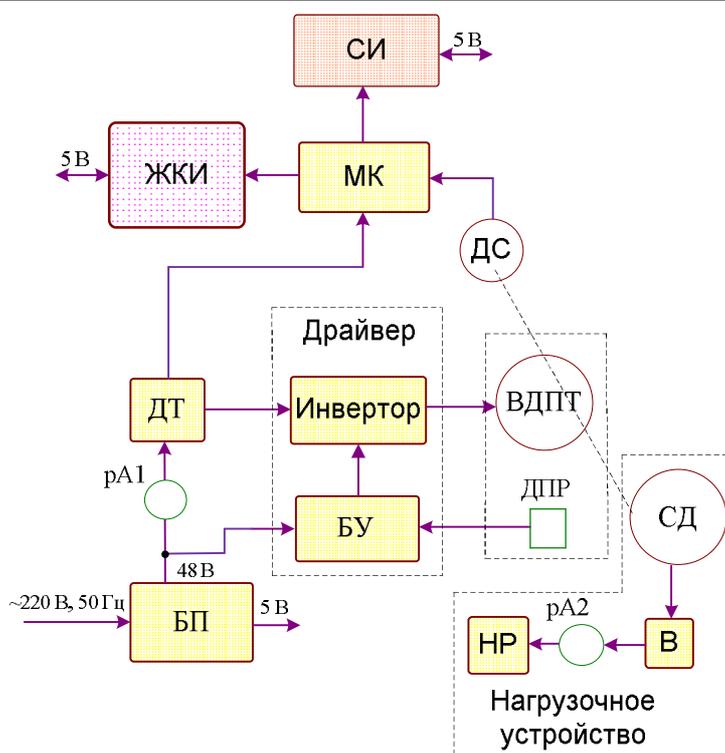


Рис. 1. Структурная схема АСИВДПТ:

ВДПТ – исследуемый вентильный двигатель постоянного тока; ДПР – датчик положения ротора ВДПТ; СД – синхронный двигатель; БП – блок питания; БУ – блок управления; ДТ – датчик тока;

ДС – датчик частоты вращения; МК – плата микроконтроллера; ЖКИ – жидкокристаллический индикатор; СИ – светодиодный индикатор; НР – нагрузочный реостат; В – трехфазный выпрямитель Ларионова;  $P_{A1}$  – амперметр, измеряющий ток инвертора;  $P_{A2}$  – амперметр, измеряющий ток нагрузки.

Блок питания *PSP-1500-48* фирмы *Mean Well* обеспечивает стабилизированное постоянное напряжение 48 В и развивает максимальную мощность 1,5 кВт [3].

Драйвер ВДПТ *MDC151-050601* фирмы *Anaheim Automation* обладает основными функциями, которые необходимы для работы приборного блока:

- доступ к контуру скорости;
- наличие регулируемого замкнутого контура тока (драйвер снабжен поцикловым ограничением тока);
- возможность регулирования частоты вращения вала ВДПТ;
- контроль частоты вращения;
- осуществление реверса и динамического торможения ВДПТ;
- опциональное изменение времени разгона ВДПТ.

Плата микроконтроллера (электронный блок) необходима для управления ЖКИ фирмы *Winstar wg320240b* [4], а также четырехразрядным семисегментным светодиодным индикатором. Для микроконтроллера авторами разработано специальное программное обеспечение, алгоритм которого позволяет вычислять вращающий момент

$$M = I_d \cdot k_M,$$

где  $I_d$  – ток инвертора, А;

$k_M$  – постоянная момента ВДПТ, Н×м/А.

Информация о токе инвертора поступает в МК с датчика тока.

Для определения частоты вращения вала двигателя используется специальный выход «контроль скорости» драйвера ВДПТ, который обеспечивает пульсирующий сигнал напряжением 5 В. МК вычисляет частоту вращения для восьмиполюсного двигателя

$$n = 15 \cdot f_{out},$$

где  $f_{out}$  – частота пульсирующего сигнала, Гц.

Частота вращения двигателя в об/мин отображается на экране четырехразрядного семисегментного светодиодного индикатора, который расположен в правом верхнем углу лицевой панели.

Лицевая панель приборного блока АСИВДПТ содержит амперметр  $PA1$ ; ЖКИ; функциональную схему инвертора; светодиодный индикатор; амперметр  $PA2$ ; кнопку «СБРОС»; функциональную схему управляющей части инвертора; нагрузочное устройство.

На лицевой панели приборного блока приведена функциональная схема инвертора, блока управления, ПИ-регулятора и нагрузочного устройства. Изображенные на функциональной схеме инвертор, блок управления и ПИ-регулятор входят в состав установленного в стенде драйвера *MDC151-050601*.

Драйвер ВДПТ содержит инвертор на транзисторах  $VT1...VT6$  с обратными диодами  $VD1...VD6$ , функциональная схема которого изображена на рисунке 2. К выходу инвертора подключен ВДПТ. Для подачи напряжения питания  $U_d$  на инвертор служит автоматический выключатель  $QF$ , при этом ток инвертора  $I_d$  контролируется стрелочным измерительным прибором  $PA1$ . Конденсатор  $C$  представляет собой сглаживающий фильтр.

В стенде предусмотрена возможность подключения к клеммам  $U_{BC}$  и  $I_{\phi A}$  осциллографа, на который выводятся кривые фазного напряжения и тока ВДПТ.

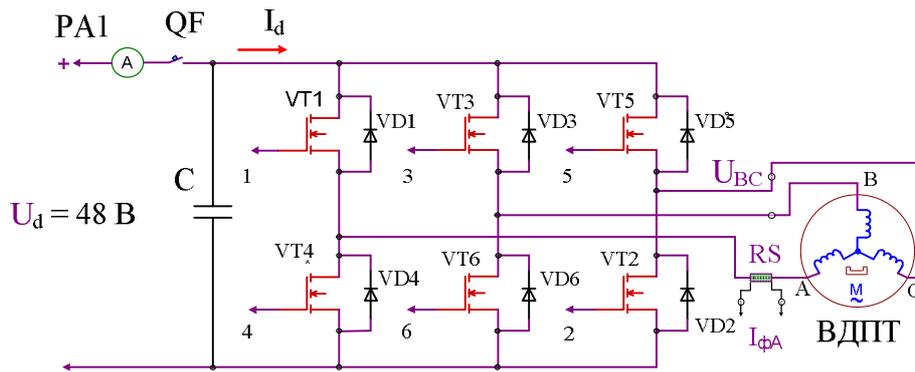


Рис. 2. Функциональная схема инвертора:

$QF$  – автоматический выключатель;  
 $VT1 - VT6$  – мощные полевые транзисторы;  
 $VD1 - VD6$  – обратные диоды;  $RS$  – шунт

На рисунке 3 изображена функциональная схема ПИ-регулятора с блоком управления.

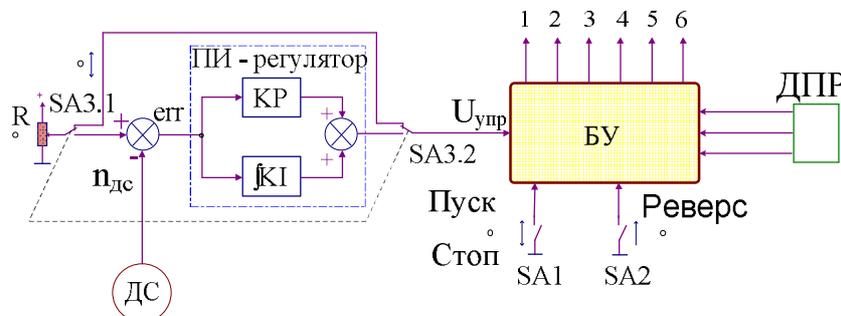


Рис. 3. Функциональная схема управляющей части инвертора

Функциональная схема управляющей части инвертора содержит регулятор скорости и коммутатор. В состав регулятора скорости входят датчик частоты вращения ДС,

формирующий сигнал обратной связи по скорости  $n_{ДС}$ , задатчик  $R$  для установки сигнала задания по скорости  $n_3$ , сравнивающее устройство, формирующее сигнал ошибки  $err = n_3 - n_{ДС}$ , и ПИ-регулятор, содержащий пропорциональное и интегрирующее звенья, и служащий для обеспечения необходимых динамических параметров регулируемого привода на ВДПТ. Коммутатор входит в состав блока управления и формирует ШИМ-импульсы 1...6 частотой 15 кГц, закон модуляции которых является функцией сигнала  $U_{упр}$ , поступающего с выхода ПИ-регулятора, и сигналов, поступающих с ДПР. На вход блока управления поступает сигнал от выключателя  $SA1$ , с помощью которого осуществляется пуск и останов ВДПТ. С помощью выключателя  $SA2$  осуществляется реверс ВДПТ. Выключатель  $SA3$  осуществляет включение ПИ-регулятора в контур управления частотой вращения ВДПТ.

В левом нижнем углу лицевой панели размещена кнопка  $SB$  «СБРОС», предназначенная для установки электронных схем стенда в исходное состояние.

Графики динамических процессов отображаются на графическом ЖКИ. На рисунке 4 изображена осциллограмма пуска ВДПТ при ступенчатом возмущающем воздействии с разомкнутым контуром скорости (ПИ – регулятор выключен), а на рисунке 5 осциллограмма пуска ВДПТ при ступенчатом возмущающем воздействии с замкнутым контуром скорости (ПИ – регулятор включен).

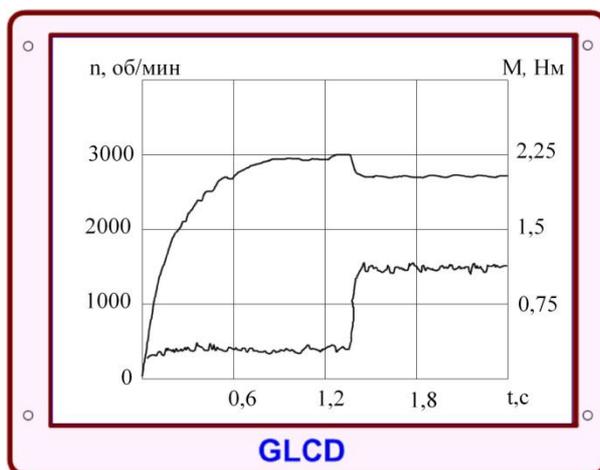


Рис. 4. Пуск ВДПТ при ступенчатом возмущающем воздействии с разомкнутым контуром скорости

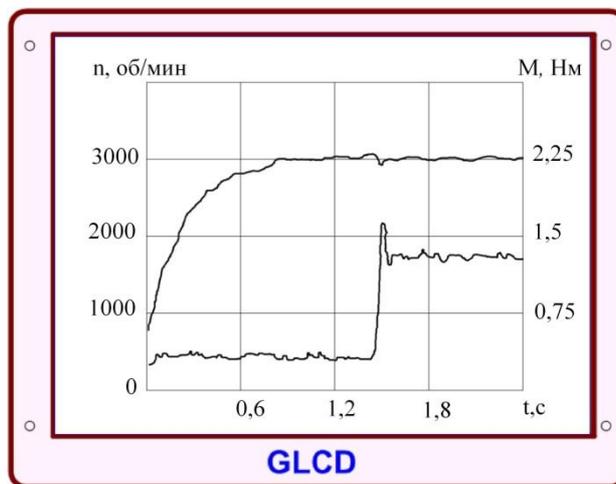


Рис. 5. Пуск ВДПТ при ступенчатом возмущающем воздействии с замкнутым контуром скорости

По рисункам можно проследить работу ПИ-регулятора. На рисунке 6 показано, что с

изменением нагрузки частота вращения вала двигателя остается постоянной.

Технические характеристики АСИВДПТ:

- напряжение питания стенда однофазное, ~220 В, 50 Гц; потребляемая мощность от сети, не более 1000 Вт,
- габаритные размеры: приборного блока 90х30х60 см; электромеханического агрегата 45×10×13 см;
- масса: приборного блока, не более 40 кг; электромеханического агрегата, не более 10 кг.

### ВЫВОДЫ

Разработанный автоматизированный стенд для испытаний вентильных двигателей постоянного тока позволяет автоматизировать процесс исследования статических и динамических характеристик вентильных двигателей постоянного тока при различных режимах работы, при этом перспективной задачей является возможность создания на базе разработанного стенда виртуальной лаборатории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентильные двигатели / Сайт «Anaheim Automation», <http://www.anaheimautomation.com>, (дата обращения 15.11.2010).
2. Основные технические особенности вентильных двигатели / Сайт «Мирпром», <http://www.mirprom.ru>, (дата обращения 20.11.2010).
3. AC/DC преобразователь: PSP-1500-15 – описание, документация / Сайт «Компэл», <http://catalog.compel.ru>, (дата обращения 10.11.2010).
4. ЖКИ модуль WG320240B-TFB-TZ (WINSTAR) / Сайт «Компэл», <http://catalog.compel.ru>, (дата обращения 10.11.2010).
5. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) – Спб.: КОРОНА-Век, 2007.
6. Терехов В. М. Системы управления электроприводов – М.: Издательский центр «Академия», 2005.

### ОБ АВТОРАХ



**Слепец Иван Александрович**, Дипл. инж. электромеханики (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. электромеханических преобразователей энергии.



**Пашали Диана Юрьевна**, доцент каф. электромеханики. Дипл. инж. по приборостроению (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по электромех. и электрич. аппаратам (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. надежности электромех. систем.



**Матвеев Евгений Леонидович**, Дипл. инж. электромеханики (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. электромеханических преобразователей энергии.

**Султангалеев Рафиль Наилевич**, доцент каф. электромеханики. Кандидат технических наук.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС

Рихтер М. Р.

### 1 Актуальность темы исследования

Перед производителями компьютерных комплектующих стоят задачи увеличения производительности компьютеров и уменьшения их размеров (мобильные устройства). В связи с этим встает проблема увеличения плотности размещения элементов на кристалле, оптимизация соединений между ними, что определяет актуальность выбранной тематики данной статьи. Проблемой размещения элементов на кристалле, также как и проблемой соединения между собой этих элементов, занимается такое направление в компьютерной науке, как *проектирование СБИС (VLSI Design)*. Этапы проектирования СБИС [1]: 1) разбиение функциональной схемы на элементы; 2) планирование размещения элементов на кристалле; 3) физическое соединение элементов на кристалле (трассировка). В данной работе рассматриваются второй и третий этапы проектирования.

### 2 Методы решения задач при проектировании СБИС

В [2] задачу глобальной трассировки решают с помощью деревьев Штейнера. Недостатки метода: 1. Задача равномерного распределения проводников решается на этапе перетрассировки, в то время как ее необходимо начинать решать уже с этапа построения деревьев.

2. Разбиение многотерминальной цепи на множество двухтерминальных цепей на этапе перетрассировки остается неизменным. Оптимизация переполнения глобального графа достигается за счет изменения конфигурации проводников между парами жестко зафиксированных точек. Практика показывает, что это нецелесообразно. Дерево должно динамически перестраиваться в процессе перетрассировки, разбиение цепи на пары точек должно меняться, а не оставаться фиксированным.

3. Метод требует значительных временных затрат.

В [3] задачу глобальной трассировки решают с помощью комбинаторного подхода. Используется графовая модель. Недостаток: для каждого ребра формируется набор вариантов маршрутов, т.е. осуществляется перебор. В [4] решают задачи размещения и трассировки с помощью метода множителей Лагранжа. Недостаток: метод требует значительных временных затрат. В [1] решают задачи планирования и трассировки с помощью алгоритма «имитация отжига». Недостаток: медленная работа алгоритма в случае большой размерности целевой функции. В [6] рассматривается размещение объектов со структурой связей в виде цепи на древовидной сети с помощью полиномиального алгоритма решения квадратичной задачи о назначениях на сетях.

### 3 Постановка задачи проектирования СБИС

В Японии [1] задачу проектирования СБИС разбили на две подзадачи: планирование размещения элементов на кристалле и трассировка (физическое соединение) элементов на кристалле. В данной работе рассматривается такой подход.

#### 3.1 Постановка задачи планирования

Задача планирования в данной работе сформулирована в виде квадратичной задачи о назначениях. Эта задача *NP*-трудная в общей постановке.

Дано:  $K = \{1, \dots, n\}$  – множество комнат плана на кристалле;  $M = \{1, \dots, n\}$  – множество прямоугольников (модулей).

Найти размещение прямоугольников по комнатам плана на кристалле, при котором площадь кристалла была бы минимальной. При этом должны быть выполнены следующие

ограничения:

1. Ребра всех прямоугольников (модулей) параллельны осям координат;
2. Каждый прямоугольник (модуль) не пересекается с любым другим прямоугольником;
3. Каждый прямоугольник (модуль) не пересекается с осями координат.

### 3.2 Постановка задачи трассировки

Дан кристалл с размещенными на нем прямоугольниками (модулями); структурная схема, на которой заданы взаимное расположение модулей и соединения между ними. Требуется соединить модули на кристалле таким образом, чтобы площадь кристалла была минимальной. При этом должны быть выполнены следующие ограничения:

1. Соединения не должны пересекаться и накладываться друг на друга;
2. Длина соединительных проводников должна быть минимальной;
3. Простота конфигурации соединений;
4. Проводник, привязанный к модулю, может идти вдоль границы этого модуля, но не может оборачиваться вокруг угла;
5. Допустимое расстояние между проводниками: 3-4 мкм;
6. Минимально допустимая длина проводника 4 мкм.

### 3.3 Математическая модель задачи планирования

Задача планирования известна как задача упаковки в открытую область. Исходную информацию о задаче можно представить следующим набором данных:

$\langle n; w; h; r \rangle$ , где

$n$  – общее количество прямоугольников (модулей);

$w = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_n)$ , где  $w_i$  – ширина  $i$ -го прямоугольника (откладывается на оси  $OX$ );

$h = (h_1, \dots, h_i, \dots, h_n)$ , где  $h_i$  – высота  $i$ -го прямоугольника (откладывается на оси  $OY$ );

$r$  – признак направления прямоугольников (модулей):

$$r = \begin{cases} 1, & \text{если прямоугольники можно поворачивать на } 90^\circ \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Решение задачи можно представить в виде следующего набора данных:

$S = \langle X; Y; T \rangle$ , где

$X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  – координата  $i$ -го прямоугольника по оси  $OX$ ,

$Y = (y_1, \dots, y_i, \dots, y_n)$ , где  $y_i$  – координата  $i$ -го прямоугольника по оси  $OY$ ,

$T = (t_1, \dots, t_i, \dots, t_n)$ , где  $t_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й прямоугольник повернут на } 90^\circ \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$

$i = \overline{1, n}$

Если  $r = 0$ , то  $T = \emptyset$

### 3.4 Математическая постановка задачи планирования

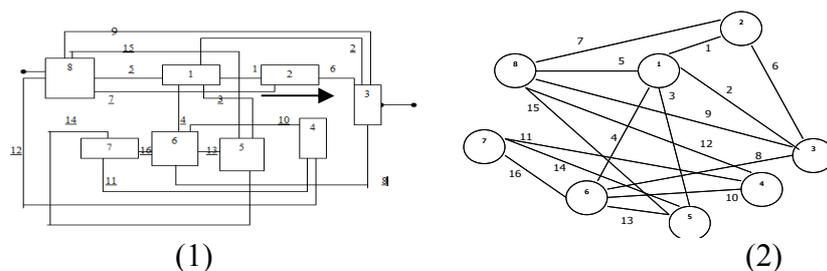
Дано: задача упаковки  $\langle n; w; h; r \rangle$ .

Найти: допустимую прямоугольную упаковку в угол  $S = \langle X; Y; T \rangle$ , для которой площадь ограничивающей упаковку прямоугольника

$$A = \max_{i=1, n} (x_i + w_i) \times \max_{i=1, n} (y_i + h_i) \text{ достигает минимума.}$$

### 3.5 Математическая модель задачи трассировки

Структурную схему интерпретируем плоским неориентированным графом  $G = (V, E)$ , где  $V$  – число вершин графа,  $E$  – число ребер. Вершинами в графе  $G$  являются модули, ребрами – соединения между модулями (рис. 1).



**Рис. 1.** Интерпретация структурной схемы плоским неориентированным графом

При этом граф  $G(V,E)$  - это граф связей, отображающий структуру трасс между модулями, а  $K=\{1, \dots, n\}$  - комнаты плана на кристалле, которые являются предполагаемыми позициями для размещения модулей.

Задача планирования (упаковки в открытую область) в данной статье была решена с помощью метода локального спуска (Local Search, *LS*) [1]. Задача трассировки - с помощью алгоритма проверки планарности графа на базе процедур генетического алгоритма (*PGA*) [5].

#### 4 Метод локального спуска (Local Search, *LS*) [1].

1. Получить начальное допустимое решение  $\bar{S} \in FS$ , где  $\bar{S}$  - начальное допустимое решение.
2. Найти  $S'$  такое, что  $S' \in N(\bar{S})$  и  $z(S') = \min\{z(S) : \forall S \in N(\bar{S})\}$ , где  $S'$  - лучшее решение,  $N(\bar{S})$  - окрестность решения,  $z(S')$  - функция стоимости (площадь ограничивающего упаковку прямоугольника).
3. Если  $z(S') < z(\bar{S})$ , то  $\bar{S} = S'$ , перейти на шаг 2.
4. Окончательное решение равно  $\bar{S}$ .

#### 5 Общая схема алгоритма *PGA*

Вход: план  $P$  с размещёнными по «комнатам» модулями (прямоугольниками), полученный на базе метода локального спуска [1];

структурная схема соединений модулей в виде графа, заданного списком смежности.

Выход: план  $P'$ , удовлетворяющий ограничениям (1-9) с соединёнными проводниками модулями в соответствии со структурной схемой.

*Шаг 1.* Соединение модулей плана проводниками в соответствии со структурной схемой.

*Шаг 2.* Построение графа  $G = (V,E)$ , соответствующего схеме, в котором вершины  $V$  - это модули, а ребра  $E$  - проводники, соединяющие модули.

*Шаг 3.* Если имеются пересечения проводников, то применяем алгоритм проверки планарности графа на базе процедур генетического алгоритма [5], который строит базис циклов  $B_p$ .

Если граф  $G$  - планарный, то формируем приоритетный список ребер (соединений) по базису циклов, соответствующему плоской укладке графа и переходим к *шагу 4*.

Если граф  $G$  - непланарный, то формируем приоритетный список ребер (соединений) по базису циклов, соответствующему укладке максимальной планарной части графа и переходим к *шагу 4*.

*Шаг 4.* Выполняем процедуру «декодер», осуществляющую размещение модулей по полученному приоритетному списку и их соединение с учётом условий 4-9.

*Шаг 5.* Конец алгоритма трассировки.

Процедура «декодер» позволяет получить размещение модулей на кристалле с учетом технологических ограничений для выполнения последующего соединения модулей (трассировки).

Данный алгоритм был реализован на языке Си. Рассмотрим пример (рис.2 – рис.4).

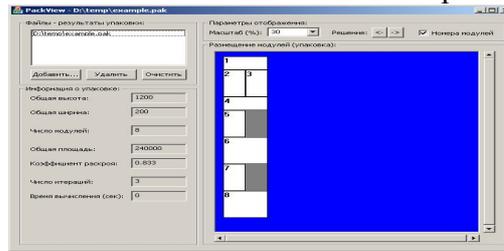


Рис. 2. План  $P$ , полученный на базе метода локального спуска, реализованного в [1]

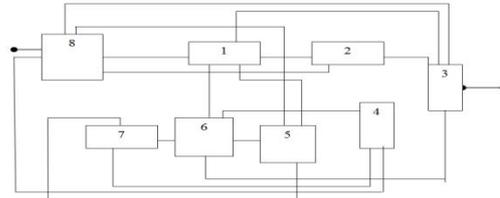


Рис. 3. Структурная схема

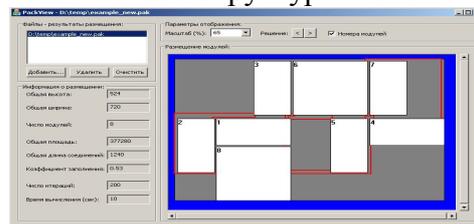


Рис. 4. План  $P'$ , удовлетворяющий ограничениям 4-6 с соединенными проводниками модулями в соответствии со структурной схемой (рис.3)

### Выводы

В статье адаптирован алгоритм проверки планарности графа на базе процедур генетического алгоритма к задаче трассировки; разработан декодер, осуществляющий размещение модулей по комнатам плана и их соединение с учетом технологических ограничений; разработано программное обеспечение, реализующее метод локального спуска, алгоритм проверки планарности графа на базе процедур генетического алгоритма и алгоритм декодера.

Разработанный алгоритм позволяет, в отличие от известных подходов, легко восстановить расположение модулей на кристалле таким образом, чтобы проводники, соединяющие модули, не пересекались, с учетом конструкторско-технологических ограничений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhuang, C., Sakanushi, K., Jin, L., Kajitani, Y. An Enhanced Q-Sequence Augmented with Empty-Room-Insertion and Parenthesis Trees / C. Zhuang, K. Sakanushi, L. Jin, Y. Kajitani // The manual. Proceedings of Design Automation. - 2002. - P. 61–68.
2. Burstein, M. Channel routing, Layout Design and Verification / M. Burstein // Elsevier Science. - 1986. – P. 133-167.
3. Лебедев, О.Б. Генетический алгоритм глобальной трассировки / О.Б. Лебедев. – М.: Наука, 2005. – С.140
4. Koranne, S. Practical Computing on the Cell Broadband Engine / S. Koranne // Springer Science. Technics. - 2009. - P. 434.
5. Емельянов, В.В., Курейчик, В.М., Курейчик, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования: учеб. пособие / В.В. Емельянов, В.М. Курейчик, В.В. Курейчик. - М: Физматлит, 2003. – С. 432.
6. Лагздин, А.Ю. Построение и анализ алгоритмов решения квадратичной задачи о назначениях на сетях: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук, Омск, 2012.

## ОБ АВТОРАХ

Фото

Рихтер Маргарита Робертовна, аспирант каф. вычислительной математики и кибернетики УГАТУ, магистр техники и технологий (УГАТУ, 2008). Исследования в области проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС)

e-mail: MargoRihter2009@mail.ru

УДК 621.313; 530.1

## СИСТЕМА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ В РАСЧЁТАХ ХАРАКТЕРИСТИК ЁМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Алетдинов Р. Ф.

### Введение

Для индуктивных машин система о.е. описана в [2]. В работе расширяется система о.е. применительно к ёмкостным машинам и описываются лишь те единицы, которые необходимы для расчётов характеристик ёмкостных электрических машин.

При анализе различных режимов работы электрических машин, особенно при теоретических исследованиях переходных процессов, пользуются относительными единицами (о.е.). Если в системе физических единиц величины выражаются в именованных единицах (ампер (А), вольт (В), ом (Ом), ватт (Вт), вебер (Вб), фарад (Ф) и т. д.), облегчающих раскрытие физического смысла полученных при расчете результатов, то в системе о.е. величины безразмерны и выражаются в долях базисных единиц.

Относительные значения получаются путем выбора системы базисных величин, и представления физических единиц в долях базисных. В качестве базисных величин могут быть выбраны любые системы, наиболее полно удовлетворяющие поставленным задачам.

Наиболее употребительная система базисных величин:

- Базисные единицы напряжения и тока определяются как амплитуды фазных номинальных величин;
- Базисная единица мощности определяется как номинальная полная мощность всех фаз статора;
- Базисная частота - номинальная частота сети;
- Базисная величина угловой частоты равна угловой частоте вращения магнитного поля;
- Базисная величина времени равна времени, в течение которого ротор, вращающийся с синхронной скоростью, повернется на угол, равный электрическому радиану;
- Базисная величина электромагнитного момента - момент, соответствующий базисной мощности при базисной скорости вращения ротора;
- Базисное сопротивление определяется как отношение базисного напряжения и базисного тока;
- Базисное сопротивление служит для расчета относительных активных и индуктивных сопротивлений.
- Базисная величина потокосцепления определяется как отношение базисного напряжения к базисной частоте магнитного поля.

**Анализ базисных величин**

В качестве базисных величин для ёмкостной электрической машины в системе о.е. выбираются номинальные значения фазных величин.

1. За базисную единицу проводимости принимается сименс, как отношение базисного тока на базисное напряжение:

$$G = I_6 / U_6 = I_{\text{ном}} / U_{\text{ном}}$$

Базисная проводимость используется при определении относительных величин как частичных (проводимость отдельных участков), так и полных проводимостей.

2. За базисную единицу ёмкости принимается фарад, как отношение базисной проводимости на базисную частоту углового вращения:

$$C_6 = G_6 / \omega_6$$

3. За базисную единицу заряда принимается базисный ток, протекающий в электродах ёмкостной системы статора, при базисной угловой частоте, а также заряд прямо пропорционален базисной ёмкости и базисному напряжению:

$$q_6 = I_6 / \omega_6 = C_6 U_6$$

Базисный заряд выражается в ампер-секундах или кулон.

Выведенные формы о.е. проверим методом анализа размерностей. Для этого воспользуемся уравнениями ЛТМ-физики в системе размерностей СГС и СИ [1], а также приводятся некоторые примеры в ЛТ-размерности [3,4].

1. Базисная единица проводимости в СГС будет иметь размерность:

$$\dim[G_6] = \frac{[I_6]}{[U_6]} = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}}{L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}} = LT^{-1}$$

$LT^{-1}$  – обратная величина сопротивления, имеющая размерность  $L^{-1}T$ . Таким образом, базисная величина проводимости в СГС верна.

В системе СИ размерность проводимости имеет следующий вид:

$$\dim[G_6] = L^2 M^{-1} T^3 I^2$$

Проводимость в системе СИ обратно пропорциональна сопротивлению в системе СИ и выглядит следующим образом:

$$\dim[R_6] = L^2 M T^{-3} I^{-2}$$

Теперь определим размерности единиц, формулы которых содержат постоянные величины.

2. Базисная единица ёмкости в СГС:

$$\dim[C_6] = \frac{[G_6]}{[\omega_6]} = \frac{LT^{-1}}{T^{-1}} = L$$

$L$  – размерность, характеризующая как ёмкость, так и индуктивность. соответственно, базисная величина ёмкости в СГС верна.

В системе СИ размерность ёмкости имеет следующий вид:

$$\dim[C_6] = L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$$

Индуктивность в системе СИ имеет размерность:

$$\dim[L_6] = L^2 M T^{-2} I^{-2}$$

Как видим, размерности  $\dim[C_6]$  и  $\dim[L_6]$  отличны друг от друга. Преобразованные размерности постоянных сред для диэлектрической и магнитной сред в ЛТ-размерности (при условии, что  $\dim[q]=L^3 T^{-1}$ ) [3,4] будут:

$$\dim[\varepsilon_0] = T^2, \quad \dim[\mu_0] = L^2.$$

Таким образом, можем видеть, что при участии длины (пространственной протяженности) токовое взаимодействие становится электромагнитным или сильным (амперовским). При участии времени токовое взаимодействие становится электростатическим (кулоновским) [3,4].

3. Базисная единица заряда в СГС:

$$\dim[q_6] = \frac{[I_6]}{[\omega_6]} = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}}{T^{-1}} = L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$$

$L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$  – является размерностью потокосцепления. Таким образом, единица базисного заряда в СГС верна.

Размерность заряда в системе СИ выглядит следующим образом:

$$\dim[q_6] = TI$$

В дуально-инверсной электродинамике аналогом заряда выступает потокосцепление. Размерность потокосцепления в системе СИ следующая:

$$\dim[\psi_6] = L^2 MT^{-2} I^{-1}$$

Несмотря на громоздкость размерности потокосцепления, можем видеть, что для размерностей заряда и потокосцепления характерен тот же принцип, что и для постоянных сред: диэлектрической и магнитной. Таким образом, индуктивные цепи характеризуются пространственной протяженностью, а ёмкостные – временной протяженностью. Первое всегда замкнуто; второе имеет истоки и стоки, т.е. силовые линии имеют начало и конец и прерываются на проводящих поверхностях.

Из приведённых выше размерностей в двух разных системах, очевидно, что, несмотря на некоторую несогласованность размерностей в СГС, анализ размерностей проще проводить именно в системе единиц СГС. В системе СИ можем увидеть характеристики времени и пространства. Система ЛТ-размерностей позволяет увидеть специфические характеристики постоянных сред.

### Вывод

Изложенная система относительных единиц так же, как и для индуктивной машины, предназначена для упрощения операций с параметрами ёмкости статорной системы ёмкостной электрической машины и математического моделирования ёмкостных электромеханических преобразователей. Анализ размерностей, который был проведён, показывает согласованность полученных результатов с дуально-инверсным аналогом – индуктивной машины. При проектировании ёмкостных машин, следует обращать внимания на их временные характеристики, так как ёмкостные машины быстрее индуктивных. Геометрия при этом должна иметь минимальные величины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1977. – 336 с.: ил.
2. Сипайлов, Г.А. и др. Электрические машины (специальный курс): Учеб. для вузов по спец. «Электрические машины» / Г.А. Сипайлов, Е.В. Кононенко, К.А. Хорьков – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.: ил.
3. Чуев, А.С. Система размерностных взаимосвязей физических величин как «зеркало» природных закономерностей. Режим доступа: <http://chuev.narod.ru/Serkalo.htm>.

4. Чуев, А.С. Фундаментальные физические постоянные – взаимосвязь размерностей и единство числовых значений в системе размерностей – ЛТ. Режим доступа: <http://chuev.narod.ru/fundam.htm>.



#### ОБ АВТОРАХ

**Алетдинов Рустам Фларидович**, начальник электротехнической лаборатории ОАО «НЕФАЗ», дипл. инж. по электромеханике (УГАТУ, 2010). Исследования в области ёмкостных электромеханических преобразователей энергии.

e-mail: rustikose@yandex.ru

УДК 620.178.152.341.4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦА ИЗ ТИТАНА

Дударева Н. Ю; Цыганов В. В.

#### Введение

Титан и титановые сплавы сочетают легкость, прочность, высокую коррозионную стойкость, низкий коэффициент теплового расширения, возможность работы в широком диапазоне температур (от  $-290\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Основная часть титана расходуется на нужды авиационной, ракетной техники, а также морского судостроения [1, с 179]. Однако и современная медицина не обходится без титановых сплавов, которые широко используются в качестве имплантатов, в ортопедических конструкциях и др. Титан и его сплавы обладают высокой усталостной прочностью при знакопеременных нагрузках, что очень важно при изготовлении внутрикостных фиксаторов, наружных и внутренних протезов, которые постоянно подвергаются переменным нагрузкам.

Помимо этого, титан — пластичный металл; он хорошо поддается механической обработке: резанию, сверлению, фрезерованию, шлифованию. Изготавливать из него различные конструкции не труднее, чем из нержавеющей стали. Титан является немагнитным материалом с низкой электропроводностью, что особенно ценно, так как благодаря этому можно использовать физиотерапию для лечения больных, в организме которых находятся титановые конструкции. Все это делает титан весьма перспективным для широкого применения в медицине. Но самым важным результатом многолетних и тщательных исследований оказалось то, что титан является инертным металлом по отношению к биологической среде. Конструкции из титановых сплавов хорошо переносятся человеческим организмом, обрастают костной и мышечной тканью. Металл практически не корродирует в агрессивных средах человеческого тела, а структура тканей, окружающих титановые конструкции, не изменяется на протяжении длительного времени. Своей химической индифферентностью титан превосходит не только все нержавеющие стали, но и нашедший в последнее время широкое применение «виталлиум» — сплав на кобальтовой основе. Ценно, что технически чистый титан содержит гораздо меньше примесей, чем другие используемые в медицине сплавы [2]. Однако любой титановый сплав не является на 100 % чистым материалом, в сплаве всегда содержатся примеси, которые могут отрицательно сказаться на приживаемости имплантатов и специальных конструкций. Известно, что абсолютно инертны к примесям оксиды металлов. Кроме того, оксиды на поверхности могут повысить износостойкость

трущихся конструкций не только медицинского назначения, но и для использования в машиностроении.

На кафедре «Двигателей внутреннего сгорания» Уфимского государственного авиационного технического университета разработан метод модификации поверхностей под действием искрового разряда – искровое упрочнение [3]. Суть этого метода заключается в том, что под действием импульсного искрового разряда происходит проникновение атомов и ионов элемента газовой среды вглубь поверхности материала. В результате такого воздействия формируется модифицированный слой, состоящий из оксидов или нитридов материала подложки. Модифицированные искровым упрочнением поверхности у алюминиевого сплава состоят из кристаллического оксида алюминия и обладают микротвердостью более 24 ГПа, а их толщина достигает 300 мкм [4].

В данной работе была высказана гипотеза: в связи с тем, что составляющими воздушной среды являются азот и кислород, то на поверхности образцов из титановых сплавов могут быть сформированы поверхностные слои, состоящие из оксида или нитрида титана, и это должно способствовать повышению микротвердости и, соответственно, износостойкости такой поверхности.

Целью данной работы является исследование возможности повышения износостойкости поверхностей образцов из титановых сплавов методом искрового упрочнения.

#### Методика исследований

В данном эксперименте использовались:

- один образец из титана марки Grade 4 круглой формы диаметром 1,5 мм и толщиной 2 мм (рис. 1);
- установка искрового упрочнения.

Титановый сплав Grade 4 содержит кроме титана следующие примеси: азот – 0,05 %; углерод - 0,1 %; водород – 0,015 %; железо – 0,5 % и кислород – 0,5 % (по ISO 5832/II).

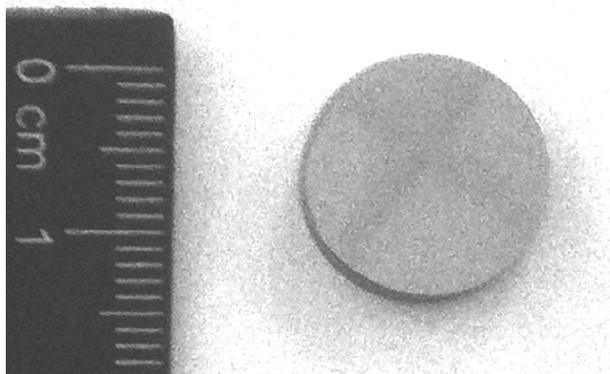


Рис. 1. Обрабатываемый образец

Наряду с установлением возможности повышения износостойкости титанового сплава Grade 4, проводилось также исследование влияния режимов процесса искрового упрочнения на износостойкость формируемых поверхностей. В связи с тем, что микротвердость является показателем напрямую связанным с износостойкостью поверхности, именно эта характеристика поверхности использовалась в работе для оценки степени повышения ее износостойкости [5, с.183]. Микротвердость поверхностного слоя замерялась на микротвердомере модели HVS-1000.

В работе проводился однофакторный эксперимент: образец обрабатывался в четырех областях при различных значениях емкости установки искрового упрочнения (0,22; 0,275; 0,37; 0,55 нФ). Задачей проведения этого эксперимента является получение первичных данных, которые станут базовой основой для дальнейших более глубоких

исследований.

### Результаты и их обсуждения

В результате проведения эксперимента, были получены результаты, приведенный на рис. 2. Как видно по графику (рис. 2), микротвердость поверхности образца после искрового упрочнения увеличивается линейно с увеличением емкости конденсаторов с 2,58 ГПа при емкости 0,2 нФ, до 3,05 ГПа при емкости 0,44 нФ.

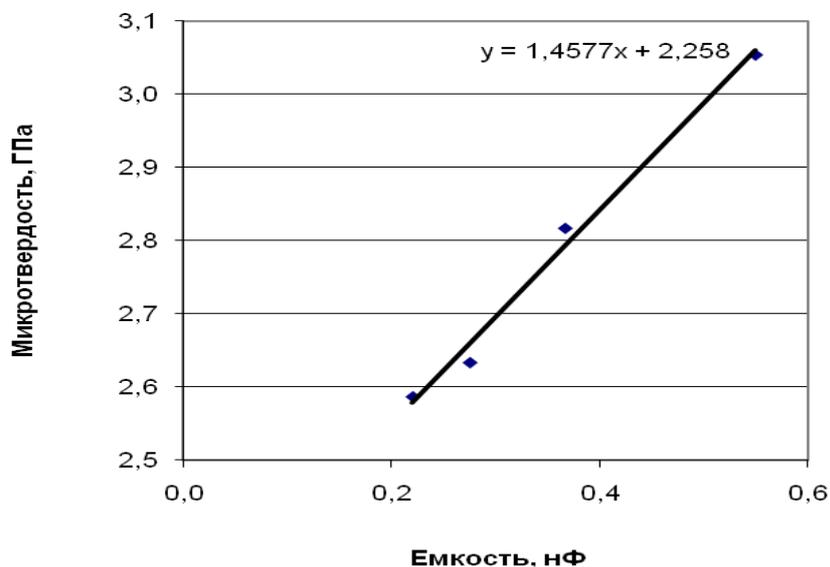


Рис. 2. Влияние емкости установки искрового упрочнения на величину микротвердости

Полученную зависимость можно описать уравнением:

$$H_{\mu} = 1,4577C + 2,258;$$

где  $H_{\mu}$  - микротвердость поверхности, ГПа;

$C$  – емкость батареи конденсаторов установки искрового упрочнения, нФ.

Среднеквадратичное отклонение при измерениях составило 0,08 ГПа. Микротвердость необработанного образца составляла  $H_{\mu} = 2,26$  ГПа.

### Выводы.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Метод искрового упрочнения поверхности позволяет повысить микротвердость и, как следствие, износостойкость образца из титанового сплава марки Grade 4.
2. При увеличении емкости конденсаторов установки искрового упрочнения микротвердость образца увеличивается, и при емкости 0,44 нФ составляет 3,05 ГПа, что в 1,35 раза больше, чем у не упрочненного материала.
3. Методику данного эксперимента можно использовать для дальнейших исследований возможности упрочнения поверхности титановых сплавов, что позволит расширить области применения этого материала, как в медицине, так и в машиностроении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – Изд.2, исп. и доп. – 1981. – 416 с.
2. ООО «НПЦ ТИТАН» [Электронный ресурс] – Электрон. Дан. – Официальный сайт ООО «НПЦ ТИТАН», 2007. – Режим доступа: <http://www.npotitan.ru/spravka/primenenie-tittana/vmedicine/>, свободный. — Загл. с экрана.
3. Пат. 2176682 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 23 С14/40, В 23 Н 1/02, В 23 Н 9/00. Способ упрочнения поверхностей деталей [Текст] / Б.П. Рудой, Н.Ю. Дударева, Р.А. Гуняков // № 99110333; заявл. 17.05.1999; опубл. 10.12.2001, Бюл. № 34. – 3 с.

4. **Дударева Н.Ю.** Моделирование процесса формирования упрочненного слоя при микродуговом оксидировании алюминиевых образцов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2008. №3. С. 63-65.

5. **Чичинадзе А.В. и др.** Основы трибологии. Учебник для вузов – М.:Центр «Наука и техника». – 1995. – 778с.

### ОБ АВТОРАХ



**Цыганов Виталий Вахтангович**, студент группы ДВ-364, факультет АД, кафедра ДВС УГАТУ. Исследования методов упрочнения поверхностей деталей ДВС.

e-mail: vitsa39@yandex.ru



**Дударева Наталья Юрьевна**, доц. каф. ДВС. Дипл. инж. по технол. машиностр. (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по тепл. двигателям (там же, 1999). Иссл. в обл. износостойких покрытий деталей двигателей

e-mail: natalia\_jd@mail.ru

УДК 621.45.02

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО ГТД СОВМЕСТНО С ЭЛЕМЕНТАМИ ЕГО АВТОМАТИКИ

**Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е.**

Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) – это сложный технический объект, сочетающий в себе последние достижения и новейшие передовые разработки многих отраслей науки и техники. Сложность рабочих процессов, разветвлённость системы автоматического управления (САУ), влияние процессов, происходящих в САУ на установившиеся и неуставившиеся режимы работы двигателя требует разработку методов и средств совместного моделирования авиационных ГТД и элементов САУ.

Для эффективного проектирования, производства и эксплуатации авиационного ГТД на всех стадиях его жизненного цикла должна быть математическая модель, описывающая те или иные его особенности и характеристики. При разработке САУ для двигателя и на стадии его испытаний необходима математическая модель, описывающая установившиеся режимы и переходные процессы, протекающие в ГТД с учётом влияния на них элементов САУ (переключение различных программ регулирования, корректировка поддерживаемых параметров в зависимости от атмосферных условий, изменение режима работы двигателя в зависимости от угла установки РУД, управление различными регулирующими элементами двигателя и т.п.).

В работах [1, 2, 3] подробно описываются значимость и общие подходы к моделированию авиационных ГТД совместно с их автоматикой в системе имитационного моделирования (СИМ) DVIG\_OTLADKA ([4]). В статье [5] описывается модернизация СИМ DVIG\_OTLADKA, заключающаяся в декомпозиции структурного элемента (регулятор) – интегральной модели САУ ГТД на отдельные функциональные компоненты, моделирующие различные элементы автоматики двигателя. За счёт подобной

декомпозиции достигается увеличение универсальности разработанных моделей автоматики (возможно моделировать различные схемы САУ, т.е. появилась возможность реализовывать различные законы управления, характерные для авиационных двигателей для военных высокоманевренных самолётов четвёртого поколения), расширение моделируемых режимов работы (не только максимал и форсажные режимы).

В данной статье более подробно рассматриваются вопросы моделирования переходных процессов, протекающих в авиационных ГТД на примере ТРД SR-30. Двигатель состоит из входного устройства, центробежного компрессора, противопоточной кольцевой камеры сгорания, осевой одноступенчатой турбины и реактивного сопла [6] (рис. 1).

САУ SR-30 работает следующим образом: в зависимости от угла установки РУД поддерживается частота вращения ротора с коррекцией по температуре на входе в двигатель (т.е. реализуются следующие законы управления  $n = f(\alpha_{РУД}, T_h)$  и  $G_t = f(n)$ ); ограничиваются предельные значения частоты вращения ротора  $n_{\max}$  и температуры газов перед турбиной  $T_T$ .

