

# Вестник



# УГАТУ

## МОЛОДЕЖНЫЙ

2013. № 4 (9)



Молодежный Вестник УГАТУ

Ежемесячный научный журнал

№ 4 (9) / 2013

Учредитель и издатель:

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

Михайлова Александра Борисовна, к.т.н.

Ответственный редактор: Михайлова Александра Борисовна,  
Мухачева Наталья Николаевна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

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

Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

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

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

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

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	5
<b>Кишалов А. Е., Соловьев П. В., Полежаев Н. И., Шамсутдинов А. А.</b> К вопросу о прогнозировании механических свойств волокнистых композиционных материалов в широком температурном диапазоне .....	5
<b>Куснади С., Афанасьев Ю. В.</b> Исследование взаимосвязи массы и энергетической эффективности авиационных статор-генераторов от активных материалов.....	12
<b>Мухамедов Р. Р.</b> Сравнительный анализ расходных характеристик щеточного и лабиринтного уплотнений .....	14
<b>Кривошеев И. А., Симонов Н. Б.</b> Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными о продувках решеток плоских неизогнутых пластин .....	17
<b>Кидрасов И. Р., Горюнов И. М.</b> Перспективный ТРДД пятого поколения LEAP-X.....	23
<b>Кривошеев И. А., Рахманкулов Д. Я.</b> Универсальная эмпирическая зависимость для расчета аэродинамических характеристик плоских решеток, составленных из тонких неизогнутых пластин.....	32
<b>Аслямов А. А.</b> Перспективные ТРДД для магистральных самолётов.....	38
<b>Мусакаев М. И.</b> Исследование влияния качества изготовления двигателя на параметры контролируемые в процессе стендовых испытаний .....	42
<b>Смородникова А. В.</b> Проблема неравномерности температурного поля газа перед турбиной .....	45
<b>Жеребило В. Ю., Сенюшкин Н. С., Рожков К. Е.</b> Альтернативная энергетика .....	49
<b>Сенюшкин Н. С., Салимова И. И.</b> Перспективные истребители XXI века ...	55
<b>Ганеев Р. Ш., Рязанова А. С.</b> Тепловой насос как элемент ТЭЦ. Возможности и перспективы использования .....	60
<b>Рязанова А. С., Ганеев Р. Ш.</b> Влияние рециркуляции дымовых газов в воздухопроводы котла на снижение выбросов окислов азота.....	64
<b>Дронь Е. А., Мухаметов Р. Р.</b> Информационная система размещения объявлений на специализированном сайте.....	68
<b>Дронь Е. А., Медведков В. Ю.</b> Информационная система мониторинга программно-аппаратного комплекса предприятия энергетики.....	74
<b>Нигматуллин Р. Р.</b> Развитие авиационных двигателей в направлении уменьшения удельной массы .....	79
<b>Камалтдинов И. И., Зырянов А. В.</b> Управление радиальными зазорами .....	85

<b>Михайлова А. Б., Аймурзин В. А., Варакута О. А.</b> Совместное решение задач газовой динамики и прочности при моделировании осевых компрессоров .....	93
<b>Ахмадеев Р. Т.</b> Разработка системы охлаждения двигателей глиссирующих катеров .....	96
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b> .....	104
<b>Галимова М. П., Месропян А. В., Митягина М. О., Ахмедзянов Д. А.</b> Организационные аспекты коммерциализации результатов НИОКР и трансферта технологий в вузе .....	104
<b>Зайцев И. К.</b> Манипуляции с сознанием в обществе и трудовых коллективах .....	108
<b>Зайцев И. К.</b> Поколение Z: суть, характеристика, мотивация.....	113
<b>Амирханова Л. Р., Атнабаева Д. Ф.</b> Оптимизация величины собственного капитала промышленного предприятия.....	117
<b>Романова О. В., Калистратова К. В.</b> Анализ существующих методов оценки качества продукции.....	126

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.45.03

### К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ

Кишалов А. Е., Соловьев П. В., Полежаев Н. И., Шамсутдинов А. А.