Топологическая модель двигателя SR-30 и его САУ в СИМ DVIG\_OTLADKA представлена на рис. 2. При помощи структурного элемента (СЭ) «РУД» моделируется управление двигателем ( $\alpha_{РУД}$ ); при помощи СЭ «Насос-регулятор» выполняется поддержание заданной частоты вращения ротора изменением расхода топлива в камере сгорания ( $G_t = f(n)$ ); при помощи СЭ «Ограничитель предельных параметров (механический)» ограничивается максимальная частота вращения ротора  $n_{\max}$ ; при помощи СЭ «Ограничитель предельных параметров (газодинамический)» ограничивается максимальная температура в камере сгорания  $T_T$ . СЭ «Подача топлива», «Смеситель» и «Разветвитель информационных потоков» – технологические элементы необходимые для переключения на другие программы регулирования.

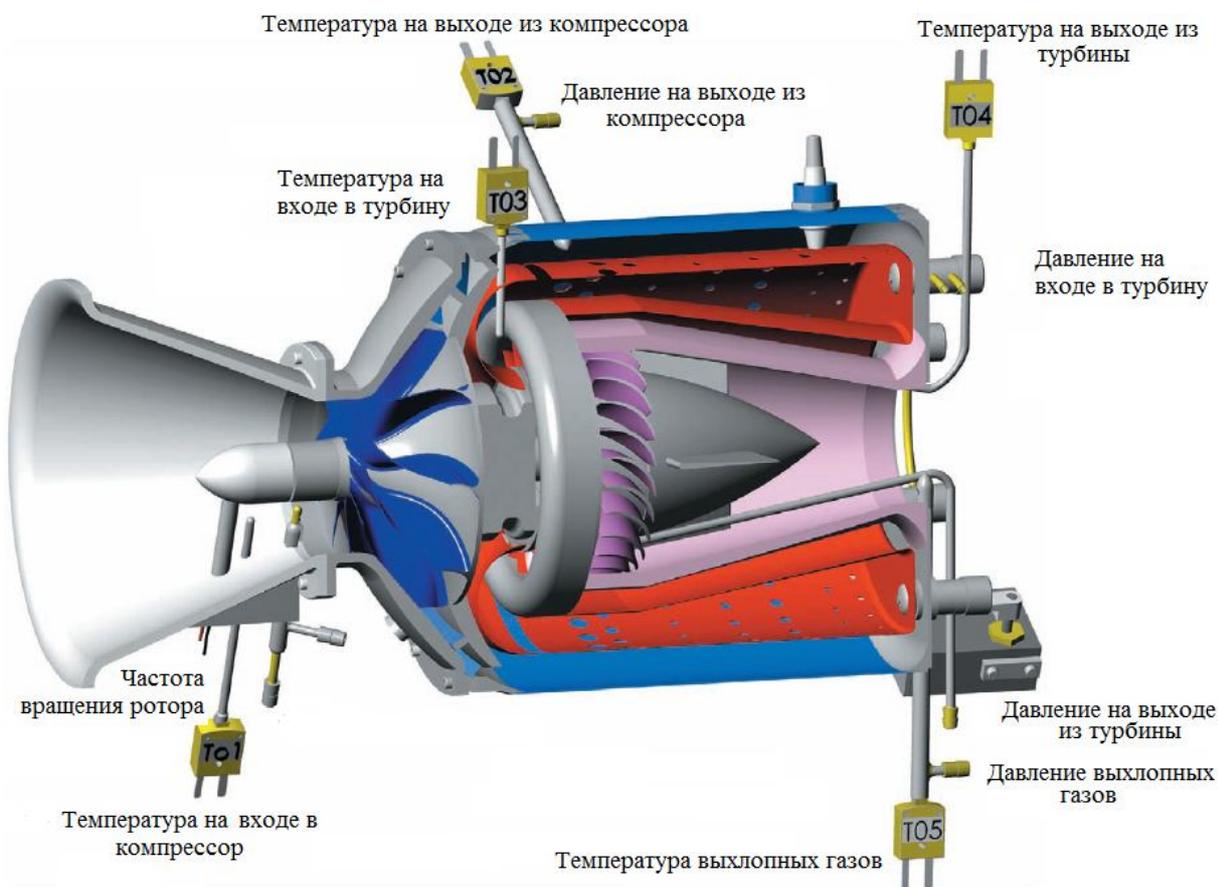


Рис. 1. Модель SR-30 и схема установки датчиков

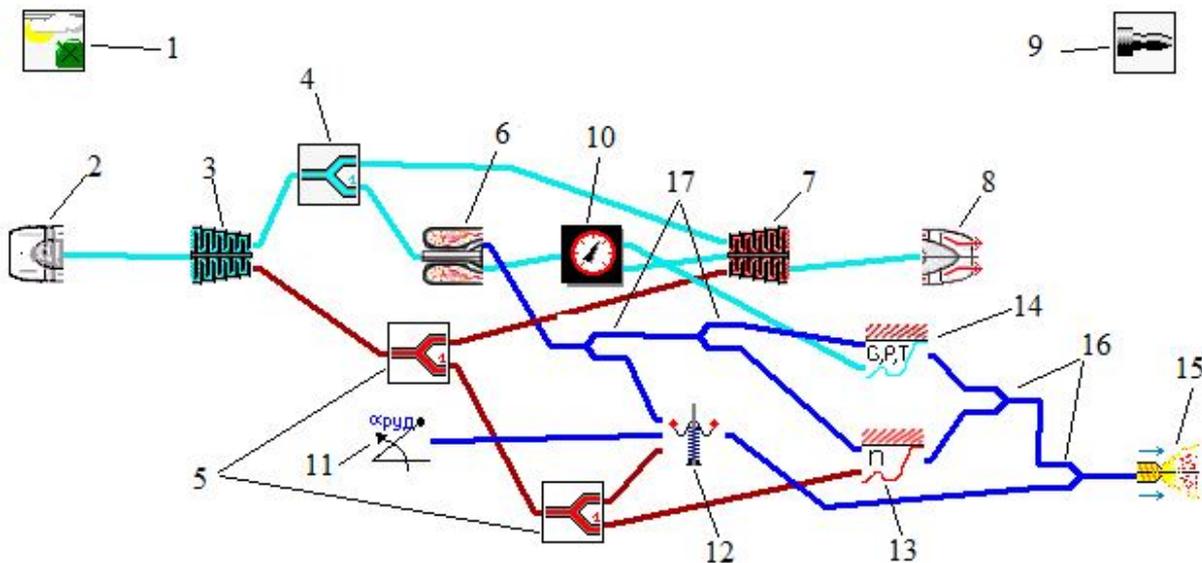
Для моделирования двигателя с его САУ необходим закон расчёта, приведённый в табл. 1.

Таблица 1

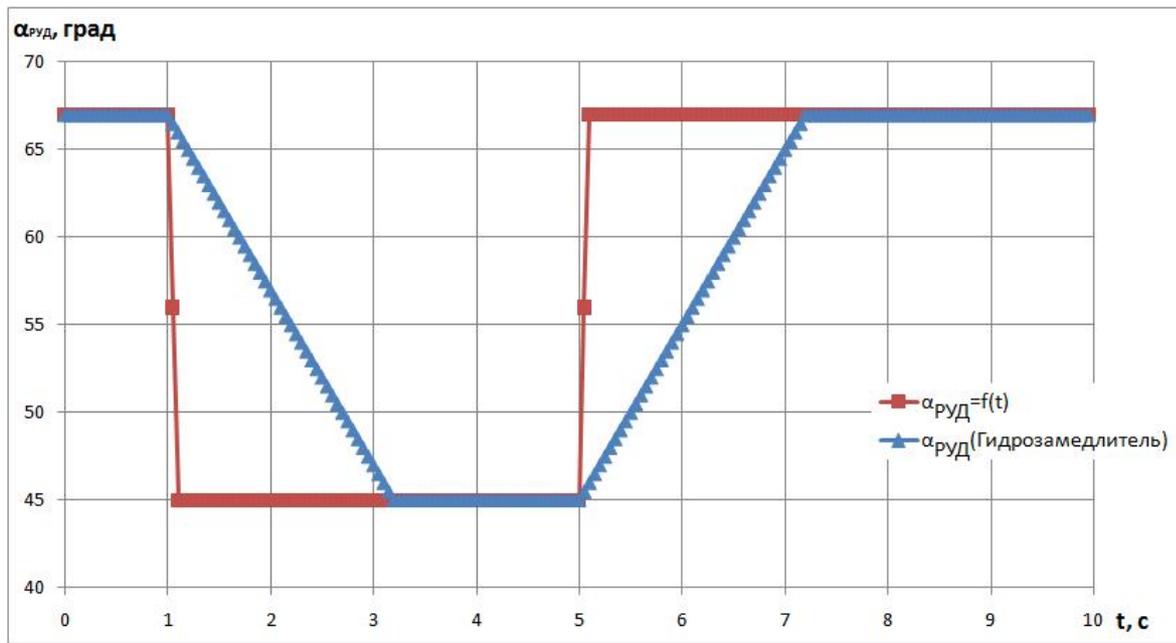
## Закон расчёта

Варьируемые параметры	Поддерживаемые параметры	Табулируемые параметры
$T_{\Gamma}^*$ (Камера сгорания)	$G_t$ (Камера сгорания) = $G_t$ (Подача топлива)	$t = 0 \dots 10$ с шаг 0,05 с (Начальные условия)
$\pi_{\kappa}^*$ (Компрессор)	$\overline{A}_T$ (Турбина)	
$G_{\text{впр}}$ (Входное устройство)	$F_{\text{скр}}$ (Реактивное сопло)	
$\alpha_{\text{руд}}$ (РУД)	$\alpha_{\text{руд}}$ (РУД) = $f(t)$	

Управляющее воздействие на двигатель задаётся при помощи задания в законе расчёта (табл. 1) изменения угла установки РУД во времени  $\alpha_{\text{руд}} = f(t)$  (рис. 3). Автоматика двигателя преобразует управляющее воздействие с учётом действия гидрозамедлителя – ограничивается темп изменения угла установки РУД  $\alpha_{\text{руд}}$  (т.е. САУ двигателя значения  $\alpha_{\text{руд}}$  приходят с некоторым запаздыванием). В данном случае смоделирован процесс встречной приёмистости: в начальный момент времени двигатель работал на 100% частоты вращения ротора ( $\alpha_{\text{руд}} = 67^\circ$ ), на 1-й секунде угол установки РУД уменьшился до  $45^\circ$  за 0,1 с. На 5-й секунде угол установки РУД увеличился с  $45^\circ$  до  $67^\circ$  за 0,1 с.

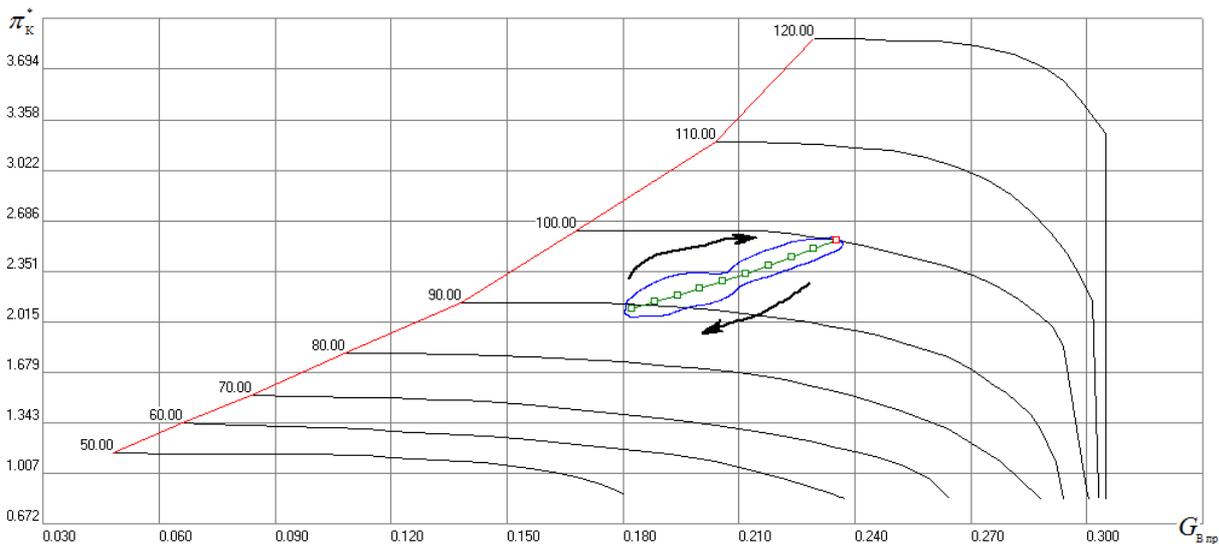


**Рис. 2.** Топологическая модель ГТД SR-30 и его САУ, где 1 – Начальные условия; 2 – Входное устройство; 3 – Компрессор; 4 – Отбор газа; 5 – Отбор мощности; 6 – Камера сгорания; 7 – Турбина; 8 – Реактивное сопло; 9 – Общие результаты; 10 – Датчик; 11 – РУД; 12 – Насос-регулятор; 13 – Ограничитель предельных параметров (механический); 14 – Ограничитель предельных параметров (газодинамический); 15 – Подача топлива; 16 – Смеситель информационных потоков; 17 – Разветвитель информационных потоков.



**Рис. 3.** Управляющее воздействие на двигатель ( $\alpha_{руд} = f(t)$ ) и управляющее воздействие на двигатель с учётом действия гидрозамедлителя

На рис. 4 приведены: линия рабочих режимов (дрессельная) и переходный процесс «Встречная приёмистость» на характеристике компрессора.



**Рис. 4.** Результаты моделирования: линия рабочих режимов (дрессельная) и переходный процесс на характеристике компрессора

Динамические характеристики двигателя определяются моментом инерции ротора. Для моделируемого двигателя момент инерции ротора принят равным  $0,00045 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Как описано в [5], динамические характеристики различных элементов автоматики унифицировано задаются в виде коэффициентов нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (1):

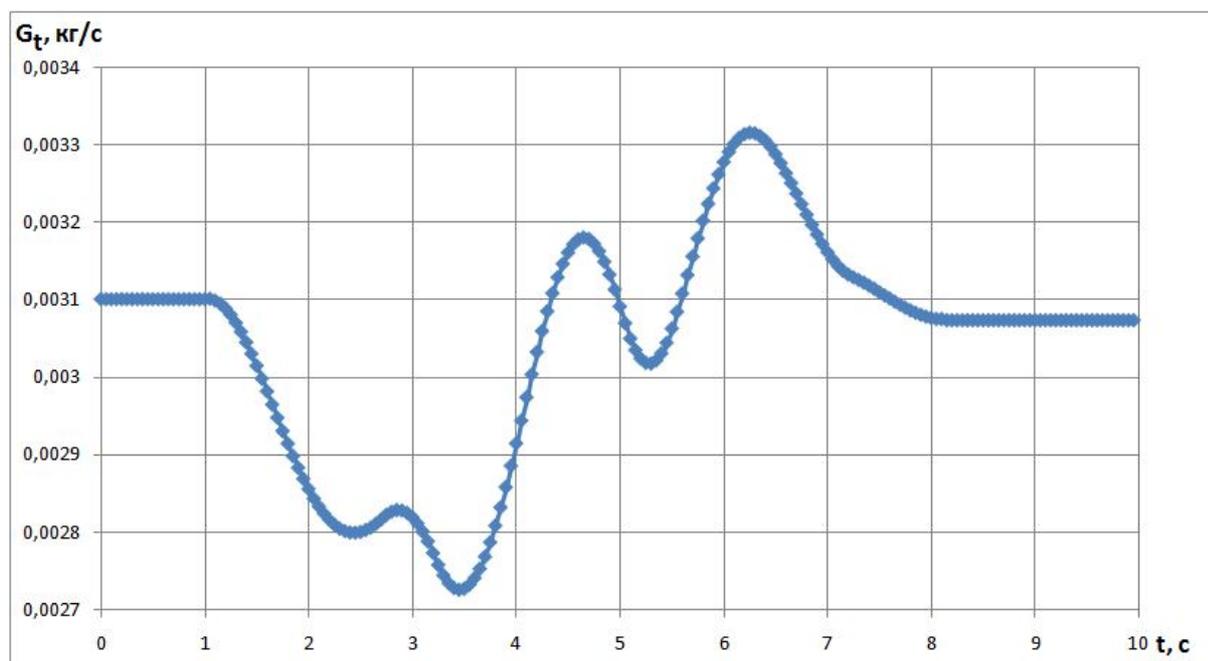
$$kx(t) = T_k^2 \ddot{y}(t) + T_d \dot{y}(t) + y(t), \tag{1}$$

где  $k$  – коэффициент усиления;  $T_k$  – колебательная постоянная времени, с;  $T_d$  – дифференцирующая постоянная времени, с;  $x(t)$  – значение функции (для СЭ «Насос-регулятор» – значение расхода топлива);  $y(t)$  – значение регулируемого

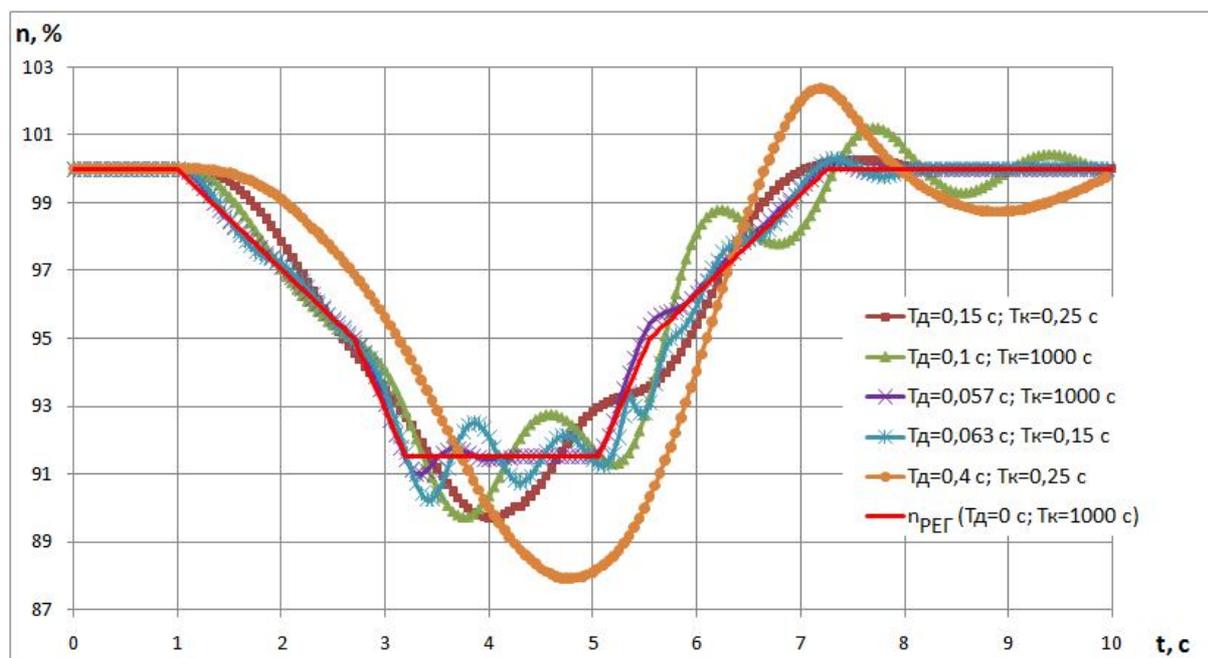
параметра (для СЭ «Насос-регулятор» – приведённая или физическая частота вращения ротора);  $\dot{y}(t)$  и  $\dot{y}(t)$  соответственно вторая и первая производная значения регулируемого параметра по времени.

В зависимости от дифференцирующей и колебательной постоянной времени элементов САУ переходный процесс в двигателе будет протекать по разному. В данной статье рассматривается влияние различных настроек СЭ «Насос-регулятор» на переходный процесс. При этом динамические свойства остальных элементов автоматики не учитываются (СЭ «Ограничитель предельных параметров (механический)», СЭ «Ограничитель предельных параметров (газодинамический)», СЭ «Подача топлива» идеальны, т.е. не имеют колебательной и инерционной составляющих). При увеличении дифференцирующей постоянной времени  $T_d$  увеличивается инерционность СЭ «Насос-регулятор» (элемент, регулирующий подачу топлива в камеру сгорания и, в конечном итоге, регулирующий частоту вращения ротора в зависимости от угла установки РУД), т.е. расход топлива в камеру сгорания будет подаваться с запаздыванием относительно программы регулирования. При уменьшении колебательной постоянной времени  $T_k$  увеличиваются колебательные свойства СЭ «Насос-регулятор», т.е. при изменении значения расхода топлива происходят его колебания (рис. 5).

На рис. 6 приведены результаты моделирования переходного процесса (изменение частоты вращения ротора во времени) с различными настройками СЭ «Насос-регулятор». При моделировании «идеального» насоса-регулятора ( $T_d = 0$  с,  $T_k = 1000$  с), частота вращения ротора полностью соответствует частоте вращения «навязываемой» автоматикой (без динамических запаздываний). При увеличении дифференцирующей постоянной времени  $T_d = 0,4$  с, переходный процесс протекает с «запаздыванием», автоматика не успевает корректировать расход топлива (по частоте вращения наблюдаются «забросы»). При уменьшении колебательной постоянной времени  $T_k$  увеличивается колебания частоты вращения (процесс с настройками  $T_d = 0,063$  с,  $T_k = 0,15$  с).



**Рис. 5.** Расход топлива в переходном процессе с настройками СЭ «Насос-регулятор»  $T_d = 0,15$  с,  $T_k = 0,25$  с



**Рис. 6.** Результаты моделирования переходного процесса (изменение частоты вращения ротора во времени) с различными настройками СЭ «Насос-регулятор»

Изменяя настройки отдельных элементов САУ двигателя можно подобрать такие, при которых моделируемый переходный процесс будет полностью соответствовать переходному процессу на двигателе. Данное исследование позволяет повысить адекватность и точность моделирования переходных процессов, происходящих в двигателе, детально исследовать каждый фактор, влияющий на переходный процесс и оценить его качество.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов, Д. А., Кишалов А. Е., Кривошеев И. А. Имитационное моделирование работы авиационных ГТД с элементами систем управления // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2008. – т.11, №2 (29) серия "Машиностроение". – С. 3–11.
2. Кишалов А. Е., Ахмедзянов Д. А. Моделирование переходных процессов, протекающих при отладке автоматики при испытаниях ТРДДФ / А.Е. Кишалов, Д.А. Ахмедзянов // Вестник ВГУ, Воронеж, 2011. -Т.7(8).- С.152-158.
3. Кишалов А. Е. Повышение эффективности процесса отладки форсажных режимов при испытаниях ТРДДФ: дис. канд. техн. наук. / А. Е. Кишалов; науч.рук. Д. А. Ахмедзянов. – Уфа: УГАТУ, 2010 . – 234 с.
4. Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Кривошеев И. А. Система имитационного моделирования DVIG\_OTLADKA // Свидетельство №2009610324 Москва, Роспатент. – 2009.
5. Кишалов А. Е., Ахмедзянов Д. А. Комплексный подход к совместному моделированию и исследованию рабочих процессов авиационных ГТД и его автоматики / А.Е. Кишалов, Д.А. Ахмедзянов // Журнал "Молодой ученый", Чита, 2011. - Т1. №10 (33). – С. 16-21.
6. Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е. Автоматизация процесса испытания авиационных ГТД на базе SCADA-системы LabView / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, Р.Р. Ямалиев, А.В. Суханов // Вестник УГАТУ, Уфа, 2009. Т.13, №2 (35). – С.61-69.

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

**ОБ АВТОРАХ**

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

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



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

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

УДК 621.45.037

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТУПЕНЕЙ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ В ANSYS 13.0 CFX**

**Маркина К. В., Кишалов А. Е.**

**Компрессор** – лопаточная машина, предназначенная для повышения давления рабочего тела и подведения его к камере сгорания, это один из основных узлов газотурбинного двигателя (ГТД). Совершенство компрессора во многом определяет эффективность всего двигателя.

Особенностью работы многоступенчатого высоконапорного осевого компрессора является «рассогласование» или «расхождение» работы крайних (т. е. первых и последних) ступеней на нерасчетных режимах (в большинстве случаев – на дроссельных режимах) [1].

В настоящее время, для создания современных двигателей V и VI поколений, уже на стадии проектирования необходимо иметь представление о характеристиках разрабатываемого компрессора.

Один из способов получения характеристик компрессора это математическое описание всех процессов происходящих в нем [2,3].

**Система имитационного моделирования (СИМ) Kompr** – программа для моделирования компрессоров различных схем. На рис. 1 представлена топологическая модель девятиступенчатого компрессора высокого давления (КВД) двигателя АЛ-31Ф. Результатом моделирования в СИМ Kompr являются термогазодинамические параметры потока за каждой ступенью и геометрия лопаточных венцов в «расчётной точке» (проектный расчёт). Для получения значений термогазодинамических параметров на нерасчетных режимах (т.е. для получения характеристики компрессора) необходимо воспользоваться программным комплексом для 3D численного термогазодинамического

моделирования ANSYS 13.0 CFX, по известным геометрическим параметрам определить параметры компрессора (поверочный расчёт).

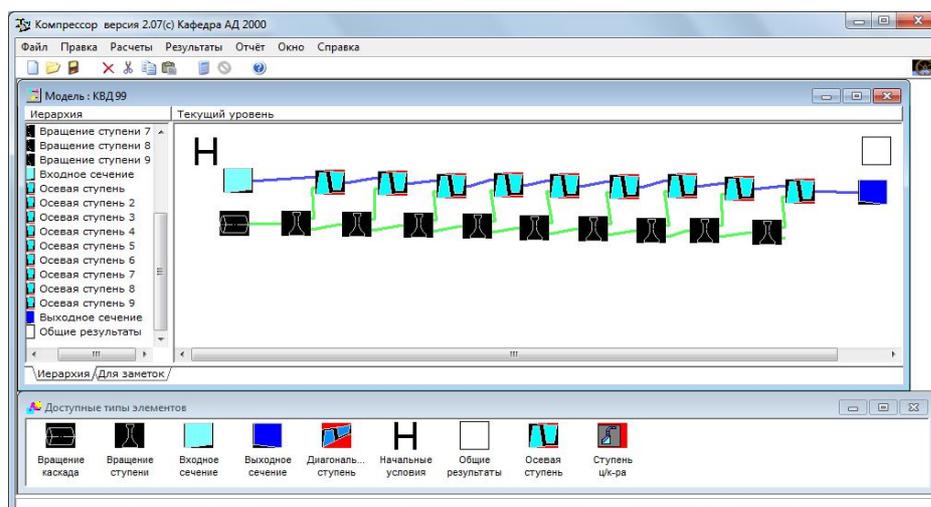


Рис. 1. Топологическая модель девятиступенчатого КВД в СИМ Компр

В данной статье приведён пример расчёта характеристики **IX ступени КВД двигателя АЛ-31Ф**. Результаты моделирования «расчётной точки» в СИМ Компр (геометрия лопаточных венцов) послужили исходными данными для построения 3D твердотельной геометрической модели в САД системе NX (рис. 2). Для упрощения расчётов, использована не вся модель лопаточного венца, а только её сектор. Модель состоит из 3-х частей: вращающаяся область РК, входная и выходная области и области НА, СА – неподвижные. Входная и выходная области необходимы для отделения исследуемой области от граничных условий.

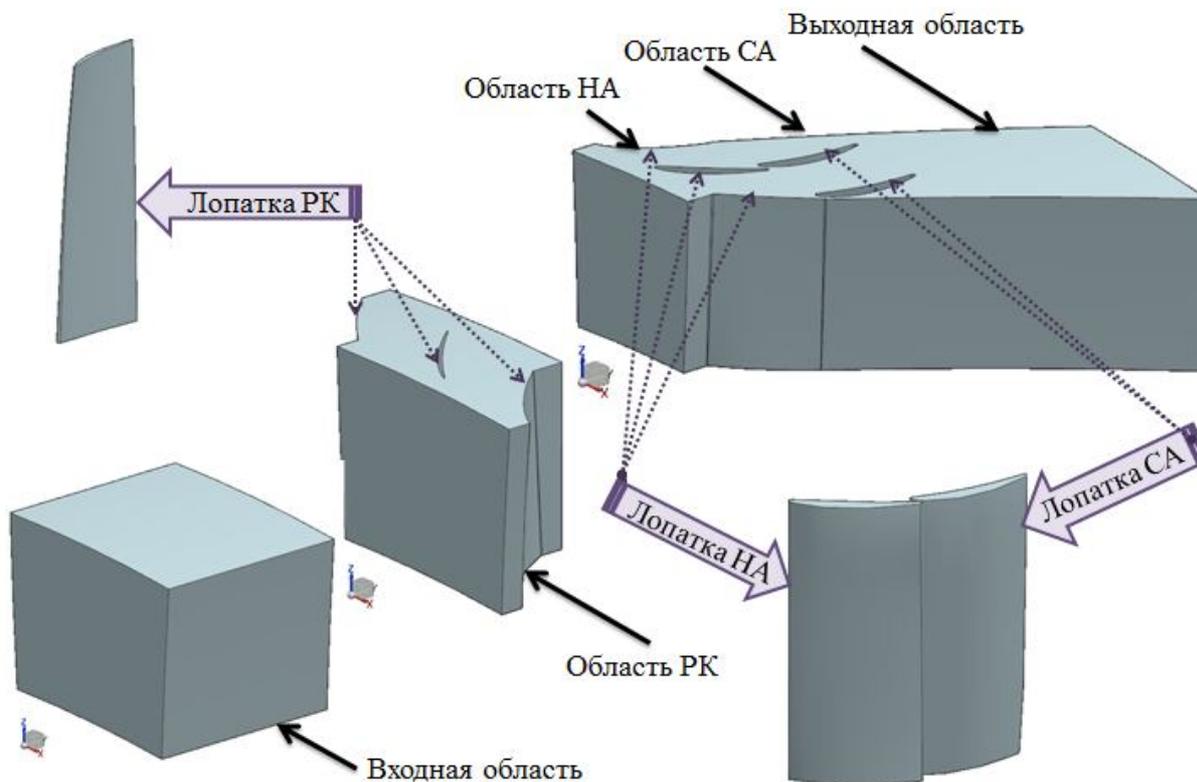


Рис. 2. 3D твердотельная геометрическая расчётная модель IX ступени КВД двигателя АЛ-31Ф в среде NX

Далее в ANSYS, на данной модели, построена, конечно-элементная, сетка [4]. Параметры сетки для входной области (рис. 3): Min Size = 0,027 мм; Max Face Size = 2,7 мм; Max Size = 5,4 мм; количество элементов – 115 346. Параметры сетки для области рабочего колеса (РК) (рис. 4): Min Size = 0,3 мм; Max Face Size = 2,89 мм; Max Size = 5,77 мм; количество элементов – 348 929.

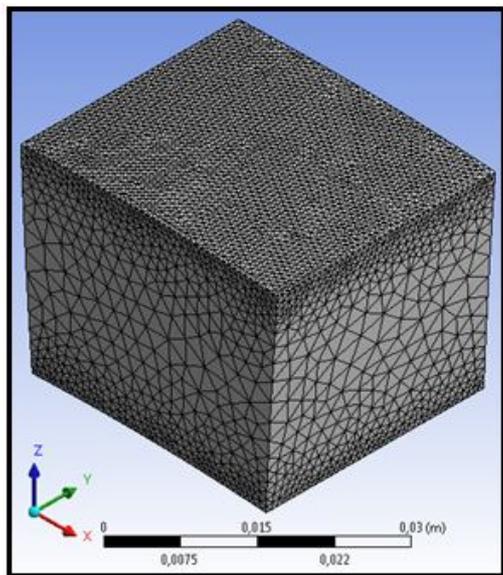


Рис. 3. Сетка, построенная на входной области

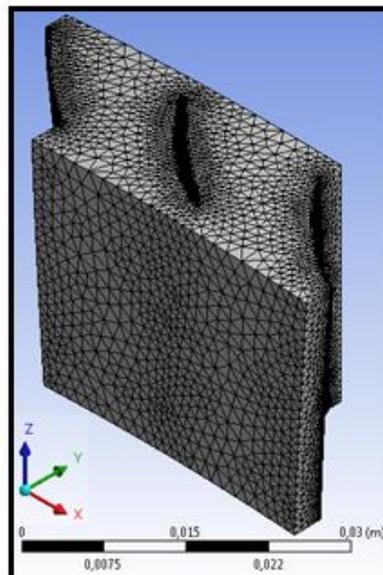


Рис. 4. Сетка, построенная на области РК

Параметры сетки для направляющего аппарата (НА) и спрямляющего аппарата (СА) (рис. 5): Min Size = 0,3 мм; Max Face Size = 4,73 мм; Max Size = 9,47 мм; количество элементов – 625 754. На лопатках РК, НА и СА построен структурированный призматический слой (необходим для правильного решения в пограничном слое): Number of Layers = 5; Maximum Thickness = 0,5 мм. Также на всех лопатках сделано замельчение сетки на поверхности лопаток: Element Size = 0,5 мм.

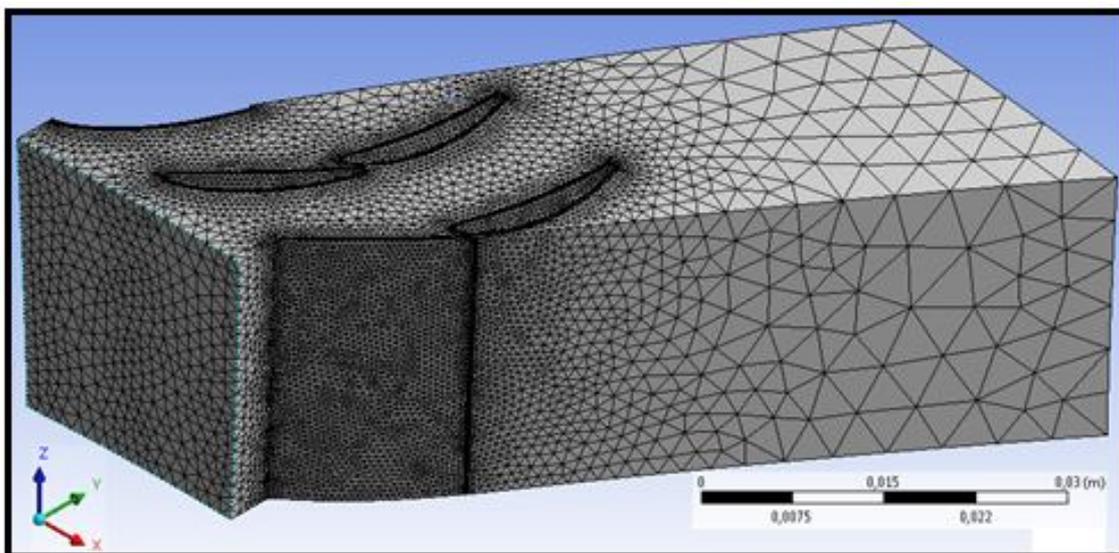


Рис. 5. Сетка, построенная на областях НА, СА и выходной области

Модель с граничными условиями в CFX-Pre представлена на рис. 6. Рабочее тело в модели – Air Ideal Gas, опция расчёта передачи тепла – Total Energy, модель турбулентности – SST. Область РК вращается с частотой вращения  $n$ . На боках модели – условие периодичности (Per). Тип взаимосвязи ротора и статора (VX\_RK, RK\_NASA) –

Frozen Rotor. На выходе (Outlet) из модели: граничное условие – Opening,  $P_{ref} = 2\,225\,262$  Па. На входе (Inlet) в модель: задается векторное поле скоростей. В расчётах пренебрегаем трением о внутреннюю и наружную стенки (VerhVX, NizVX, VerhRK, NizRK, VerhNASA, NizNASA) проточной части.

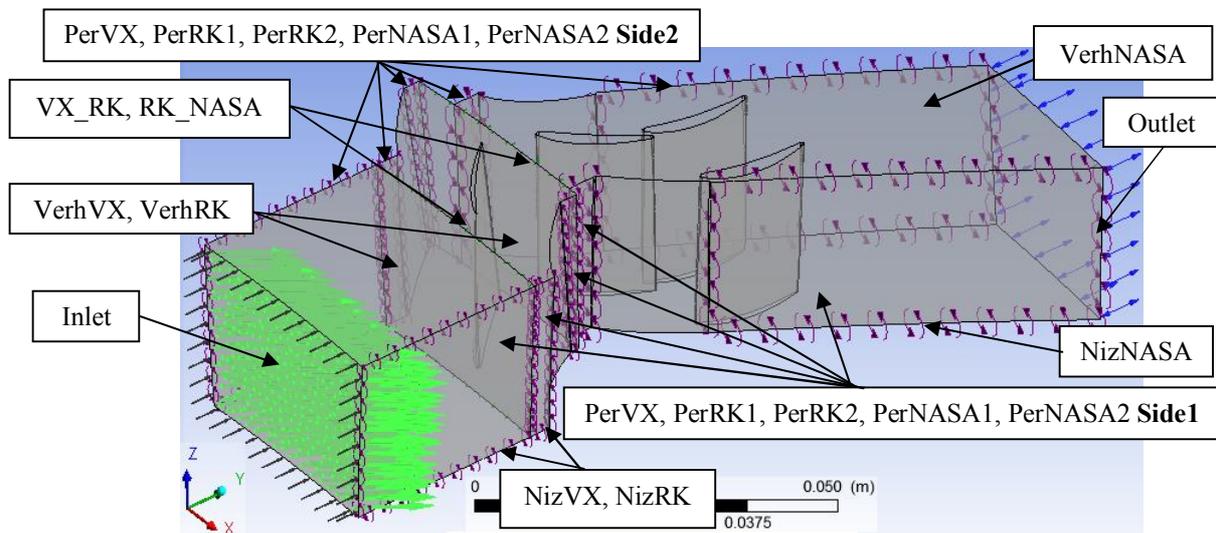


Рис. 6. Модель IX ступени КВД АЛ-31Ф в CFX-Pre

Для получения характеристики ступени [5] на входе задавались: расходом воздуха через ступень  $G_6$ , температурой  $T_1$  и частотой вращения ротора  $n$ , пересчётом получили осевую компоненту скорости  $C_a$  на входе в модель. В расчётах предположили, что с изменением режима работы компрессора, угол на выходе из направляющего аппарата VIII ступени меняется незначительно. Поле параметров на входе по высоте имеет некоторую закрутку: на  $R_1=0,3015$  м угол скорости на выходе из VIII ступени  $\alpha_1=50^\circ$ , на  $R_2=0,275$  м –  $\alpha_2=57,2^\circ$ . По известным углам и осевой компоненте скорости получали вектор скорости  $C$  на входе в модель (поле скоростей на входе в модель).

Для каждого значения расхода воздуха через ступень  $G_6$  и частоты вращения ротора  $n$  (точка на характеристике) определяли: степень повышения полного давления  $\pi_k^*$  (1) и коэффициент полезного действия  $\eta_k^*$  (2).

$$\pi_k^* = \frac{P_2^*}{P_1^*}; \quad (1)$$

где  $P_1^*$  – полное среднемассовое давление на входе,  $P_2^*$  – полное среднемассовое давление на выходе.

$$\eta_k^* = \frac{\pi_k^{*k-1} - 1}{\frac{T_2^*}{T_1^*} - 1}; \quad (2)$$

где  $k$  – показатель адиабаты ( $k=1,4$ );  $T_1^*$  – полная среднемассовая температура на входе;  $T_2^*$  – полная среднемассовая температура на выходе.

Проведено 32 расчёта с различными значениями  $G_6$  и  $n$ . Во всех расчётах достигнуто значения параметров сходимости по всем уравнениям порядка  $10^{-4}$ , дисбаланс основных уравнений не превысил 0,1%.

В табл. 1 приведены полученные значения  $\eta_k^*$  и  $\pi_k^*$  по которым построены характеристики вида  $\eta_k^* = f(G_{6np}, n_{np})$  и  $\pi_k^* = f(G_{6np}, n_{np})$ . На рис. 7 – 9 отображены некоторые результаты расчётов в ANSYS CFX.

Таблица 1

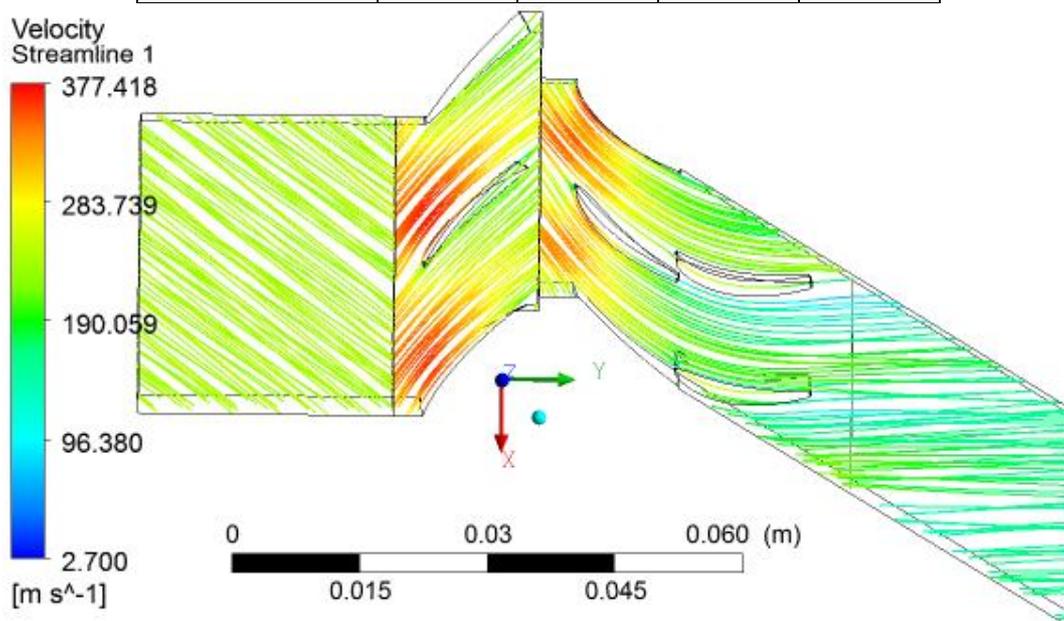
Результаты расчётов									
$n$ , об/мин	$G_{\theta}$ , кг/с	$i$	$\eta_k^*$	$\pi_k^*$	$n$ , об/мин	$G_{\theta}$ , кг/с	$i$	$\eta_k^*$	$\pi_k^*$
13300	78,00	7,95°	0,856	1,156	12300	73,50	7,45°	0,847	1,123
	77,50	8,25°	0,873	1,164		71,00	9,10°	0,887	1,147
	77,00	8,55°	0,872	1,169		69,00	10,40°	0,889	1,161
	76,75	8,70°	0,887	1,173		66,00	12,35°	0,827	1,160
	76,50	8,90°	0,887	1,175		63,00	14,20°	0,727	1,146
	76,28	9,00°	0,889	1,177		68,00	7,55°	0,843	1,102
	76,20	9,00°	0,887	1,177	11300	66,00	8,80°	0,882	1,119
	76,10	9,10°	0,887	1,178		64,00	10,35°	0,879	1,130
	76,00	9,20°	0,887	1,179		61,00	12,35°	0,841	1,135
	75,50	9,50°	0,889	1,183		56,00	15,75°	0,702	1,117
	75,00	9,80°	0,884	1,186		63,00	7,10°	0,826	1,078
	74,50	10,15°	0,887	1,189		60,50	9,00°	0,881	1,097
	73,00	11,00°	0,873	1,195	10300	58,50	10,50	0,882	1,107
	71,00	12,25°	0,818	1,189		55,50	12,65°	0,830	1,109
	69,00	13,45°	0,759	1,178		52,00	15,25°	0,728	1,100

В табл. 2 приведено сравнение результатов проведённых проектных и поверочных расчётов в СИМ Kompr и программе ANSYS.

Таблица 2

Сравнение результатов расчётов

	$n$ , об/мин	$G_{\theta пр}$ , кг/с	$\eta_k^*$	$\pi_k^*$
<b>Kompr</b>	13300	76,28	0,89130 0	1,17730
<b>ANSYS</b>	13300	76,28	0,88961 7	1,17678
Относительная погрешность, %	-	-	0,18882 5	0,04417

Рис. 7. Линии тока при  $G_{\theta} = 76,28$  кг/с и  $n = 13300$  об/мин

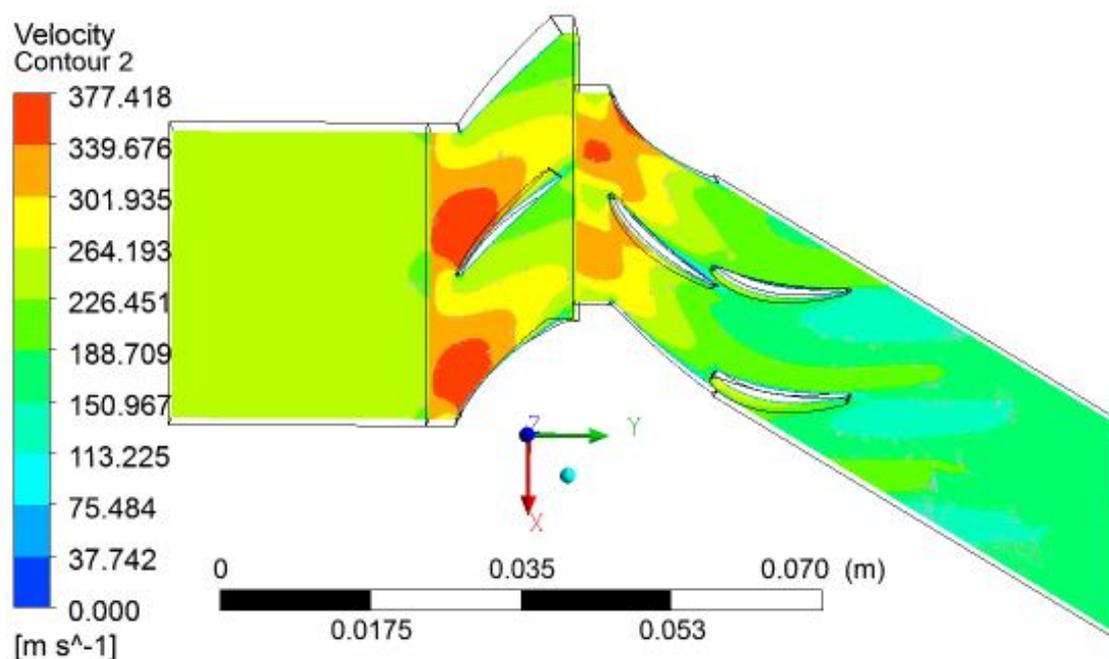


Рис. 8. Распределение скоростей при  $G_e = 76,28$  кг/с и  $n = 13300$  об/мин

На рис. 9 приведено векторное поле скоростей при больших углах атаки на РК, при которых происходит срыв потока со спинки. Эти углы можно считать границей устойчивой работы ступени (граница помпажа).

На рис. 10 приведена характеристика последней ступени КВД вида  $\eta_k^* = f(G_{e np}, n_{np})$  и  $\pi_k^* = f(G_{e np}, n_{np})$ .

При анализе результатов расчета можно отметить, что погрешность расчета в ANSYS по сравнению с СИМ Комгр для «расчётной точки» ( $n = 13300$  об/мин,  $G_e = 76,28$  кг/с) составила по КПД – 0,189 %, по степени повышения давления – 0,044%.

При увеличении угла атаки РК (левая часть ветки) происходит срыв потока со спинки рабочей лопатки. Можно считать, что это граница помпажа.

Ветки по  $\pi_k^* = f(G_{e np}, n_{np})$  пологие, что характерно для низко напорных ступеней.

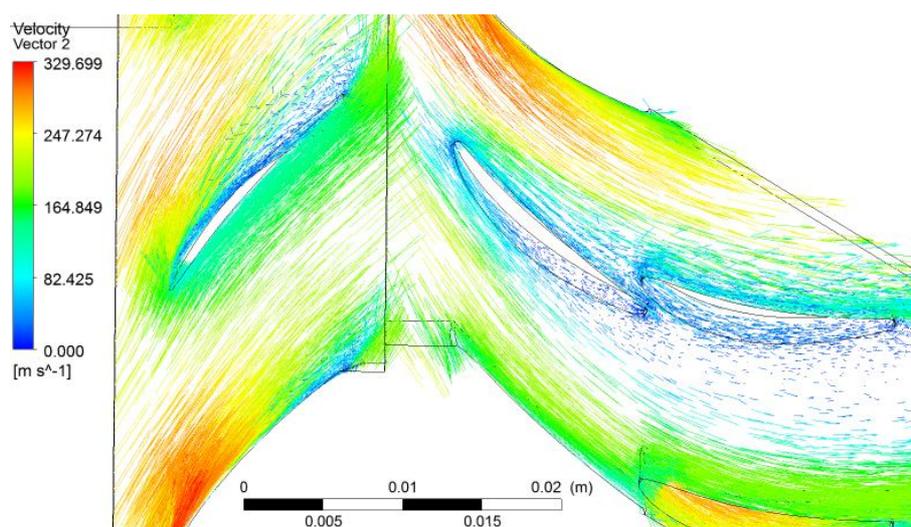


Рис. 9. Вектора скоростей на границе устойчивой работы

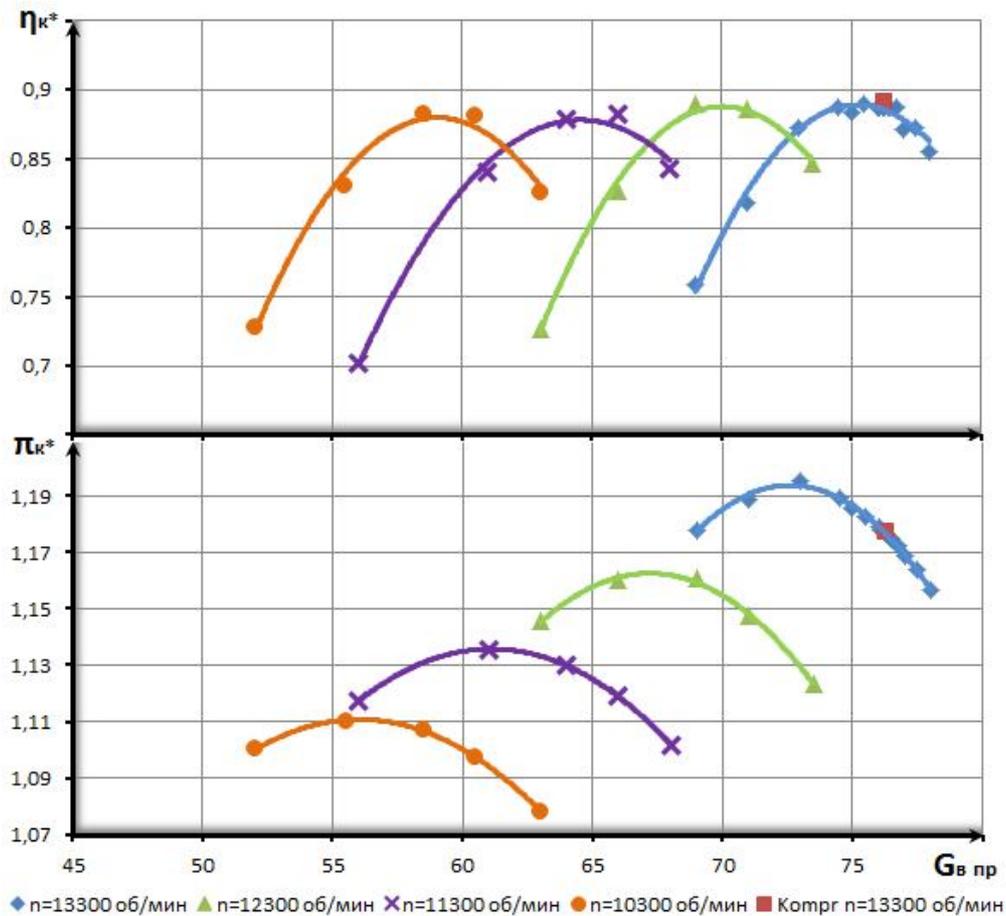


Рис. 10. Характеристики IX ступени КВД полученные в ANSYS 13.0 CFX

Действуя подобным образом можно получить характеристики других ступеней. Далее, «складывая» характеристики каждой ступени можно получить характеристику всего компрессора. Этот метод не требует значительных вычислительных мощностей по сравнению с моделированием компрессора целиком. Для проектируемого компрессора возможно проводить оптимизацию работы каждой ступени в отдельности, оценивать протекание характеристик каждой отдельной ступени на нерасчётных режимах работы – всё это ускоряет и удешевляет проектирование компрессора, улучшает его параметры эффективности, не требует изготовления и специального оборудования, а также больших затрат энергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7. Холщевников К. В., Емин О. Н., Митрохин В. Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: Учеб. для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 432 с.

8. Маркина К.В., Кишалов А.Е. V Всероссийская научно-техническая конференция молодых специалистов. Материалы конференции: Уфимск. моторостр. произ. объединен. – Уфа, УМПО 2011. С. 99-102.

9. Маркина К.В., Кишалов А.Е. К вопросу о получении характеристик компрессора. Молодежный Вестник УГАТУ Ежемесячный научный журнал № 1 (2) / 2012 Уфа: УГАТУ. – 2012. С. 45-51.

10. Кривошеев И.А., Кишалов А.Е., Христолюбов В.Л., Ямалиев Р.Р. Моделирование осевого компрессора в программном комплексе ANSYS 11.0 CFX: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Теория и расчет лопаточных машин»/ Уфимск. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2008. - 21 с.

11. **Маркина К.В., Кишалов А.Е.** Исследования характеристик компрессора. Актуальные проблемы в науке и технике. Том 2. Машиностроение, электроника, приборостроение. Сборник трудов седьмой Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых, 14-16 февраля, 2012 г. / Уфимск. Гос. Авиац. Тех. Ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2012. С. 59-62.

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

#### ОБ АВТОРАХ



**Маркина Ксения Васильевна**, студент каф. авиац. теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ. Исследования в области процессов, протекающих в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования.

e-mail: markina\_kseniya@mail.ru



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

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

УДК 620.9

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ТОПЛИВА

**Сенюшкин Н. С., Лоскутников А. А., Ялчибавева Л. Н.**

В современных условиях газотурбинные двигатели (ГТД) находят в силу своих высоких технических характеристик широкое применение не только в традиционных областях экономики страны, таких как авиация, судостроение, транспорт и др., но и в качестве наземных энергоустановок (ЭУ), например, в энергетике, газопроводном транспорте.

Конверсия в технике является одной из важнейших задач развития экономики. В частности, очень эффективным является использование находящихся на высоком уровне развития и совершенства авиационных (ГТД для привода газоперекачивающих агрегатов. При этом возможно как использование элементов конструкции базовых ГТД, в том числе и после наработки на самолете, так и создание новых наземных ГТУ авиационного типа [1].

Так, парогазовые энергоустановки (ПГУ) комбинированного цикла, в составе которых от одной до нескольких ГТД, широко распространены в ведущих зарубежных странах вследствие их высокого КПД 55-57%, в последние десятилетия они начали внедряться и в нашей стране. Российская специфика заключается в том, что ГТД наземного применения в основном проектируются и создаются на авиационных предприятиях, главным образом, на базе конвертированных авиационных двигателей (АД).

В целях дальнейшего повышения КПД энергоустановок разрабатываются и создаются на базе ГТД все более сложные комбинированные энергоустановки (КЭУ), в числе которых в последние годы за рубежом и в нашей стране начали активно прорабатываться КЭУ на базе ГТД и топливных элементов (ТЭ), которые в перспективе

могут обеспечить повышение КПД КЭУ до 70-75%. При этом, для достижения максимального коэффициента использования энергии топлив могут применяться весьма разнообразные схемы КЭУ на базе конвертированных АД и ТЭ, число которых уже сегодня составляет десятки вариантов, и будут разработаны еще более совершенные и сложные схемы.

В процессе конвертирования ГТД конструкция основных элементов конвертируемого двигателя зависит не только от основных параметров, определяемых техническим заданием, но и от следующих параметров [4]: основных требований к конвертированию; выбранной принципиальной схемы конвертирования; облика базового авиационного двигателя (конструкции его элементов и параметров цикла); остаточных запасов прочности деталей базового двигателя после наработки в эксплуатации; возможности технологического упрочнения и восстановления деталей базового двигателя после наработки в эксплуатации; степени конкурентности двигателя на рынке сбыта и возможного объема заказов (экономической целесообразности). Основные требования, предъявляемые к конвертированию авиационных ГТД, связаны с новым специфическим применением, с задачами эксплуатации его в наземных условиях.

Облик элементов конвертируемого и базового авиационного двигателей зависит как от конструктивных особенностей их элементов, так и от конструктивной схемы всего двигателя. Облик базового двигателя существенно влияет на совершенство, эффективность и стоимость создания и доводки конвертируемого двигателя. Это относится как к схемным факторам (многоступенчатость, высокие параметры цикла, многорежимность, модульность конструкции и т. п.), так и к специальным свойствам сборочных единиц и деталей (износостойкость, коррозионная стойкость, экологически чистая камера сгорания, большие запасы прочности, в том числе по циклическим и ударным нагрузкам и т.п.). К этой проблеме относится также анализ остаточного ресурса основных деталей. Вопросы экономической целесообразности также могут оказывать существенное влияние на конструктивный облик двигателя [27].

К настоящему времени определены три основные принципиальные схемы конвертирования авиационных ГТД с точки зрения конструкции и циклов тепловых машин: блочно-модульный транспортный привод, использование двигателя в качестве силовой установки, использование двигателя в качестве генератора сжатого газа. При выборе конструктивного варианта учитываются. Кроме технических аспектов также экономические факторы, связанные с КПД двигателя, его ресурсом, объемом конструктивных переделок. Кроме постановки дополнительных ступеней турбины и создания диффузорного выходного устройства могут быть подвергнуты конструктивной доработке отдельные узлы и системы базового двигателя. Как правило создается новая система регулирования, контроля, топливопитания, что связано с переходом с керосина на природный газ и изменениями режимов работы.

На добычу газового топлива уходит достаточно большие затраты и материальные ресурсы, а используется оно часто с недостаточно эффективно. Добившись успешного контроля процесса горения и использования теплоты уходящих газов КПД котлов, которые работают на газе, достигает 90-94 %, соответственно при отсутствии должного контроля существенно снижается. Повышение эффективности использования газа имеет большое народно-хозяйственное значение. Систематическая работа над повышением КПД использования теплоты на сегодняшний день является одной из главнейших задач газовых хозяйств.

Для экономии газового топлива требуется систематический контроль за его сжиганием, в результате чего появляется возможность устранять потери теплоты, вызванные неполнотой сгорания, высокой температурой уходящих газов, большим избытком воздуха.

Многое в результате эффективности использования газового топлива зависит от правильности выбора этого топлива, т.к. в использовании для высокотемпературных

процессов целесообразен газ с малым содержанием балласта и высокой жаропроизводительностью. Благодаря этому обеспечивается повышение производительности газовых установок, и при уменьшении продолжительности процесса сжигания газа и снижению потерь топлива в окружающую среду удельный расход топлива на единицу выпускаемой продукции снижается.

В работе многих технологических процессах, непосредственно связанных с процессами сушки воздухом, применяется промежуточный теплоноситель - водяной пар. Для получения водяного пара необходимы дополнительные источники теплоты. Для сушки с успехом можно применять продукты сгорания газа, тогда специальные котельные установки и калориферы для нагрева воздуха паром не потребуются.

В процессе сжигания  $1 \text{ м}^3$  газа выделяется  $2 \text{ м}^3$  водяного пара, уходящего с продуктами сгорания, и при использовании теплоты конденсации этих водяных паров в нагреве питательной воды КПД котельных установок повышается.

Еще один способ повышения эффективности использования газового топлива – это проведение процесса сжигания газа в горелочных устройствах при больших тепловых напряжениях, в результате чего можно получить большее количество теплоты в малом объеме.

В основном технологические процессы проводятся при наличии высокой температуры уходящих газов. Каждая калория, вносимая в печь с подогретым воздухом, экономит несколько калорий теплоты сжигаемого газа. Эффективность использования газа повышается в том случае, если использовать теплоту уходящих газов для производства пара, нагрева воды или воздуха.

Широко используется метод ступенчатого использования теплоты продуктов сгорания, который основывается на сочетании работы низкотемпературных, среднетемпературных и высокотемпературных установок.

Установка и использование специальных рекуператоров хоть и дает значительную экономию газа, однако требует дополнительных капиталовложений. В связи с этим на данный момент актуальной задачей является поиск и реализация методов снижения температуры уходящих газов и повышения эффективности использования газа, соответственно без дополнительных денежных затрат и дополнительного оборудования.

Также теплоту уходящих газов, выделяемых от котлов и печей, используют при отоплении сушильных установок, а содержащуюся в продуктах сгорания газа теплоту конденсации водяного пара - для нагрева воды в контактных экономайзерах. Поэтому продукты сгорания, выделяемые высокотемпературными установками, можно использовать в низкотемпературных процессах для отопления этих установок. КПД ступенчатых установок может быть доведен до 95 %.

Возможно успешное использование продуктов сгорания в качестве источника диоксида углерода и инертных газов, который представляет интерес в применении диоксида углерода как ускорения развития растений и повышения урожая, а установлено, что органическая масса растений образуется путем фотосинтеза из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Атмосфера воздуха содержит около 0,03 %  $\text{CO}_2$  по объему и 21 %  $\text{O}_2$ . Но большинство растений все еще не приспособились к таким концентрациям, их фотосинтетический аппарат и сейчас лучше работает при значительно более высоких концентрациях  $\text{CO}_2$ , чем 0,03 % и при более низких, чем 21 % концентрациях кислорода. Лучшие результаты показателей роста растений и повышения урожайности можно наблюдать в искусственных условиях при повышении концентрации  $\text{CO}_2$  и снижении концентрации  $\text{O}_2$  в окружающем воздухе.

При повышении концентрации диоксида углерода в теплицах с доведением содержания  $\text{CO}_2$  в воздухе теплиц до 0,3 % наблюдается увеличение на 20 % урожая овощей, на 50 % - увеличивается число цветов и ускоряется их развитие и т.д.

Важное значение имеет обогащение воздуха теплиц диоксидом углерода, потому как с ростом количества теплиц и применением гидропоники, при которой отсутствует

выделение  $\text{CO}_2$  из почвы, возрастает потребность в диоксиде углерода.

Чистые продукты сгорания природного газа можно использовать для хранения в течение длительного срока фруктов и других пищевых продуктов.

В качестве инертных газов для изоляции огнеопасных и взрывоопасных материалов от контакта с воздухом, продувки взрывоопасной аппаратуры применяются продукты полного сгорания газа

Дальнейшее повышение эффективности использования теплоты топлива направлено на утилизацию выхлопных газов, передающих теплоту теплоносителю, не участвующему в цикле и не требующему затрат мощности для повышения давления. Объектами утилизации зачастую служат паровые или водогрейные котлы, котлы – утилизаторы (КУ), устанавливаемые для обогрева и теплоснабжения объектов (ГТУ-ТЭЦ), генерации пара для паровых турбин (ПГУ). Некоторое снижение электрической нагрузки связано с повышением сопротивления выходного тракта при утилизации теплоты уходящих газов ГТУ в КУ. Преимуществом таких схем являются малые безвозвратные потери цикловой подготовленной воды, а недостатком - наличие металлоемких крупногабаритных конструкций, требующих существенных промышленных площадей для размещения.

Обычно теплота выхлопных газов ГТУ, зависящая от начальных и конечных параметров газов, характеристик наружного воздуха, влияющих через характеристики ГТУ (при 0 °С вырабатывает на 20% больше электроэнергии, чем при 30 °С), в КУ используется только для отпуска теплоты внешним потребителям [27]. Максимальное использование теплоты выхлопных газов ГТУ происходит с учетом графика отопительной нагрузки. Промышленные ГТУ-ТЭЦ используются так же для производства технологического пара (с давлением до 6 МПа и температурой до 6000 С), практически не зависящего от температуры наружного воздуха.

Исследования специалистов ИВТ РАН и МЭИ показали - несмотря на то, что ПГУ потребляют вдвое меньше исходной воды (при открытой схеме) по сравнению с обычными ТЭС, затраты на подготовку воды в ПГУ выше и это примерно на 2% увеличивает себестоимость производимой электроэнергии [1].

Наиболее эффективно покрываются не сезонные потребности, а круглогодичные и с постоянным значением необходимой теплоты (конвертирование ГТД НК-37, установленного в составе ГТУ на Безымянской ТЭЦ в г. Самаре: электрическая мощность 25 МВт, КПД 36,4 %, выработка тепла 35,1 МВт, пар отпускается промышленным предприятиям, находящимся рядом с ТЭЦ) [2]. В последнее время смонтированы и запущены ГТУ-ТЭЦ с энергоустановками ГТУ-55СТ-20 "Энергоавиа", НК-37 "Двигатели НК", ГТЭ-10/95 ОАО "НПП"Мотор" и другие, в которых коэффициент использования теплоты топлива достигает 85 %.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы»

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые проблемы использования воды и водоподготовки на ПГУ с впрыском пара / Ю.А. Зейгарник, И.Л. Мостинский, Э.А. Цалко, В.Я. Штеренберг // Теплоэнергетика, 1995. № 12. С. 53 – 60.

2. Ольховский Г. Г. Газовые турбины для энергетики // Теплоэнергетика, 2004. № 1. С. 38 – 43.

3. Лоскутников А. А., Бакиров Ф. Г., Горюнов И. М. Алгоритм расчета комбинированных энергоустановок на базе ГТД и твердооксидных топливных элементов // Материалы докладов международной научно - техн. конф. "Проблемы и перспективы развития двигателестроения". Самара, 24-26 июня 2009 г. Самара: СГАУ. Ч. 2. 2009. С. 192 – 193.

4 Захаренков Е. А. Исследование и оптимизация схем и параметров гибридных электростанций на основе топливных элементов и газотурбинных установок. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – “Энергетические системы и комплексы”. – М.: МЭИ (ТУ), 2009. – 20 с.



### ОБ АВТОРАХ

**Сенюшкин Николай Сергеевич**, доцент каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетике УГАТУ, заместитель декана ФАД. Дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009). Исследования в области процессов в камерах сгорания авиационных ГТД, беспилотных летательных аппаратах, мониторинга подстилающей поверхности и судостроения.

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

Фото

**Лоскутников Александр Александрович**, ст. преп каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетике УГАТУ, заместитель декана ФАД. Дипл. инж. по тепловым электрическим станциям (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2011). Исследования в области процессов в энергетических установках, беспилотных летательных аппаратах.

e-mail: [alex\\_loskutnikov@mail.ru](mailto:alex_loskutnikov@mail.ru)

Фото

**Ялчибаева Лилия Наилевна**, студент каф. Авиационных двигателей УГАТУ. Исследования в области процессов в камерах сгорания авиационных ГТД, систем автоматизированного проектирования и трехмерных расчетов.

e-mail: [lila\\_ugatu@mail.ru](mailto:lila_ugatu@mail.ru)

УДК 621.45.01

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТД ДЛЯ АЛГОРИТМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РАЗГОНОМ

**Михайлов А. Е., Ахмедзянов Д. А., Михайлова А. Б.**

Программы развития авиационной техники и вооружений России на ближайшие десятилетия предусматривают создание качественно новых летательных аппаратов (ЛА), не уступающих по эффективности зарубежным аналогам. В свою очередь, эффективность ЛА различных типов в значительной степени зависит от уровня совершенства силовой установки. Поэтому выдвигается новый уровень требований к эффективности рабочего процесса и технико-экономическим показателям силовых установок ЛА.

Возможность получения требуемых характеристик авиационного газотурбинного двигателя (высотно-скоростных, климатических), а также динамических свойств в значительной степени зависит от способов управления рабочим процессом в нем,

осуществляемых с помощью его системы автоматического управления (САУ). Выбор программ и алгоритмов управления определяет возможность реализации в двигателе предусмотренных при проектировании, термодинамических и прочностных характеристик, обеспечения газодинамической устойчивости рабочих процессов в узлах ГТД. Эта зависимость свойств от метода управления силовой установкой распространяется в дальнейшем на характеристики летательного аппарата (экономичность, маневренность, целевая эффективность, надежность, живучесть).

Для формирования оптимальных законов управления авторами предлагается применение динамической характеристики. Согласно [1, 2, 3] динамической характеристикой называется зависимость всех приведенных параметров двигателя от приведенной частоты вращения ротора и приведенного расхода топлива, выраженные графически для каждого из параметров  $x_i$  в виде сеток линий постоянных значений  $x_{i\text{пр}}$  в координатах графика  $n_{\text{пр}}$  (абсцисса) и  $G_{T\text{пр}}$  (ордината), при наличии параметров фазового портрета  $n_{\text{пр}}$  и  $\dot{n}_{\text{пр}}$ .

Применение динамической характеристики позволяет решать следующие задачи управления газотурбинным двигателем:

- 1) регулирование заданного установившегося режима;
- 2) регулирование протекания переходного процесса разгона;
- 3) поддержание заданного состояния основного контура ТРД на форсированных режимах;
- 4) автоматическое изменение положения органов переменной геометрии проточной части (при наличии коррекции протекания динамической характеристики при изменении геометрии проточной части).

Основной особенностью использования динамической характеристики при исследовании неустановившихся режимов работы и управлении рабочим процессом ГТД является требование обеспечения подобия процессов в узлах ГТД на всех режимах.

Исследование динамической характеристики одновального ТРД производится в системе имитационного моделирования авиационных ГТД DVIGwr [4]. Система имитационного моделирования разработана в среде МетаСАПР САМСТО, разработанной в НИИ САПР-Д кафедры АД УГАТУ. Особенности построения поузловой имитационной математической модели представлены в работах [5] и в данной работе детально не рассматриваются.

Расчетное исследование производится на индивидуальной модели одновального турбореактивного двигателя с нерегулируемой геометрией проточной части в СИМ DVIGwr с использованием экспериментальных характеристик узлов двигателя (рис. 1).

В данной работе расчет динамической характеристики одновального ТРД производится в области положительных значений ускорения по частоте вращения ротора. Исследование производится при закрытой ленте перепуска воздуха в области повышенных (близких к максимальной) частот вращения ротора.

Построение динамической характеристики одновального ТРД производится в СИМ DVIGwr за счет расчета совокупности приемистостей с условиями моделирования, представленными в таблице 1.

На рис. 2 представлена динамическая характеристика одновального ТРД с нерегулируемой геометрией проточной части в виде зависимостей  $\dot{n} = f(n_{\text{пр}}, G_{T\text{пр}})$   $G_{T\text{пр}} = f(n_{\text{пр}}, \dot{n})$  в интервале частот вращения  $n_{\text{пр}} = 75\%..100\%$  при критическом режиме течения в сопловом аппарате турбины и реактивном сопле, что обеспечивает подобие режимов течения в узлах ГТД.

На динамической характеристике нанесены изолинии адиабатического полного КПД компрессора, полного давления воздуха за компрессором, граница предельных избытков топлива по запасу газодинамической устойчивости компрессора, а также линия

допустимых избытков топлива при соблюдении гарантированной газодинамической устойчивости компрессора.

На динамической характеристике одновального ТРД (рис. 2) приведена сетка ускорений по частоте вращения ротора, которая представляет собой графически выраженное уравнение  $\dot{n} = f(n_{пр}, G_{Тпр})$ , описывающее двигатель для всех условий полета как звено, входом которого является  $G_{Тпр}$ , а выходом  $n_{пр}$  (регулирующий и регулируемый параметры основного контура двигателя). Динамическая характеристика ТРД представляет собой область всех возможных решений уравнений динамики двигателя.

Таблица 1  
Условия моделирования в СИМ DVIGwP

Варьируемый параметр	Поддерживаемый параметр
Приведенный расход воздуха на входе в компрессор, $G_{Впр}$	Площадь критического сечения выходного устройства $F_{Скр}$
Степень повышения давления воздуха в компрессоре $\pi_K$	Относительная пропускная способность турбины $\bar{A}_T$
Приведенный расход топлива в камере сгорания $G_{Тпр}$	Ускорение по частоте вращения ротора турбокомпрессора $\dot{n}$

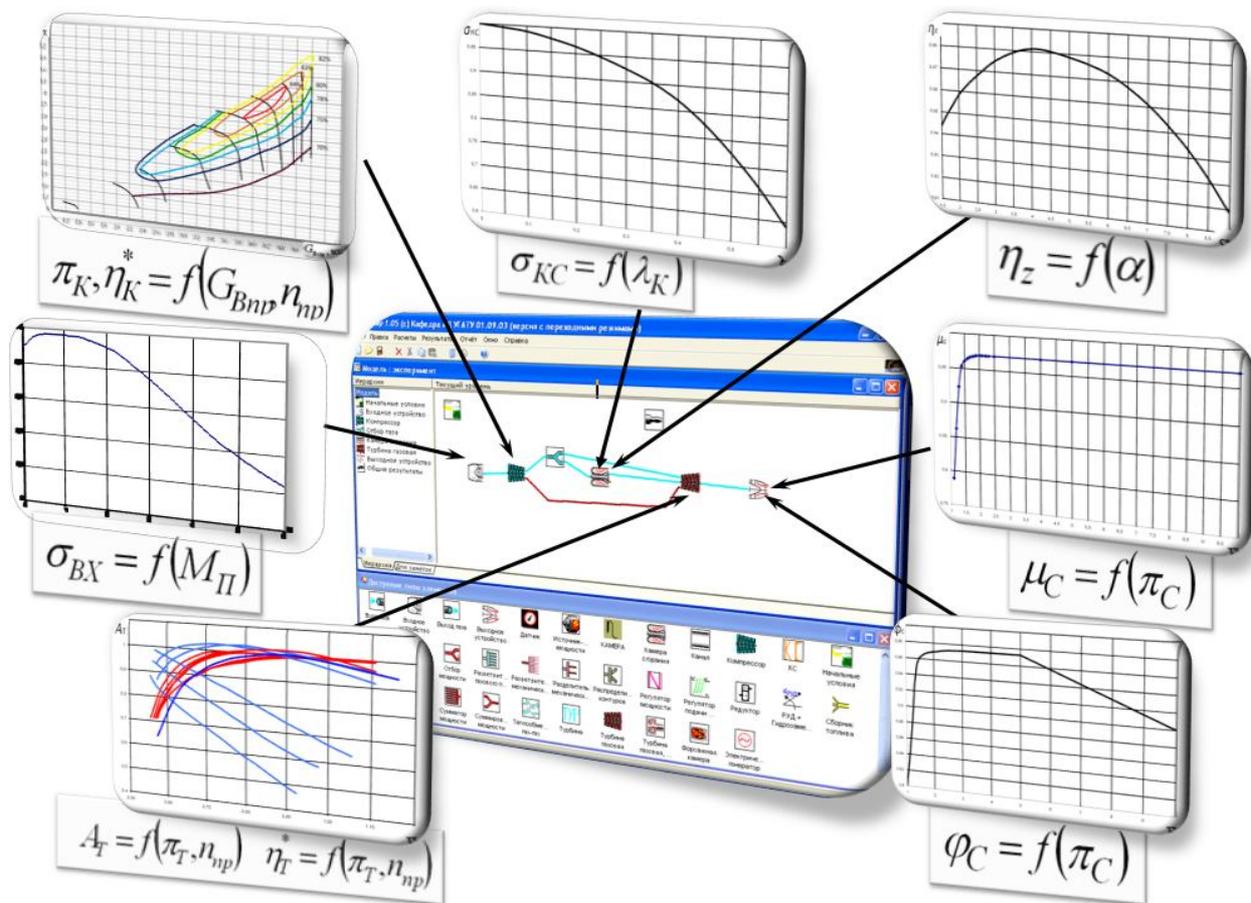
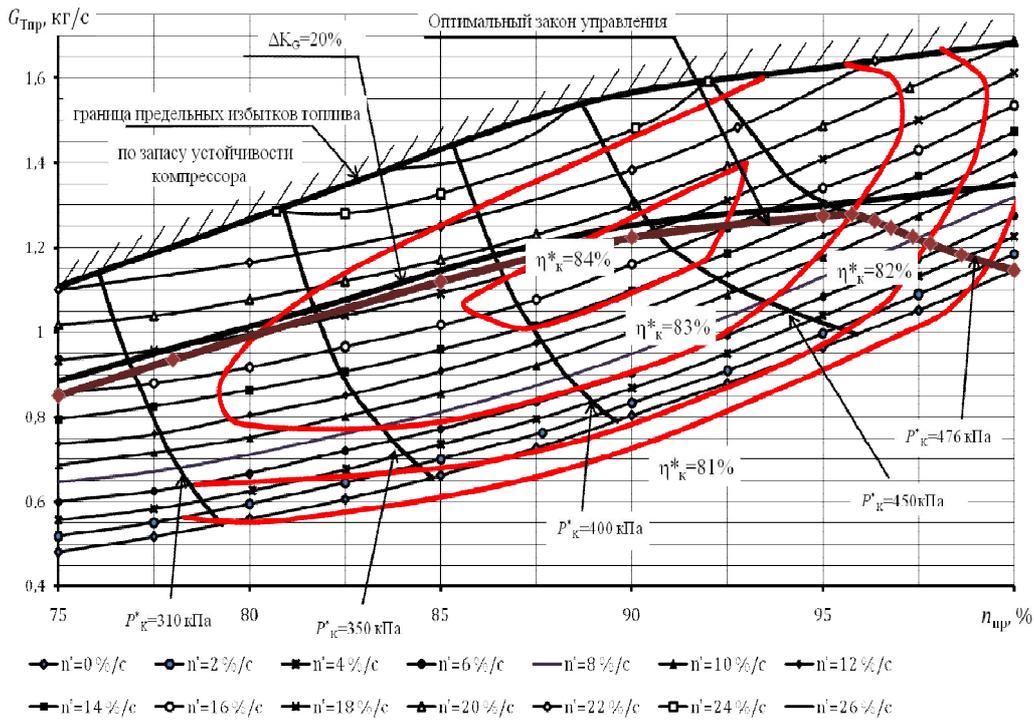
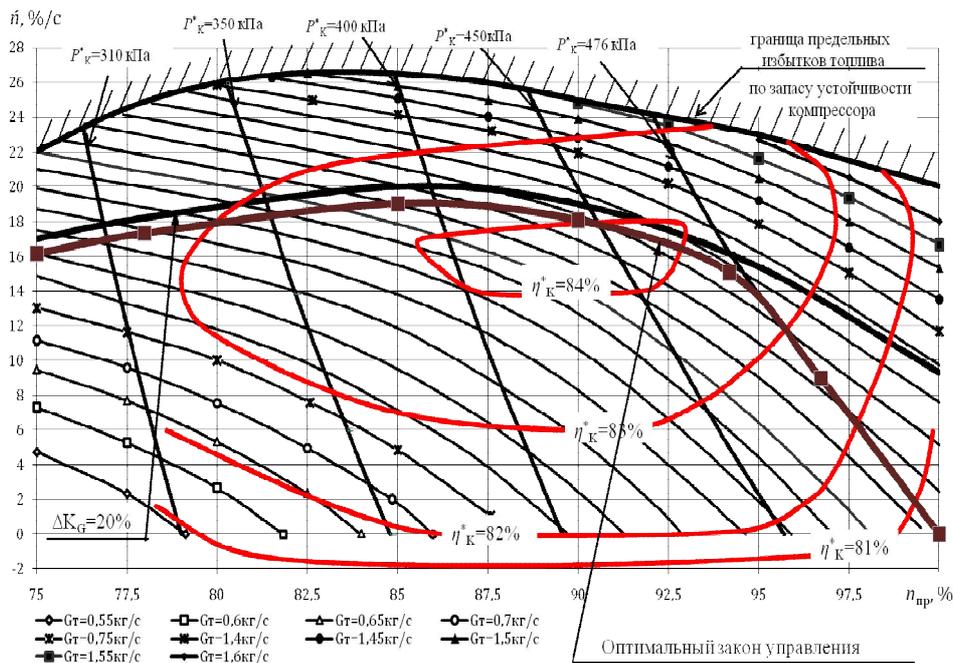


Рис. 1. Индивидуальная модель одновального ТРД в СИМ DVIGwP



**Рис. 2.** Расчетная динамическая характеристика в виде зависимостей  $\dot{n} = f(n_{пр}, G_{Тпр})$  и  $G_{Тпр} = f(n_{пр}, \dot{n})$



**Рис. 3.** Расчетная динамическая характеристика в виде зависимости

Подобное представление динамических свойств двигателя базируется на учете только одного главного аккумулятора энергии – инерционности вращающихся масс турбокомпрессора. При этом предполагается, что на установившихся и переходных режимах сохраняются неизменными геометрические размеры элементов проточной части, тепловое состояние элементов конструкции и пр.

На динамической характеристике (рис.2) представлена сетка изобар полного давления воздуха за компрессором  $p_K^*$  (величина  $p_K^*$  входит как сигнал во многие схемы регуляторов и необходима при расчете переходного процесса).

На рис. 5 представлена характеристика компрессора с изолиниями полного

адиабатического КПД компрессора. Сравнительный анализ кривых, представленных на рис. 2 и 5, позволяет выявить сходственное протекание изолиний полного адиабатического КПД компрессора. Расчетный характер полученных результатов позволил нанести сетку изолиний ускорений по частоте вращения ротора на экспериментальную характеристику компрессора. Можно заметить, что изолинии имеют сходный характер протекания на динамической характеристике одновального ТРД и на экспериментальной характеристике компрессора. Сходный характер протекания изолиний полного адиабатического КПД и ускорения по частоте вращения ротора на динамической характеристике компрессора и характеристике компрессора отражает особенности согласования узлов турбокомпрессора при постоянной площади сечения соплового аппарата турбины и реактивного сопла, а также при критическом режиме течения в сопловом аппарате турбины и реактивном сопле. Таким образом, полученные результаты отражают взаимосвязь и взаимозаменяемость характеристик узлов и динамической характеристики ТРД при подобии режимов течения в узлах ТРД.

На динамической характеристике (рис. 2–4) представлена расчетная граница предельных избытков топлива по запасам газодинамической устойчивости компрессора (может быть получена переносом границы устойчивой работы с характеристики компрессора после получения расчетной сетки изолиний  $p_K^*$ ).

Область допустимых параметров двигателя ограничивается линией допустимых избытков топлива  $\Delta K_G = 20\%$  (рис. 2–4) которая определяется следующим образом:

$$\Delta K_G = \frac{G_{Tnp\,cp} - G_{Tnp}}{G_{Tnp\,cp}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Кривая  $\Delta K_G = 20\%$  определяет требуемый запас по приведенному расходу топлива относительно границы устойчивой работы компрессора на динамической характеристике ТРД. Ограничение вводится для обеспечения устойчивой работы компрессора при возможных внешних возмущениях, ошибках регулирования, технологических отклонениях и т.п.

Расчетный характер проведенных исследований позволяет получить динамическую характеристику одновального ТРД в виде отличном от классического представления  $\dot{n} = f(G_{Tnp}, n_{np})$ . На рис. 3 представлена расчетная динамическая характеристика одновального ТРД с нерегулируемой геометрией проточной части в виде зависимости  $G_{Tnp} = f(n_{np}, \dot{n})$ . Динамическая характеристика ТРД на рис.3 представляет собой фазовый портрет динамической системы, в качестве которой выступает газотурбинный двигатель. На рис. 4 представлена динамическая характеристика одновального ТРД с нерегулируемой геометрией в виде зависимости  $n_{np} = f(G_{Tnp}, \dot{n})$ .

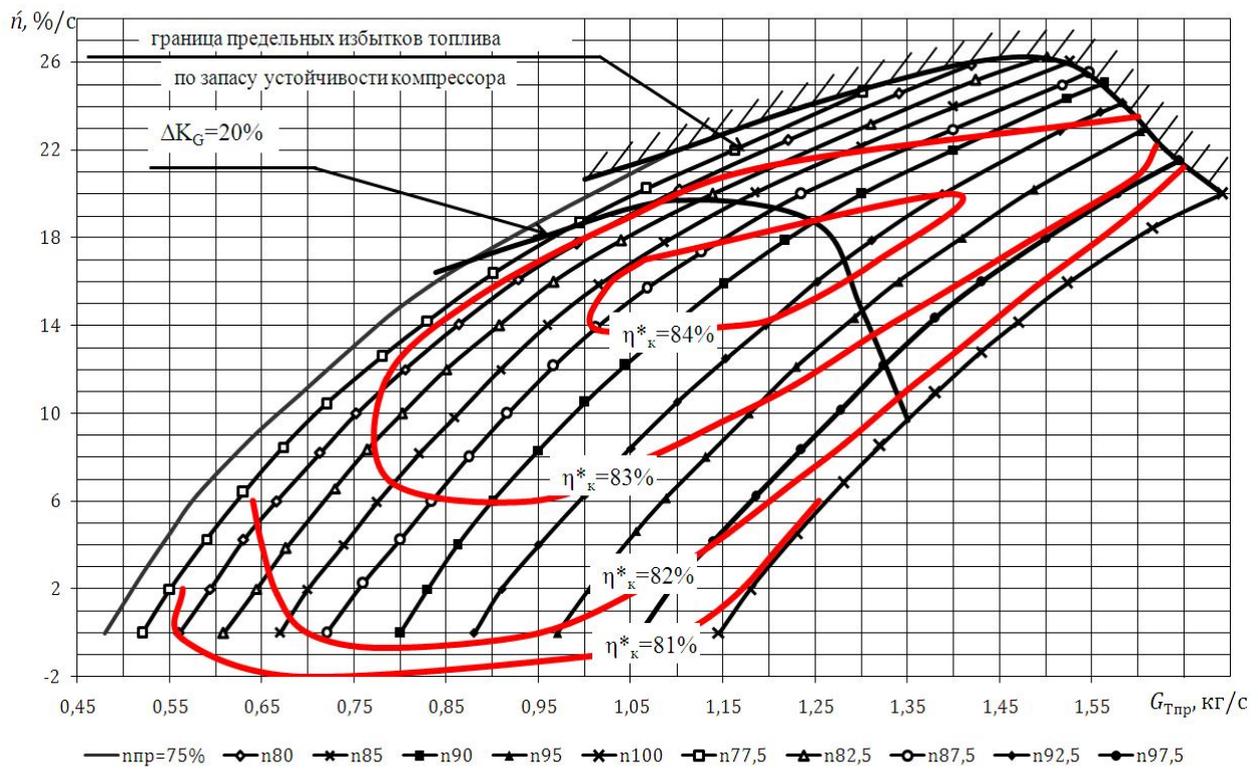


Рис. 4. Расчетная динамическая характеристика в виде зависимости  $n_{пр} = f(G_{Тпр}, \dot{n})$

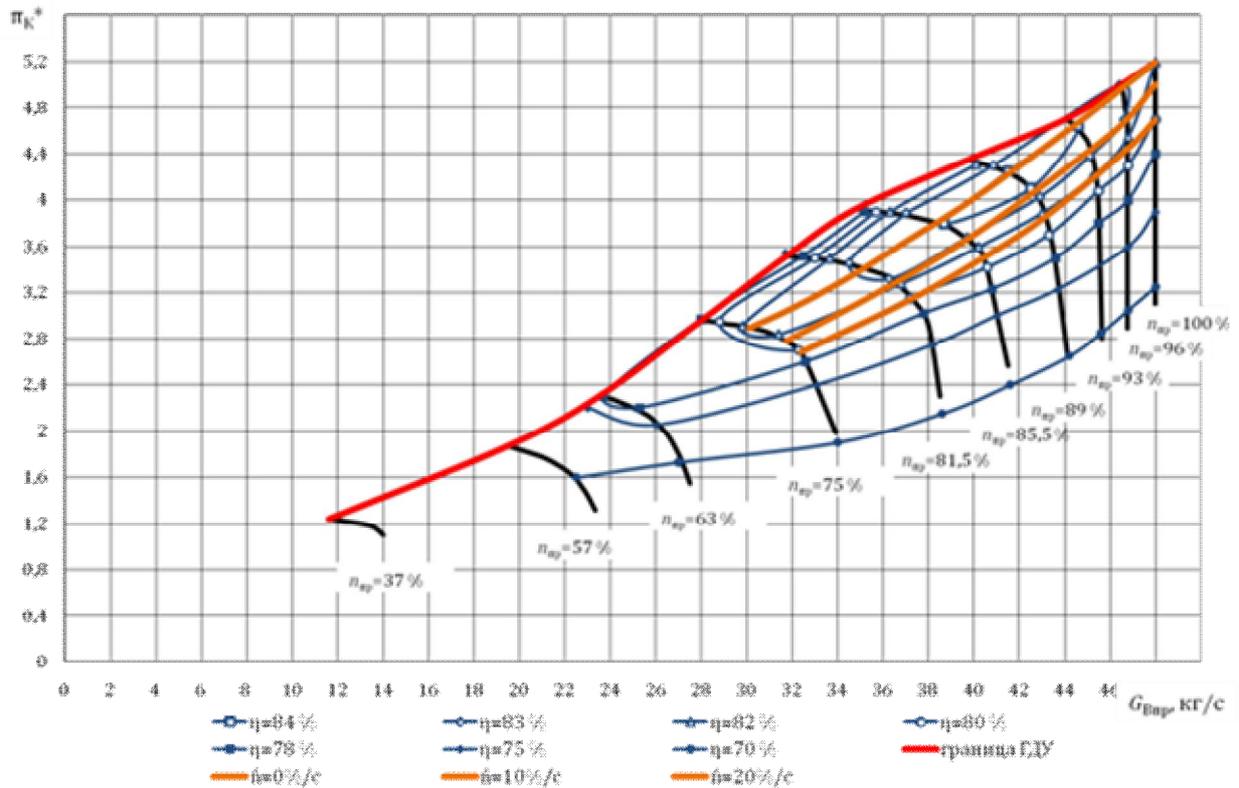


Рис. 5. Характеристика компрессора совместно с изолиниями полного адиабатического КПД и ускорений по частоте вращения ротора

Совокупность трех представленных расчетных динамических характеристик позволяет наиболее полно проводить исследование различных переходных и определить оптимальный закон управления силовой установкой в рассматриваемом диапазоне изменения частот вращения ротора.

На рис.2 и 4 представлена оптимальная переходная рабочая линия ТРД в диапазоне

изменения частот вращения  $n_{np} = 75\%..100\%$ . Оптимальная переходная рабочая линия состоит из двух основных участков. Первый участок – переходная рабочая линия с максимальными избытками топлива над установившейся рабочей линией для минимизации времени переходного процесса; второй участок – переходная рабочая линия к точке установившегося режима. На первом участке переходная рабочая линия эквидистантна границе предельных избытков топлива для обеспечения газодинамической устойчивости компрессора  $\Delta K_G = 20\%$  с запасом по избытку топлива 1%. На втором участке реализуется дозировка топлива по закону  $p_k = const$ , что обеспечивает минимальную статическую ошибку регулирования установившегося режима и необходимую устойчивость.

Динамическая характеристика ТРД, полученная с применением средств имитационного моделирования может быть использована для формирования статических и астатических законов управления.

Оптимальная переходная рабочая линия, представленная на рис. 2 может быть реализована с помощью статического закона, представленного в виде зависимости:

$$\frac{G_T}{n \cdot p_k^*} = f(n_{np}) \quad (2)$$

Комплекс в левой части выражения является приведенным, однако функция в правой части не позволяет обеспечить подобие переходных процессов и инвариантность закона управления относительно изменения внешних условий эксплуатации. Статический закон управления (2) содержит комплекс  $G_T/p_k^*$ , который характеризует коэффициент избытка воздуха в камере сгорания и температуру газов при подобии режимов течения и согласовании узлов турбокомпрессора, а также учитывает положение переходной рабочей линии относительно границы устойчивой работы компрессора. Недостатком подобного закона управления является невозможность достаточно точно учесть такие факторы как изменение коэффициента полноты сгорания топлива, отвод тепла в элементы конструкции двигателя, что влияет на эффективный избыток топлива и избыток мощности турбины при изменении условий эксплуатации. Для агрегатной реализации подобного закона управления необходима коррекция в зависимости от параметров атмосферного воздуха на входе в двигатель.

Указанных недостатков лишен астатический закон управления, который позволяет реализовать оптимальную переходную рабочую линию, представленную на рис. 3. Предлагаемый астатический закон управления представляется в виде:

$$\frac{\dot{n}}{p_k^*} = f(n_{np}) \quad (3)$$

Подобный закон управления включает в себя ускорение по частоте вращения ротора  $\dot{n}$ , которое учитывает все факторы, влияющие на избыток мощности турбины, такие как изменение полноты сгорания топлива, нестационарный теплообмен с элементами проточной части турбины и т.п. при изменении эксплуатационных условий. Левая часть выражения является приведенной, однако функция в правой части не обеспечивает инвариантности переходных процессов при изменении внешних условий. В случае применения подобного астатического закона управления менее точно учитываются запасы газодинамической устойчивости по измеряемым параметрам. Для агрегатной реализации подобного астатического закона управления необходима коррекция в зависимости от параметров воздуха на входе в двигатель.

С помощью предлагаемого подхода возможна разработка системы автоматического управления с использованием обоих законов управления. Статический закон управления используется для ограничения избытков топлива для обеспечения газодинамической устойчивости компрессора. Астатический закон управления используется в качестве основного, что позволяет получить минимальное время приемистости двигателя.

В системе имитационного моделирования DVIgwp произведен расчет переходного процесса при определенном оптимальном законе управления ТРД.

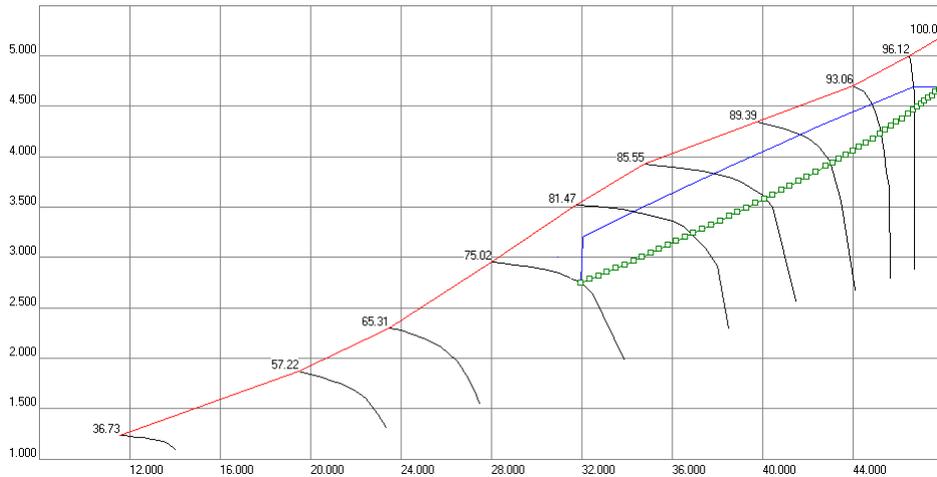


Рис. 6. Переходная рабочая линия на характеристике компрессора

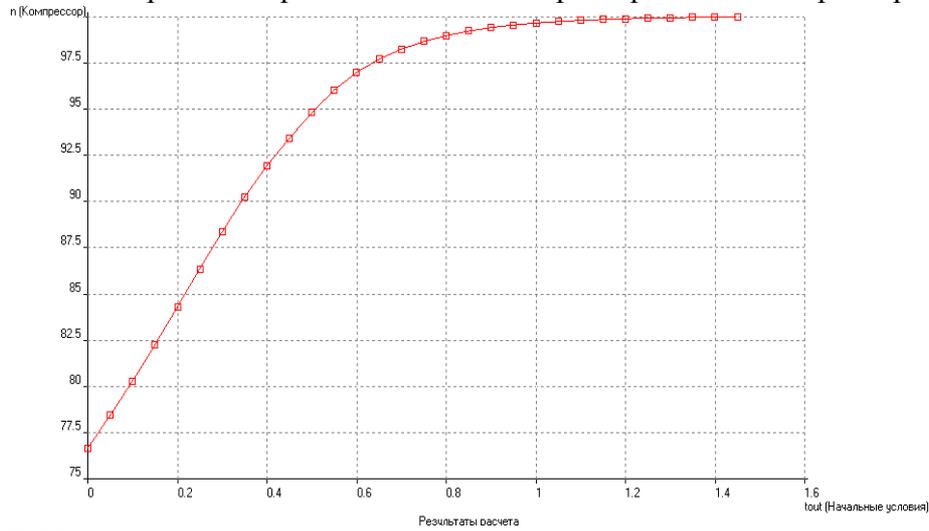


Рис. 7. Изменение частоты вращения ротора во время переходного процесса

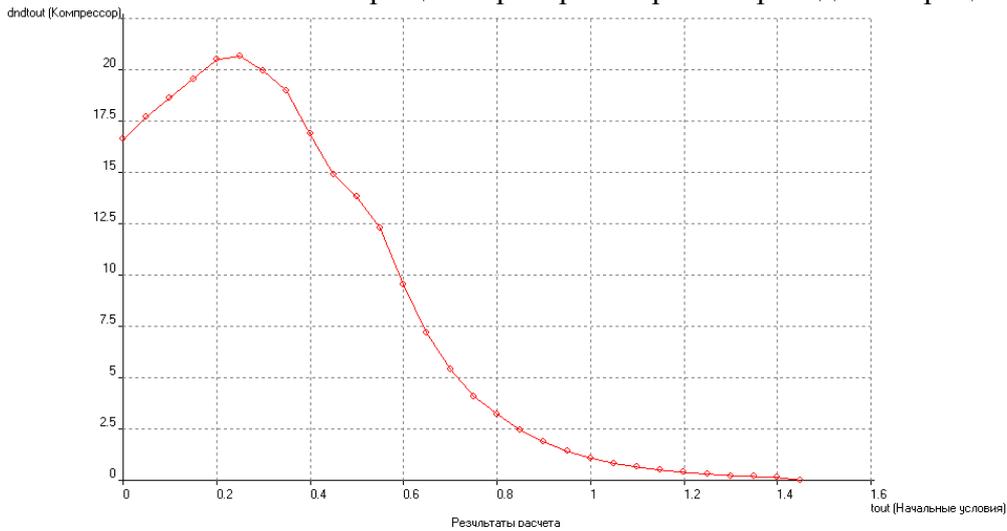
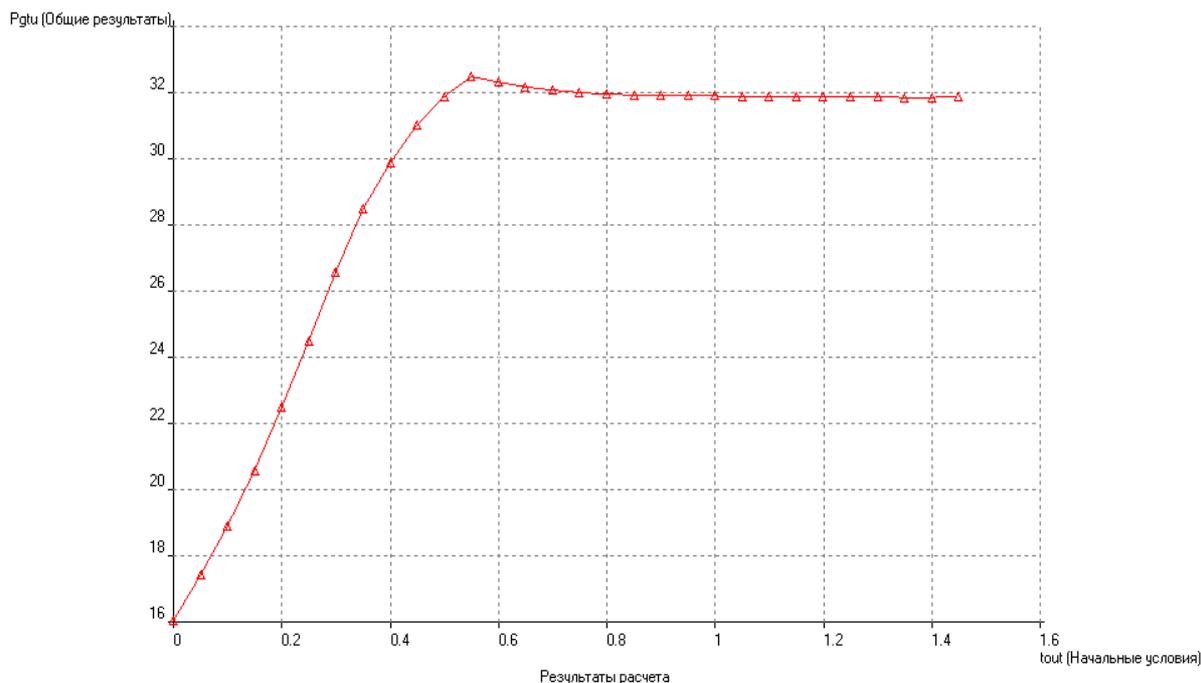


Рис. 8. Изменение ускорения ротора во время переходного процесса



**Рис. 8.** Изменение тяги двигателя во время переходного процесса

Согласно полученным расчетным характеристикам приведенное время переходного процесса в рассматриваемом диапазоне частот вращения ротора составляет 1,5 с.

В настоящей работе не рассматриваются вопросы взаимодействия различных регуляторов приемистости между собой, а также регуляторов приемистости и регуляторов установившегося режима. Однако возможен учет подобных взаимодействий при разработке интегральной поузловой имитационной модели газотурбинного двигателя совместно с элементами систем автоматического управления, контроля и диагностики.

Авторами в статье рассмотрены особенности силовых установок для беспилотных летательных аппаратов одноразового применения со сверхзвуковой крейсерской скоростью полета, а также требования и ограничения на силовую установку и ее САУ, накладываемые целевым назначением изделия.

Авторами произведен расчет совокупности переходных процессов в широком диапазоне частот вращения и из избытков топлива над установившимся режимом работы. Проведенные исследования позволили получить динамическую характеристику одновального ТРД с нерегулируемой геометрией проточной части при критическом режиме течения в сопловом аппарате турбины и реактивном сопле.

В работе представлена динамическая характеристика одновального ТРД в виде зависимостей  $\dot{n} = f(G_{Tnp}, n_{np})$ ,  $G_{Tnp} = f(n_{np}, \dot{n})$  и  $n_{np} = f(G_{Tnp}, \dot{n})$ . Расчетный характер исследований позволил впервые получить на динамической характеристике сетку изолиний полного адиабатического КПД компрессора.

Полученные с помощью средств имитационного моделирования динамические характеристики ТРД позволяют определить оптимальную переходную рабочую линию в приведенных параметрах. Комплекс динамических характеристик позволяет формировать статические и астатические законы управления силовой установкой БПЛА одноразового применения. Подобные законы управления могут быть реализованы в электронных, гидромеханических и комбинированных системах автоматического управления ТРД с учетом перехода с одного регулятора на другой (переход с регулятора установившегося режима на регулятор разгона и наоборот).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Любомудров Ю. В.** Применение теории подобия при проектировании систем управления газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1971. – 198 с.
2. **Теория** автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов. Управление ВРД. / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Шевякова. М.: Машиностроение, 1976. – 344 с.
3. **Шевяков А. А.** Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. М.: Машиностроение, 1970. – 660 с.
4. **Ахмедзянов Д. А.** Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610868. Система термогазодинамического моделирования газотурбинных двигателей на переходных режимах работы DVIGwp / Д. А. Ахмедзянов, И. А. Кривошеев, Е. С. Власова. М.: Роспатент, 2004.
5. **Тунаков А. П.** САПР газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов – Уфа: УГАТУ, 2005.–272 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ

**ОБ АВТОРАХ**

**Михайлова Александра Борисовна**, ассистент каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2008). Исследования в области процессов в компрессорах авиационных ГТД с использованием имитационного и 3D-CAD/CAE моделирования



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



**Михайлов Алексей Евгеньевич**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2010). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД



## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ВЫБОРА СУДОВОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Сенюшкин Н. С., Зырянов А. В., Суханов А. В.

Судовая энергетическая установка состоит из комплекса оборудования (тепловых двигателей, механизмов, аппаратов, магистралей, систем), предназначенного для преобразования энергии топлива в механическую, электрическую и тепловую энергию и транспортировки её к потребителям. Указанные виды энергии обеспечивают: движение судна с заданной скоростью; безопасность и надёжность плавания; работу механизмов машинного помещения, палубных механизмов и устройств; электрическое освещение; действие средств судовождения, управления механизмами, сигнализации и автоматики; общесудовые и бытовые нужды экипажа и пассажиров; выполнение различных производственных операций на транспортных судах, судах технического флота и специального назначения.

Судовая энергетическая установка должна удовлетворять следующим основным технико-экономическим и эксплуатационным требованиям:

- быть экономичной, т. е. строительная стоимость и эксплуатационные затраты на неё должны быть оптимальными;

- ГСЭУ должна обеспечивать заданную скорость хода судна, обладать достаточными маневренными качествами на всех режимах его движения и иметь высокий моторесурс;

- снабжать потребителей различными видами энергии и холодом при высокой экономичности процессов превращения тепловой энергии в механическую и электрическую;

- процессы управления и регулирования должны быть автоматизированы;

- быть надёжной, т. е. иметь оптимальную вероятность безотказной работы, требовать минимальное время на устранение неисправностей и сохранять работоспособность в аварийных ситуациях;

- при работе не оказывать вредного воздействия на обслуживающий персонал, пассажиров и не загрязнять окружающую среду;

- иметь малые габариты и массу.

В качестве главных и вспомогательных двигателей в ДЭУ применяются поршневые ДВС – дизели, работающие по открытому циклу.

Дизельные энергетические установки получили широкое распространение на судах различного назначения вследствие ряда положительных особенностей:

- возможности создания большого диапазона агрегатных мощностей на базе стандартных типоразмеров цилиндров;

- доступности использования различных типов передач;

- сравнительно высокой экономичности;

- относительной простоты автоматизации управления.

Экспертные системы (ЭС) – это яркое и быстро прогрессирующее направление в области искусственного интеллекта (ИИ). Экспертные системы – это набор программ или программное обеспечение, которое выполняет функции эксперта при решении какой-либо задачи в области его компетенции. ЭС, как и эксперт-человек, в процессе своей работы оперирует со знаниями. Знания о предметной области, необходимые для работы ЭС, определенным образом формализованы и представлены в памяти ЭВМ в виде базы знаний, которая может изменяться и дополняться в процессе развития системы.

Для решения задач рационального выбора конструкции используются следующие типы интегрированных сред (ИС) экспертных систем [1, 2, 3].

Тип 1. ИС применяется для создания ЭС в статических проблемных средах типа 1. ИС, как правило, являются оболочкой (средой) и характеризуются следующими особенностями: сущности представляются совокупностью атрибутов и значений, БЗ не структурирована, ИС ориентировано на решение статических задач анализа. Используется программирование, ориентированное на правила. Правила конкретные. Правила и данные вводятся экспертом или создаются автоматически из данных индуктивными методами. Сеть или дерево вывода компилируется в режиме приобретения знаний. Направление поиска решения: от цели к данным. Сопоставление не используется. При разработке ЭС используется технология, базирующаяся на поверхностных знаниях. Примеры ИС: 1-st class, ИЛИС и др.

Тип 2. ИС применяется для создания ЭС в статических средах типа 2. ИС, как правило, - оболочка (среда) со следующими особенностями: сущности представляются в виде атрибутов или вырожденных объектов (фреймов), структурирование БЗ слабо выражено, ориентация на решение статических задач анализа. Используются программирование, ориентированное на правила, и зачатки объектно-ориентированного программирования. Правила обычно конкретные, но в ряде ИС данного типа используются общие правила. Правила и структуры данных вводятся экспертом. В ИС этого и последующих типов индуктивные методы обычно не применяются, так как с их помощью можно получать только простые правила. Процесс получения решения обычно состоит в генерации сети вывода в режиме приобретения знаний. Направление поиска решения: от цели к данным. Сопоставление обычно не используется. При разработке ЭС используются поверхностный и структурный подходы.

Примеры ИС данного типа: ЭКО, Guru, Leonardo и др.

Тип 3. ИС применяется для создания ЭС в статических средах типа 3. ИС, как правило, - оболочка (среда) со следующими особенностями: сущности представляются в виде объектов, БЗ структурирована, ориентация на статические задачи анализа и синтеза. Используется программирование, ориентированное на правила, объектно-ориентированное и процедурное программирование. Правила конкретные и общие, т.е. используется операция сопоставления. Процесс получения решения включает: генерацию сети вывода и поиска или выработку предположений, генерацию сети вывода и поиска. Направление поиска решения по выбору: от цели к данным и от данных к целям. Используется (по выбору) поиск в ширину или в глубину. При разработке ЭС используются структурный, поверхностный и глубинный подходы. Данные и правила вводятся на ограниченном ЕЯ с использованием изображений.

Примеры ИС данного типа: Nexpert Object, ART, Level 5 Object, ProKappa, ADS.

Тип 4. ИС применяется для создания ЭС в динамических средах типа 4. ИС представляет собой инструментарий, т.е. совокупность компонентов, из которых программируется ЭС. Сущности представляются в виде атрибутов и значений, БЗ не структурирована, решаются динамические задачи анализа в реальном времени, правила конкретные. Используется как поиск от цели, так и от данных. Сопоставление не используется. Система моделирования отсутствует. При разработке ЭС используются поверхностный и структурный подходы.

Примеры ИС данного типа: TDC Expert, Activation Frame Work, Rocky.

Тип 5. ИС применяется для создания ЭС в динамических средах типа 5. ИС, как правило, - оболочка (среда) со следующими особенностями: сущности представляются классами объектов и их экземплярами, БЗ структурирована, решаются динамические задачи анализа и синтеза. Используется программирование, ориентированное на правила, объектно-ориентированное программирование и процедурное программирование. Правила конкретные и общие. Процесс получения решения состоит из генерации сети вывода и поиска. Направление поиска задается пользователем (от данных или от целей). Используется поиск в глубину и ширину. Операция сопоставления направляется метазнаниями путем фокусирования на группах правил и (или) классе объектов (объекте).

Используется система моделирования. Планировщик обеспечивает получение лучшего решения в условиях ограниченных ресурсов. Система поддержания истинности обеспечивает получение новых значений для переменных. При разработке ЭС используются поверхностный, структурный и глубинный подходы. Примеры ИС данного типа: G2, RTworks.

При создании ЭС возникает ряд затруднений. Это прежде всего связано с тем, что заказчик не всегда может точно сформулировать свои требования к разрабатываемой системе. Также возможно возникновение трудностей чисто психологического порядка: при создании базы знаний системы эксперт может препятствовать передаче своих знаний, опасаясь, что впоследствии его заменят “машиной”. Но эти страхи не обоснованы, т. к. ЭС не способны обучаться, они не обладают здравым смыслом, интуицией.

Применительно к отрасли судостроения инструментарий и методы решения экспертных систем могут быть полезны для решения задачи выбора энергетической установки судна.

Выбор типа установки зависит от назначения судна, района плавания, экономичности установки, простоты обслуживания, степени безопасности в пожарном отношении и реальности получения механизмов от промышленности [4].

Всю совокупность систем и механизмов судовых энергетических установок (СЭУ) принято условно делить на:

- главную установку, предназначенную для осуществления движения судов;
- вспомогательную – для обеспечения потребности судов в энергии на стоянке, для ввода в действие главной установки;
- электроэнергетическую – для обеспечения судна электроэнергией;
- системы и механизмы общесудового назначения.

Работа типовых СЭУ основана на преобразовании тепловой энергии в механическую работу или электрическую энергию.

Особо нужно сказать о дизель-электрических энергоустановках (ДЭУ). Хотя они менее экономичны, чем обычные дизельные, но при необходимости частой смены режима вращения винтов являются идеальным вариантом. Достоинством этих СЭУ является одинаковый крутящий момент для прямого и обратного хода, причем на малых оборотах он больше, чем у дизельных СЭУ с механическим приводом.

Дизель-редукторные установки устанавливаются на малотоннажных судах и быстроходных катерах.

Дизельные установки с гидроредукцией используются на судах ледового плавания, речных судах, буксирах, малых паромах, для подруливающих устройств и привода активных рулей на крупнотоннажных морских судах, на специальных судах, где требуется обеспечить возможность работы СЭУ в широком диапазоне нагрузок и высокие тяговые характеристики на пониженных частотах вращения гребного винта.

Дизель-электрические установки целесообразно применять на судах, где требуется быстрое изменение режима работы. К ним относятся линейные ледоколы, суда активного ледового плавания, большие рыболовные траулеры, паромы и др. Особенно мощные ДЭУ устанавливаются на ледоколах. Для ДЭУ главными двигателями могут быть СОД и ВОД.

Электроэнергией судно с ДУ обеспечивается автономными ДГ, утилизационными турбогенераторами (УТГ) и валогенераторами. Последние могут приводиться от промежуточного вала с помощью текстурной передачи, от ведомой шестерни редуктора (только на ходу судна) или от его ведущей шестерни (как на ходу, так и на стоянке).

Одна из современных тенденций – совершенствование более экономичных и экологичных по сравнению с дизелями двигателей Стирлинга. Принцип их работы основан на внешнем подводе теплоты (любой, начиная от тепла продуктов сгорания топлива и заканчивая солнечной энергией). В качестве рабочего тела двигателей могут быть использованы жидкости или газы. Основным недостатком такой ЭУ является необходимость сверхвысоких давлений для обеспечения параметров, сравнимых с

характеристиками ДВС, и большая площадь теплообменных элементов, через которые подводится тепло. Преимущество такой ЭУ – бесшумность, очень низкий уровень вибраций, огромный ресурс за счет простоты конструкции и возможность работы при минимальных градиентах температуры.

Газовая турбина (ГТ) представляет собой совокупность компрессора, камеры сгорания и собственно турбины. ГТ вобрала в себя преимущества дизельного двигателя и паровой турбины. Как дизельный двигатель ГТ не нуждается в котлах для выработки пара, как паровая турбина – не имеет элементов, совершающих возвратно-поступательное движение. При малом весе, ГТ способна вырабатывать мощность большую, нежели дизельные ЭУ, быстро подготавливается к работе и обладает высокой приемистостью.

Основной недостаток газовых турбин – неэкономичность – может быть преодолен за счет повышения температуры выходящих газов и использования бросового тепла для выработки электроэнергии. Например, при помощи эффективного термоэлектрического преобразователя на основе полупроводников. Принцип его действия основан на эффекте генерации электродвижущей силы при равномерном нагреве полупроводника из сульфида самария (SmS) при отсутствии внешних температурных градиентов. Рабочий образец показывает КПД более 40%, что позволяет говорить о возможности запуска коммерческого проекта.

Паровая турбина – двигатель, в котором тепло подведенного пара превращается в кинетическую энергию, а уже эта энергия используется для совершения механической работы. В настоящее время паротурбинные (ПТ) установки в качестве основных СЭУ применяются лишь на крупных военных кораблях и на быстроходных и крупных контейнеровозах с мощностью главного двигателя более 40000 л. с. В качестве части комплексных ЭУ применяются на атомоходах.

В состав атомной судовой энергетической установки (АСЭУ) входят ядерный реактор, парогенератор и паровая турбина. В реакторе происходит управляемая реакция деления ядра, цель которой – получение огромного количества тепла. Тепло отводится с помощью охладительного контура к парогенератору, откуда пар подается на турбину, где полученная кинетическая энергия преобразуется в механическую работу. К несомненным достоинствам АСЭУ относится высокая мощность, возможность долгой автономной работы. К недостаткам – дороговизна постройки и эксплуатации [5].

Рассмотрим некоторые виды судов и их энергетических установок.

Плавание во льдах предъявляет особые требования к энергетической установке ледокола. От правильного выбора элементов установки в значительной степени зависит экономичная и безаварийная работа ледокола.

Одно из основных требований, предъявляемых к энергетическим установкам ледокола — необходимость автоматического поддержания постоянства мощности гребной установки во всем диапазоне изменения режимов работы двигателя — от швартовного до хода на свободной воде. Такое требование вытекает из условий работы гребной установки во льдах, когда сопротивление движению ледокола а даже за сравнительно небольшой отрезок времени меняется в широком диапазоне, что, в свою очередь, приводит к изменению скорости движения ледокола и к изменению момента сопротивления вращению гребного винта.

Атомная (ядерная) энергетическая судовая установка (ЯЭУ) требует мощной биологической защиты, что увеличивает ее вес и усложняет установку; она нуждается в обслуживающем персонале высокой квалификации, требует постройки специальных баз для перезарядки, обслуживания и ремонта. Однако совершенствование атомных установок приводит к постепенному устранению указанных недостатков.

Энергетические установки, в которых мощность от главных двигателей передается к гребным винтам с помощью электропередачи, принято называть гребными электрическими установками (ГЭУ).

Электрическая передача позволяет обеспечить выполнение одного из основных

требований, предъявляемых к энергетической установке ледокола,— сохранения постоянства мощности главного двигателя при изменениях момента на гребном винте. На буксирах применяются дизели различного типа. Качеств главных двигателей буксирного флота используются дизели простого действия, рядные или V-образные с газотурбинным наддувом.

Энергетические установки лихтеров и барж предназначаются для питания паром или электроэнергией механизмов грузовых устройств и систем, палубных механизмов, а также для других целей (общесудового и специального назначения). Энерговооруженность лихтеров и тем более барж очень низкая. Обычно применяют паровые, дизельные и дизель-электрические установки. Дизельные установки применяют весьма редко в связи с тем, что дизельный привод не может обеспечить всех нужд судна.

Также существуют и другие типы судов, поэтому перед инженером-проектировщиком при выборе типа энергетической установки для конкретного типа судна стоит непростая задача верного определения типа силовой установки судна, решение которой обеспечит наибольшую экономическую эффективность от использования данной силовой установки. Для облегчения решения данной задачи предлагается использовать инструменты экспертных систем.

Для реализации подхода к решению задачи выбора типа энергетической установки судна с помощью экспертной системы разрабатывается база данных по различным типам судов военного и гражданского назначения, что позволит расширить область применения разрабатываемой экспертной системы. База данных содержит данные о габаритах судов, типе используемой энергетической установки, количеству гребных валов, а так же компоновке энергетической установки в корпусе судна. Экспертная система, анализируя исходные данные по типу и габаритным размерам судна, исходя из заложенных в ее базе данных прототипов судов данного типа выдает рекомендуемый тип энергетической установки, количество гребных валов и компоновку установки в корпусе судна.

В приведенной выше обобщенной таблице типов судов и их силовых установок приведена лишь небольшая часть судов основных типов (по одному судну каждого типа), являющихся характерными представителями своего класса. Следует отметить, что в приведенной таблице находятся суда как гражданского (ледокол, контейнеровоз, буксир, тримаран, пассажирское судно), так и военного (авианосец, крейсер, корвет, фрегат, эсминец) назначения. Такой широкий спектр типов судов позволяет существенно расширить применимость экспертной системы для различных классов судов и различного применения. Авторами не приводится более полный, расширенный вариант данной таблицы по рассматриваемым типам судов с другими главными размерениями вследствие ее большого объема.

Таким образом, главным достоинством экспертных систем является возможность накопления знаний и сохранение их длительное время. В отличие от человека к любой информации экспертные системы подходят объективно, что улучшает качество проводимой экспертизы. При решении задач, требующих обработки большого объема знаний, возможность возникновения ошибки при переборе очень мала.

В современных условиях газотурбинные двигатели (ГТД) находят в силу своих высоких технических характеристик широкое применение не только в традиционных областях экономики страны, таких как авиация, судостроение, транспорт и др., но и в качестве наземных энергоустановок (ЭУ), например, в энергетике, газопроводном транспорте.

Конверсия в технике является одной из важнейших задач развития экономики. В частности, очень эффективным является использование находящихся на высоком уровне развития и совершенства авиационных (ГТД для привода газоперекачивающих агрегатов. При этом возможно как использование элементов конструкции базовых ГТД, в том числе и после наработки на самолете, так и создание новых наземных ГТУ авиационного типа [1].

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы»

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в экспертные системы / Питер Джексон. – Вильямс, 2001.
2. Нейлор. К. Как построить свою экспертную систему.- М.: Энергоатомиздат, 1991.
- 3 Сафонов В. О. Экспертные системы - интеллектуальные помощники специалистов.- С.-Пб: Санкт-Петербургская организация общества “Знания” России, 1992.
- 4 Зубов Н. Н. Давыдов В. Г. Конструктивные типы и схемы корабельных энергетических установок: СПб: Изд. центр СПбМТУ, 1997.
- 5 Сенюшкин Н.С., Телегина К.А. Концепция развития современного судостроения // Молодой ученый. — 2011. — №4. Т.1. — С. 56-59

### ОБ АВТОРАХ



**Сенюшкин Николай Сергеевич**, доцент каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетике УГАТУ, заместитель декана ФАД. Дипл. инж. по авиационным двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009). Исследования в области процессов в камерах сгорания авиационных ГТД, беспилотных летательных аппаратах, мониторинга подстилающей поверхности и судостроения.

e-mail: aviastar-ufa@mail.ru



Фото

**Зырянов Алексей Викторович**, доцент каф. авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инж. по технической эксплуатации ЛА и двигателей (УГАТУ, 2003). Канд. техн. наук по тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2008). Исследования в области процессов в энергетических установках, беспилотных летательных аппаратах.

e-mail: alex\_fox@mail.ru



Фото

**Суханов Андрей Владимирович**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. магистра авиационного строения (УГАТУ, 2011). Исследования в области автоматического управления

e-mail: flyer88@mail.ru

УДК 621.4

### МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЧНОСТИ ЛОПАТОК ТУРБИН

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

При проведении экспериментального исследования с применением планирования эксперимента основное требование сводится к получению требуемого результата при

наименьших временных и материальных затратах. Комплексная оценка эффективности плана эксперимента (ПЭ) предусматривает учет показателей, характеризующих его как функциональное, так и экономическое качество [1, 2]:

- показатель  $\Pi_T$ , характеризующий погрешность регрессионной модели, описывающей исследуемый объект (процесс);
- показатель  $\Pi_N$ , характеризующий объем эксперимента (количество опытов в ПЭ);
- показатель  $\Pi_C$ , характеризующий стоимость затрат на проведение эксперимента;
- показатель  $\Pi_\tau$ , характеризующий длительность проведения эксперимента.

Совместный учет показателей  $\Pi_T$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_C$  и  $\Pi_\tau$ , характеризующий некоторым обобщенным показателем эффективности  $\mathcal{E}$ , позволяет проводить многокритериальную оптимизацию плана [1]:

$$\mathcal{E}(\Pi_T, \Pi_N, \Pi_C, \Pi_\tau) \rightarrow opt. \quad (1)$$

Перечисленным показателям  $\Pi_T$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_C$  и  $\Pi_\tau$  соответствуют свои критерии эффективности  $K_i$ :

$$\begin{aligned} K_T &= \min \Pi_T; & K_N &= \min \Pi_N; \\ K_C &= \min \Pi_C; & K_\tau &= \min \Pi_\tau \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, основной целью комплексной (многокритериальной) оптимизации исследования на основе планирования эксперимента является выбор плана, обеспечивающего достижимое значение эффективности проводимого исследования одновременно по всем основным показателям: точности моделирования исследуемого изделия, а также материальным и временным затратам на исследование.

Комплексная оптимизация плана эксперимента основана на последовательном выполнении следующих основных этапов работ.

Этап 1. Формирование исходных данных.

Этап 2. Формирование множества Парето-оптимальных планов эксперимента.

Этап 3. Выбор окончательного плана эксперимента и его практическая реализация.

Этап 1 включает:

- обоснование множества показателей и критериев эффективности плана, являющихся основными для проводимого исследования;
- выбор вида модели, описывающей исследуемую характеристику объекта;
- определение области реализации выбранных показателей эффективности плана эксперимента;
- формирование области реализации эксперимента.

Область реализации показателей эффективности формируется с учетом ограничений на материальные и временные затраты на эксперимент, включая ограничение на количество опытов в плане или ограничение на количество образцов изделия, выделяемых на исследование.

Этап 2 предназначен для формирования области оптимальных компромиссных решений, получаемых оптимизацией плана с учетом показателей, выбранных на первом этапе. При многофакторном многокритериальном планировании отсутствие одного единственного оптимального решения обусловлено противоречивостью критериев эффективности плана эксперимента.

Рассмотренные показатели эффективности плана эксперимента  $K_T, K_N, K_C$  и  $K_\tau$  имеют разные единицы измерения и свою область определения. Поэтому для совместного учета показателей эффективности и выбора окончательного плана эксперимента рассматриваются их пронормированные значения [1, 2]:

$$\Pi_T^{(H)}, \Pi_N^{(H)}, \Pi_C^{(H)}, \Pi_\tau^{(H)} \in 0 \dots 1; \quad (3)$$

$$\Pi_T^{(H)} = \Pi_T^* / \Pi_T; \quad \Pi_N^{(H)} = (k+1) / N; \quad (4)$$

$$\Pi_C^{(H)} = \sum_{i=1}^{N^*} \sum_{j=1}^{n_i^*} C_{ij}^* / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij};$$

$$\Pi_\tau^H = \sum_{i=1}^{N^*} \sum_{j=1}^{n_i^*} \tau_{ij}^* / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \tau_{ij},$$

где  $\Pi_T^*$  – предельно допустимое значение погрешности регрессионной модели;  $N$  – количество опытов в ПЭ;  $k$  – количество констант регрессионной модели, подлежащих определению;  $N^*$  – количество опытов, соответствующее оптимальному ПЭ;  $n^*$  – количество повторных опытов в оптимальном ПЭ;  $c_{i,j}$ ,  $\tau_{i,j}$  – стоимость и длительность  $j$ -го повторного опыта в  $i$ -ой строке ПЭ;  $c_{i,j}^*$ ,  $\tau_{i,j}^*$  – оптимальные (желательные для исследователя) значения  $c_{i,j}$ ,  $\tau_{i,j}$ .

Множество Парето-оптимальных планов формируется многократной оптимизацией векторного функционала  $K_\Sigma$ , являющегося сверткой нормированных значений критериев эффективности плана эксперимента  $K_T, K_N, K_C$  и  $K_\tau$ :

$$K_\Sigma = [K_T, K_N, K_C, K_\tau]^T = \min[A \cdot \Pi_T^H + B \cdot \Pi_N^H + C \cdot \Pi_C^H + D \cdot \Pi_\tau^H], \quad (5)$$

где  $A, B, C, D$  – положительные числа, используемые в методе Парето ( $A+B+C+D=1$ ).

Многократная оптимизация обеспечивается варьированием в (5) значений коэффициентов  $A, B, C$  и  $D$  в интервале  $0 \dots 1$  при условии  $A+B+C+D=1$ .

Очевидно, что на практике проведение поиска оптимального плана имеет смысл, когда на параметры  $N, C_\Sigma$  и  $\tau_\Sigma$  наложены ограничения, обусловленные финансовыми возможностями исследователя и располагаемым временным ресурсом (особенно при проведении испытаний на надежность и ресурс):

$$N \leq N_{np}; \quad C_\Sigma \leq C_{np}; \quad \tau_\Sigma \leq \tau_{np}, \quad (6)$$

где  $N_{np}, C_{np}, \tau_{np}$  – предельные (верхние) ограничения по объему (качеству) опытов, стоимости и длительности планируемого экспериментального исследования.

Рассмотрим применение изложенной методики планирования эксперимента при исследовании длительной и статической прочности лопаток турбин газотурбинных двигателей.

Длительная статическая прочность  $\sigma_{st}$  является основной характеристикой материала, определяющей возможность применения его для нагруженных горячих деталей авиационных и наземных газотурбинных двигателей (рабочие лопатки и диски турбины, корпуса и оболочки, опоры, валы). При этом другие характеристики рассматривают только в случае, если запас по длительной прочности укладывается в требуемые нормы [3].

Предел длительной прочности – это постоянное напряжение, приложенное к образцу или детали при постоянной температуре и приводящее к их разрушению в течение заданного промежутка времени. Время до разрушения  $\tau^*$  связано с действующим напряжением  $\sigma$  уравнением:

$$\tau^* = A / \sigma^m, \quad (7)$$

где  $A$  и  $m$  – константы для данного материала и заданной температуры.

В логарифмической системе координат это уравнение прямой линии.

Исследованиями установлено, что лучше согласуется с экспериментальными данными экспоненциальная модель вида:

$$\tau^* = A / e^{q\sigma}, \quad (8)$$

представляющая прямую линию в полулогарифмических координатах  $\sigma - \lg \tau$ , где  $\tau$  – долговечность (время до разрушения);  $\sigma$  – постоянное напряжение;  $e$  – основание натурального логарифма;  $A$  и  $q$  – константы для данного материала и температуры.

Для прогнозирования опытных данных по длительной прочности, полученных при некоторых температурах, на другие значения температур существуют параметрические зависимости между  $\tau^*$ ,  $T$  и  $\sigma$ . Наибольшее распространение в получила параметрическая зависимость Ларсена - Миллера [3, 4]:

$$T(C + \lg \tau^*) = \text{const}, \quad (9)$$

где  $T$  – абсолютная температура;  $\tau^*$  – время до разрушения;  $C$  – константа.

Исследованиями Ларсена и Миллера установлено, что для большинства жаропрочных сплавов значение константы  $C$  колеблется в пределах 18...22. В расчетах обычно пользуются средним значением  $C = 20$  [3].

Рассмотрим возможности планированного эксперимента при исследовании длительной прочности на примере жаропрочного материала ЖС6К, наиболее часто применяемого для изготовления лопаток турбин авиационных ГТД.

Для данного сплава зависимость долговечности  $\tau^*$  от температуры испытаний  $T$  и напряжения  $\sigma$ , определенная из соотношения Ларсена - Миллера, имеет вид [4]:

$$\tau^* = 10^{\left[ \frac{A-\sigma}{BT} - C \right]} = 10^{\left[ \frac{245,3-\sigma}{8,18 \cdot 10 - 3T} - 20 \right]}, \quad (10)$$

где  $\sigma$  – напряжение, кг/мм<sup>2</sup>;  $T$  – температура, К.

По условиям задачи требовалось выбрать план эксперимента для уточнения значений констант  $A$  и  $B$  степенной модели (10) в области эксплуатационных режимов нагружения, заданной ограничениями:

$$\Omega_{\text{экс}} = \begin{cases} 25 \text{ кг/мм}^2 \leq \sigma \leq 30 \text{ кг/мм}^2; \\ 1123 \text{ К} \leq T \leq 1173 \text{ К}, \end{cases} \quad (11)$$

или в нормированных значениях:

$$\Omega'_{\text{экс}} = \begin{cases} -1 \leq x_1(\sigma) \leq +1; \\ -1 \leq x_2(T) \leq +1. \end{cases} \quad (12)$$

Для решения данной задачи воспользуемся  $G$ -оптимальным планированием эксперимента [2, 4].

Критерий  $G$ -оптимальности  $K_G$  требует такого расположения точек в области планирования  $\Omega_x$ , при котором достигается наименьшая величина максимальной дисперсии  $d(x)$  выходного параметра модели:

$$K_G = \min_{X \in \Omega_x} \max_{x \in \Omega_x} d(x). \quad (13)$$

В отличие от критериев  $A$ - и  $D$ -оптимальности, применение  $G$ -оптимального плана даёт экспериментатору гарантию, что в области планирования не окажется точек, в которых точность оценки выходного параметра (поверхности отклика) слишком низкая.

В случае, когда целью эксперимента является поиск экстремума выходного параметра отклика, то вопрос о величине дисперсии предсказанных значений параметра модели в заданной области является весьма существенным, т. е. в данном случае предпочтительным является применение  $G$  – оптимального планирования эксперимента.

Для построения планов, минимизирующих дисперсию оценки выходного параметра модели (поверхности отклика) в области экстремума, необходимо иметь предварительную оценку его положения.

Мерой отклонения оценки регрессионной модели  $\eta(x) = \sum_{j=0}^k \theta_j f_j(x)$  (где  $\theta_j$  – искомые константы регрессионной модели;  $(k+1)$  – число членов регрессионной модели;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  – вектор входных факторов;  $f_j(x)$  – известные функции входных факторов) от истинной зависимости является дисперсия предсказанных по регрессионной модели значений выходного параметра модели:

$$d(x) = \sigma^2 f^T(x) M^{-1} f(x), \quad (14)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия погрешности контроля выходного параметра модели в эксперименте; информационная матрица Фишера  $M = F^T F$  ( $F$  – матрица плана эксперимента)

Учитывая, что в данной области режимов нагружения длительность опытов весьма значительна (что делает проведение эксперимента нереальным), планирование проводилось в области форсированных значений параметров нагружения:

$$\Omega_{ДЭ} = \begin{cases} 30 \text{ кг/мм}^2 \leq \sigma \leq 40 \text{ кг/мм}^2; \\ 1173 \text{ К} \leq T \leq 1273 \text{ К}, \end{cases} \quad (15)$$

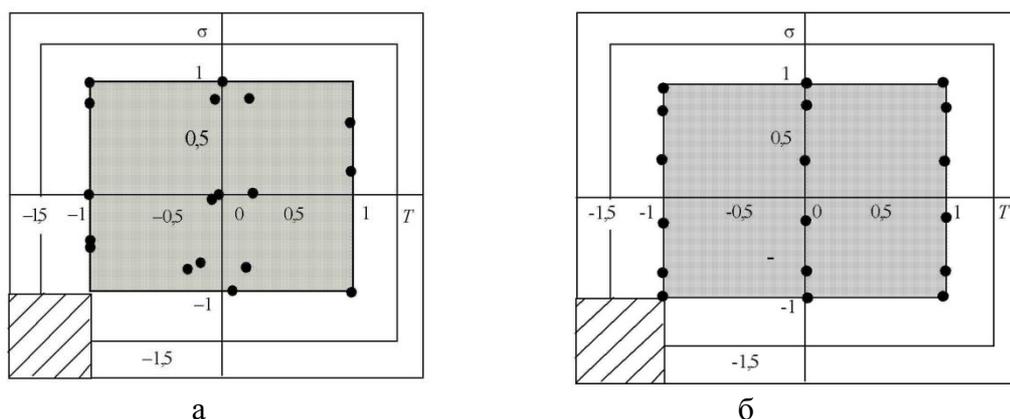
в которой наибольшая длительность опыта соответствует нагружению  $\sigma = 30 \text{ кг/мм}^2$  и  $T = 1173 \text{ К}$  и составляет  $\sim 274$  часа, что по длительности испытаний является вполне приемлемым.

Для удобства оценки дисперсии плана воспользуемся линейризацией формулы (10) в виде полинома:

$$\tau^* = a_0 + a_1 T + a_2 \sigma + a_3 T \sigma + a_4 T^2 + a_5 \sigma^2 + a_6 T^2 \sigma + a_7 T \sigma^2 + a_8 T^2 \sigma^2 + a_9 \sigma^3 + a_{10} T \sigma^3 + a_{11} T^2 \sigma^3 + a_{12} \sigma^4 + a_{14} T^2 \sigma^4 + a_{15} \sigma^5 + a_{16} T \sigma^5 + a_{17} T^2 \sigma^5. \quad (16)$$

Результаты выбора  $G$ -оптимального плана показаны на рис. 1, а. Для сравнения на рис. 1, б приведен  $D$ -оптимальный план эксперимента, дисперсия которого в 2,5 раза превышает дисперсию  $G$ -оптимального плана.

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



**Рис. 1.** Оптимальные планы эксперимента для области нагружения  $T = (1123 \dots 1173) \text{ К}$  и  $\sigma = (25 \dots 30) \text{ кг/мм}^2$ ;  – область прогнозирования;  – область планирования эксперимента; а –  $G$ -оптимальный план; б –  $D$ -оптимальный план

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гишваров А.С. Векторная оптимизация многофакторного эксперимента – Уфа: Гилем, 2007, 291 с.
2. Гишваров А.С. Комплексная оптимизация планов экспериментального исследования характеристик авиационных ГТД // ИВУЗ. Авиационная техника, 2006. №1.
3. Кузнецов Н.Д., Цейтлин В.И. Эквивалентные испытания газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976, 216 с.
4. Гишваров А.С. Совмещенные ресурсные испытания технических систем. – Уфа: Гилем, 202. 268 с.

**ОБ АВТОРАХ**

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

e-mail: ageevgeo@mail.ru



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

e-mail: ad@mail.rb.ru



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

e-mail: ad@mail.rb.ru

УДК 621.454

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ АППРОКСИМИРУЮЩЕГО ПОЛИНОМА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТОВ ГТД ПО НАРАБОТКЕ**

**Агеев Г. К., Долгополов П. С., Латыпов Э. М., Гишваров А. С.**

В комплексе разнообразных задач, которые приходится решать при создании, производстве и эксплуатации агрегатов ГТД, большое место принадлежит моделированию их параметров и характеристик с использованием априорных статических эксплуатационных данных. Наличие моделей изменения параметров объекта по наработке позволяет решать задачи как интерполяции, так и экстраполяции (прогнозирования) его состояния [1,2,3].

Точность решения задач по интер- и экстраполяции зависит от многих факторов: вида регрессионной модели; точности измерений; периода прогнозирования; интервала наблюдения экспериментальных данных и др.

В данной работе проводилось исследование по выбору рациональной степени аппроксимирующего полинома при решении задачи интер- и экстраполяции (прогнозирования) изменения параметров изделия по наработке. В качестве моделей регрессии, с учетом которых проводилось исследование, рассматривались аппроксимирующие полиномы:

- 1-го порядка  $y = 1 + 0,5\tau$ ; (1)

$$\bullet \text{ 2-го порядка } y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2; \quad (2)$$

$$\bullet \text{ 3-го порядка } y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2 + 0,1\tau^3, \quad (3)$$

где  $y$  – выходной параметр агрегата, динамика которого исследуется по наработке  $\tau$ .

Расчетные данные по моделям (1) ... (3) принимались за истинные, к которым необходимо было стремиться при выборе аппроксимирующих полиномов, степени которых варьировались в интервале от  $n = 1$  до  $n = 8$ .

Оценка точности интер- и экстраполяции (прогнозирования) проводилась для двух выборок:

- первая выборка включала данные, полученные расчетом по уравнениям регрессии (1) ... (3) и рассматривалась как проверочная выборка;

- вторая выборка формировалась моделированием случайного значения выходного параметра  $y$ : на задаваемые значения координат  $(y, \tau)$ , определяемые по моделям регрессии (1) ... (3), накладывалось рассеивание, соответствующее нормальному закону распределения со среднеквадратичным отклонением  $\sigma_y = 0.5$ , и такая выборка рассматривалась как обучающая.

Далее, варьируя степенями аппроксимирующих полиномов в интервале от 1 до 8, по полученным методом наименьших квадратов уравнениям регрессии определялись значения выходного параметра, которые сравнивались со значениями в проверочной выборке.

Сравнение точности (погрешности) регрессионных моделей (1), (2) и (3) с полиномами различных степеней позволило выбрать наиболее рациональную степень, при которой обеспечивается наибольшая точность решения задач по интер- и экстраполяции (прогнозированию) изменения параметра агрегатов по наработке.

В процессе исследования интервал интерполяции по наработке  $\tau$  соответствовал диапазону  $\tau \in (0...9)$ , а глубина экстраполяции (прогнозирования) соответствовала значениям 20 %, 40 %, 60 % и 80 % от интервала интерполяции.

Нормированное значение погрешности регрессионных моделей оценивалась по формулам:

$$\delta_{ад.1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{Ti} - Y_{Pi}}{Y_{Ti}} \right| 100 \% ; \quad \delta_{ад.2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{Тпрог.и} - Y_{Рпрог.и}}{Y_{Тпрог.и}} \right| 100 \% ; \quad (4)$$

$$\delta_{ад.3} = \frac{1}{(n+m)} \left( \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{Ti} - Y_{Pi}}{Y_{Ti}} \right| 100 \% + \sum_{j=1}^m \left| \frac{Y_{Тпрог.ж} - Y_{Рпрог.ж}}{Y_{Тпрог.ж}} \right| 100 \% \right); \quad (5)$$

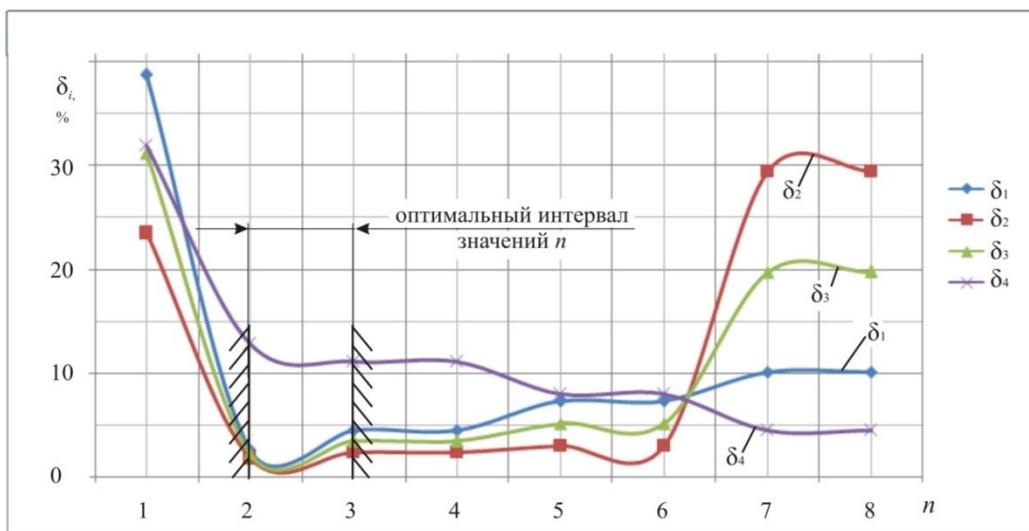
$$\delta_{ад.4} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{Эi} - Y_{Pi}}{Y_{Эi}} \right| 100 \% ; \quad \delta_{прог.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{Ti} - Y_{Рпрог.и}}{Y_{Ti}} \right| 100 \% ; \quad (6)$$

где  $Y_{Ti}$  – значение выходного параметра, оцененное по моделям регрессии (1), (2) и (3);  $Y_{Эi}$  – смоделированные со среднеквадратичным отклонением  $\sigma_y = 0.5$  значения  $y$ , по которым методом наименьших квадратов определялись значения коэффициентов модели  $a_0, \dots, a_n$ ;  $Y_{Pi}$ ,  $Y_{Рпрог.и}$  – значения  $y$ , определенные по регрессионным моделям, построенным МНК по данным  $Y_{Эi}$ ;  $Y_{Тпрог.и}$  – значения  $y$ , соответствующие проверочной выборке;  $Y_{Рпрог.и}$  – прогнозные значения  $y$ , определённые по моделям, построенным МНК по данным  $Y_{Эi}$ .

Значения  $Y_{Т.и}$ ,  $Y_{Э.и}$ ,  $Y_{Р.и}$ ,  $Y_{Рпрог.и}$ ,  $Y_{Тпрог.и}$ , а также значения погрешностей  $\delta_{ад.1}$ ,  $\delta_{ад.2}$ ,

$\delta_{ad.3}, \delta_{ad.4}$  для случая, когда исходная регрессионная зависимость имеет вид  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$  приведены в таблице 1 и показаны на рисунке 1. Для сравнения в таблице 2 приведены результаты моделирования с использованием полинома 8-ой степени.

Результаты расчетов показали, что для случая, когда истинный процесс описывается регрессионной зависимостью вида  $y = 1 + 0,5\tau$ , увеличение степени аппроксимирующего полинома выше 2-х ведет к повышению точности оценки в точках, соответствующих обучающей выборке  $Y_{\tau_i}$  (погрешность  $\delta_4$  уменьшается с 20% до 9,1%), однако при этом по проверочной выборке точность оценки существенно снижается, т.е. погрешность  $\delta_2$  возрастает с 2,8% при  $n = 1$  до 91,3% при  $n = 8$ .



**Рис. 1.** Влияние степени ( $n$ ) аппроксимирующего полинома на точность моделирования процесса, описываемого регрессионным уравнением 2-го порядка  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$

**Таблица 1**

**Точность оценки аппроксимирующим полиномом со степенью  $n = 2$**

№ п.п.	$\tau$		Значения выходного параметра $Y_i$					Погрешность $\delta_i$			
	$\tau_{yi}$	$\tau_{i\delta i}$	$Y_{Ti}$	$Y_{\tau_i}$	$Y_{\rho_i}$	$Y_{\delta_i}$	$Y_{P,\delta_i}$	$\delta_1, \%$	$\delta_2, \%$	$\delta_3, \%$	$\delta_4, \%$
1	0	0,5	1,0	1,5	1,14	1,25	1,37	13,60	9,70	11,65	24,2
2	1	1,5	1,5	1,0	1,61	1,75	1,84	7,1	5,19	6,15	60,6
3	2	2,5	2,0	2,5	2,08	2,25	2,31	3,8	2,69	3,25	17
4	3	3,5	2,5	2,0	2,55	2,75	2,78	1,8	1,10	1,45	27,3
5	4	4,5	3,0	3,5	3,02	3,25	3,25	0,5	0	0,25	13,9
6	5	5,5	3,5	3,0	3,48	3,75	3,72	0,4	0,81	0,6	16,2
7	6	6,5	4,0	4,5	3,95	4,25	4,19	1,1	1,43	1,26	12,1
8	7	7,5	4,5	4,0	4,42	4,75	4,66	1,7	1,91	1,81	10,6
9	8	8,5	5,0	5,5	4,89	5,25	5,13	2,10	2,31	2,2	11
10	9	9,5	5,5	5,0	5,36	5,75	5,60	2,50	2,64	2,57	7,3
Среднее значение								3,46	2,78	3,12	20,02

Таблица 2

Точность оценки аппроксимирующим полиномом со степенью  $n = 8$ 

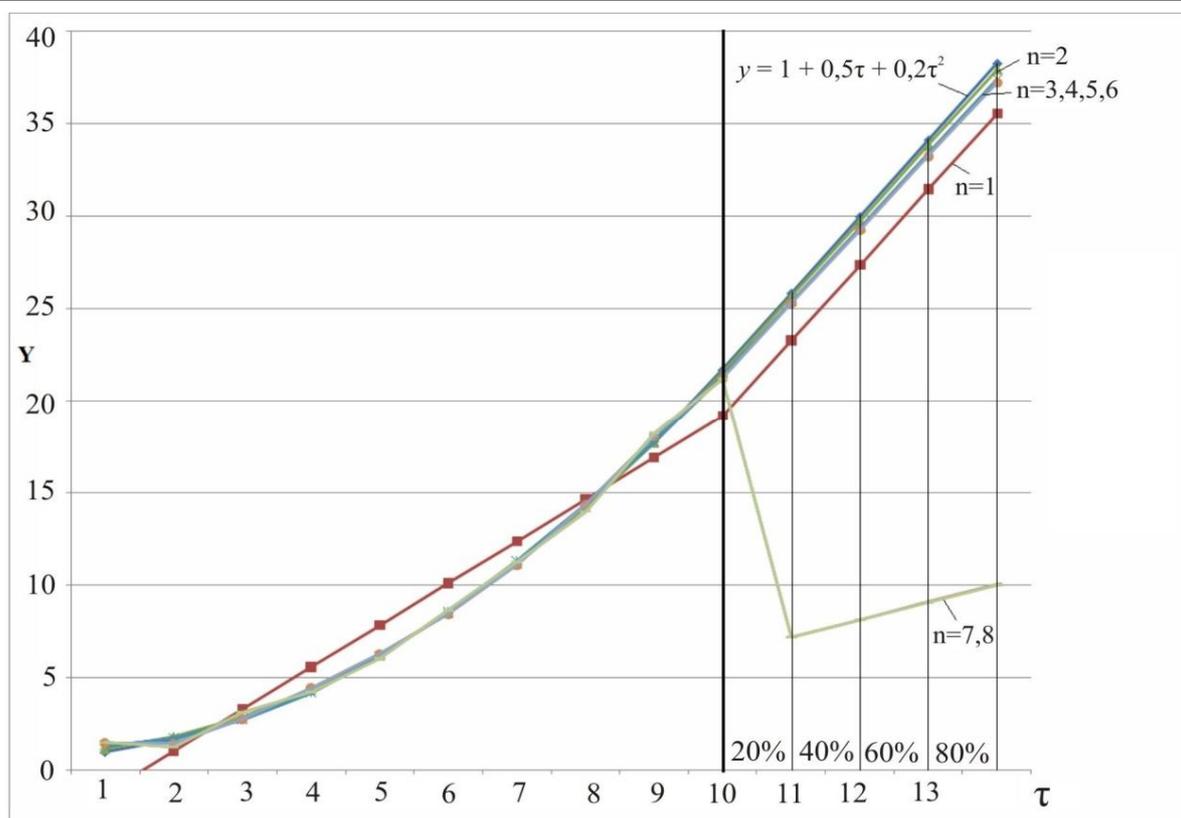
№ п.п.	$\tau$		Значения выходного параметра $Y_i$					Погрешность $\delta_i$			
	$\tau_{y_i}$	$\tau_{i\delta_i}$	$Y_{Ti}$	$Y_{zi}$	$Y_{pi}$	$Y_{O.i\delta_i}$	$Y_{P.i\delta_i}$	$\delta_{1,\%}$	$\delta_{2,\%}$	$\delta_{3,\%}$	$\delta_{4,\%}$
1	0	0,5	1,0	1,5	1,49	1,25	0,39	49,5	68,94	59,22	0,4
2	1	1,5	1,5	1,0	1,05	1,75	1,86	30,2	6,33	18,27	4,7
3	2	2,5	2,0	2,5	2,31	2,25	2,43	15,5	7,85	11,68	7,6
4	3	3,5	2,5	2,0	2,44	2,75	2,53	2,3	8,06	5,18	22,1
5	4	4,5	3,0	3,5	2,84	3,25	3,13	5,5	3,84	4,67	19
6	5	5,5	3,5	3,0	3,66	3,75	3,45	4,7	7,9	6,3	22,1
7	6	6,5	4,0	4,5	4,06	4,25	2,50	1,4	41,1	21,25	9,8
8	7	7,5	4,5	4,0	4,19	4,75	0,42	6,9	91,26	49,08	4,7
9	8	8,5	5,0	5,5	5,45	5,25	-3,96	9,1	175,39	92,24	0,9
10	9	9,5	5,5	5,0	5,01	5,75	-23,13	9	502,28	255,64	0,1
Среднее значение								13,41	91,29	52,35	9,14

Для случая, когда процесс описывается регрессионной зависимостью вида  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$  увеличение степени аппроксимирующего полинома выше 3-х ведет к повышению точности оценки в точках, соответствующих обучающей выборке (погрешность  $\delta_4$  уменьшается с 32 % до 4,5 %), однако при этом по проверочной выборке точность оценки уменьшается, т.е. погрешность оценки  $\delta_2$  существенно возрастает с 1,8 % при  $n = 2$  до 29,4 % при  $n = 8$ .

Дальнейшее повышение степени полиномов, формально повышая точность моделирования относительно точек обучающей выборки, ведет к существенному росту погрешности оценки изменения выходного параметра, оцениваемой по проверочной выборке. Таким образом, для решения практических задач по моделированию, интер- и экстраполяции (прогнозированию) изменения параметров агрегатов ГТД по наработке степень аппроксимирующего полинома не должна превышать 4 ( $n \leq 4$ ).

Исследование влияния степени аппроксимирующего полинома на точность решения прогнозных задач применительно к регрессионным моделям (1), (2) и (3), проводилось на примерах прогнозирования в точку, значения которой поочередно соответствовали 20 %, 40 %, 60 % и 80 % от интервала наблюдения  $\tau \in (0..9)$ .

Значения  $Y_{Ti}$ ,  $Y_{prog.i}$ , а также значения погрешностей  $\delta_{prog.i}$  для случая, когда исследуемый процесс описывался регрессионной моделью вида  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$ , приведены в таблице 3 и показаны на рисунке 2.



**Рис. 2.** Погрешность оценки изменения параметра изделия по наработке при прогнозировании на глубину 20 %, 40 %, 60 %, 80 % от интервала наблюдения (динамика изменения параметра описывается уравнением регрессии  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$ )

Исследование показало, что увеличение глубины прогноза от  $\tau_{\text{прог}} = 20\%$  до  $\tau_{\text{прог}} = 80\%$  ведет к увеличению погрешности оценки изменения математического ожидания параметра  $Y_{\text{пр}}$  по наработке в 1,3 ... 1,5 раза, а с учетом средней квадратической ошибки прогнозирования изменения параметра изделия по наработке погрешность оценки изменения параметра  $Y_{\text{пр}}$  существенно возрастает (в 2,6 ... 6,3 раза). При этом, чем выше степень аппроксимирующего полинома, тем больше ошибка прогноза (если при  $n = 1$   $\delta_{\text{прог.}} = 3\%$ , то при  $n = 8$   $\delta_{\text{прог.}} = 290\%$ , т.е. возрастает в 96 раз).

Если исследуемый процесс описывается регрессионной моделью вида  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$ , то наиболее точную прогнозную оценку дают полиномы 2 и 3 степеней. Если процесс описывается моделью вида  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2 + 0,1\tau^3$ , то наиболее точны полиномы 3 и 4 степеней.

Необходимо отметить, что в данном исследовании рассматривалась только погрешность прогнозной оценки математического ожидания выходного параметра  $Y$ . С учетом доверительных границ значений параметра  $Y$  погрешность прогнозной оценки будет еще выше.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для решения практических задач степень аппроксимирующего полинома не должна превышать 4. Дальнейшее повышение степени полиномов, формально повышая точность моделирования относительно точек обучающей выборки, ведет к существенному росту погрешности оценки изменения выходного параметра, что является недопустимым.

Таблица 3

Значение  $Y_i$  для регрессионной модели вида  $y = 1 + 0,5\tau + 0,2\tau^2$ 

Параметр	Значение $Y_i$ при глубине прогнозирования равной			
	20 %	40 %	60 %	80 %
для полинома 1-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	23,25	27,33	31,42	35,51
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	10,03	8,82	7,91	7,20
для полинома 2-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	25,65	29,73	33,82	37,91
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	0,74	0,82	0,88	0,93
для полинома 3-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	25,38	29,38	33,39	37,40
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	1,80	1,99	2,14	2,26
для полинома 4-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	5,94	6,70	7,47	8,24
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	1,80	1,99	2,14	2,26
для полинома 5-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	25,38	29,27	33,24	37,22
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	2,10	2,36	2,56	2,72
для полинома 6-го порядка				
$Y_{Ti}$	6,40	7,30	8,20	9,10
$Y_{\text{прог.}i}$	25,38	29,27	33,24	37,22
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	2,10	2,36	2,56	2,72
для полинома 7-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	7,20	8,15	9,11	10,06
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	72,12	72,80	73,31	73,71
для полинома 8-го порядка				
$Y_{Ti}$	25,84	29,98	34,12	38,26
$Y_{\text{прог.}i}$	7,17	8,12	9,06	10,01
$\delta_{\text{прог.}i}$ %	72,24	72,92	73,43	73,83

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев Г.К. Выбор вида регрессионной модели при экспериментальном исследовании динамических процессов авиационных ГТД // Вестник УГАТУ. Уфа 2009. Т 12, № 2(31). С. 14–18.
2. Гишваров А.С. Теория ускоренных ресурсных испытаний технических систем. Уфа: Гилем, 2000. 338с.
3. Гишваров А.С., Минигалиев С.М. Оптимальное планирование эксперимента в задачах прогнозирования надежности элементов узлов ГТД // Механика деформируемых тел и конструкций: Тр. ИМ БНЦ РАН. – Уфа: УГАТУ, 1997. С. 127–135.

**ОБ АВТОРАХ**

**Агеев Георгий Константинович**, ст. преп. каф. авиац. двигателей. Инж. механик (УГАТУ, 2007). Исслед. в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

e-mail: ageevgeo@mail.ru



**Долгополов Павел Сергеевич**, студент факультета авиационных двигателей, специальность «Авиа- и ракетостроение». Исслед. в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

e-mail: ad@mail.rb.ru



**Латышов Эдуард Махмутович**, студент факультета авиационных двигателей, специальность «Техническая эксплуатация ЛА и Д». Исслед. в обл. ускоренных испытаний техн. систем.



**Гишваров Анас Саидович**, научный руководитель работы, профессор, зав. каф. авиац. двигателей. Инж. механик. (УАИ, 1973). д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА, (УГАТУ, 1993). Исслед. в обл. ускоренных испытаний техн. систем.

УДК 004

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАННЫХ ПО СЕРВЕРАМ**

**Павлов Д. В.**

**ВВЕДЕНИЕ**

Современные информационные системы работают с такими огромными потоками данных, что справиться с ними могут только одновременно работающие много тысяч серверов. Настройка и администрирование этих серверов требуют огромных ресурсов: человеческих, денежных, энергетических и др. Разработка же программного обеспечения, которое хорошо распараллелится на эти сервера, занимает еще больше времени и ресурсов, и разрабатывать такое программное обеспечение приходится каждый раз сначала. Главной проблемой является база данных.

Системы работают с огромным количеством хранимых записей и огромным количеством запросов в секунду. Почти все интернет-гиганты – facebook.com, twitter.com, vkontakte.ru – начинали с использования обычных, широко распространенных реляционных СУБД, например, таких как MySQL [1]. С течением времени сайты получали все больше пользователей, и использование парочки серверов с MySQL

становилось невозможным. Приходилось быстро увеличивать количество серверов, а затем полностью переходить на какую-нибудь другую, уже более распределенную СУБД [2]. Сервис vkontakte.ru уже сейчас работает с 10000 серверов [3].

Очевидно, что администрирование такого массива серверов – это огромная проблема. Автоматизация этого процесса – задача, решение которой приносит огромную экономическую выгоду.

Для решения данной проблемы была разработана система MFRDB – реляционная распределенная система управления базами данных с автоматической масштабируемостью. Она наделена функцией автоматического распределения записей по серверам для хранения, базирующейся на выявлении связей между данными путем анализа результатов множества запросов на выборку данных из базы данных.

Актуальность такой задачи связана с тем, что при работе с большими объемами информации невозможно размещение всех записей на одном сервере по следующим причинам: во-первых, для хранения всех записей может чисто физически не хватить памяти одного сервера; во-вторых хранить все записи в одном месте ненадежно, так как при отключении сервера пропадет доступ ко всем данным; в-третьих, один сервер может не справиться с нагрузкой и не сможет вовремя обработать все запросы чтения и изменения данных.

## 1. КОНЦЕПЦИЯ

Представленная в данной работе новая разработанная распределенная СУБД MFRDB реализует следующие ключевые моменты:

### **Администрирование СУБД должно отнимать минимум ресурсов.**

Идеальный вариант: запуск сервера, установка и запуск СУБД, и все. Данная сущность СУБД сама входит в распределенную сеть и дает знать о себе остальным сущностям распределенной системы.

### **Все данные хранятся в оперативной памяти.**

Скорость работы с оперативной памятью на порядок выше, чем с винчестером. В настоящее время не составляет проблем получить сервер с 10-100 гигабайтами оперативной памяти. Таким образом, хранение всех данных в оперативной памяти стало возможным.

### **Индексы должны занимать минимум памяти.**

Из-за этой причины в качестве индексного метода выбирается не В-дерево, а собственная система индексирования, описанная в [4], которая занимает меньше оперативной памяти.

### **Автоматическое масштабирование.**

Система должна снимать с пользователя задачу изобретения способа увеличить пропускную способность системы. Все, что должен сделать разработчик, добавление новых серверов в систему и повышение производительности, должно произойти автоматически.

### **Перераспределение данных.**

Распределенная система должна сама решать, какие данные хранить на каких серверах, сколько хранить копий и где их хранить. При этом система должна автоматически переносить данные с одного сервера на другой, чтобы запросы на получение данных проходили с максимальной скоростью.

### **Использование SQL.**

Подавляющее большинство новых разработок в сфере распределенных баз данных использует нереляционную модель хранения данных. И, как следствие, они предлагают новый (не SQL) интерфейс доступа к данным. Это вызывает множество проблем по переносу старых приложений на новую систему. Поэтому в MFRDB в качестве

интерфейса доступа к данным выбран SQL.

## 2. СУТЬ И АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ ПО СЕРВЕРАМ

При вставке записей в базу данных они вставляются случайным, хаотическим образом. При этом некоторые записи являются связанными друг с другом смысловым образом. Например, если хранятся записи книг, то по их смысловой связанности можно выделить множество групп:

- книги, написанные Львом Толстым;
- книги, вышедшие в июле 2011 года;
- книги, прочитанные Дмитрием Ивановым;
- книги, прочитанные пользователями сайта более 1000 раз.

При использовании базы данных, запросы, запрашивающие некоторые подмножества книг, зачастую запрашивают книги из определенной группы. При этом некоторые группы запрашиваются чаще, чем другие.

Если при запросе некоторой группы книг записи этих книг находятся на различных серверах, то серверу, выполняющему запрос, придется запросить записи книг, обратившись к нескольким серверам. И чем на большем количестве серверов будут распределены записи из этой группы книг, тем к большему числу серверов придется обратиться серверу, выполняющему запрос. Это породит большое число операций общения в распределенной сети, и, соответственно, замедлит ее работу.

Если же все книги из запрашиваемой группы будут храниться на одном сервере  $S1$ , то возможны две ситуации:

- либо будет выполнено 0 операций общения между серверами – если запрос на выборку книг выполняет тот самый сервер  $S1$ ;
- либо будет выполнена 1 операция общения между серверами – если запрос выполняет какой-либо другой сервер  $S2$ .

Данная ситуация является идеальной с точки зрения минимизации общения серверов друг с другом, и именно для приближения к этой ситуации будет работать разрабатываемая система.

Также следует учитывать, что тривиальным решением задачи было бы размещение вообще всех записей на одном сервере. Но такое решение неприемлемо по ряду причин:

- во-первых, возможна ситуация, когда для хранения всех записей чисто физически не хватит памяти одного сервера;
- во-вторых, размещение всех записей на одном-единственном сервере противоречит самой концепции распределенной системы – все записи в одном месте хранить ненадежно, так как при отключении сервера пропадет доступ ко всем данным, а не лишь к какой-то части данных;
- в-третьих, 1 сервер может не справиться с нагрузкой – не сможет вовремя обработать все запросы чтения и изменения данных.

Таким образом, на решение проблемы налагается ограничение: на всех серверах в распределенной системе должно быть примерно равное количество записей.

Необходимо отметить, что не всегда возможно идеально распределить все записи таким образом, чтобы при запросах нужные записи всегда оказывались на одном определенном сервере.

В качестве примера рассмотрим следующую ситуацию.

Есть два сервера:  $S1$ ,  $S2$  и две записи:  $R1$ ,  $R2$ . Для того, чтобы выдержать вышеуказанное ограничение, необходимо, чтобы на всех серверах в системе было примерно равное число записей. Возможны два варианта распределения записей:

$S1 : R1$ ,  $S2 : R2$ ;

$S1 : R2$ ,  $S2 : R1$ .

В обоих случаях при запросе множества записей  $\{R_1, R_2\}$  необходимы записи с обоих серверов. Таким образом, не всегда можно распределить записи так, чтобы при запросе необходимых множеств использовался только один сервер. Но нужно стремиться к тому, чтобы в среднем было наименьшее количество обращений между серверами. Если в системе  $N$  серверов, то идеально будет, если среднее число обращений будет равно

$$AVG_{best} = \frac{0+1 \cdot (N-1)}{N} = 1 - \frac{1}{N}.$$

Худшей ситуацией будет, если количество обращений между серверами в среднем равно

$$AVG_{worst} = \frac{(N-1) \cdot N}{N} = N-1.$$

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дана база данных (БД), которая состоит из  $n$  таблиц:  $DB = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ . Каждая таблица  $t_i$  состоит из  $n_i$  записей:  $t_i = \{t_{i,1}, t_{i,2}, \dots, t_{i,n_i}\}$ . Существует набор из  $k$  SELECT запросов к данной БД:  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ . Для ответа на каждый запрос  $q_i$  необходимо считать  $l_i$  записей из БД. При этом записи могут быть из разных таблиц. Будем считать, что запрос – это кортеж записей, которые необходимо считать для ответа на этот запрос, то есть  $q_i = \{r_1, r_2, \dots, r_{l_i}\}$ . При этом элементы кортежа отсортированы так, что  $r_i < r_k$ . Под отношением  $<$  будем подразумевать, что номер таблицы  $r_i$  меньше, чем номер таблицы  $r_k$ , или, если номера таблиц одинаковы, ID записи  $r_i$  меньше ID записи  $r_k$ .

Множество всех записей:  $R = t_1 \cup t_2 \cup \dots \cup t_n$ .

Определим множества  $A \subseteq R$  и  $B \subset R$ , такие что  $|A \cap B| = 0$ ,  $|A| > 0$ ,  $|B| > 0$ .

Определим функцию  $CON(M) = \{m_i \mid m_i \in Q \wedge M \subset m_i\}$ . Функция равна множеству, состоящему из элементов множества  $Q$ , которые содержат в себе аргумент  $M$ :

$$\bar{A} = CON(A) = \{a_i \mid a_i \in Q \wedge A \subset a_i\}, \quad \bar{B} = CON(B) = \{b_i \mid b_i \in Q \wedge B \subset b_i\}.$$

Определим предикат  $X(A, B, x) = \left( \frac{|\bar{A} \cap \bar{B}|}{|Q|} \geq x \right)$ . То есть предикат  $X(A, B, x)$  равен *true*

, когда отношение количества запросов, содержащих  $A \cup B$ , к общему числу запросов больше некоторого числа  $x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ).

Задача состоит в том, чтобы по заданной константе  $x$  найти все множества  $A$  и  $B$ , для которых выполняется условие предиката:  $X(A, B, x) = true$ , а затем проверить, не находится ли большинство элементов из множества  $C = A \cup B$  на другом сервере  $s_{to}$ . И если это так, перенести элементы из  $C$ , находящиеся на данном сервере  $s_{from}$ , на сервер  $s_{to}$ .

### 4. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ

Для правильности выполнения алгоритма множества  $Q$  и  $H$  должны быть множествами, в которых допускаются повторения элементов.

1. Сначала для каждого элемента  $q$  из  $Q$  строим множество  $O$ , которое содержит всевозможные подмножества множества  $q$  мощности 2:  $o = \{\bar{q} \mid (\bar{q} \in 2^q) \wedge (|\bar{q}| = 2)\}$ . Объединяем все множества  $g$  и получаем множество  $P = o_1 \cup o_2 \cup \dots \cup o_n$ . Для каждого элемента  $g$  из множества  $G$  определяем значение функции  $C(g)$ , равное количеству элементов  $q$  из  $Q$  таких, что  $g \in q$ ,  $C(g) = |\{q \mid (q \in Q) \wedge (g \in q)\}|$ .

2. Составляем множество  $F$ , состоящее из всех элементов  $g$  множества  $G$  таких, что значение  $C(g)$  больше заданного порога  $x$ :  $F = \{g \mid (g \in G) \wedge (C(g) \geq x \mid Q)\}$ .

3. Составляем множество  $G$ , просто добавив все элементы из  $F$ :  $G = F$ .

4. Составляем множество  $H$ . Для каждого элемента  $q$  из  $Q$  создаем элемент  $h$  и добавляем его в  $H$ . Здесь  $h$  – множество, состоящее из элементов  $G$ , которые являются подмножеством  $q$ :  $H = \{h(q) \mid q \in Q\}$ ,  $h(q) = \{g \mid (g \in G) \wedge (g \subseteq q)\}$ .

5. В результирующее множество  $RES$  добавляем все элементы из  $F$ :  $RES = RES \cup F$ .

6. Удаляем все элементы из  $G$ :  $G = \emptyset$ . Добавляем в  $G$  такие множества  $g$  мощностью  $m$ , что все подмножества множества  $g$  мощностью  $m-1$  принадлежат  $F$ :  $G = \{g \mid (|g| = m) \forall g' ((\bar{g}' \in 2^g) \wedge (|\bar{g}'| = m-1)) \rightarrow (\bar{g}' \in F)\}$ .

Если в полученном множестве  $G$  нет элементов ( $G = \emptyset$ ), заканчиваем работу алгоритма.

7. Составляем множество  $H_{new}$ . Для каждого элемента  $\bar{h}$  из  $H$  создаем элемент  $h$  и добавляем его в  $H$ . При этом  $h$  – множество, состоящее из элементов  $G$ , которые являются подмножеством одного элемента из  $\bar{h}$ :

$$H_{new} = \{h(\bar{h}) \mid \bar{h} \in H\}, \quad h(\bar{h}) = \{g \mid (g \in G) \wedge (g \subseteq \bar{h}) \wedge (\bar{h} \in \bar{h})\}.$$

После этого удаляем все элементы из  $H$  и добавляем в него все элементы из  $H_{new}$ :  $H = H_{new}$ .

8. Для каждого элемента  $g$  из множества  $G$  определяем значение функции  $C(g)$ , равное количеству элементов  $h$  из  $H$  таких, что:

$$\exists \bar{h} ((g \subseteq \bar{h}) \wedge (\bar{h} \in h)), \quad C(g) = |\{h \mid (h \in H) \wedge (\exists \bar{h} ((\bar{h} \in h) \wedge (g \subseteq \bar{h})))\}|.$$

9. Удаляем все элементы из  $F$ :  $F = \emptyset$ . Составляем множество  $F$ , состоящее из всех элементов  $g$  множества  $G$  таких, что значение  $C(g)$  больше заданного порога  $x$ :  $F = \{g \mid (g \in G) \wedge C(g) \geq x \mid Q\}$ . Возвращаемся к шагу №5.

В множестве  $RES$  будут содержаться все множества записей мощностью  $\geq 2$ , которые запрашивались вместе в  $100 \cdot x$  процентах запросов  $Q$ .

## 5. ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА

Для тестирования использовалась часть реальной базы данных с web-сайта из Интернета. База данных состоит из 10000 наименований товара и отзывов к этим товарам.

Таблица 1: Goods: ID: целое число 32-бита; Name: строка максимальной длины 255 символов.

Таблица 2: Comments: ID: целое число 32-бита; Goods\_ID: целое число 32-бита; Text: строка максимальной длины 65535 символов.

На рис. 1 изображено распределение количества комментариев относительно товара. По горизонтальной оси  $X$  – количество комментариев, по вертикальной оси  $Y$  – количество товара с таким количеством комментариев  $X$ .

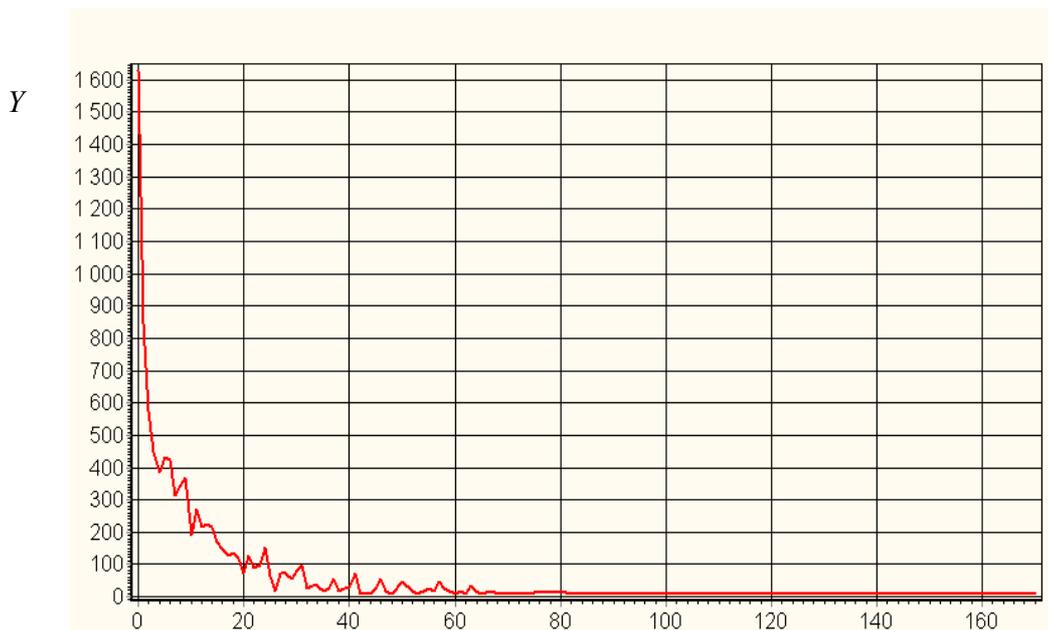
Из рис. 1 видно, что в БД мало товаров с большим количеством комментариев.

Для тестирования будем много раз выполнять следующий SQL запрос: `SELECT * FROM Goods g, Comments c WHERE g.Name = 'X' AND g.ID = c.Goods_ID`, где  $X$  – случайное название товара из базы данных. Запрос будем посылать случайным образом то к серверу  $S1$ , то к серверу  $S2$ .

На рис. 2 откладывается: по оси  $X$  – количество операций переноса записей с одного сервера на другой, по оси  $Y$  – процент накладных расходов:

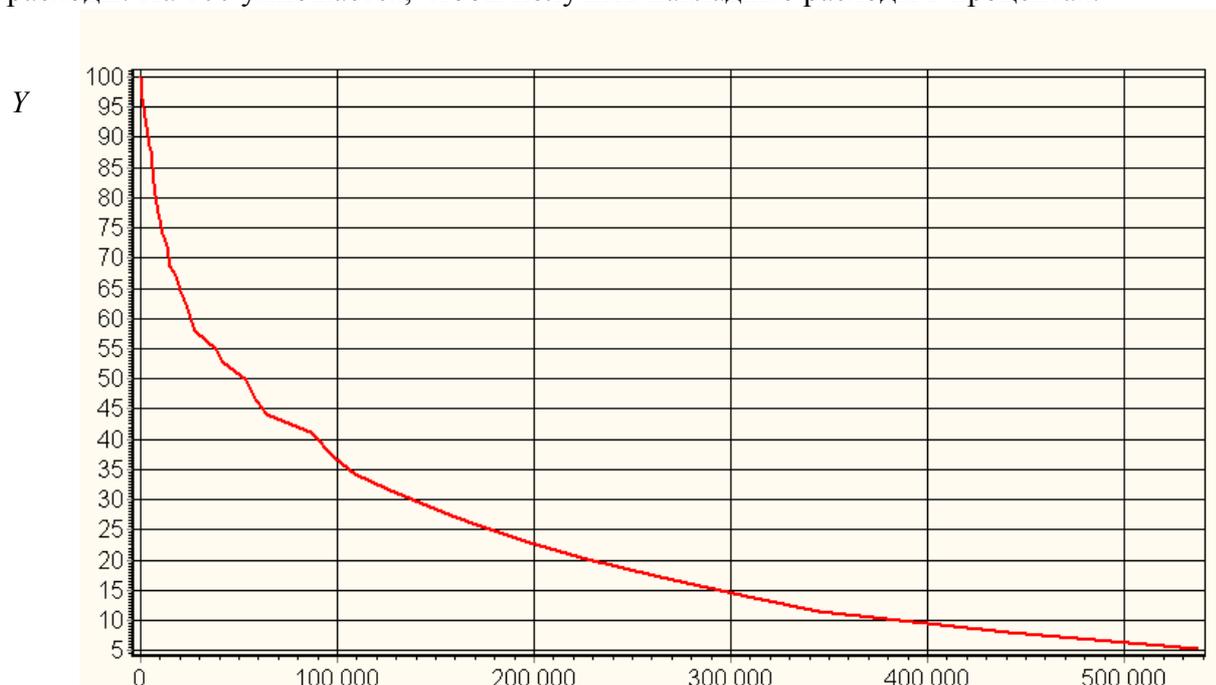
$100 \cdot (\frac{SR}{CQ} - 0,5) / (\frac{SR_{max}}{CQ} - 0,5)$ , где  $SR$  – количество операций обращения одного сервера к другому на текущей итерации,  $SR_{max}$  – максимальное количество обращений одного

сервера к другому за все итерации,  $CQ$  – сумма количества обработанных серверами запросов на текущей итерации.



**Рис. 1.** Зависимость количества товара  $Y$  от количества комментариев  $X$

Так как в системе функционируют два сервера, то минимальным средним значением количества обращений к другому серверу будет 0,5:  $(1 - \frac{1}{N} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5)$ . Поэтому из среднего количества обращений 0,5 отнимается, чтобы учитывать только накладные расходы. На 100 умножается, чтобы получить накладные расходы в процентах.



**Рис. 2.** Зависимость процента накладных расходов  $Y$  от количества операций переноса  $X$

Из рис. 2 видно, что чем дольше работает алгоритм и чем больше при этом записей перераспределено, тем меньше при этом накладные расходы.

**Вывод.** Разработан и реализован новый алгоритм распределения данных по серверам, базирующийся на выявлении связей между данными путем анализа результатов множества запросов на выборку данных из базы данных, и позволяющий существенно снижать накладные расходы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поль Дьюба. MySQL. Полное и исчерпывающее руководство по применению и администрированию баз данных MySQL 4, а также программированию приложений : Вильямс, 2004. - 1056 с.

2. [http://www.facebook.com/note.php?note\\_id=24413138919](http://www.facebook.com/note.php?note_id=24413138919). Cassandra – A structured storage system on a P2P Network.

3. Архитектура В контакте <http://www.insight-it.ru/mashtabiruemost/arkhitektura-vkontakte/>.

4. Павлов Д. В. Новый метод индексации данных для системы управления базами данных, хранящихся в оперативной памяти// Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», Часть II. Томск, 3-5 марта 2010., ч.2. Томск: Издательство СПБ Графикс — 247 с.

### ОБ АВТОРЕ



**Павлов Дмитрий Викторович**, аспирант кафедры компьютерной математики УГАТУ. Дипл. математик-программист по спец. «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», УГАТУ, 2009. Исследования в области построения СУБД.  
e-mail: imyfess@gmail.com

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 330.322.5

### АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ СПОРТИВНЫХ ОБЩЕСТВ РБ

**Кидрачев Р. Н., Валетдинова Э. Н.**

В предстоящее десятилетие в России прошло и запланировано проведение множества крупных международных спортивных соревнований.

Чемпионаты мира по Биатлону (Ханты-Мансийск) и фигурному катанию (Москва) в 2011 году и Хоккею в 2016 (Москва), олимпийские игры в Сочи в 2014 году, чемпионат мира по футболу в 2018 году, открытие трассы формулы и всемирная универсиада в Казани в 2013 году и многие другие – примеры далеко не всех международных соревнований в России.

Предполагается, что при проведении вышеуказанных мероприятий регионы (в данном случае руководство и спонсоры) должны получать не только прямой экономический эффект от непосредственной организации спортивного события (доходы от продажи билетов, прав на теле вещание, спортивной атрибутики и т.п.), но и так, называемые «косвенные» выгоды от проведения спортивных событий (особенно международных). В частности, к ним можно отнести: повышение политического престижа региона или страны (в данном случае эти слова являются синонимами), строительство объектов городской инфраструктуры (возведение станций метро и международных аэропортов, постройка гостиниц и ресторанов и т.д.), приглашение зарубежных туристов и т.п.

Отметим, что именно последние повышают инвестиционную привлекательность не только региона, в котором проводятся спортивные мероприятия, но и всей страны. Так, например, благодаря Олимпийским играм в Японии, в небольшом городе Нагано построили железную дорогу, а в ЮАР 12 международных аэропортов.

Кроме того в том же ЮАР доход от проведения чемпионата мира по футболу в 2010 году составил около 5 миллиардов долларов США (при том что ВВП ЮАР составляет 5000 млрд. \$).

Также в странах проводящих крупные спортивные события создаются десятки тысяч свободных мест (так министр финансов ЮАР в интервью газеты заявил, что в момент подготовки к чемпионату мира в ЮАР в 2010 году в стране было создано около 150 тысяч рабочих мест). Помимо этого к моменту проведению ОИ или ЧМ активно строятся отели, развивается ресторанный и туристический бизнес...

В то же время замечено, что значения фондовых индексов в странах, которые в будущем принимают крупные спортивные события, увеличиваются значительно быстрее.

Помимо этого следует отметить, что далеко не всем странам предоставляют право проведение олимпийских игр или чемпионатов мира по футболу. Отметим что, за более чем столетнюю историю профессионально спорта по футболу право проведения ОИ и ЧМ было предоставлено не более чем 20 странам, абсолютное большинство которых входит в большую восьмерку (Италия, Великобритания, Германия, США, Р.Ф. (СССР), Франция и ряд других).

Таким образом, данное явление значительно увеличивает косвенный эффект от проведения крупных спортивных мероприятий поскольку сам факт проведения значительно повышает международный авторитет страны и признает за ней статус лидера мирового спортивного движения.

В то же время крупные спортивные мероприятия являются одними из самых запоминающихся событий в жизни большинства граждан, чья страна проводила ОИ или

ЧМ. Для доказательства этого факта, достаточно вспомнить с какими эмоциями, граждане бывшего советского союза вспоминают олимпиаду в Москве в 1980 году.

Таким образом, данная проблематика исследования в современных рыночных условиях, когда многие регионы поставлены в условия рыночной самокупаемости, является актуальной, поскольку она затрагивает практические (не только экономические, и социальные) аспекты функционирования региона.

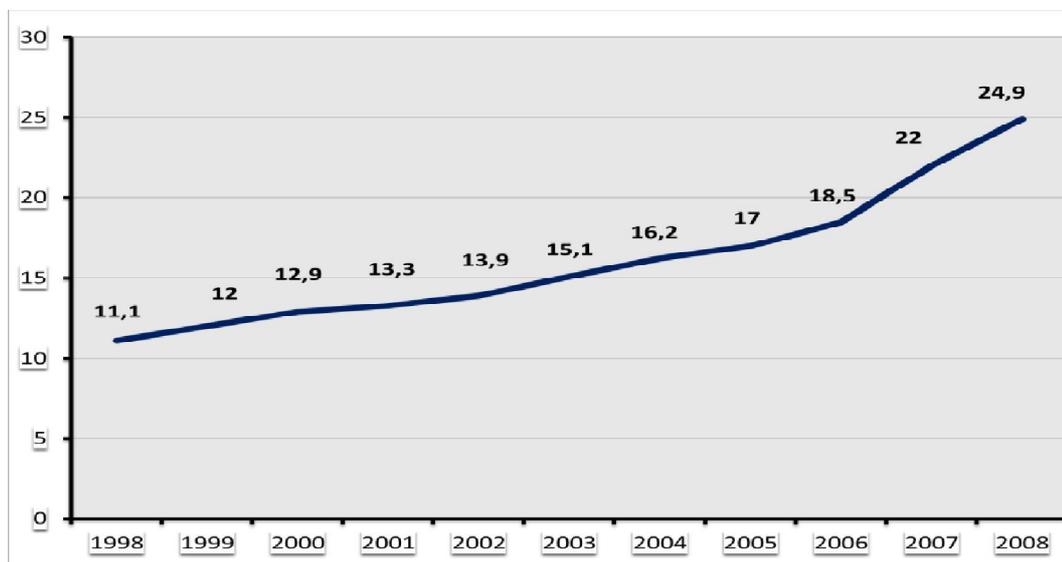
Целью данной работы является исследование проведения крупных спортивных событий (особенно международных) и формирование спортивных клубов как составляющей инвестиционной привлекательности региона или страны.

Выделим основные задачи, которые будут рассмотрены в данной работе. Во-первых, проанализировать уровень развитости профессионального и любительского спорта в России и в Республике Башкортостан. Во-вторых, сравнить полученные данные с развитыми странами Европы и Северной Америки. В-третьих, предложить меры для совершенствования инвестиционной привлекательности региона через проведение и организацию крупных спортивных событий.

Рассмотрим вышеуказанные задачи.

Для начала проанализируем текущее состояние российского спорта, как на любительском, так и на профессиональном уровне, рассмотрев ключевые показатели характеризующие состояние спорта в нашей стране.

Число занимающихся как активным, так и пассивным спортом в России за последние 10 лет неуклонно растет. По данным Росстата за период с 1998 по 2008 года число занимающихся в спортивных секциях возросло с 1,8 миллиона человек в 1998 году, до 23 миллионов человек в 2008 году. Более подробно данные представлены на рис. №1 (число занимающихся спортом в Р.Ф. в млн. чел). На рис. 2 приведена более подробная статистика по динамике численности занимающихся (за аналогичный период) спортом. Проведена градация по половому признаку. Таким образом, мы можем наблюдать более чем двух кратное увеличение за 10 лет.

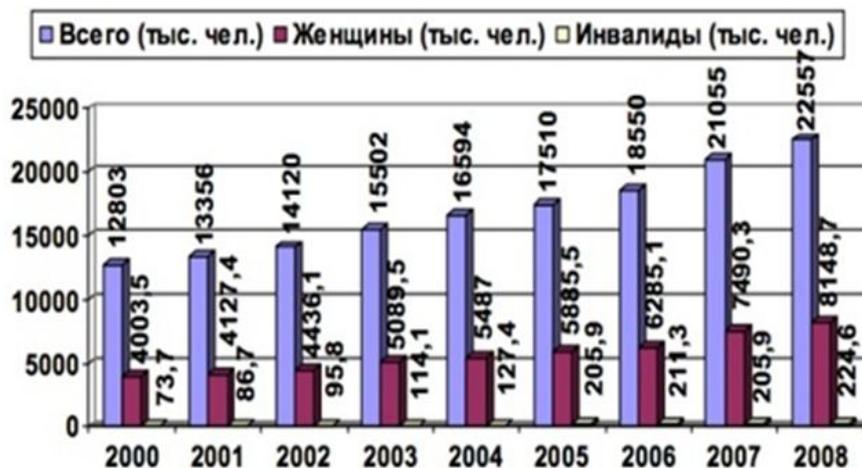


**Рис. 1.** Число занимающихся спортом в Р.Ф. в млн. чел (По данным Росстата)

Открываются новые секции, становятся популярными все новые и новые виды спорта. Так, например в 1998 году лишь единицы слышали о сноуборде, керлинге, пляжном футболе. Дайвинге, йоге, боевых искусствах и т.п.

Отметим также, что постоянно увеличивается и зрительская аудитория внутренних и международных спортивных событий, которые были проведены в вышеуказанный период в Российской Федерации. Так, например, по данным Gllup Media зрительская (в

том числе телевизионная) аудитория футбольного матча между футбольными сборными Испании и России в 2008 году составила 61 млн. человек (что составляет почти половину населения нашей страны).



**Рис. 2.** Численность занимавшихся в спортивных секциях и группах (По данным Росстата)

В то же время посещаемость стадионов чемпионата России по футболу составляет 15 тысяч человек (8-ой показатель в Европе), по хоккею – около 6 тысяч (4-1 показатель в Европе и 6-1 в мире) а прошедшего недавно кубка мира по биатлону в Ханты-Мансийске – 50 тысяч человек...

На рисунке 3 представлена динамика посещаемости чемпионата России по футболу. Данная динамика позволяет сделать вывод о том, что зрительский интерес к чемпионату у постепенно растет.



**Рис. 3.** Динамика средней посещаемости чемпионата РФ С 1992 года (По данным tribuna.sports.ru)

На рисунке 4 представлены индекс популярности. Данный индекс рассчитывается делением средней посещаемости футбольных клубов российской премьер-лиги на население городов. Интересно, что лидирующее положение занимают подмосковные города, и Чеченская Республика. А московские и Петербургские клубы заметно отстают. Это можно объяснить большим населением данных городов.

В тоже время ко всем крупным спортивным событиям, о которых говорилось вначале данной работе, будут возведены самые современные и удобные стадионы в мире, что также значительно увеличит интерес к российскому спорту.

Таким образом, в современной России происходит переориентация спорта, с

советской системы (при которой роль денег была невелика в спортивных успехах и зрительском интересе), к рыночной при которой роль денег в спортивных достижениях значительно увеличивается.

Команда	Средняя посещаемость	Население в городе (тыс. чел.)	Индекс популярности
«Сатурн»	7597	82	1/11
«Химки»	7793	186	1/24
«Терек»	8019	231	1/29
«Спартак» НЧ	9864	269	1/30
«Томь»	10 318	521	1/50
«Кубань»	14 061	710	1/50
«Рубин»	13 956	1 133	1/81
«Амкар»	11 370	987	1/87
«Крылья Советов»	13 072	1 135	1/87
«Ростов»	11 395	1 067	1/94
«Зенит»	18 116	4 594	1/253
«Спартак»	21 341	10 527	1/493
ЦСКА	16 458	10 527	1/640
«Локомотив»	15 087	10 527	1/698
«Динамо»	10 322	10 527	1/1020
«Москва»	7730	10 527	1/1361

Рис. 4. Индекс популярности (По данным tribuna.sports.ru)

В республике Башкортостан в ближайшее десятилетие не планируется проведение крупных спортивных мероприятий. Молодежный чемпионат мира по хоккею (в 2013 году) и ежегодные этапы кубка мира по мотогонкам на льду является с большой натяжкой можно отнести даже к региональным соревнованиям.

В то же время Республика Башкортостан имеет огромный потенциал для развития спорта. Так в Республике, уже функционируют, крупные спортивные общества (ХК Салават Юлаев, ВК УРАЛ, ФК Уфа и т.п.).

Кроме того Республика обладает значительными экономическими и трудовыми ресурсами для проведения крупных спортивных событий. Так по основным показателям, характеризующим экономическое состояние, Республика Башкортостан занимает лидирующее положение (по значению ВРП РБ занимает 10 место, по дефициту государственного бюджета имеет одно из самых невысоких значений по Российской Федераций и т.п.).

На рисунке 5 представлена, структура бюджета Р.Б. По предоставленным выше данным видно, что расходы на физическое воспитание и спорт составляют всего лишь 0,3% (входят в иные расходы). Данный показатель значительно ниже общероссийского.

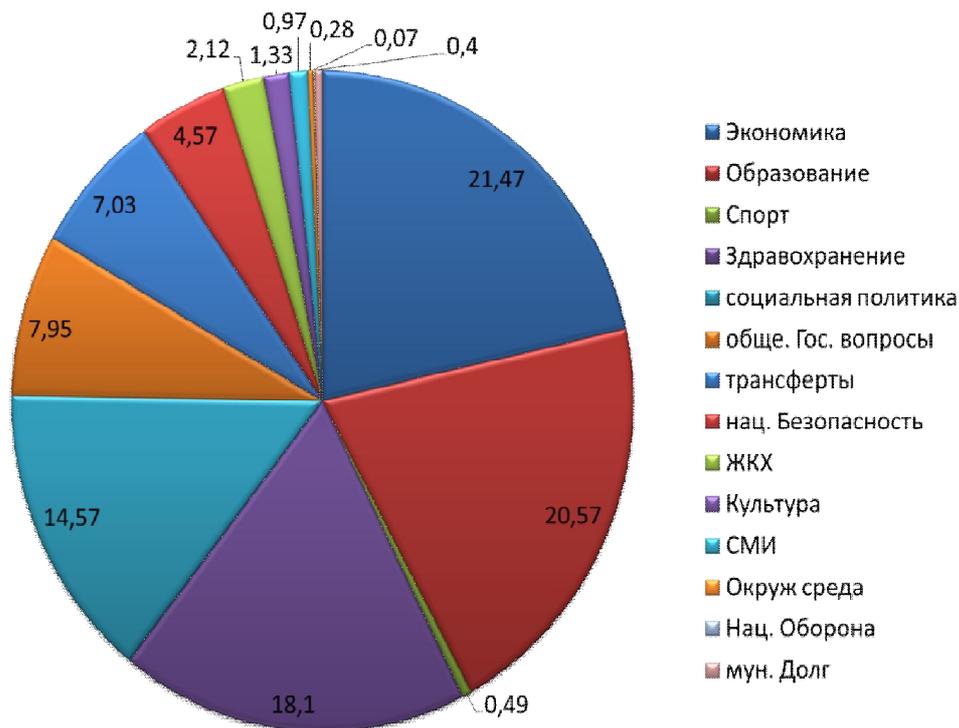
Предполагается, что такое невысокое значение является одной из основных причин слабо развитости коммерческой и инвестиционной составляющей спорта в Р.Б.

На рисунке 5 представлена, структура бюджета Р.Б. По предоставленным выше данным видно, что расходы на физическое воспитание и спорт составляют всего лишь 0,49% (входят в иные расходы). Данный показатель значительно ниже общероссийского. Предполагается, что такое невысокое значение является одной из основных причин слабо развитости коммерческой и инвестиционной составляющей спорта в Р.Б.

Природно-климатические условия благоприятствуют развитию всех видов спорта (в том числе зимних и летних).

Анализ городской инфраструктуры и уровня развитости городов Республики показал, что Уфа, Абзаково, Стерлитамак и ряд других городов Республики Башкортостан полностью соответствуют требованиям для проведения крупных спортивных

мероприятий (не только всероссийского, но и мирового уровня).



**Рис. 5.** Структура бюджета Республики Башкортостан за 2010 год

Природно-климатические условия благоприятствуют развитию всех видов спорта (в том числе зимних и летних).

Анализ городской инфраструктуры показал, что Уфа, Абзаково, Стерлитамак и ряд других городов Республики полностью соответствуют требованиям для проведения крупного спортивного мероприятия (в том числе международного). Так, например, в Уфе построен международный аэропорт, развита городская транспортная система, в тоже время налажен ресторанный и гостиничный бизнес. В Абзаково, функционирует полноценная горнолыжная трасса способная провести этап кубка мира, а Салават уже несколько лет входит в число самых экологически чистых городов Российской Федерации.

Таким образом, в России сложились все предпосылки для того чтобы спорт выступал в качестве инвестиционной привлекательности страны.

Таким образом, можно предложить ряд мер, которые смогут значительно увеличить спрос на спортивную продукцию (т.е. на посещение матчей, приобретение спортивной атрибутики, просмотр матчей по телевизору) со стороны потенциальных потребителей.

В качестве примера рассмотрим 3 спортивных общества Республики: хоккейный клуб Салават Юлаев, Волейбольный клуб УРАЛ и футбольный клуб УФА. Данный выбор не случаен, поскольку, данные виды спорта развиты в Республика не одинаково. Так, например Башкортостан является хоккейной Республикой (развитый вид спорта). В то же волейбол располагает всеми ресурсами кроме крупного стадиона для перехода на развитый (развивающийся вид). Футбол на профессиональном уровне появился сравнительно недавно и требует огромных финансовых затрат для становления.

Далее рассмотрим для каждого профессионального спортивного сообщества

мероприятия, которые призваны укрепить их положение на рынке.

Начнем с хоккея, поскольку в РБ, да и в целом по всей России он является одним из наиболее развитых видов спорта.

В РБ мы предлагаем ряд мероприятий для популяризации спорта. Одним из них является проведение товарищеского матча между ХК Салават Юлаев и клубом из Национальной хоккейной лиги (США или Канада).

Отметим, что зрительский интерес обеспечен, поскольку противостояние между России (как правопреемнице Советского Союза) и Канадой в хоккее еще никто не отменял.

Еще одним мероприятием может стать расширение стадиона с текущих 8 тысяч до 14 – 17 тысяч. Данное расширение сполна окупится через 3-4 года, поскольку Уфа является хоккейным городом, и все последние данные показывают, что спрос на хоккейные матчи с участием Салавата Юлаева значительно превышает вместимость стадиона.

Также не помешает команде и становление сотруднических отношений между клубом и болельщиками. Отличной базой для такого сотрудничества могут стать периодические пресс-конференции с участием хоккеистов, открытие клубного музея, проведения товарищеских матчей с участием, как хоккеистов, так и болельщиков.

Для волейбольного клуба основным фактором успеха является наличие крупного и удобного стадиона вместимостью около 10-12 тысяч.

Футбольный клуб (т.е. футбол на профессиональном уровне) в Уфе появился сравнительно недавно. Основными мероприятиями для товара, который находится на стадии внедрения, являются мероприятия по стимулированию сбыта. То есть необходимо проведение агрессивной политики, которая будет выражаться в затратах на рекламу, привлечение потребителей и т.п.

Таким образом, переход от командно-административной экономической системы к рыночной предопределил изменение принципов функционирования и смысла существования всех сфер общественной жизни. Спортивная составляющая общества не стала исключением.

В современных условиях вся спортивная общественность поставлена на грани само выживания (в главную очередь самоокупаемости).

В то же время спорт всегда выполнял и выполняет социальную функцию (обучение детей, отвлечение их от проблем современной жизни и развитие в них многих личностных качеств (целеустремленности, стрессоустойчивости и т.п.)), в существовании которой заинтересовано государство.

Однако органы власти также заинтересованы в увеличении инвестиционной привлекательности региона. Поскольку инвестиции в современных условиях являются неотъемлемой частью развития региона или страны.

Именно поэтому власти должны стремиться не только к строительству крупных спортивных объектов, но и к проведению и получению права проведения крупных спортивных мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексанов Д.С., Кошелев В.М.** Экономическая оценка инвестиций. – М.: «Колос-пресс», 2002. – 382 с.
2. **Богатин Ю.В., Швандар В.А.** Оценка эффективности бизнеса и инвестиций. – М.: Финансы, 2001. – 54 с.
3. **Дубров А. М., Лагоша Б. А., Хрусталеv Е. Ю.** Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: Учебное пособие / Под ред. Б. А. Лагоши. — М.: Финансы и статистика, 1999. —176 с.
4. **Щербакова Н.А.** Экономика недвижимости. Учеб. Пособие. – Ростов н/Д: Феникс,

**ОБ АВТОРАХ**

**Кидрачев Руслан Наилевич**, студент каф. Финансы денежное обращение и Экономическая безопасность УГАТУ. Исследования в области психологии (значение брэнда), экономики (проблемы построения инновационной экономики), банковского дела и инвестиций.

e-mail: kidrachev@myrambler.ru



**Валетдинова Эльвира Наилевна**, старший преподаватель кафедры ФДО и ЭБ, к.э.н.

e-mail: Elvira-valet@mail.ru

УДК 336.7

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КРЕДИТОВАНИЯ В КОММЕРЧЕСКОМ БАНКЕ**

**Ахметова Ю. Ф., Богданова Д. Р., Котельников В. А.**

**Введение**

Эффективное функционирование системы кредитования в значительной мере определяет развитие банковского сектора экономики, рост объемов производства и торговли, удовлетворение нужд экономики. В настоящее время в ее развитии имеются определенные проблемы, обусловленные финансово-экономическим кризисом: повышение уровня рисков, рост доли просроченной задолженности, снижение качества кредитных портфелей и недостаточность капитала. В условиях усиления конкуренции, ужесточения требований к кредитованию и сокращения масштабов выдачи кредитов исследование проблем кредитования заслуживает особого внимания. Это обуславливает необходимость совершенствования технологической составляющей кредитной деятельности, минимизации расходов и рисков, осуществления эффективного регулирования системы. В целях оказания более широкого спектра качественных услуг, совершенствования условий предоставления кредитов и обеспечения их доступности, минимизации рисков требуется разработка научно-обоснованных подходов к развитию системы кредитования. Существует необходимость научного осмысления, теоретического обоснования направлений решения проблем развития системы кредитования, а также разработки рекомендаций по ее развитию. В качестве объекта системных исследований рассматривается система кредитования в коммерческом банке, исследуются проблемы управления кредитным риском кредитного портфеля, возникающие в процессе функционирования объекта.

**Формулировка проблемы, цели и задачи исследования**

Можно выделить ряд проблем банковской системы, связанных непосредственно с функционированием системы кредитования и влияющих на нее:

1. Декапитализация банковского сектора, вызванная ростом просроченной задолженности, которая в свою очередь влияет на условия кредитования физических лиц и юридических лиц. Это создает новые проблемы развития банковской системы, опасность появления кредитного сжатия, а также дестабилизации множества региональных банковских систем. В отличие от прошлых кризисных ситуаций (проблем на рынках МБК, корпоративных облигаций, внешних долгов), затрагивающих в большей степени крупные столичные банки, данная проблема будет оказывать сильное воздействие на стабильность и региональных банков страны.

2. Существенная нехватка источников фондирования для поддержания динамики кредитов коммерческих банков (в худшем случае хотя бы на минимальном достаточном уровне, то есть поддержание роста кредитного портфеля банков на уровне нескольких процентов в год).

3. Проблемы банковской системы России проявляются также в долларизации экономики, снижении сбережений и снижении уровня доверия к национальному финансовому сектору. При этом падение доходов различных экономических агентов приведет к замедлению притока средств предприятий и населения страны на депозиты и банковские счета и оказывает негативное влияние на условия кредитования юридических лиц.

4. Ограничения возможностей поддержки со стороны государства ликвидности банков и кредитного рынка в целом. В этом случае ЦБ может столкнуться с существенным ростом невозвратов по банковским кредитам, в том числе и наиболее рискованными – беззалоговыми, когда производится получение кредита без справок о доходах и поручителей.

5. Кроме того, при росте использования Центробанком в качестве залога таких нерыночных активов, как векселя предприятий и права требования по кредитным договорам в стране будут расти проблемы развития банковской системы с числом некачественных залогов, получаемых ЦБ, а это уже повлечет увеличение объема потерь по данному виду залогов.

6. Увеличение потребности нефинансового сектора в долгосрочных и крупных кредитах для финансирования программ естественных монополий, а также рефинансирования внешних долгов. При этом происходит сужение возможностей государства и госбанков по предоставлению данных кредитов.

Такие следует отметить следящие факторы, усугубляющие существующие проблемы развития банковской системы на государственном уровне: увеличение бюджетного дефицита и параллельное повышение «запроса» на бюджетные ресурсы со стороны различных сфер экономики; рост кредитных рисков и проблем с обеспечением контроля за надлежащим использованием государственных ресурсов.

В настоящее время проблема снижения кредитных рисков является одной из основных проблем банка. Система управления кредитными рисками является частью системы кредитования, поэтому будем рассматривать проблему в рамках системы кредитования.

Актуальность темы подтверждается тем, что принятие рисков - основа банковского дела. Банки имеют успех только тогда, когда принимаемые риски разумны, контролируемы и находятся в пределах их финансовых возможностей и компетенции. Активы, в основном кредиты, должны быть достаточно ликвидны для того, чтобы покрыть любой отток средств, расходы и убытки при этом обеспечить приемлемый для акционеров размер прибыли. Достижение этих целей лежит в основе политики банка по принятию рисков и управлению ими.

**Объект исследований как система**

Система кредитования — система регулирования кредитных отношений со стороны денежно-кредитных институтов, она охватывает деятельность кредитора (в современном обществе это прежде всего банк) по предоставлению и возврату денежных ссуд.

**Цели, задачи и функции системы**

Выделяют две основных цели системы кредитования: обеспечение возврата ссужаемых средств; получение банком дохода от кредитных операций.

Основные задачи системы кредитования: организация кредитной деятельности (деятельности кредитного подразделения); определение лимитов по отдельным направлениям кредитования; санкционирование кредитов (принципы распределения полномочий); оценка кредитных заявок (общие критерии отбора кредитов); определение цены кредита; контроль за кредитными рисками (сопровождение кредитных проектов) и кредитованием; взыскание кредитов; резервирование на случай потерь по кредитам; контроль над обеспеченностью ссуд; улучшение методов оценки заемщика; повышение эффективности надзора за заемщиком; улучшение качества управления кредитным портфелем; улучшение качества управления кредитным риском; контроль доходности кредитного портфеля; снижение уровня рисков кредитования.

Сущность банковского кредитования проявляется в его функциях. В свою очередь функции банковского кредитования есть проявление его сущности, содержания, выражение общественного назначения кредита. Будучи проявлением единой сущности, функции банковского кредитования тесно взаимосвязаны и в совокупности отражают характерные особенности банковского кредитования как экономического явления, показывают связь кредита с процессами кругооборота капитала и денежным обращением. Результат взаимодействия кредита с другими хозяйственными процессами, его движения в рамках единого хозяйственного оборота, в котором оно выполняет присущие ему функции, характеризует его роль в экономике.

Банковскому кредитованию присущи три основные функции: распределительная; эмиссионная; контрольная. Распределительная функция кредитования вытекает из самой сущности и роли кредитных отношений. Вследствие кредитного перераспределения ускоряется привлечение новых денежных средств в сферу хозяйствования. При реализации этой функции перераспределяются как денежные средства, так и товарные ресурсы.

Эмиссионная функция кредитования заключается в том, что изменяя объемы кредитных операций, банки и банковская система в целом могут влиять на динамику общей массы денег в обращении. При этом используются два возможных метода: кредитная экспансия (расширение кредита) и кредитная рестрикция (сужения кредита).

Контрольная функция кредитования выражается в том, что в процессе кредитования осуществляется взаимный контроль (как кредитора, так и заемщика) за использованием и возвратом займа. Имеется существенное отличие в исполнении контрольной функции со стороны кредитора и со стороны заемщика. Кредитор имеет возможность осуществлять контроль как за объектом кредита, так и за деятельностью заемщика. Заемщик же не имеет возможности контролировать деятельность кредитора, он осуществляет контроль только за движением взятого кредита, т.е. контролирует лишь объект кредитных отношений.

**Структура системы**

Структуру системы кредитования можно представить следующим образом:



Рис 1. Структура системы кредитования

Элементы системы кредитования неразделимы. Успех приходит к банку только в том случае, если эти элементы дополняют друг друга, усиливают надежность кредитной сделки. Попытка разорвать их единство неизбежно нарушает всю систему, подрывая ее, и может привести к нарушению возвратности банковских ссуд.

Система кредитования тесно взаимосвязана как с кредитной системой, в том числе с кредитом, его сущностью и функциями, так и с банками, руководствующимися в своей деятельности принципами кредитования. В качестве альтернативного видения взаимосвязи рассматриваемых систем можно дать несколько иное представление: кредитная система как целое включает в себя собственно кредит, кредитные институты и систему кредитования.

Между этими двумя версиями кредитной системы нет противоречия. Если последовательное сцепление блоков системы показывает логику восхождения от общего к частному, то другой рисунок характеризует систему как целое, составленное из определенных частей.

Субъектом кредитования с позиции классического банковского дела являются юридические или физические лица, дееспособные и имеющие материальные или иные гарантии совершать экономические, в том числе кредитные, сделки. Субъект получения кредита может быть самого разного уровня, начиная от отдельного частного лица, предприятия, фирмы вплоть до государства.

#### **Место системы кредитования в системе классификаций**

Данная система является сложной системой. Она состоит из множества элементов, обладает сложной структурой, имеются подсистемы внутри организационной структуры.

Охарактеризуем ее по разным классификационным основаниям:

1) По субстанциональному признаку данная система является смешанной I рода, т.е. материально-идеальной, а также смешанной II рода, так как является искусственно-естественной. Система кредитования относится к естественным системам, потому что ее элементом является человек, в то же время является искусственной системой, так как создан человеком, т.е. приспособлен для воздействия на развитие экономических процессов. Это воздействие выражается в размещении денежных средств от своего имени на условиях возвратности, платности и срочности.

2) По динамическим свойствам система кредитования является самонастраивающейся системой. Саморегулирование системы обеспечивается с помощью банковского механизма, и при любом изменении денежных потоков, система изменяет параметры (например, ставки на кредитование, фондирование).

3) По виду выполняемых функций система относится к управляемой. Объектом управления выступает процесс размещения денежных средств от своего имени на

условиях возвратности, платности и срочности, который выполняется отделами: управление кредитованием, организации продаж.

Управление осуществляется отделами управления: Кредитным комитетом, Правлением банка, Президентом банка.

4) По взаимосвязи с внешней средой является открытой системой, так как взаимодействует с элементами, не входящими в данную систему. Например, государство через нормативные акты, указы, и распоряжения регулирует деятельность банка, акционеры оказывают влияние на процессы, протекающие в организации, в том числе они избирают руководителя банка как главного элемента системы управления.

5) Данную систему по виду структуры можно отнести и к плоской и к иерархической (рисунки 1 и 3).

6) По составу своих базовых элементов является гетерогенной, так как является разнородной по функциям выполнения базовых элементов.

Итак, система кредитования представляет собой сложную, динамическую, управляемую, открытую систему.

### **Общесистемные принципы функционирования системы кредитования**

Рассмотрим общесистемные принципы функционирования системы.

#### **1. Принцип адекватности (соответствия).**

Заключается в том, что две системы, которые предназначены для достижения одной общей цели должны соответствовать (быть адекватными) друг другу по свойствам, характеристикам, функциям, степени сложности и т.д.

Тогда применительно к нашей системе спрос на кредиты банка должен соответствовать предложению кредитов в банке. На сегодняшний день это соответствие нарушено, что соответствует текущему кризису.

#### **2. Принцип управляемости.**

Заключается в том, что сложная динамическая система не должна иметь неуправляемых объектов, ни одна из систем не должна выпасть из процесса управления.

Как показывает практика довольно часто в системе кредитования, особенно на начальном этапе формирования кредитного портфеля, должного внимания не уделяется управлению кредитным портфелем, в следствие могут образовываться разрывы ликвидности, либо нехватка средств.

#### **3. Принцип контролируемости (наблюдаемости).**

Спроектированная система в своей структуре не должна содержать ни одного объекта, который был бы неконтролируемым. Например, Управление андеррайтинга банка контролирует соблюдение графиков платежей по кредитам. При отсутствии данного контроля может возникнуть просроченная и проблемная задолженность. Данный принцип отражает проблему управления кредитным риском, при его несоблюдении возможно существенное повышение риска портфеля.

#### **4. Принцип согласованности.**

Заключается в том, что все элементы подсистемы как по горизонтали, так и по вертикали должны быть согласованы между собой по своим параметрам в рамках неизменной структуры для достижения задачи эффективности системы.

Финансово-экономический отдел должен давать объем выполняемой работы для отдела кредитования согласованный с функциями, возможностями, квалификацией сотрудников этого отдела.

#### **5. Принцип совместимости (достижимости).**

Заключается в том, что заданное множество базовых элементов системы и связи между ними при совместном функционировании обеспечат достижение целей или требуемых характеристик.

Так если банк решил ввести новый банковский продукт – ипотеку, то здесь решить проблему трудовых ресурсов нельзя путем только корректировки параметров организации: необходимо создание нового отдела – отдела по ипотеке.

Структурные изменения очень трудоемкие и затратные, поэтому их применение целесообразно только при невозможности применения принципа согласованности.

#### 6. Принцип единства цели системы и среды.

В проектируемой системе всегда должны быть согласованы между собой возможности системы, цели ее функционирования и среда, в которой она находится. Проектируемая система всегда должна рассматриваться относительно той среды, в которой предполагается ее функционирование. Нельзя отрывать систему от среды.

Относительно нашей системы: цель – удовлетворение потребностей населения в банковских продуктах и услугах, возможности системы – наличие денежных средств, внешняя среда – мировой финансовый кризис. В условиях кризиса данный принцип нарушен, так как вырос процент отказов по кредитам в банке, это связано с желанием свести к минимуму риски кредитования, также растут ставки кредитования, вследствие чего цель не может быть достигнута.

#### 7. Принцип существования противоположностей в системе.

В любой системе существует как минимум одна пара противоположностей, взаимодействующих друг с другом и уравнивающих друг друга. Как правило, одна из противоположностей слабее, а другая сильнее.

В рассматриваемой системе можно выделить две основные противоположности – это спрос и предложение на кредит. При повышении процентных ставок на кредит спрос на него падает, а предложение растет. При понижении процентных ставок на кредит спрос на него растет, а предложение падает. При пересечении кривых спроса и предложения формируется точка, соответствующая равновесной процентной ставке, т.е. некоторому идеальному состоянию системы.

### **Проблемы управления системой кредитования**

Круг проблем кредитования достаточно широк, в рамках данной работы ограничимся лишь рассмотрением управления кредитными рисками, как части системы кредитования.

Влияние микроэкономических факторов, таких как риск конкретного заемщика, доля просроченных кредитов, качество обеспечения кредитов и других, обусловлено операциями, проводимыми конкретным банком. Ограничение отрицательного воздействия данных факторов является задачей менеджеров банка, которые в сложившихся условиях для успешного функционирования кредитной организации должны разработать и внедрить понятную и гибкую систему управления кредитным риском.

Ключевой предпосылкой данной системы является продуманная кредитная политика, одобренная Советом директоров банка и сопровождаемая формализованными для данного банка стандартами кредитования и конкретными инструкциями, в разработке которых принимают участие работники всех уровней управленческой вертикали.

Основным элементом создания эффективной системы управления кредитным риском является развитие единой культуры кредитования путем внедрения стандартных инструкций для инициирования, анализа, принятия решения и мониторинга отдельных кредитов. Рамки для развития единой культуры кредитования, внедрения единообразных кредитных инструкций и подходов к управлению риском, определения предельно допустимого уровня риска представляют собой составляющие официально утвержденной кредитной политики. Ключ к построению эффективной банковской системы управления кредитным риском лежит в правильной оценке и контроле индивидуальных отношений с заемщиком, а также в осторожном и осмотрительном подходе к управлению кредитным портфелем.

Общими предпосылками реализации данного подхода к управлению кредитным портфелем являются: установление внутрибанковских лимитов кредитования для конкретных заемщиков и групп заемщиков; разработка формы анализа кредитных рисков, увязанной с кредитными рейтингами, отражающими уровень риска отдельных заемщиков;

диверсификация кредитования по различным отраслям; определение приоритетных отраслей с низким уровнем риска; ужесточение кредитной политики по отношению к отраслям с высоким уровнем риска; разработка политики ценообразования на кредиты. Имеются особенности управления рисками на разных уровнях: подсистема управления рисками на уровне банка в целом; подсистема управления рисками на уровне центров финансовой ответственности (ЦФО); подсистема управления рисками на уровне групп клиентов и банковских продуктов.

На базе такого критерия, как технология управления рисками система управления кредитными рисками может быть описана как совокупность следующих элементов: выбор стратегии деятельности банка, способствующей минимизации рисков; система отслеживания рисков; механизм защиты банка от рисков. Система отслеживания рисков включает способы выявления (идентификации) риска, приёмы оценки риска, механизм мониторинга. Механизм защиты банка от риска складывается из: текущего регулирования риска; методов его минимизации. Под текущим регулированием риска понимается отслеживание критических показателей, принятие на этой основе оперативных решений по операциям банка.

В аспекте организации процесса управления рисками рассматриваемая система предполагает выделение следующих элементов управления: субъекты управления; идентификация риска; оценка степени риска; мониторинг риска. Все элементы этого описания системы управления банковскими рисками представляют собой различное сочетание приёмов, способов и методов работы персонала банка.

Субъекты управления банковскими рисками зависят от размеров и структуры банка. Но общим для всех банков является то, что к их числу можно отнести:

- руководство банка, отвечающее за стратегию и тактику банка, направленные на рост прибыли при допустимом уровне рисков;
- комитеты, принимающие решения о степени определённых видов фундаментальных рисков, которые может принять на себя банк;
- подразделение банка, занимающееся планированием его деятельности;
- функциональные подразделения, отвечающие за коммерческие риски, связанные с направлениями деятельности этих подразделений;
- аналитические подразделения, предоставляющие информацию для принятия решений по банковским рискам;
- службы внутреннего аудита и контроля, способствующие минимизации операционных рисков и выявлению критических показателей, сигнализирующих о возможности возникновения рисков ситуации.

Для построения эффективной системы управления кредитными рисками необходимо:

- 1) с учётом вышеуказанных принципов построения системы управления сформулировать во внутрибанковских документах стратегию и задачи управления;
- 2) установить принципы определения, оценки и диагностики риска в качестве основы при постановке приоритетных стратегий и задач и обеспечить сбалансированную защиту интересов всех лиц, имеющих отношение к банку;
- 3) использовать данные принципы в качестве базы для создания важнейших процедур управленческого контроля, в том числе при создании схемы организационной структуры, подготовке документов о делегировании полномочий, а также технических заданий;
- 4) определить процедуры обеспечения ответственности, самооценки и оценки результатов деятельности в соответствии с принципами управления риском и системы контроля, использовать данные процедуры в качестве факторов совершенствования процесса управления;
- 5) ориентируясь на вышеупомянутые принципы и процедуры, следует разработать механизм мониторинга и обратной связи в целях обеспечения высокого качества

процедур, оценки и проверки их соблюдения.



Рис 2. Этапы процесса управления кредитным риском

Рассмотрим теперь схему ситуационного управления кредитным риском в рамках системы кредитования.

Центральным моментом и объектом ситуационного управления является управленческая ситуация. Само слово «ситуация» часто используется в самых разнообразных аспектах и порой неотделимо от таких понятий как состояние, событие, процесс, положение и т.д.

Схема является двухуровневой. Нижний уровень управления – управление по обратной связи, верхний контур – ситуационное управление. В качестве объекта управления (ОУ) рассматривается процесс оценки кредитного риска. Функция учета и контроля осуществляется Отделом мониторинга. Функция планирования, т.е. разработка политики по управлению кредитным риском и ее оценки выполняется Службой риск-менеджмента. Вектор  $X^0$  планируемых координат и  $X$  фактических координат состояния объекта управления включает в себя: процентные ставки, различные количественные оценки риска. Анализ и принятие решений в контуре 1 (управление по обратной связи) выполняется Управлением кредитования. Вектор  $U_1$  решений, принимаемых на нижнем уровне управления, включает в себя функции отделов управления активными операциями и финансово-экономического управления.

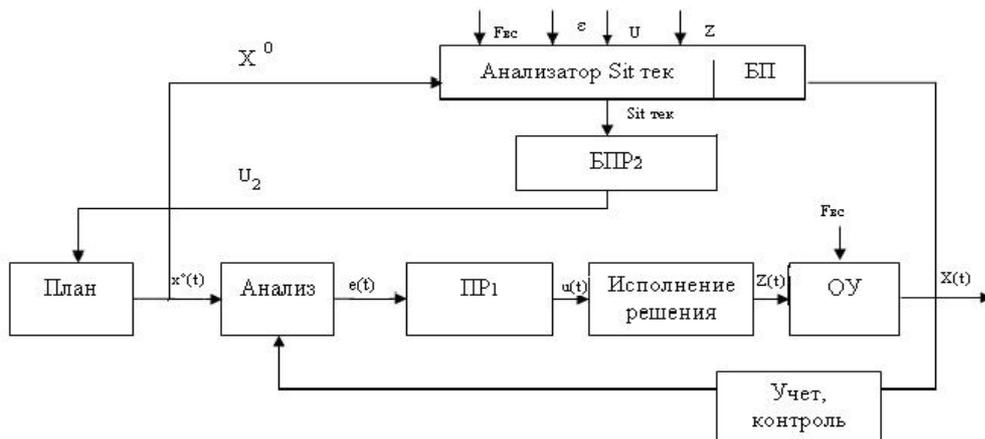


Рис 3. Схема ситуационного управления

В контуре ситуационного управления в качестве анализатора и блока принятий решений БПР2 выступает Кредитный комитет. И вектор  $U_2$  – решения, которые принимаются Кредитным комитетом, включает в себя подготовку и утверждение стратегии по минимизации кредитных рисков, разработку плана мероприятий.

**Рекомендации по решению системной проблемы**

Основной проблемой управления кредитными рисками в современных условиях являются отсутствие системы всестороннего и глубокого анализа кредитного процесса,

солидной методологической базы и принятие неправильных управленческих решений в условиях неполной информации.

1. Статистический метод
2. Концепция рискованности VaR (Value at Risk)
3. Метод исторического моделирования (historical simulation)
4. Метод статистических испытаний Монте-Карло (Monte-Carlo simulation)
5. Сценарный анализ (в основе стресс-тестирования (stress testing))
6. Метод экспертных оценок

**Рис 6.** Методы оценки банковских рисков

Из-за потенциально опасных для кредитной организации последствий кредитного риска важно регулярно осуществлять всесторонний анализ процессов оценки, администрирования, наблюдения, контроля, возврата кредитов, авансов, гарантий и прочих инструментов, особенно это касается инвестиционного кредитования.

Поэтому основное содержание процесса управления совокупными кредитными рисками включает в себя оценку и анализ политики и практики работы кредитной организации и принятие ею необходимых мер по следующим направлениям: управление совокупным риском кредитного портфеля; управление организацией кредитного процесса и операциями; управление неработающим кредитным портфелем; оценка политики управления кредитными рисками; оценка политики по ограничению кредитных рисков и лимитам; оценка классификации и реклассификации активов; оценка политики по резервированию возможных потерь по кредитным рискам; управление совокупным риском кредитного портфеля банка в первую очередь зависит от официальной кредитной политики.

Основным содержанием отдельных компонентов системы управления кредитными рисками должно быть:

- накопление и анализ новых инструментов и видов кредитования, методического и документального обеспечения и информации;
- планирование и организация деятельности кредитного управления, управления рисками и службы внутреннего контроля кредитной организации в направлении достижения минимизации рисков;
- разработка и отбор мер воздействия на размеры и условия выделения средств и их использования, отраслевые и региональные приоритеты, разработка методов оценки производственного, финансового, коммерческого рисков ликвидности кредитной сделки и других сопутствующих рисков со стороны соответствующих служб кредитной организации;
- установление постоянного целесообразного взаимодействия между руководством кредитуемого юридического лица и соответствующими службами кредитной организации: кредитным управлением, управлением рисками и службами внутреннего контроля банка, а также перечисленными службами кредитной организации друг с другом;
- разработка стандартов действий работников кредитной организации в процессе кредитования и особенно в случаях реализации отдельных видов рисков.

Описываемая система должна отличаться связанностью, согласованностью всех её звеньев и их сосредоточенностью на самых основных компонентах риска и его кредитования путём выделения существенных зависимостей и выборов.

### Заключение

В работе сформирован перечень основных проблем системы кредитования, включая проблемы управления кредитным риском. Выполнена декомпозиция системы. При проведении системных исследований были решены следующие задачи: разработка структуры, функций, целей. Система может быть декомпозирована по горизонтали и по вертикали. Была выявлена внешняя среда, ее воздействие на систему оказывает большое влияние. Была проведена классификация:

- по субстанциональному признаку данная система является смешанной I рода, т.е. материально-идеальной, а также смешанной II рода, так как является искусственно-естественной;

- по динамическим свойствам банк является самонастраивающейся системой.

Были продемонстрированы примеры в виде проблемных ситуаций, когда нарушаются общесистемные принципы функционирования системы.

Практика показывает, что в ряде банков кредитная политика носит формальный характер, кредитное планирование осуществляется на низком уровне, а кредитная стратегия формируется без должного обоснования. По общему признанию, управление кредитными рисками является слабым звеном российской кредитной практики.

Таким образом, комплексная разработка теоретических и практических вопросов формирования и реализации механизма управления кредитным риском коммерческого банка является важной народнохозяйственной проблемой, решение которой позволит обеспечить внедрение системы комплексного банковского обслуживания потребностей реального сектора экономики в кредите, создать механизм для гармонизации этой системы с международно признанной практикой управления кредитным риском, а также существенно повысить ее качество в условиях адекватной современной экономической ситуации России.

Для этого необходимо внедрять передовой зарубежный и отечественный теоретический и практический опыт в части оценки кредитных рисков, использовать единые подходы к анализу кредитоспособности индивидуальных заемщиков, качества кредитов и бизнес-риска индивидуальных заемщиков. С другой стороны, необходимо проводить последовательный анализ качества кредитного портфеля банка в целом и его структуры. В этой связи необходимо сосредоточить внимание на необходимости разработки в каждом конкретном банке «Руководства по кредитной политике» — документа, в котором детально проработаны вопросы кредитной политики банка с позиции минимизации кредитного риска по каждому отдельному кредиту и кредитному портфелю банка в целом. Такой подход будет способствовать существенному ограничению степени влияния кредитного риска на банковскую систему страны, и, следовательно, способствовать укреплению ее стабильности и эффективности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Банковские риски** : Учеб. пособие // под ред. д-ра экон. наук, проф. О.И. Лаврушина, д-ра экон. наук, проф. Н.И. Валенцевой. // М. : Кнорус, 2007.
2. **Лаврушин, О.И. Банковское дело: современная система кредитования** : Учеб. пособие. // М. : Кнорус, 2006.
3. **В.В. Жариков, М.В. Жарикова, А.И. Евсейчев, Управление кредитными рисками** : Учеб. пособие.// Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009.
4. **Губанов В.А. Введение в системный анализ** : Учеб. пособие.// М.: Экономика, 2006.
5. **Глушкова, Н.Б. Банковское дело** : Учеб. пособие / Н.Б. Глушкова. – 2-е изд. // М. : Академический Проект; Культура, 2007.
6. **Банковское дело** : учебник / под ред. Г. Белоглазовой, Л. Кроливецкой. – 2-е изд. // СПб. : Питер, 2008.

7. **Ермасова, Н.Б.** Как получить банковский кредит? Настольная книга заёмщика / Н.Б. Ермасова. // М. : ГроссМедиа: РОСБУХ, 2007.
8. <http://www.bankir.ru>
9. <http://www.ricardo.com>. – Экономический справочник, Финансовый справочник.
10. <http://anticrisis-a.narod.ru>



#### ОБ АВТОРАХ

**Ахметова Юлия Флюровна**, магистрант каф. вычислительной математики и кибернетики УГАТУ, дипл. инж. по математическим методам в экономике (УГАТУ, 2005). Исследования в области управления социально-экономическими системами  
e-mail: [yulaf@yandex.ru](mailto:yulaf@yandex.ru)



**Богданова Диана Радиковна**, доцент. каф. вычислительной математики и кибернетики УГАТУ кандидат технических наук (УГАТУ, 2008). Исследования в области управления социально-экономическими системами  
e-mail: [dianochka7bog@mail.ru](mailto:dianochka7bog@mail.ru)



**Котельников Виталий Александрович**, магистрант каф. вычислительной математики и кибернетики УГАТУ, дипл. инж. по математическим методам в экономике (УГАТУ, 2005). Исследования в области управления социально-экономическими системами  
e-mail: [vit\\_kot@mail.ru](mailto:vit_kot@mail.ru)

УДК 658

### СИСТЕМА МОТИВАЦИИ ТРУДА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОЧИХ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Галеева А. Э., Дзингер Н. В.

На сегодняшний день промышленные предприятия для выживания на рынке и сохранения конкурентоспособности должны непрерывно изменяться и вносить изменения в свою деятельность.

При осуществлении организационных изменений на предприятии неизбежно возникает сопротивление изменениям. Сопротивление изменениям является одной из основных проблем современного предприятия[1].

Сопротивление - это сознательные действия человека (иногда бездействие), направленные на затягивание принятия и реализации тех или иных нововведений на промышленном предприятии. Сопротивление изменениям на предприятии возникает всегда. И реструктуризация, и внедрение новой продукции, и переезд в новое помещение - любые изменения вызывают сопротивление[2].

Ансофф под сопротивлением понимает многогранное явление, вызывающее непредвиденные отсрочки начала процесса изменений, дополнительные расходы и нестабильность процесса изменений[3].

Новшества, которые приведут неизвестно к чему и нарушат привычно протекающую жизнь предприятия, пугают персонал. При этом изменения на предприятии в сфере производства затрагивают, прежде всего, основных производственных рабочих.

Можно выделить несколько причин сопротивления изменениям:

1. отсутствие у основных рабочих понимания, чего от них ожидают;
2. неосведомленность рабочих о механизме направления предложений;
3. отсутствие веры в то, что предложения могут быть приняты;
4. неопределенное время для соответствующих мероприятий;
5. отсутствие понимания у рабочих, зачем именно это им нужно.

Если основные рабочие не знают, чего от них ожидают, они не смогут осознать, зачем им это нужно. Если они не смогут понять, зачем им это необходимо, нет смысла осведомлять их о механизме...

Таким образом, первое, что нужно сделать, – сформировать единое понятийное поле с целью конструктивного общения: все должны говорить на одном языке и под одними и теми же словами понимать одно и то же.

Принятие новых терминов и философии – это обучение, одно из самых трудоемких для работников занятий. Соответственно, можно ожидать, что и сопротивляться этому они будут сильнее всего, что и происходит на практике.

В качестве мер по преодолению сопротивлений можно использовать различные виды стимулирования труда.

Система мотивации рабочих в современной интерпретации – это совокупность систем нематериального и материального стимулирования. Она включает в себя:

- систему прямой материальной мотивации (система оплаты труда);
- систему косвенной материальной мотивации (система бенефитов, грейдов);
- систему нематериальной мотивации.

Система прямой материальной мотивации – это материальное вознаграждение рабочих, состоящее из базового оклада и премиальных. Эффективная система оплаты труда играет значительную роль в управлении рабочими, а именно в привлечении, мотивации и сохранении на предприятии рабочих соответствующих квалификаций, в стимулировании их к повышению производительности труда.

Система косвенной материальной мотивации – это так называемые компенсационные пакеты (соцпакеты), предоставляемые основным рабочим. Компенсационные пакеты (соцпакеты) – это бенефиты, предоставляемые рабочим в зависимости от уровня их должности, профессионализма и т.п. Также к системе косвенной мотивации относится система грейдов, которая представляет собой методику, позволяющую определить пять – семь прозрачных и понятных работникам критериев для управления заработной платой, например, уровень ответственности, условия труда и т. д. Далее по этим параметрам по определенной шкале оценивают должности в баллах, по ранжированию которых строят грейды. Но при этом следует учесть, что система грейдов используется на практике лишь в отношении управленческого персонала.

Система нематериальной мотивации – это совокупность внешних стимулов немонетарного характера, которые используются на предприятии для поощрения эффективного труда рабочих. Система нематериального стимулирования включает в себя такие элементы, как традиционные и нетрадиционные методы.

*Традиционные методы* нематериального стимулирования:

- приоритет при планировании отпуска работников предприятия;
- упоминание имени рабочего в реализованном им проекте / продукте;
- устная и/или письменная благодарность за эффективную работу / реализованный проект;
- проведение профессиональных конкурсов среди рабочих, с награждением дипломами;
- выпуск внутрифирменной газеты с описанием результатов работы и размещением в ней фотографий лучших рабочих и информационных заметок о них;
- размещение рекомендательных писем клиентов на специальном информационном стенде компании, где все рабочие имеют возможность их видеть;

- издание буклетов о компании с размещением фотографий лучших рабочих компании;
- проведение корпоративных праздников и др.

*Нетрадиционные способы нематериального стимулирования* (в отечественной практике используются довольно редко):

- предоставление рабочим дополнительных дней отдыха (к примеру, более раннее начало отпуска за эффективно реализованный проект и т.п.);
- подарки рабочим предприятия на различные праздники, исходя из их интересов и увлечений и т.п.

На ОАО «УМПО» внедрение принципов Бережливого производства (БП) началось в 2008 году, что повлекло за собой сопротивление внедряемым изменениям персонала в целом и в особенности основных производственных рабочих.

В процессе обучения принципам и инструментам бережливого производства была проведена моральная подготовка рабочих к переменам, а также разъяснение их роли при внедрении концепции БП на производстве. Как показала практика, данных мероприятий оказалось недостаточно.

Для эффективной деятельности предприятия в период изменений следует вовлечь основных производственных рабочих в процесс улучшений посредством материального стимулирования.

В данной работе предлагаются мероприятия по формированию заработной платы основных производственных рабочих участка цеха 8в ОАО «УМПО» с учетом результатов использования ими инструментов БП в текущей деятельности.

Существующая система оплаты труда охватывает тарифную ставку основного рабочего, дополнительную заработную плату, уральский коэффициент, а также премию за выполнение плана и процент брака. Тогда как в предлагаемой системе оплаты труда учитывается участие рабочих в процессе изменений, т.е. выдвижение ими рационализаторских предложений (таблица 1).

Таблица 1

### Предлагаемая система оплаты труда основных производственных рабочих

Состав заработной платы		Условия выплат	Числовое значение	
Предлагаемая система оплаты труда	Существующая система оплаты труда	Тарифная ставка основного рабочего	Всегда	В зависимости от разряда
		Дополнительная заработная плата	Всегда	Всегда
		Уральский коэффициент	Всегда	15%
		Премия за выполнение плана и процент брака	1. Показатели выполнения плана – 100%	100%
			2. Показатели производственного брака от 0,1 до 1%*	
	1. Показатели выполнения плана – от 80 до 100%		50%	
2. Показатели производственного брака от 1 до 5 %	50%			
1. Показатели выполнения плана – от 80 до 100%	Премия не полагается			
2. Показатели производственного брака свыше 5%				
	Рационализаторское предложение	За выдвижение рационализаторских предложений	20% от основной заработной платы	

\*в случае выполнения лишь одного из условий: выполнение плана или процент брака, то премирование осуществляется по более низкой категории

Для того чтобы избежать «ложной заинтересованности» работников в участии внедрения концепции БП на участке, было предложено фиксировать все рационализаторские предложения в отдельном журнале. Тогда в конце месяца, рабочим необходимо путем анонимного голосования сделать выбор лучших на их взгляд рационализаторских предложений. Те основные производственные рабочие, чьи рационализаторские предложения оказались наиболее привлекательными с точки зрения производства, должны получить премию, согласно предлагаемой системе оплаты труда.

Основные рабочие, ограниченные достаточно жесткими рамками выполнения плана и размерами брака, с одной стороны, и значительно поощряемые за выдвижение рационализаторских предложений с другой, будут достаточно мотивированы, и тогда вероятность значительного сопротивления предстоящим изменениям окажется минимальной.

В таблице 2 приведено сравнение месячного фонда заработной платы основных рабочих занятых в производстве детали «перегородка» и активно участвующих в продвижении БП на участке цеха 8в при существующей и предлагаемой системах оплаты труда.

**Таблица 2**

**Сравнение затрат на оплату труда основных производственных рабочих при существующей и предлагаемой системе оплаты труда**

Профес-сия	Часовая тариф-ная ставка, руб	Кол-во рабочих каждой профес-сии, чел	Существующая система оплаты труда		Предлагаемая система оплаты труда		Потребно-сть в дополни-тельных ср-вах, руб
			ФЗП <sub>осн</sub> одного рабочего, руб	ФЗП <sub>осн</sub> всех рабочих, руб	ФЗП <sub>осн</sub> одного рабочего, руб	ФЗП <sub>осн</sub> всех рабочих, руб	
Оператор ЛУ	52,18	1	8 320,97	8 320,97	9 985,16	9 985,16	1 664,19
Слесарь	35,36	4	33 268,58	133 074,32	39 922,29	159 689,16	26 614,84
Штампов-щик	39,74	2	10 139,53	20 279,06	12 167,44	24 334,88	4 055,82
Штампов-щик	35,36	1	5 638,74	5 638,74	6 766,49	6 766,49	1 127,75
Отбортов-щик	39,74	2	20 279,06	40 558,12	24 334,87	48 669,74	8 111,62
Отбортов-щик	35,36	1	11 277,48	11 277,48	13 532,98	13 532,98	2 255,50
Мойщик	35,36	2	16 916,23	33 832,46	20 299,47	40 598,94	6 766,48
Итого	-	13	-	252 981,15	-	303 577,35	50 596,20

Таким образом, для реализации предлагаемой системы оплаты труда основных рабочих в рамках внедрения концепции БП на участке цеха 8в необходимо дополнительных средств в размере 50 596,2 руб. в месяц или 607 154,4 руб. на годовую программу выпуска. То есть предлагаемая система оплаты труда приводит к увеличению затрат по статье заработная плата. Проанализируем, как изменится смета затрат на изготовление детали «перегородка» (таблица 3).

Таблица 3

## Смета затрат на изготовление детали «перегородка»

Статьи затрат	На единицу изделия, руб		Абсолютное изменение, руб	На годовую программу выпуска, руб		Абсолютное изменение, руб
	при существующей системе оплаты труда	при предлагаемой системе оплаты труда		при существующей технологии	при предлагаемой системе оплаты труда	
Основные материалы за вычетом отходов на ВП, руб	2491,09	2491,09	0	24871062,48	24871062,48	0
Основная зарплата ОПР, руб	304,06	364,88	60,81	3035773,8	3642928,2	607154,4
Дополнительная зарплата ОПР, руб	19,33	23,19	3,87	192953,78	231544,5164	38590,73
Страховые отчисления, руб	109,95	131,94	21,99	1097767,38	1317320,724	219553,35
РСЭО, руб	821,70	821,70	0	8203803,36	8203803,36	0
Цеховые расходы, руб	766,34	766,34	0	7651181,16	7651181,16	0
Итого цеховая с/с, руб	4512,47	4599,14	86,67	45052541,96	45917840,44	865298,48

Проведенные расчеты показали, что себестоимость единицы изделия при предлагаемой системе оплаты труда превышает базовую себестоимость на 86,67 руб. или на 865 298,48 руб. на годовую программу выпуска.

Проанализируем изменение структуры отдельных статей затрат в себестоимости детали, вследствие увеличения затрат на оплату труда. На рисунке 1 представлена структура себестоимости детали «перегородка» при существующей системе оплаты труда.

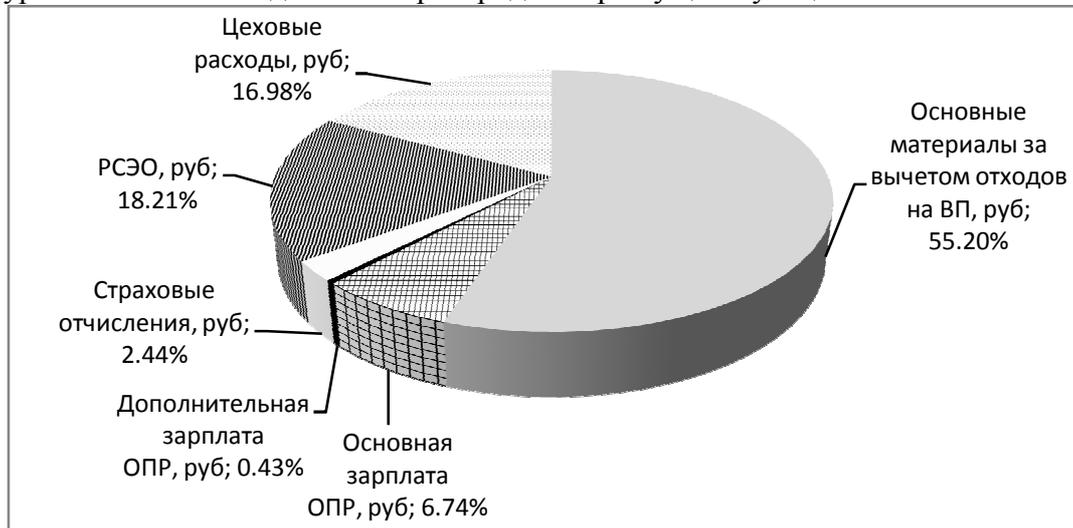
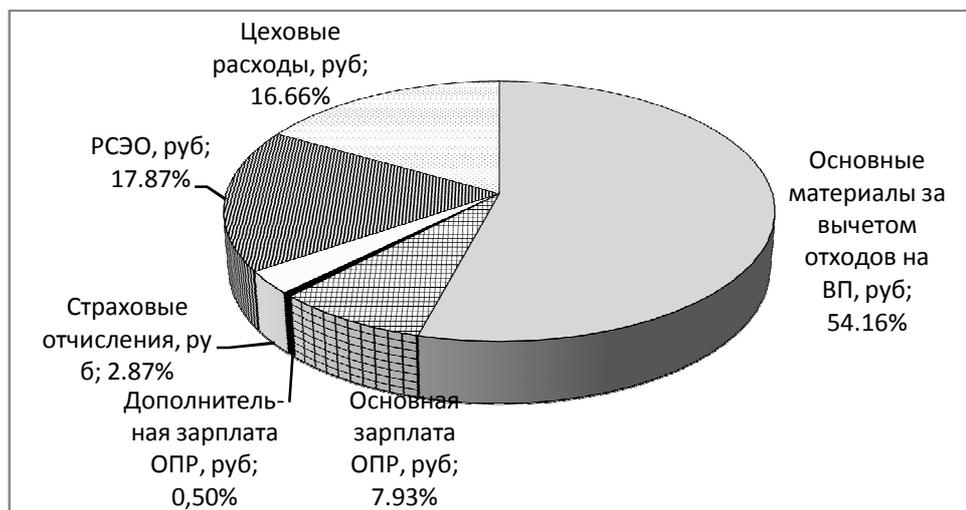


Рис. 1. Структура себестоимости детали «перегородка» при существующей системе оплаты труда

Затраты на оплату труда основных производственных рабочих при существующей системе оплаты труда составили  $6,74\% + 0,43\% = 7,17\%$  (основная и дополнительная заработная плата) себестоимости единицы изделия.

При внедрении БП изменяется структура статей затрат в себестоимости детали, что представлено на рисунке 2.



**Рис. 2.** Структура себестоимости детали «перегородка» при внедрении БП

Затраты на оплату труда в этом случае возрастают с 7,17% до 8,43%(8,43%=7,93%+0,5%)себестоимости изделия.

Внедрение инструментов БП в цехе производства изделия «перегородка» предполагает замену традиционной штамповки на лазерный раскрой и резку плоских заготовок, что позволит в конечном итоге достичь следующих результатов:

- сократить протяженность маршрута изготовления изделия на 28,1%;
- сократить время обработки изделия на 49,1%;
- снизить производственный брак на 70%;
- увеличить объемы производства в 2,19 раза.

Изменение технологии изготовления детали «перегородка» приведёт к изменению сметы затрат, что представлено в таблице 4.

**Таблица 4**

**Смета затрат на изготовление детали «перегородка» при внедрении концепции БП с учетом предлагаемой системы оплаты труда**

Статьи затрат	На единицу изделия, руб		На годовую программу, руб		Абсолютное изменение, руб		Темп прироста, %
	при существующей технологии	при измененной технологии	при существующей технологии	при измененной технологии	на единицу изделия, руб	на годовую программу выпуска, руб	
Основные материалы за вычетом отходов на ВП, руб	2 491,09	2 388,05	24 871 062,48	23 842 271,28	- 103,04	- 1 028 791,20	-4,14%
Основная зарплата ОПР, руб	304,06	364,88	3 035 773,80	3 642 927,96	60,81	607 154,16	+20,00%
Дополнительная зарплата ОПР, руб	19,33	23,17	192 953,78	231 325,92	3,84	38 372,14	+19,89%
Страховые отчисления, руб	109,95	131,95	1 097 767,38	1 317 387,36	22,00	219 619,98	+20,01%
РСЭО, руб	821,70	611,92	8 203 803,36	6 109 393,20	- 209,78	- 2 094 410,16	-25,53%
Цеховые расходы, руб	766,34	928,72	7 651 181,16	9 272 361,60	162,38	1 621 180,44	+21,19%
Итого цеховая с/с	4 512,47	4 448,68	45 052 541,96	44 415 667,32	- 63,79	- 636 874,64	-1,41%

При внедрении инструментов БП себестоимость единицы изделия уменьшается на 63,79 руб (-1,41%) за счет снижения темпов прироста материальных затрат на 4,14%, РСЭО на 25,53%. При этом увеличивается основная заработная плата на 20%, дополнительная зарплата на 19,89%, страховые отчисления на 20,01% и цеховые расходы на 21,19%.

С учетом внедрения всех предлагаемых изменений (система оплаты труда ОПР, технология производства изделия) экономия цеховой себестоимости составит 636 874,64 руб/год.

Внедрение предлагаемой системы оплаты труда является важным этапом в борьбе с сопротивлением изменениям и способствует росту производительности труда, увеличению рационализаторских предложений, вовлечению рабочих в процесс изменений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [http://www.treko.ru/show\\_article\\_580](http://www.treko.ru/show_article_580)
2. [http://www.iteam.ru/publications/project/section\\_40/article\\_2653/](http://www.iteam.ru/publications/project/section_40/article_2653/)
3. [http://www.hanadeeva.ru/interesno/stimylirovanie\\_rabotnikov/index.html](http://www.hanadeeva.ru/interesno/stimylirovanie_rabotnikov/index.html)

### ОБ АВТОРАХ



**Галеева Алина Эльфировна**, студент специальности «Экономика и управление на предприятии» факультета ИНЭК УГАТУ

e-mail: oomka007@yandex.ru



**Дзинтер Наталья Витальевна**, старший преподаватель кафедры «Экономика предпринимательства» факультета ИНЭК УГАТУ

e-mail: dzinter@inbox.ru

УДК (657:004)

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ВЫПЛАТЫ ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ РАБОТНИКАМ ФИЛИАЛА ОАО «СО ЕЭС» БАШКИРСКОЕ РДУ СРЕДСТВАМИ 1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.1

**Валеева К. И.**

Процесс выплаты заработной платы является одним из основных процессов в деятельности любого предприятия. Механизм перечисления денежных средств непосредственно на лицевые счета работников является необходимым и очень удобным, т.к. он позволяет сократить время выполнения операций и повысить качество обработки информации.

Сейчас очень многие компании предпочитают выплачивать деньги своим сотрудникам на пластиковые карты. При этом большинство таких организаций открывают «Зарплатные проекты» (Зарплатный проект - это соглашение между банком и организацией (учреждением) о выплате заработной платы посредством расчетных банковских карт. Зарплатный проект не предусматривает открытия организацией (учреждением) расчетного счета в банке.).

Предприятие Башкирское РДУ переходит на выплату заработной платы и прочих денежных перечислений работникам в банк ЗАО ВТБ 24 (далее ВТБ 24).

Проблема расширения функционала возникла после того, как было принято решение о переходе на выплату зарплаты через карты банка ВТБ 24. Банк предъявляет особые требования к схеме организации открытия лицевых счетов, передаче начисленной зарплаты в вычислительный центр, получение номеров лицевых счетов, а также к кодировке информации, структуре данных, файлов и даже к структуре названия файлов.

Обоснованием выбора бизнес-процесса является то, что в Филиале отсутствует автоматизация функции формирования выплаты заработной платы и прочих денежных перечислений работникам организации в банк ВТБ 24 по программе «Зарплатный проект».

В настоящее время на предприятии используется АИС «Расчет заработной платы и Управление персоналом», в которой разработан механизм перечисления денежных средств на лицевые счета работников в Сбербанке РФ.

В существующем бизнес-процессе можно выделить следующие недостатки:

— трудоёмкость и длительность выполнения, за счет совершения дополнительных операций по перечислению с расчетного счета ВТБ 24 денежных средств в отделение Сбербанка с помощью программы Банк-Клиент ВТБ 24;

— увеличение времени перевода заработной платы и прочих денежных начислений в Сбербанк и, соответственно, на лицевые счета работников;

— возникновение дополнительных ошибок, связанных с перечислением денежных средств с расчетного счета одного банка (ВТБ 24) на расчетный счет другого банка (Сбербанк РФ) [4].

В связи с тем, что предприятие Башкирское РДУ является Филиалом ОАО «СО ЕЭС», программное обеспечение для всех Филиалов ОАО «СО ЕЭС» является стандартным. Это означает, что локальной доработки программного обеспечения, дающей возможность работы по перечислению денежных средств в ВТБ 24, выполнено не будет [1, с. 9-11].

В связи с этим поставлена задача автоматизации процесса работы с банком ВТБ 24 отдельной задачей, написанной на платформе 1С v8.1.

На этапе разработки функциональной модели существующего бизнес-процесса была создана модель «Механизм перечисления денежных средств на лицевые счета работников Башкирского РДУ в ВТБ 24», в стандарте SADT, изображенная на рис. 1. Данная модель представляет собой самое общее описание системы.

Принципиальное описание бизнес-процесса по выплате заработной платы и прочих денежных перечислений работникам Башкирского РДУ в ВТБ 24 с применением АИС представлено на рис. 2.

При помощи средств бизнес моделирования в среде «Enterprise Architect» построена функциональная модель, представляющая собой декомпозицию процесса «Перечисление денежных средств на лицевые счета работников».

Данная модель изображена на рис. 3 и представляет собой третий уровень функциональной диаграммы, позволяющей представить более подробное функционирование бизнес-процесса [5].

Модель позволяет наглядно отобразить существующую входную, выходную информацию процесса, основные этапы деятельности, а также роли участников бизнес-процесса.



Рис. 1. Механизм перечисления денежных средств на лицевые счета работников Башкирского РДУ в ВТБ 24

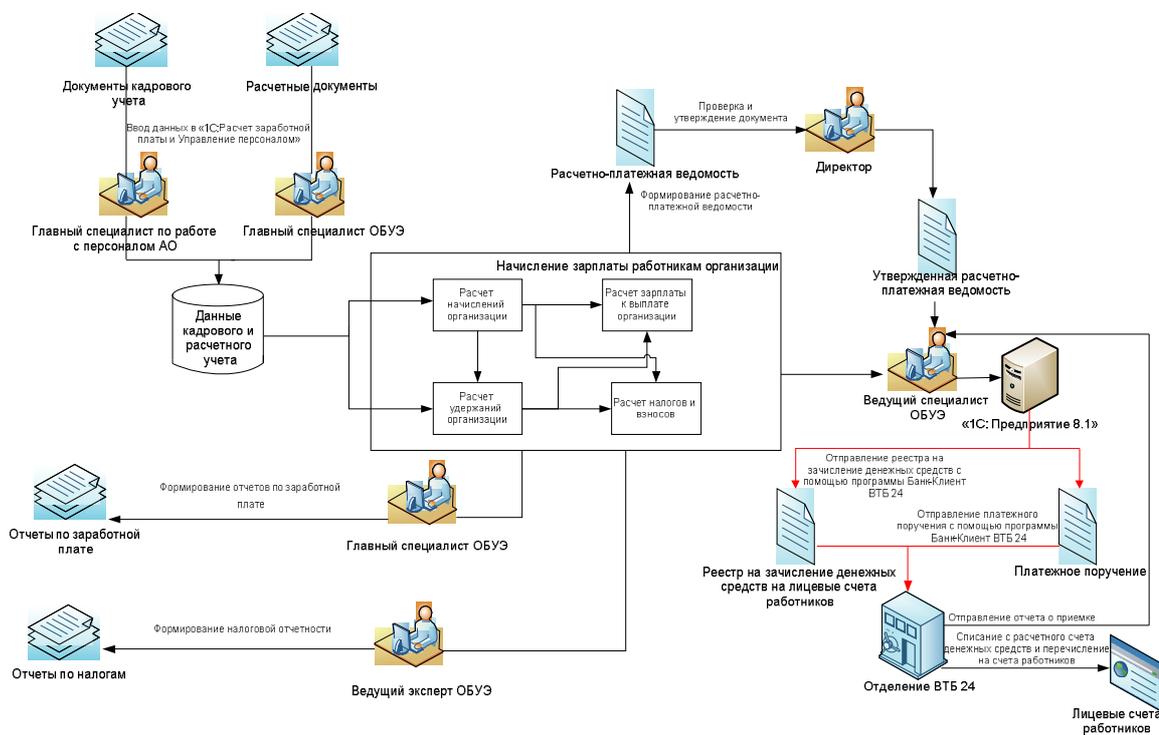
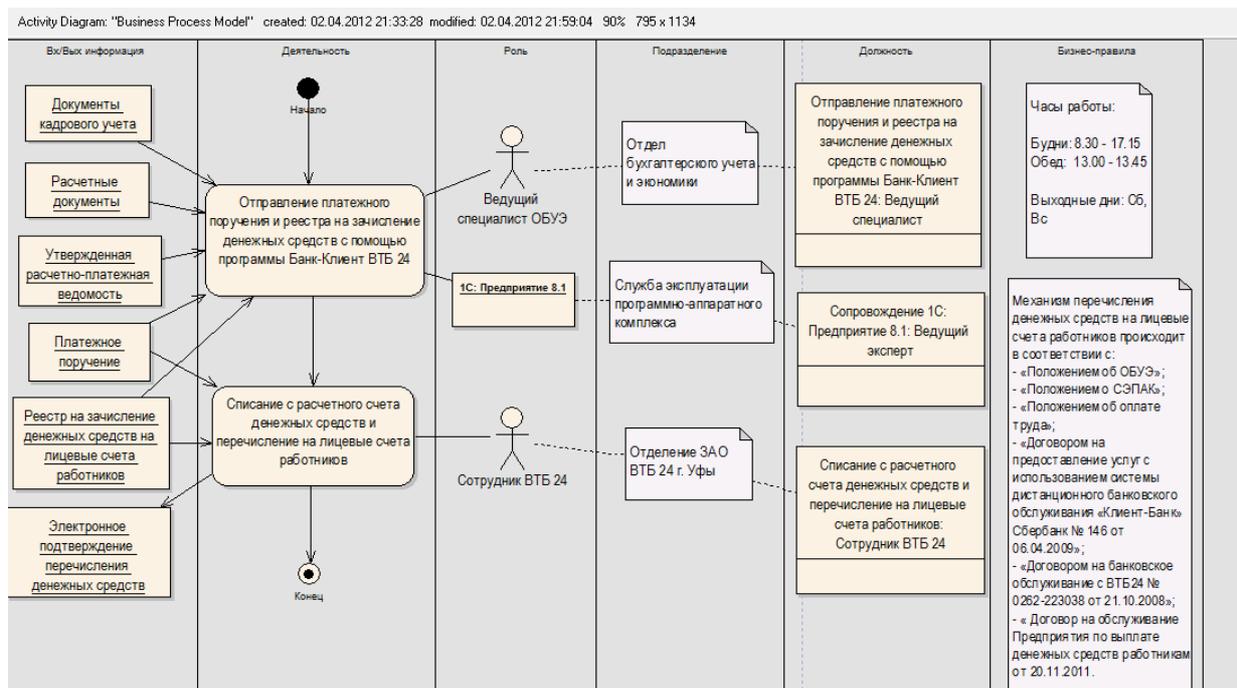


Рис. 2. Мнемосхема описания работы бизнес-процесса



**Рис. 3.** Декомпозиция процесса «Перечисление денежных средств на лицевые счета работников»

Разработанная информационная система по выплате заработной платы и прочих денежных перечислений работникам организации в банк ВТБ 24 по программе «Зарплатный проект» позволит:

- уменьшить трудоёмкость и длительность выполнения операций;
- повысить качество обработки информации за счет уменьшения числа дополнительных операций по перечислению денежных средств;
- уменьшить время перевода заработной платы на лицевые счета работников;
- устранить ошибки, связанные с перечислением денежных средств с расчетного счета одного банка на расчетный счет другого банка.

Также подсистема выплаты заработной платы обеспечивает возможность:

- подготовки всех необходимых данных для выпуска карточных счетов работников (файл с полной информацией о работниках предприятия, «Реестр уволенных работников Предприятия», «Реестр на зачисление денежных средств на карточные счета работников» и др.);
- создания документа с номерами карточных счетов;
- подготовки платежной ведомости, платежного поручения;
- создания текстового файла определенной банком структуры для последующей передачи его по защищенному каналу связи в зашифрованном виде в банк ВТБ 24;
- ручного ввода данных.

В рамках научной работы были изучены существующие системы документооборота и информационно-технологические системы обработки данных, произведено знакомство с механизмом начисления заработной платы и прочих денежных начислений работникам организации и перечислением денежных средств на лицевые счета работников.

Построены функциональные модели и диаграммы, разработано информационное и программное обеспечение информационной системы, спроектирована подсистема выплаты и перечисления денежных средств на лицевые счета работников в ВТБ 24, удовлетворяющая всем потребностям, предъявляемым со стороны заказчика.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Положение о Филиале ОАО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы республики Башкортостан». – М. 2008. – 15 с.
2. Положение об Отделе бухгалтерского учета и экономики Филиала ОАО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ. – Уфа. 2008. – 14 с.
3. **М.Е. Медведева** «1С: Зарплата и управление персоналом 8».– М. – 58 с.
4. Фирма 1С. Зарплата и управление персоналом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [<http://v8.1c.ru/hrm/>], (дата обращения: 25.01.2012г.).
5. Sparx System. Introduction to Enterprise Architect. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [[http://www.sparxsystems.com/enterprise\\_architect\\_user\\_guide/](http://www.sparxsystems.com/enterprise_architect_user_guide/)], (дата обращения: 10.02.2012г.).
6. Локальный сайт Филиала ОАО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ. О компании. Структура. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [<http://brdu/company/default.aspx>], (дата обращения: 15.01.2012г.).

**ОБ АВТОРЕ**

**Валеева Кристина Игоревна**, студентка 5 курса кафедры экономической информатики факультета ИНЭК УГАТУ. Научный руководитель: Шаронова Юлия Вениаминовна, кандидат, доцент кафедры экономической информатики.

e-mail: valeeva.kr@mail.ru

УДК 159.9

**РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗАЦИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ ЛОГОТИПА НА ПРИМЕРЕ СПОРТИВНЫХ КЛУБОВ**

**Сомов М. А., Кидрачев Р. Н.**

В современном мире логотипы окружают нас со всех сторон. Каждая организация, фирма, различные общества стараются создать свой собственный логотип.

Сегодня, их количество стремительно растет вместе с ростом количества организаций всех форм собственности. Считается, что логотип — важнейший элемент имиджа компании.

В настоящее время наличие логотипа и клубной символики являются неотъемлемой частью не только предприятий и организаций, но и любого профессионального (и даже любительского) спортивного клуба. В частности только в Англии насчитывается порядка 40 тысяч клубов, которые обладают уникальным и неповторимым логотипом.

В современном футбольном мире бесчисленное множество эмблем, каждая из которых отражает исторические события или некоторые культурные оттенки и быт страны – родины клуба. Например: крест на логотипе футбольного клуба Милан символизирует о крестовых походах, а логотипы абсолютного большинства английских спортивных клубов содержат в себе элементы геральдики, которые, свидетельствуют о принадлежности клуба к какому либо графству и т.д.

Любой логотип, вольно или невольно отражает внутренние установки, цели и

ценности его создателя. Или создателей, если их несколько, так как каждый вносит что-то свое.

Логотипы футбольных клубов не являются исключением и отражают представления руководства о клубе и его стиле. Независимо от того, кто был идейным вдохновителем и какую цель ставили перед собой разработчики эмблемы, она представляет собой лицо клуба, важный атрибут команды, по которому поклонники и соперники отличают ее среди конкурентов.

И в то же время, люди, принимающие решение об утверждении логотипа, принимают решения и относительно самого клуба, его игроков, его стиля. Именно они, по сути, пишут историю своего клуба, влияя или непосредственно формируя его настоящее. Мы можем говорить об определенном соответствии между выбранным, созданным вариантом логотипа того или иного клуба и тем, что происходит с самим клубом, в силу того, что управление и влияние исходит от одних и тех же людей.

Таким образом, в логотипах спортивных клубов мы можем найти в определенном смысле отражение истории самих клубов.

Даже экзотические страны представляют свои футбольные команды и футбольные эмблемы. Большинство клубов имеет достаточно продолжительную и увлекательную историю эволюции собственного логотипа, (у некоторых клубов эта история занимает несколько веков) и клубной символики.

Определим, что такое логотип.

Логотип (от греч. *logos* — слово и *typos* — отпечаток) — определяется как «оригинальное начертание, изображение полного или сокращенного наименования фирмы или товаров фирмы. Специально разрабатывается фирмой с целью привлечения внимания к ней и к ее товарам [1].

Логотип — оригинальное специально разработанное начертание, изображение полного или сокращенного наименования фирмы или товаров фирмы, выполненное графически оригинальным способом, разработанное специально для конкретной компании. Логотип регистрируется и является словесной частью товарного знака и специально разрабатывается фирмой в целях привлечения внимания к ней и ее товарам [2].

Выделяют различные типы логотипов, например:

1. Оригинальное графическое начертание названия.
2. Фирменный знак. Буквенное начертание
3. Фирменный блок — комбинация названия и знака.

Можно утверждать, что основное внимание и интерес к определению логотипа, проявляют дизайнерские фирмы и, соответственно, сайты, которые заинтересованы в продаже своих услуг по разработке этих логотипов. Так, например, на сайте арт студии читаем: «Логотип — это знак (символ), состоящий из текста и/или графики, являющийся отличительным для фирмы, компании, организации и т.п. В идеале логотип графическими средствами должен выражать основное направление деятельности фирмы» [3].

Другой сайт пишет: «Логотип и товарный знак выражают индивидуальность предприятия, которое его использует. Учитывая тот факт, что знак является главным звеном, организующим центром всего фирменного стиля, требования к нему особенно строги. От успешной разработки логотипа, товарного знака во многом зависит эффективность всего фирменного стиля в целом.

Логотип, товарный знак — своеобразная "визитная карточка" предприятия — выполняет в коммерческой деятельности последнего разнообразные и очень важные функции. Некоторые из них совпадают с функциями остальных констант, другие свойственны только знаку»[4].

Дизайнеры — разработчики логотипов, акцентируют свое внимание, прежде всего на представительской функции логотипа и на необходимости отражать (презентовать) товар или услугу.

Первой задачей исследования является, на основе выбора нескольких разных логотипов, сопоставление их истории и условий их возникновения, развития, изменения с событиями, сопровождавшими историю существования самой организации (клуба, общества). Для примера мы взяли логотипы достаточно известных футбольных клубов.

Вся информация об истории развития организаций, клубов взята нами с официальных сайтов соответствующих организаций и клубов.

Для начала проанализируем логотип футбольного клуба Манчестер Юнайтед.

Данный клуб был основан в 1878 году сначала под названием «Ньютон Хит Ланкашир энд Йоркшир Рейлуэй». В 1902 году изменил название на «Манчестер Юнайтед». С 1986 года, когда команду возглавил Алекс Фергюсон, МЮ стал одним из самых успешных английских клубов по количеству титулов за всю историю. Команда завоевала 19 чемпионатов Англии, 3 ЛЧ УЕФА, 11 кубков Англии и 19 суперкубков Англии. В течение последних 7 лет МЮ называется Forbes самым дорогим клубом мира (рыночная стоимость клуба 1,86 млрд. \$). Воспитанниками МЮ являются такие игроки как: Дэвид Бэкхем, Криштиану Роналдо, Уэй Руни и т.д. Основные цвета: черный, красный, желтый.



**Рис. 1.** Логотип ФК Манчестер Юнайтед

Логотип МЮ за всё время существования клуба менялся неоднократно. Сначала он просто отражал принадлежность к городу Манчестер – крупному торговому порту Англии. Однако по мере своего развития и привлечения все большего числа болельщиков, клуб менял и свой логотип.

В 60-х годах на логотипе МЮ впервые появился чертик – его позаимствовали из регби – одного из самых жестких видов спорта. Сейчас он отражает основное прозвище команды. Сразу после появления чертика на логотипе, уже в следующем сезоне, команда вылетела во второй дивизион, что является самым худшим показателем ее выступления в Англии, начиная с 30-х годов 20 века. Примечательно, что решающий гол в ворота МЮ забил бывший воспитанник этого клуба, выступавшей в том сезоне за принципиальных соперников МЮ, команду Манчестер Сити. А чемпионом тогда стал Лидс Юнайтед (в 3 и последний раз в своей истории). Данная команда является самым враждебным клубом для МЮ, поскольку она символизирует Йоркширов (Белая роза). Так низко Манчестер никогда более не опускался.

Начиная со следующего сезона, команда начала медленный, но неуклонный рост вверх и становится (не сразу), одним из самых известных и титулованных клубов в Европе, а начиная с конца 90-х годов (когда команда стала проектом (то есть коммерческая составляющая существенно возросла)), и в мире.

Красный цвет логотипа символизирует красную розу Ланкастеров, получившую своё распространение в годы войны Алой и Белой роз. В современной психологической интерпретации он обозначает агрессию и действительно, болельщики МЮ являются самыми агрессивными в Англии (движение стало развиваться с начала 70-х годов 20 века).

В 1998 году, из логотипа убрали слова «Футбол Клуб» (англ.). Сразу после этого Манчестер Юнайтед провел самый успешный сезон в своей истории. Команда выиграла чемпионат Англии, кубок Англии, ЛЧ УЕФА. Это был сезон 1998-1999 гг.

Примечательно, что анализируя все логотипы МЮ можно заметить, как команда уходит от той первоначальной идеи, которая была заложена авторами. Так, например, заметно, как после 60-х годов XX века постепенно удаляются атрибуты герба города Манчестер, вместо них в центре появился Черт; Лев справа и Антилопа слева, поддерживавшие щит, заменились на футбольные мячи, и свитки. Да и сам МЮ базируется сегодня не в самом Манчестере, а в его пригороде.

Далее рассмотрим логотип футбольного клуба Спартак Москва.

Он был основан в 1922 году (Красная Пресня). 12-кратный чемпион СССР, 9-кратный чемпион России, 10-кратный обладатель Кубка СССР, 3-кратный обладатель Кубка России, 6-кратный обладатель Кубка чемпионов Содружества, полуфиналист 3-х главных клубных европейских турниров (Кубка чемпионов, Кубка обладателей кубков и Кубка УЕФА). С 2000 года команда никак не может начать выигрывать трофеи. Цвета: красно-белые. Базируется в Лужниках. Наибольшие успехи к команде пришли в 70-е годы (советский период), и в 90-е годы (под руководством Романцева).



**Рис. 2.** Логотип ФК Спартак Москва

Логотип содержит 2 основных цвета (красный и белый, 1 вспомогательный (черный), и 1 дополняющий цвет (желтый в форме пятиконечной звезды).

Примечательно, что красный, как и у МЮ, символизирует агрессию. Первые фанаты в Советском Союзе появились именно у московского «Спартака». История фанатского движения красно-белых отсчитывается с начала 70-х годов. В конце 1990-х — начале 2000-х годов матчи с участием «Спартака», а также всё, что им предшествует, нередко стали заканчиваться беспорядками. События в Нижнем Новгороде, Раменском, Ярославле, Праге, Воронеже оставили негативный след на всей истории красно-белого фанатского движения. Отметим также, что поводом для выступлений на манежной площади в Москве в конце 2011 года стало именно убийство болельщика Спартака. В 1997 году было зафиксировано самое крупное столкновение на постсоветской территории футбольных болельщиков. По разным данным в этом побоище участвовало несколько тысяч футбольных хулиганов.

Желтая звезда появилась в сезоне 2002-2003 года. Примечательно, что именно с этого момента (точнее с этого сезона), команда никак не может добиться успеха ни на внутренней, ни на международной арене. В РФ команда не может выиграть чемпионат на протяжении 10 лет (при том, что 2 раза команда была в одном шаге (т.е. в одном очке) от победы). На международной арене, лучшим достижением команды за последние 10 лет можно считать участие в групповом этапе лиги чемпионов, и ¼ финала кубка УЕФА (в 2011 году).

Именно с появлением желтой звезды (которая символизирует 5 чемпионств), команда стала терять своих воспитанников и стала приобретать легионеров из совершенно не футбольных стран.

Эти легионеры (особенно на первых порах), были не способны решать поставленные перед московским клубом задачи.

Идея агрессии в логотипе подчеркивается еще и большим количеством острых углов, что дополняет агрессию красного цвета.



**Рис. 3.** Изменения в логотипе Спартак за все годы его существования

Футбольный клуб «Аякс».

Нидерландский футбольный клуб из Амстердама, основанный 18 марта 1900 года.



**Рис. 4.** Логотип ФК АЯКС

В 1955 году было окончательно принято решение проводить национальное первенство Нидерландов под профессиональным статусом. Пик формы пришелся на 70-е и 90-е годы. Является самым титулованным клубом в своей стране. 30-кратный чемпион Нидерландов, 18-кратный обладатель Кубка Нидерландов, 7-кратный обладатель Суперкубка Нидерландов. «Аякс» является одним из четырех обладателей так называемого футбольного «Большого шлема».

Основные цвета белый и черный. Белый цвет (идеал) соотносится с данным логотипом как символ детского футбола. Поскольку АЯКС все время был клубом, который воспитывает собственные футбольные таланты, а не покупает их из других клубов.

11 черных линий символизируют 11 игроков футбольного клуба. Фигура логотипа является полузамкнутой. В жизни этот клуб всегда воспитывает свои собственные кадры, а не ориентируется на других. В то же время уровень голландского чемпионата по сравнению с чемпионатом стран большой пятёрки (Англии, Франции, Германии, Италии, Испании) является не слишком высоким. Игроки АЯКСа, перерастающие данный уровень очень часто покидают свою любимую команду. Примечательно, что данное явление стало прослеживаться с середины 90-х годов.

Красный цвет на внешних рубежах как бы демонстрирует агрессию против проникновения внутрь, которая проявляется по отношению не к внутренним структурам клуба – а по отношению к соперникам: Спарта, ПСВ, Фейнерод, Бавария, Спартак Барселона.



Рис. 5. Изменения в логотипе АЯКСа

Проанализировав логотипы, мы пришли к следующим выводам.

Появление красного цвета в качестве основного, у футбольного клуба Манчестер Юнайтед, совпало по времени с формированием фанатского движения, которые было крайне негативно настроено против общественности (что нашло свое подтверждение в массовых беспорядках).

Данное движение стало формироваться впервые по всей Европе именно в Манчестере и именно в 70-е годы (в 1973 году красный стал основным в логотипе данного клуба). Отметим, что именно с этого момента у Манчестера появляется большое количество принципиальных соперников на Европейской арене: Реал (Мадрид), Барселона, Бавария, Интер, Милан, Рома...

Примечательно также, что появление чертика на эмблеме клуба и отказ от герба совпал по времени с тем, что в Манчестер стали приезжать легионеры со всех концов сначала Европы, а затем и мира. И еще: появление вышеупомянутых атрибутов, совпало с вылетом Манчестер Юнайтед во второй английский дивизион (сезон 1973-1974).

Появление красного цвета у Аякса в 90-е годы (1991 год), также совпало с формированием футбольных хулиганских объединений.

Красный цвет у ФК Спартак, совпал с тем фактом, что у Спартака (даже во времена Советского Союза), впервые во всей восточной Европе появились хулиганские движения болельщиков. Как и у Манчестер Юнайтед это произошло в 70-е годы.

Определенное значение имеет и появление в логотипе Спартака в 1998 году сначала черного мяча, а чуть позже (в 2002 году) - желтой звезды, возвышающейся над основной частью фигуры. Именно в 1998 году Спартак в последний раз добился крупного успеха на европейской арене, дойдя до полуфинала кубка УЕФА (в 2010 году Спартак добрался лишь до ¼ финала данного турнира). А с 2002 года команда, никак не может выиграть чемпионский титул. Трижды команда завоевывала серебряные медали отечественного чемпионата (при этом дважды останавливаясь всего лишь в одном очке от первого места).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2007. — 495 с.
2. Стефанов С. И. Реклама и полиграфия: опыт словаря-справочника. — М.: Гелла-принт, 2004. — 320 с: ил. — (Рекламные технологии).
3. Электронный ресурс. Адрес в интернете <http://mdesign.ru>. Заглавие с экрана. Доступ свободный.
4. Электронный ресурс. Адрес в интернете <http://www.artpix.ru>. Заглавие с экрана. Доступ свободный.
5. Философский словарь. Электронный ресурс. Адрес в интернете <http://www.edudic.ru/fil/>. Заглавие с экрана. Доступ свободный.

**ОБ АВТОРАХ**

**Кидрачев Руслан Наилевич**, студент 3 курса кафедры ФДОиЭБ.

e-mail: kidrachev@myrambler.ru



**Сомов Михаил Анатольевич**, Кандидат психологических наук, доцент. Разрабатывает и читает курсы по психологическим дисциплинам: «Самоменеджмент», «Основы психологии», «Искусство делового общения», «Психологическое обеспечение решения реальных производственных задач» и «Конфликтология».

УДК 65.013

**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Лисовская М. В.**

Реализация стратегии – следующее после формирования стратегии ключевое звено стратегического управления, которому следует уделять первостепенное значение при практическом управлении развитием организации. В настоящее время не существует единой концепции эффективной реализации стратегии. В качестве ключевых условий успеха рассматриваются как «мягкие» проблемы (развитие корпоративной структуры), так и «жесткие» (совершенствование планирования) [1, С. 16].

Феномен несоответствия стратегических целей и планов их фактическому состоянию часто называют стратегическим разрывом. Так, авторы [1] определяют стратегический разрыв, как «пропасть между операционным планом сегодняшнего бизнеса и величественным видением того, чем этот бизнес должен стать». Стратегический разрыв существует в большинстве организаций.

Выделяют две группы проблем и трудностей реализации стратегии, действие которых в равной мере обуславливает возникновение «стратегического разрыва» [1]:

- проблемы объективного характера, обусловленные, во-первых, уровнем сложности внешней среды, во-вторых, уровнем ее нестабильности;
- субъективные проблемы реализации стратегии.

Задачи успешной реализации разработанной стратегии, без возникновения стратегических разрывов встают перед каждым предприятием вне зависимости от его условий, целей и характера функционирования. Тогда возникает ряд вопросов: как правильно реализовать стратегию и какие факторы могут повлиять на ее успешную реализацию. Ответить на эти вопросы можно с помощью метода когнитивного моделирования.

**Когнитивная модель факторов успешной реализации стратегии**

Когнитивное моделирование позволяет в короткие сроки на качественном уровне:

- оценить ситуацию и провести анализ взаимовлияния действующих факторов, определяющих возможные сценарии развития ситуации;
- выявить тенденции развития ситуаций и реальные намерения их участников;
- разработать стратегию использования тенденций развития ситуации;
- определить возможные механизмы взаимодействия участников ситуации для достижения ее целенаправленного развития;
- выработать и обосновать направления управления ситуацией;
- определить возможные варианты развития ситуации с учетом последствий принятия важнейших решений и сравнить их.

Применение технологии когнитивного моделирования позволяет действовать на опережение и не доводить потенциально опасные ситуации до конфликтных, а в случае их возникновения – принимать рациональные решения. Метод когнитивного моделирования предполагает построение когнитивной модели, которая помогает отразить ситуацию и разработать наиболее эффективное решение задачи управления, основываясь не столько на интуиции, сколько на упорядоченном и верифицированном знании о сложной системе [2].

Построение когнитивной модели подразумевает разработку когнитивной карты факторов успешной реализации стратегии, которая начинается с выделения основных факторов, участвующих в процессах исследуемой ситуации. Существуют следующие факторы, которые влияют на процесс успешной реализации стратегии:

- использование методов при реализации стратегии;
- донесение сути стратегий до других;
- следование плану;
- адаптация к переменам;
- сложности внешней среды;
- стабильность внешней среды;
- выбор верной стратегии;
- правильное внедрение выбранной стратегии;
- игнорирование стратегии;
- результаты от реализации стратегии;
- разрозненные системы.

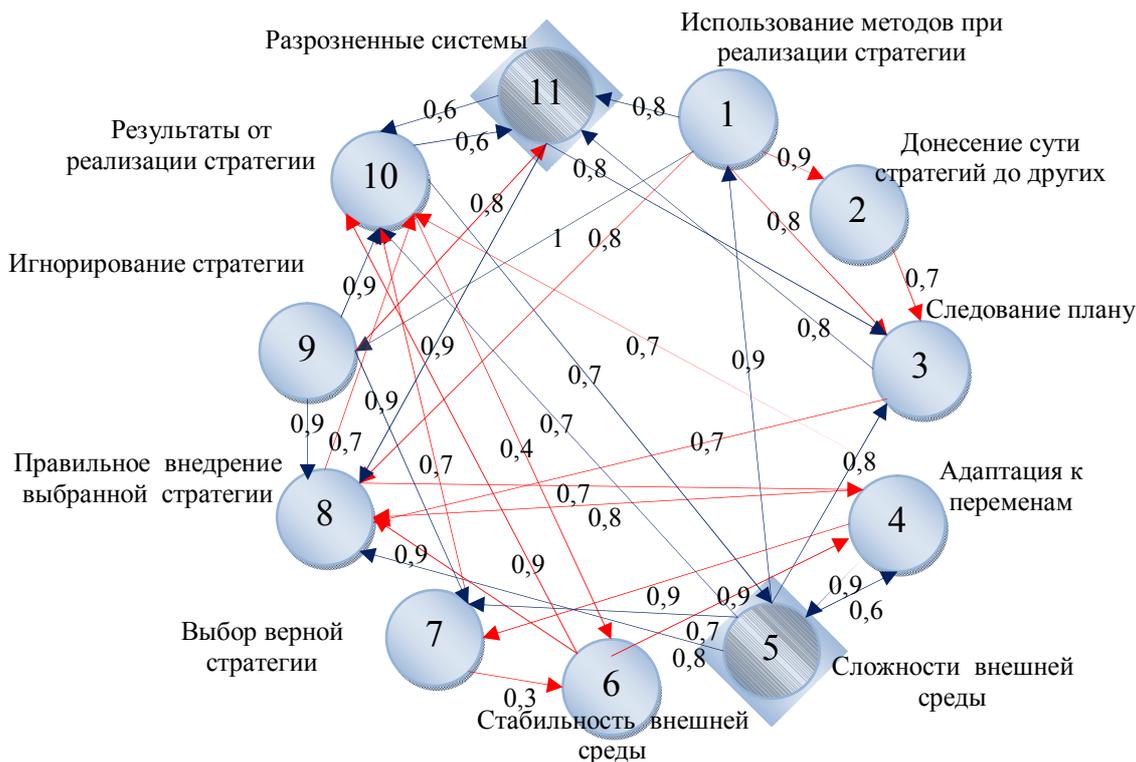
Необходимым этапом является указание связи, присутствующей между факторами, и силы ее влияния (рис. 1).

При анализе когнитивной карты факторов успешной реализации стратегии известно, какие изменения базисных факторов являются желательными. Эти факторы, представляющие наибольший интерес являются выходными факторами когнитивной модели. Задача выработки решений по управлению процессами в ситуации состоит в том, чтобы обеспечить желательные изменения выходных факторов. В исходном множестве базисных факторов также выделяется совокупность входных факторов, через которые подаются управляющие воздействия в модель управления. Входные и выходные факторы данной модели представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Деление факторов по уровню воздействия**

Входные факторы	Выходные факторы
Использование методов при реализации стратегии Адаптация к переменам Игнорирование стратегии	Результаты от реализации стратегии



**Рис. 1.** Направление и степень влияния связей факторов

Таким образом, зная входные и выходные факторы модели, строится прямая задача, помогающая спрогнозировать развитие ситуации с выбранным комплексом мероприятий. Решая прямую задачу, выполняются следующие расчеты:

– если руководитель «использует методы при реализации стратегии», то это позволяет правильно организовать работу, в результате чего выполняется «донесение сути стратегий до других», происходит «следование плану», что обеспечивает «правильное внедрение выбранной стратегии» и улучшаются «результаты от реализации стратегии»;

– если проводится политика улучшения «адаптации к переменам», то «сложности внешней среды» не будут главной проблемой и их преодоление окажется достаточно легким, что позволит сделать «выбор верной стратегии». Выбор верной стратегии благоприятно скажется как на фирме в целом, так и на внешней среде, что обеспечит «стабильность внешней среды» которая, в свою очередь, даст возможность улучшить «результаты от реализации стратегии»;

– если руководитель не будет «игнорировать стратегию», то это поможет избежать появления «разрозненных систем», что также поможет улучшить «результаты от реализации стратегии».

Таким образом, в результате построения когнитивной модели выявились следующие входные факторы:

- использование методов при реализации стратегии;
- адаптация к переменам;
- игнорирование стратегии.

На данные факторы руководство предприятия может оказывать воздействие, добиваясь, тем самым, тех или иных результатов. Правильно выбрать фактор, которому необходимо уделить первостепенное внимание, позволит метод анализа иерархий.

#### **Эффективный выбор ключевых факторов методом анализа иерархий**

Метод анализа иерархий – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. Метод анализа иерархий не предписывает лицу, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в

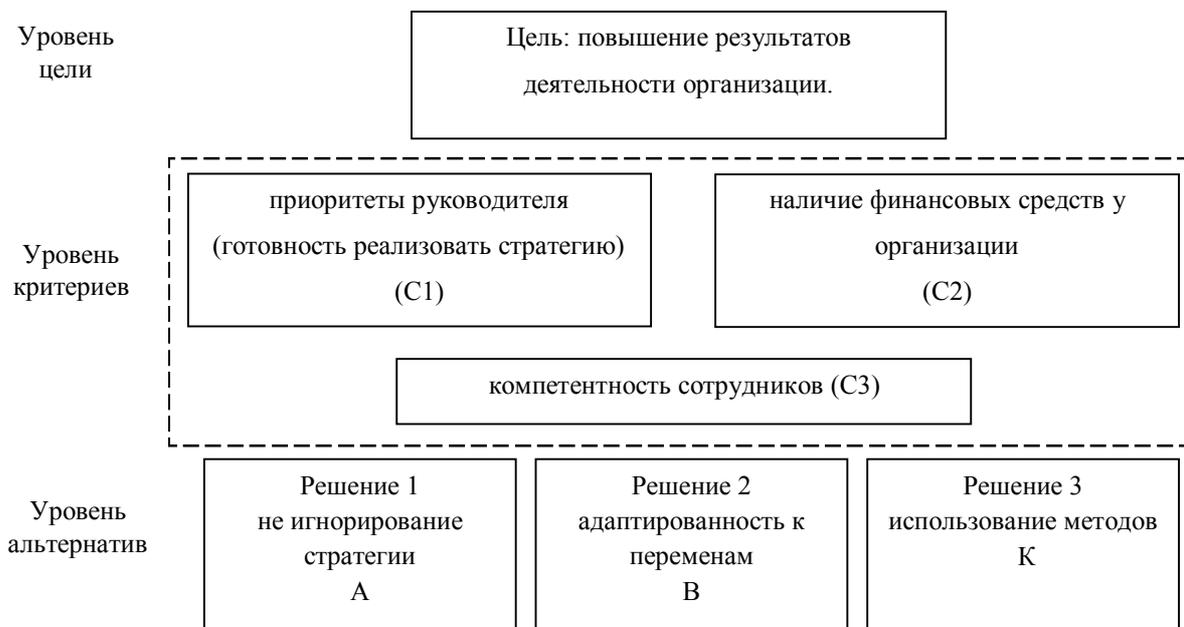
интерактивном режиме найти такую альтернативу, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. В его основе наряду с математикой заложены и психологические аспекты, он позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. Метод анализа иерархий используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в бизнесе, промышленности, здравоохранении и образовании [3].

Так как целью любой организации является повышение результатов ее деятельности, предполагающее реализацию выбранной стратегии, то в результате построения когнитивной модели выработалось три варианта решения, к которым необходимо определить критерии. Такими критериями являются следующие:

- приоритеты руководителя (готовность реализовать стратегию);
- наличие финансовых средств у организации;
- компетентность сотрудников.

Следует выбрать лучшее решение с точки зрения выделенных критериев (рис. 2).

Для достижения цели анализа производится сравнение каждого критерия альтернатив попарно. Анализ проводится по шкале относительной важности критериев, представленной в табл. 2.



**Рис. 2.** Иерархическая схема проблемы выбора правильного решения

**Таблица 2**

**Шкала относительной важности**

Уровень важности	Количественное значение
равная важность	1
умеренное превосходство	3
существенное (сильное) превосходство	5
значительное превосходство	7
очень большое превосходство	9

При использовании метода анализа иерархий строятся матрицы парных сравнений для критериев и для альтернатив (табл. 3).

Таблица 3

## Матрица парных сравнений критериев

Сравнение по критерию С1								
Альтернатива	A	B	K	Компоненты собственного вектора	Вес (важность)	L	ИС	ОС
A	1,00	0,11	0,14	0,25	0,05	3,23	0,12	0,19
B	9,00	1,00	7,00	3,98	0,76			
K	7,00	0,14	1,00	1,00	0,19			
Сравнение по критерию С2								
A	1,00	0,20	0,14	0,31	0,06	3,25	0,12	0,21
B	5,00	1,00	0,11	0,82	0,16			
K	7,00	9,00	1,00	3,98	0,78			
Сравнение по критерию С3								
A	1,00	5,00	0,70	1,52	0,26	3,15	0,07	0,13
B	0,20	1,00	0,11	0,28	0,05			
K	7,00	9,00	1,00	3,98	0,69			

Построение матрицы парных сравнений критериев представлено в табл. 4.

Таблица 4

## Матрица парных сравнений критериев

Критерий	C1	C2	C3	a	W	L	ИС	ОС
C1	1,00	0,14	0,11	0,25	0,05	3,57	0,28	0,49
C2	7,00	1,00	0,11	0,92	0,17			
C3	9,00	9,00	1,00	4,33	0,79			

После построения матриц парных сравнений определяется лучшая альтернатива следующим образом:

$$W_5 = \begin{vmatrix} 0,05 & 0,06 & 0,26 \\ 0,76 & 0,16 & 0,05 \\ 0,19 & 0,78 & 0,69 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,05 \\ 0,17 \\ 0,79 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,23 \\ 0,11 \\ 0,69 \end{vmatrix}$$

В данном случае наилучшим решением является обеспечение поддержки стратегии, т.е. использование каких-либо методов при реализации разработанной стратегии. Многие руководители избегают использования определенных методов при реализации стратегии по многим причинам. Вот самые распространенные из них:

- недостаток знаний в области стратегического менеджмента и непонимание преимуществ, которые он дает;
- недостаток квалификации и компетентности для правильного использования методов стратегического менеджмента;
- слишком сильная загруженность повседневной работой, необходимостью решать текущие малозначимые проблемы.

В современной теории и практике стратегического управления существует ряд методов, ориентированных, прежде всего, на решение проблем реализации стратегии. Один из них – метод развертывания стратегии «хосин канри», которому уделяется гораздо меньше внимания.

Хосин Канри является японским методом разработки и реализации стратегии, который можно определить как метод развертывания стратегии, направленный на увеличение прибыли и конкурентоспособности на основе «правильного» управления имеющимися ресурсами за счет реализации процесса непрерывного совершенствования. Хосин Канри является основой применяемой в компании Toyota системы управления прибылью, а также методов расчета целевых затрат и расчета затрат в системе непрерывного улучшения производства. Хосин обеспечивает интеграцию традиционного бюджетного процесса в рамки долгосрочного плана получения прибыли. При этом целевые финансовые показатели соотносятся с конкретными факторами затрат и теми мерами по улучшению процессов, которые помогут достичь данных целей. Кроме того, одной из основных особенностей Хосин Канри является наличие сбалансированной системы показателей эффективности (balanced scorecard), представленной целевыми показателями улучшения процессов

специально разработанными для обеспечения соответствующих целевых показателей затрат и прибыли [4].

Таким образом, современная теория управления уделяет существенное внимание методам и средствам разработки стратегии и тактики изменений в такой области, как стратегический менеджмент. Тем не менее, при всем внимании к вопросам стратегии, проблемам реализации стратегии уделяется недостаточное внимание. Однако сегодня разрыв между формулировкой стратегии и ее реализацией становится серьезнейшей проблемой. Преодоление этого стратегического разрыва становится одним из важнейших вопросов не только развития, но и самого существования организаций. Одним из методов, который может использоваться на предприятии для устранения стратегических разрывов, является Хосин Канри, который объединяет методические, инструментальные и организационные средства, взаимосвязанное использование которых обеспечивает успешность реализации разработанной стратегии предприятия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ковени М.** Стратегический разрыв. Технологии воплощения корпоративной стратегии в жизнь. – М: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 240 с.
2. **Лакофф Дж.** Когнитивное моделирование. Язык и интеллект. – М.: «Прогресс», 1996. – 416 с.
3. **Ногин В.Д.** Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физматлит, 2002.
4. **Джексон Т.** Хосин Канри: как заставить стратегию работать. – М: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. – 248 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Лисовская Марина Вячеславовна**, магистрант 1 курса УГАТУ, ИНЭК по специальности «Анализ внешнеэкономической деятельности».

e-mail: LisovskayaMarina@yandex.ru

УДК 338.22

### УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ

**Барышева М. С.**

В последние годы наблюдается повышенное внимание к инновациям и инновационному управлению в России, так как воплощение инновационных процессов в новых продуктах и новой технике являются основой социально-экономического развития общества.

С управлением проектами, так или иначе, сталкивается большинство предприятий и часто для них это становится большой проблемой. Это обусловлено тем, что в российской действительности уровню управления уделяется совершенно недостаточное внимание.

В данной статье описаны основные методологии управления инновационными проектами, распространенные и применяемые в различных странах.

Необходимо сначала разобраться с самим понятием инновационного проекта и основными принципами управления проектами.

Инновационный проект – это объединенный единой целью и приуроченный к определенному времени комплекс работ и мероприятий по созданию, производству и продвижению на рынок новых высокотехнологичных продуктов с указанием исполнителей, используемых ресурсов и их источников, намечаемый к планомерному осуществлению. [2]

Понятие «проект» объединяет разнообразные виды деятельности, характеризуемые рядом признаков, такими как [3]:

- направленность на достижение конкретных целей, определенных результатов;
- координированное выполнение многочисленных, взаимосвязанных действий;
- ограниченная протяженность во времени, с определенным началом и концом.

Жизненный цикл инновационного проекта – полный комплекс работ и мероприятий, выполняемых в строго определенной последовательности всеми исполнителями проекта.

Выделяют 4 основные фазы жизненного цикла проекта: определение концепции, разработка проекта, реализация проекта и его завершение.

На рисунке 1 представлен типичный жизненный цикл проекта и его взаимосвязь с жизненным циклом продукта.



**Рис. 1.** Жизненный цикл проекта

Проект как особая форма осуществления целенаправленных изменений предполагает, что эти изменения должны быть реализованы в рамках определенных ограничений по срокам, стоимости и характеристикам ожидаемых результатов. Наличие таких ограничений предъявляет специальные требования у организации и методам управления, суть которых состоит в концентрации полномочий и ответственности за весь проект в целом в руках одного человека – руководителя проекта и создании команды проекта. Проект становится центром затрат и прибылей, что позволяет организовать учет человеческих, материальных и финансовых ресурсов и выстроить систему мотивации, базирующуюся на конкретных результатах участников проекта. [1]

Модель проекта может быть представлена в виде пирамиды (рис. 2).

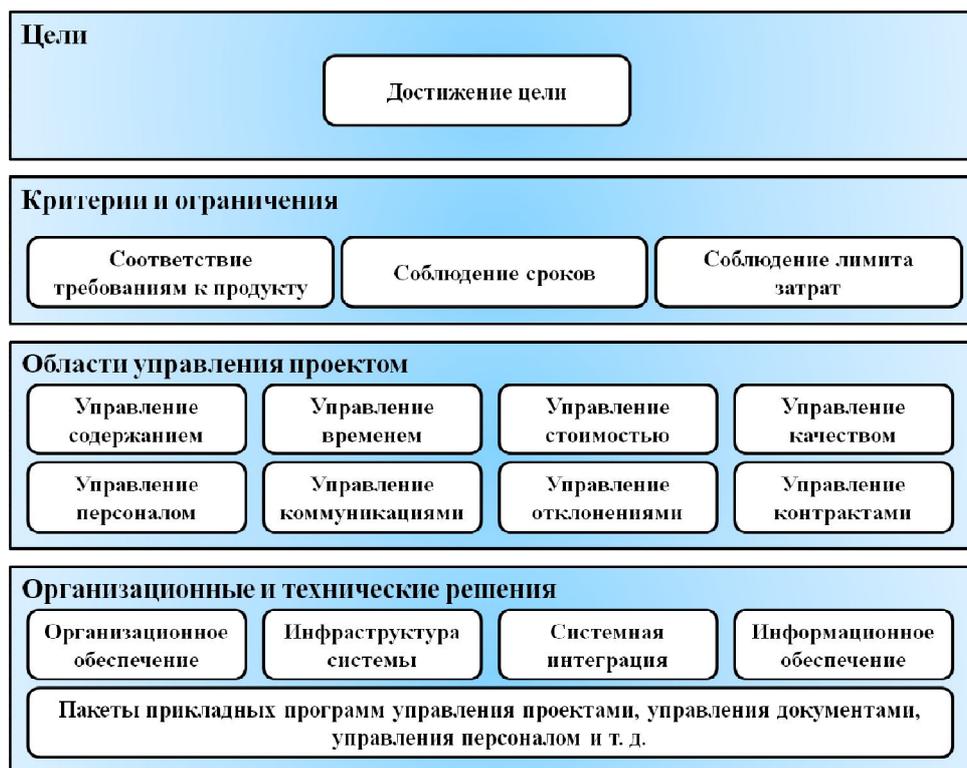


Рис. 2. «Пирамида успеха» проекта

По поводу самого понятия управления проектами в разных странах существует множество разных мнений. Так, например, в США в своде знаний по управлению проектами управление проектами характеризуется как искусство руководства и координации людских и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта путем применения современных методов и техники управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта.

В Германии: управление проектом – это единство управленческих задач, организации, техники и средств для реализации проекта.

В целом процесс управления складывается из шести основных групп процессов [2]:

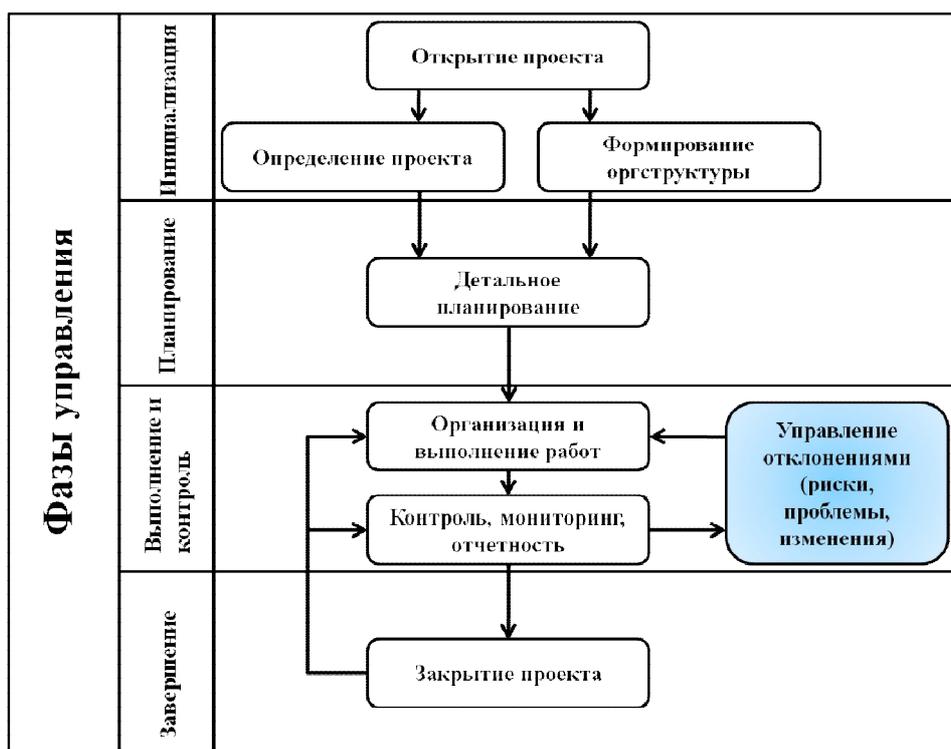
- инициации;
- планирования;
- исполнения;
- анализа;
- управления;
- завершения.

Процессы управления проектом определяются жизненным циклом проекта и зависят от области его приложения.

Взаимосвязи процессов управления проектами и их реализация по фазам управления (фазам жизненного цикла) представлена на рисунке 3.

Управление проектами как самостоятельная область профессиональной деятельности имеет собственные методологии, инструментарий и стандарты. Различные сообщества профессионалов используют разные методологии управления проектами в соответствии с выбираемой ими базовой концептуальной моделью проектного подхода.

Привлечение методологии управления проектами в качестве инструмента планирования, контроля и координации осуществления проектов позволяет экономить значительные средства, реализовывать цели проекта в меньшие сроки и, самое главное, реализовывать успешное управление.



**Рис. 3.** Процессы управления проектами

В зависимости от выбранной методологии процедура управления проектами будет различаться содержанием этапов. Так, для традиционной методологии процедура управления будет состоять из следующих последовательных этапов:

- Определение среды проекта.
- Формулирование проекта.
- Планирование проекта.
- Техническое выполнение проекта.
- Контроль над выполнением проекта.

Существует много различных методологий управления проектами, и составленных на основании их стандартов по управлению проектами, наиболее распространены следующие:

- Project Management Institute (PMI);
- PRINCE2;
- P2M.

Рассмотрим их более подробно.

**Project Management Institute (PMI)** – Институт управления проектами — международный некоммерческий институт управления проектами, разработавший набор международно признанных стандартов по управлению проектами, программами, портфелями проектов и развития компетенций менеджеров проектов и программ [7].

Основные процедуры и процессы PMI описаны в стандарте PMBOK:

- Определение требований к проекту;
- Постановка чётких и достижимых целей;
- Балансирование конкурирующих требований по качеству, возможностям, времени и стоимости;
- Адаптация спецификаций, планов и подходов для нужд и проблем различных заинтересованных лиц.

Свод знаний по управлению проектами представляет собой сумму профессиональных знаний по управлению проектами. Руководство PMBOK фиксирует части Свода знаний по управлению проектами, которая обычно считается хорошей

практикой. PMI использует этот документ в качестве основного справочного материала для своих программ по профессиональному развитию. Является Американским национальным стандартом.

В настоящем стандарте описываются суть процессов управления проектами в терминах интеграции между процессами и взаимодействиями между ними, а также цели, которым они служат. Эти процессы разделены на пять групп, называемых «группы процессов управления проектом».

Все процессы разделяются на следующие группы [7]:

Группа процессов инициации состоит из процессов, способствующих формальной авторизации начала нового проекта.

Группа процессов планирования определяет и уточняет цели и планирует действия, необходимые для достижения целей и содержания, ради которых был предпринят проект.

Группа процессов исполнения объединяет человеческие и другие ресурсы для выполнения плана управления проектом данного проекта. В группу процессов исполнения входят следующие процессы.

Группа процессов мониторинга и управления регулярно оценивает прогресс проекта и осуществляет мониторинг, чтобы обнаружить отклонения от плана управления проектом, и, в случае необходимости, провести корректирующие действия для достижения целей проекта. В группу процессов мониторинга и управления входят следующие процессы.

Группа завершающих процессов формализует приемку продукта, услуги или результата и подводит проект или фазу проекта к правильному завершению. Группа завершающих процессов содержит следующие процессы.

**PRojects IN Controlled Environments 2 (PRINCE2)** представляет собой структурированный метод управления проектами, одобренный правительством Великобритании в качестве стандарта управления проектами в социальной сфере. Методология PRINCE2 включает в себя подходы к менеджменту, контролю и организации проектов [5].

Универсальные характеристики PRINCE2:

- Ориентация на бизнес-обоснование проекта
- Четкая организационная структура проектной команды
- Подход, основанный на эффективном планировании
- Акцент на разделении проекта на управляемые и контролируемые этапы
- Гибкий подход: возможность применения в проектах любого типа

PRINCE2 представляет собой метод для управления проектами в рамках четко определенной структуры. PRINCE2 описывает процедуры для координации деятельности команды проекта при разработке и контроле над проектом, а также процедуры, которые используются при изменении проекта или если имеются существенные отклонения от первоначального плана. В методе каждый процесс определяется со своими основными входами и выходами, и с конкретными целями и мероприятиями, которые будут осуществляться, что дает автоматический контроль любых отклонений от плана. За счет разделения процессов на управляемые этапы, метод дает возможность эффективного управления ресурсами [5].

К недостаткам можно отнести отсутствие какого-либо регламентирования со стороны методологии подходов к управлению контрактами поставок, участниками проекта и прочими процессами, которые были вынесены создателями за рамки. Считается, что каждый менеджер проекта выбирает собственные методы и подходы к подобной работе.

Процессы [5]:

– Начало проекта. Как от начальной идеи проекта (отраженной в мандате на проект) перейти к непосредственно реализации этих идей. Создается организация - минимум назначаются руководитель проекта и Председатель Комитета проекта.

Формулируется краткое описание проекта (project brief) и подход к его реализации. Детально планируется стадия запуска проекта.

– Запуск проекта. Производится планирование проекта, включая план качества. Создается бизнес-план проекта (Business Case) и открывается журнал рисков, производится оценка рисков проекта. Планируются вехи, точки контроля проекта.

– Управление проектом. Здесь сосредоточены ворота принятия решений Комитетом проекта (в том числе по досрочному завершению проекта) и ситуационное управление по значительным проблемам и отклонениям.

– Контроль стадий. Непосредственная работа руководителя проекта по ежедневному управлению проектом - выдача и приемка заданий, фиксация сложностей и рисков, принятие решения об эскалации, отчетность перед Комитетом.

– Управление производством продукта. Меры, которые исполнители и рабочие группы должны предпринять для определения объемов работы, отчетами о прогрессе и передаче выполненной работы.

– Контроль за границами стадий. Здесь происходит анализ исполнения плана стадии, промежуточное планирование следующей стадии, запасных планов, обзор рисков и бизнес-плана. Служит для перехода между стадиями.

– Завершение проекта. Как закрыть проект, как управлять последующими действиями, как разбирать обзоры преимуществ проекта.

– Планирование. Как планировать, независимо от того, когда осуществляется планирование.

**P2M — «A Guidebook of Project and Program Management for Enterprise Innovation»** — стандарт по управлению проектами, базирующийся на опыте Японии с 1999 года, который позволил визуализировать проекты с большей добавленной стоимостью и инновационные программы. Методология P2M базируется в ориентированности не на продукт или процессы, а на улучшение организации в результате выполнения проектов.

Главное преимущество P2M по отношению к другим школам по управлению проектами состоит в том, что в P2M существует акцент на выработку инновации как подхода к управлению программами и управление ожиданиями заинтересованных лиц. В то же время проект в P2M – в первую очередь обязательство менеджера проекта создать ценность как продукт в соответствии с миссией программы и организации в целом [6].

Любой проект или программа начинается с определения «миссии», а не целей и задач.

Понятие «миссия» отличает неопределенность и сложность, оно связано с междисциплинарными областями. Чтобы избежать неопределенности, миссия должна быть описана в виде достаточного количества ясных сценариев, из которых будут понятны контекст, цели и задачи.

«Башня» управления проектами по методологии P2M представлена на рисунке 4.

Основной документ, описывающий подходы методологии P2M — «руководство», которое состоит из разделов «вступление», «управление программами», «управление проектами», а также из одиннадцати разделов по отдельным функциональным областям управления. Проникнутое базовой философией «дать решение сложного вопроса», очень востребованной в Японии, P2M широко проникает в академические и государственные круги, а также в бизнес-сообщество страны.

В Европе большой интерес к данной методологии проявила Украина, где P2M утвержден на государственном уровне и пользуется поддержкой со стороны действующего правительства. Деятельность Министерства финансов Украины основана на системе знаний P2M, внедрение которой включено в стратегию развития Минфина вплоть до 2014г.



**Рис. 3.** «Башня» управления проектами

Принципы P2M [4]:

- 1) Решение комплексных проблем при помощи программ – P2M рассматривает управление программой как основу управления реализацией стратегии организаций, использующую их организационные ресурсы и компетенции для привлечения ключевых инвестиций капитала, а также реализации новых инициатив развития и увеличения добавленной ценности организации или её подразделения с целью гибкого реагирования на изменения в окружении.
- 2) Механизм создания ценности и инноваций – Основой механизма создания ценности является её профилирование, подразумевающее под собой понимание разработки и применения структуры ценности проектов и программ, стимулирующих развитие организации или продукта на основе драйверов инноваций.
- 3) Инновации в производстве и развитие за счет расширения границ – P2M делает основной акцент на выработку инновации, как подхода к управлению программами и проектами.
- 4) Тип профессионалов, нацеленных на достижение миссии – Система знаний P2M рассматривает компетенции менеджеров, как главный ключевой успех.
- 5) Общая оптимизация управления проектами и программами на основе холистического видения, с широким горизонтом знаний про жизненный цикл проектов и программ – Холистическое видение – это способность руководителя программы видеть всю картину действий сверху, как бы с высоты птичьего полёта. Это требует от менеджера способности к системному мышлению.
- 6) Три стандартные модели для формирования проекта: Схематичная, Системная, Сервисная

7) Программное профилирование миссии – Результатом профилирования миссии является набор стратегических инициатив для формирования инновационной программы организации

8) Архитектура программ – Архитектура программы представляет собой общий вид её основной структуры, которая определяется для выполнения программы. Программа реализуется через группу проектов, являющихся её компонентами

9) Бесперывная оценка ценности

10) Сообщество практиков по управлению проектами и программами

11) Расширение границ управления проектами

Рассмотренные методологии управления проектами разные и могут быть применены и к инновационным проектам. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, свои, присущие только ей, характеристики, за частую связанные с менталитетом жителей той страны, в которой они созданы. Так, например, английская методология призывает формировать четкую организационную структуру в команде проекта, когда японская модель уделяет больше внимание качествам каждого члена команды, американская методика отличается необходимостью четкой постановки целей и жестким содержанием этапов управления.

Но так ли важно при управлении следовать какой-то определенной методике?

Игорь Ашманов, бывший исполнительный директор "Рамблера", считает, что «делать по-хорошему – теоретически неправильно и практически вредно для бизнеса. Нужно делать так, чтобы всё работало, удовлетворяло клиентов и бизнес развивался».

В своей книге «Deadline: Роман об управлении проектами» Том ДеМарко писал о том, что нужно настоящему менеджеру, чтобы управлять: «Для руководства нужны сердце, нутро, душа и нюх», «Настоящий руководитель чувствует ситуацию нутром, управляет людьми исключительно сердцем и может вдохнуть живую душу в проект, команду или всю организацию». «Вдохнуть душу» – чтобы «создать обстановку, в которой могут зародиться здоровые отношения внутри команды». Нюх – чтобы «отличать правду от ерунды».

Я призываю не следовать какой-то определенной методологии, а брать из них именно то, что поможет сделать ваш проект самым лучшим, и управлять им, используя свое «сердце, нутро, душу и нюх».

Работая, с уникальными, инновационными проектами стоит помнить слова Джона Энрайта: «Мыслить по шаблону — вернейший способ завалить дело».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Товб А.С., Ципес Г.Л. Управление проектами: стандарты, методы, опыт. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 240 с.
2. Управление инновационными проектами: Учебное пособие / Под ред. проф. В.Л. Попова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 336 с.
3. Управление проектами: Учебное пособие / Под общ. ред. И.И. Мазура. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
4. [www.учком.рф](http://www.учком.рф)
5. [www.12manage.com](http://www.12manage.com)
6. [www.microsoftproject.ru](http://www.microsoftproject.ru)
7. [www.pmi.ru](http://www.pmi.ru)

## ОБ АВТОРАХ

**Барышева Марина Сергеевна**, студентка 5 курса ИНЭК УГАТУ, специальность «Экономика и управление на предприятии (в машиностроении)»

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 539.26

### ПРОЦЕССЫ ТЕКСТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАВНАКАНАЛЬНО-УГЛОВЫМ ПРЕССОВАНИИ МЕДИ

Юечэн Дун, Ситдигов В. Д., Александров И. В.

Кристаллографическое скольжение, деформационное двойникование, рекристаллизация и рост зерен определяют характер преимущественной ориентации зерен, т.е. кристаллографической текстуры, в металлических материалах [1]. В результате можно с уверенностью утверждать, что анализ формирующихся кристаллографических текстур является важным инструментом исследования механизмов пластической деформации и рекристаллизации в металлах и сплавах [1-3].

Известно, что на активность тех или иных механизмов пластической деформации и рекристаллизации, а, следовательно, и на характер формирующихся кристаллографических текстур, влияют степень, скорость, температура, схема пластической деформации и т.д. [1, 2]. С другой стороны, на них также влияют параметры микроструктуры, в частности размер зерен и состояние границ зерен [2, 3].

Последние годы характеризуются большим интересом исследователей к объемным ультрамелкозернистым (УМЗ) наноструктурным материалам, полученным методами интенсивной пластической деформации (ИПД), в том числе методом равноканально-углового прессования (РКУП), и обладающих размером зерен в несколько десятков-сотен нанометров, [2, 3]. По мере увеличения числа проходов РКУП происходит измельчение микроструктуры увеличение доли высокоугловых границ зерен и формирование УМЗ структур. Процессы РКУП сопровождаются тепловыделением. Это позволяет ожидать, что при РКУП могут происходить не только измельчение зерен, но и процессы динамических возврата и рекристаллизации. В ряде работ [4, 5] на основе исследования деформационного поведения и анализа микроструктуры сделан вывод о возможности протекания динамических возврата и рекристаллизации в Cu различной чистоты.

Важным методом исследования процессов деформации и рекристаллизации является метод текстурного анализа [1]. При этом характер формирующихся преимущественных ориентировок отражает вклад различных механизмов деформации и рекристаллизации в текстурообразование при РКУП.

Целью настоящих исследований является анализ механизмов текстурообразования в Cu чистотой 99,97% при РКУП.

#### Методики эксперимента

В состоянии поставки заготовки Cu (99,97%) имели форму прямоугольного параллелепипеда с высотой 100 мм и квадратным основанием с ребром 12 мм. В качестве исходного состояния Cu выбрали состояние, полученное в результате отжига при температуре 600 °C в течение 60 минут. Данное состояние характеризуется равноосными зернами со средним размером 50 мкм.

Часть отожженных заготовок Cu подвергли РКУП с количеством проходов, равным 8, по маршруту В<sub>C</sub> (поворот заготовок между последовательными проходами на угол 90°) при температуре 298 К. Характерным средним размером зерен для УМЗ Cu заготовок, полученных в результате такой реализации РКУП, является величина около 250 нм [2,3].

Съемка полюсных фигур (ПФ) проводилась методом рентгеноструктурного анализа с помощью дифрактометра ДРОН-3М, оборудованного автоматической текстурной приставкой. При этом использовалось Mo K<sub>α1</sub> излучение с длиной волны  $\lambda =$

0,07071 нм. Облучению подвергалась область, расположенная вблизи геометрического центра продольного сечения заготовки (плоскость 2-1) (рис. 1).

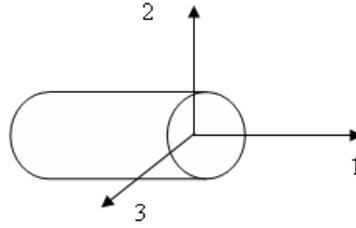


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая область исследования.

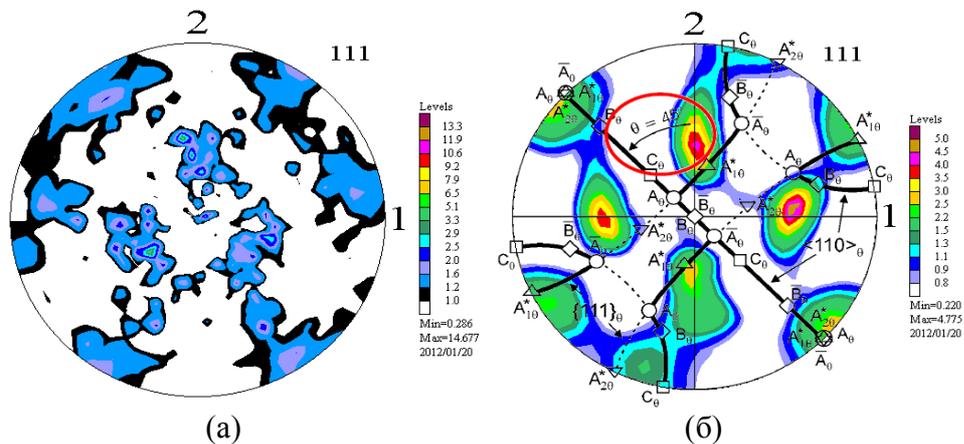
Результаты экспериментальных исследований были представлены в виде полных ПФ, рассчитанных с использованием пакета программ LaboTEX, основываясь на данных, полученных при съемке неполных прямых ПФ (радиальный угол  $\alpha_{\text{макс.}} = 75^\circ$ ) для плоскостей (111), (101), (200).

Квазистатические испытания на растяжения проводили при комнатной температуре на испытательной машине Instron CSS-44100 со скоростью деформации  $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . При этом использовали образцы квадратного сечения с размерами  $1 \times 0,5 \text{ мм}^2$  и длиной 4 мм, вырезанные в плоскости 2-1.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 2а представлены ПФ (111) Cu для заготовки в исходном состоянии. Вид ПФ свидетельствует о наличии интенсивных максимумов, по-видимому, относящихся к текстуре отжига (рис. 2а).

После восьми проходов РКУП (рис. 2б) на ПФ (111) видны максимумы, характерные для текстуры простого сдвига, а также два максимума, происхождение которых может быть связано с особенностями проведенного РКУП и которые ранее другими исследователями не наблюдались (рис. 2б).



можно описать с помощью идеальных ориентировок  $A_1^*$ ,  $A_2^*$ ,  $A$ ,  $\bar{A}$ ,  $B$ ,  $\bar{B}$  и  $C$  с индексами  $\{111\}\langle 110\rangle$ .

В то же время на ПФ наблюдались 2 максимума, расположенных на горизонтальной оси ПФ, не относящиеся к текстуре простого сдвига. Учитывая координаты этих максимумов на ПФ, а также координаты двух симметричных по отношению к ним максимумов, расположенных на вертикальной оси ПФ, можно предположить, что четыре симметричных максимума, по-видимому, можно отнести к кубической текстуре рекристаллизации, характеризующейся идеальными ориентировками  $\{100\}\langle 001\rangle$  (рис. 3) [7].

Возможность протекания рекристаллизационных процессов в ходе РКУП чистой Си нельзя исключать из рассмотрения, поскольку в ходе РКУП заготовка может значительно нагреваться. Например, в работе [3] указывается, что разогрев заготовки может достигать  $70^\circ\text{C}$ . В то же время, основываясь на данных механических испытаний и анализа микроструктуры, показано, что в Си чистотой 99,98% процессы возврата и рекристаллизации могут протекать при РКУП даже при комнатной температуре [4]. Аналогичный результат установлен при РКУП Си чистотой 99,95% [5].

Таким образом, в данной работе на основе данных текстурного анализа нашел подтверждение факт протекания динамических возврата и рекристаллизации при РКУП Си чистотой 99,97% при комнатной температуре.

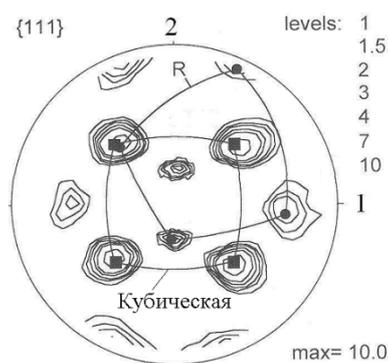


Рис. 3. Положения идеальных ориентировок, соответствующих рекристаллизованному состоянию в чистой Си. ■ – компоненты кубической ориентировки  $\{100\}\langle 001\rangle$ , ● - компоненты R - ориентировки  $\{124\}\langle 211\rangle$  [1].

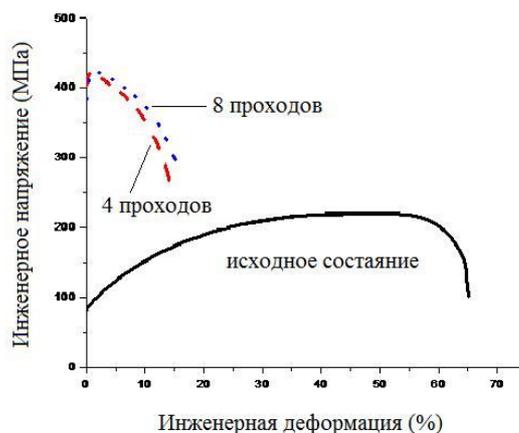


Рис. 4. Кривы деформации Си

Результаты проведенного текстурного анализа позволяет объяснить особенности деформационного поведения Си в различных структурных состояниях. На рис. 4 показаны

кривы деформации исходного состояния и УМЗ состояния. Для исходной меди, предел текучести достигает 82 МПа, но после 4 РКУП проходов повышается до ~404 МПа, что сопровождается понижением пластичности. После 8 проходов РКУП прочность мало изменяется, а пластичность растет, что возможно связано с протеканием процессов возврата и рекристаллизации. Параметры деформационного поведения приведены в табл.

**Таблица**

**Параметры деформационного деформационных поведения меди при разных проходах**

	Предел текучести (МПа)	Предел прочности (МПа)	Равномерное Удлинение (%)	Удлинение до разрыва (%)
Исходное состояние	82 ± 8	221 ± 10	52,2 ± 4,5	65,1 ± 5,0
4 прохода	404 ± 10	421 ± 8	1,0 ± 0,8	14,1 ± 0,6
8 проходов	400 ± 15	423 ± 12	1,4 ± 0,5	15,8 ± 0,3

### Выводы

Проведенный текстурный анализ показал, что при РКУП Cu чистотой 99.97% при комнатной температуре возможно протекание динамических возврата и рекристаллизации с формированием кристаллографической текстуры деформации, которую можно описать с помощью идеальных ориентировок простого сдвига  $A_1^*$ ,  $A_2^*$ ,  $A$ ,  $\bar{A}$ ,  $B$ ,  $\bar{B}$  и  $C$  с индексами  $\{111\}\langle 110\rangle$ , и кубической кристаллографической текстуры рекристаллизации, характеризующейся идеальными ориентировками  $\{100\}\langle 001\rangle$ .

### Список литературы

1. **Kocks U.F., Tome C.N., Wenk H.R.** Texture and anisotropy: preferred orientations in polycrystals and their effect. UK. Cambridge: Cambridge University Press. 1998. 676 p.
2. **Р.З. Валиев, И.В. Александров.** Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: Академкнига, 2007. 398 с.
3. R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, I.V. Alexandrov: **Prog. Mater. Sci. Vol. 45. (2000), p. 103-189.**
4. **J.T. Wang, Y. Zhang, J.Q. Liu:** Materials Science Forum. Vol. 584 – 586 (2008), p. 929-937.
5. **F.Dalla. Torre, R. Lapovok, J. Sandlin, P.F. Thomson, C.H.J. Davies, E.V. Pereloma :** Acta Materialia. Vol: 52 (2004), p. 4819 - 4832.
6. **I. J. Beyerlein and L. S. Tóth:** Progress in Materials Science. Vol. 54 (2009), p. 427-510.
7. **L.S. Toth, J.J. Jonas, D. Daniel, J.A. Bailey:** Text. and Microstr. Vol. 19 (1992), p. 245-262.

**ОБ АВТОРАХ**

**Дун Юечэн**, аспирант кафедры физики УГАТУ, обучающийся по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния». Исследования в области динамического поведения ультрамелкозернистой меди.

e-mail: dongyuecheng@mail.ru



**Ситдиков Виль Даянович**, кандидат физико-математических наук, ст. преп. кафедры физики УГАТУ. Исследования в области моделирования механических свойств, дефектной структуры и кристаллографической текстуры объемных наноструктурных материалов.

e-mail: svil@mail.rb.ru



**Александров Игорь Васильевич**, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Башкортостан, заведующий кафедрой физики УГАТУ, научный руководитель научно-образовательного центра «Наноструктурные материалы и высокие технологии» при НИЧ УГАТУ. Исследования в области экспериментального и компьютерного моделирования процессов физики интенсивной пластической деформации.

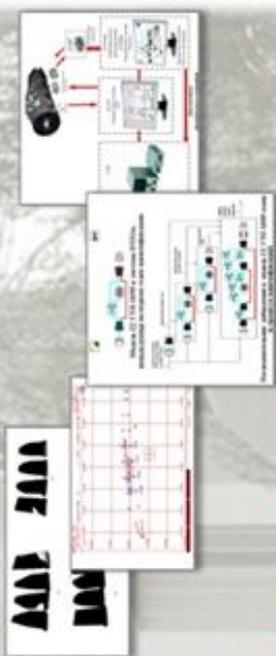
e-mail: iva@mail.rb.ru

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НИЛ САПР-Д УГАТУ

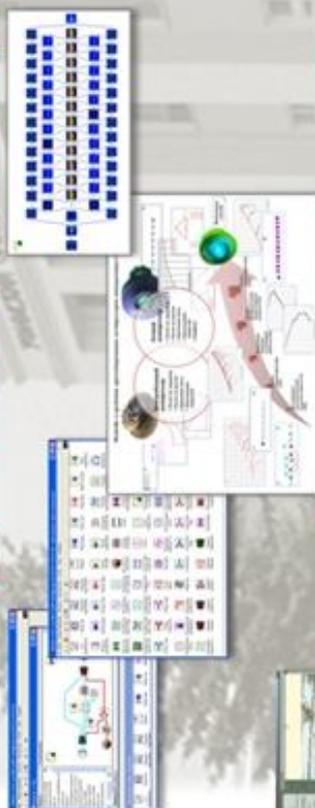
Информационная поддержка проектирования, добычи и эксплуатации газотурбинных двигателей и установок (для ППА и ЭУ) на основе ИПП/САПС и ИПП-технологий



Параметрическая диагностика технического состояния АД и ГТУ



Моделирование двигателей и ЭУ, их узлов, рабочих процессов в них



Управление и автоматизация испытаний ГТД и ГТУ



Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) технической эксплуатации АД и газотурбинных приводов (ГТП), газоперекачивающих агрегатов (ППА) и энергоустановок



Адрес: 450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12, корп. 2, к.503а  
научный руководитель: Кривошеин Игорь Александрович  
(347)2-30635

E-mail: [Krivoshayn@ugatu.ru](mailto:Krivoshayn@ugatu.ru)





# «Точка отрыва - Уфа»

- Радиоуправляемые модели самолётов, вертолёт, авто
- Вело-трофи
- Фристайл
- Прыжки с парашютом

**Фестиваль технических  
видов спорта**

**.Точка отрыва**



[takeOFFpoint.ru](http://takeOFFpoint.ru)

Фестиваль  
технических  
видов спорта



[www.takeOFFpoint.ru](http://www.takeOFFpoint.ru)  
[www.vk.com/clubtakeOFFpoint](http://www.vk.com/clubtakeOFFpoint)



# **Молодежный Вестник УГАТУ**

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (3) / 2012

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 02.05.2012. Формат 1/8  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л.19,6. Уч.-изд. л 19,5. Тираж 100 экз.  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ  
450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12.