#### Введение

Композиционные материалы (КМ) все чаще используются не только в качестве элементов внутренней и внешней отделки самолетов, вертолетов, автомобилей и судов, но и в качестве силовых элементов, воспринимающих существенные нагрузки. Такое широкое применение обуславливается высокими удельными характеристиками КМ – удельной прочностью и жесткостью при малом удельном весе.

Макромеханический подход к проблеме прочности КМ состоит в исследовании зависимости прочности деталей изготовленных из КМ как функции от углов между приложенными напряжениями и осями симметрии КМ, а также в установлении критериев предельных состояний (прочности и пластичности) при сложных напряжённо-деформированных состояниях (НДС). Для адекватной оценки прочности слоистых элементов конструкций из КМ предпочтительным является послойный анализ напряженно-деформированного состояния, который позволяет выявить наиболее напряженные слои и путем изменения структуры композита обеспечить необходимую несущую способность.

#### 1. Критерии прочности

Классическая теория анализа прочности изделий из слоистых КМ предполагает, что каждый однонаправленный слой находится в плоском напряженном состоянии. Для оценки прочности пользуются различными феноменологическими критериями, такими как критерии Цая-Ву, Цая-Хилла, Хашина, Пака, Кунца и др. [1]. В качестве наиболее общего критерия рассмотрим критерий Цая-Хилла ( $TH_{cr}$ ):

$$TH_{cr} = \left(\frac{\sigma_1}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 - \frac{\sigma_1\sigma_2}{XY} < 1, \quad (1)$$

где  $X$ ,  $Y$  и  $S$  – предельные напряжения в условиях одноосного нагружения однонаправленного слоя в направлении параллельно и перпендикулярно волокнам и при сдвиге в плоскости слоя;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  – действующие напряжения в направлении главных осей упругости однонаправленного слоя (рис.1).

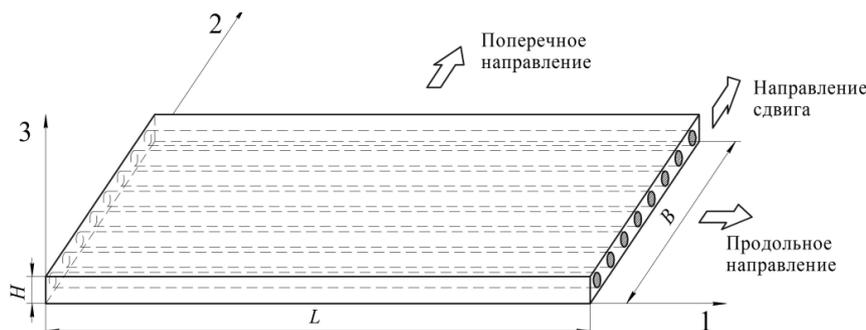


Рис. 1. Главные направления упругости однонаправленного слоя

Если  $TH_{cr} \geq 1$ , то имеет место разрушение однонаправленного слоя. Механизм разрушения слоя определяется максимумом трех отношений:

$$\max\left(\frac{\sigma_1}{X}; \frac{\sigma_2}{Y}; \frac{\tau_{12}}{S}\right). \quad (2)$$

Если в формуле 2 первое выражение максимальное, то происходит разрушение волокон, если второе – разрушение матрицы от поперечного воздействия, если третье – разрушение матрицы от сдвиговых напряжений.

Необходимо отметить, что при разрушении по волокну однонаправленный слой считается полностью разрушенным, а в случае разрушения по матрице предполагается, что в продольном направлении слой все еще сохраняет несущую способность, поэтому расчет повторяется с учетом изменения упругих констант слоя в поперечном направлении и при сдвиге.

При использовании квадратичных феноменологических критериев прочности запас прочности однонаправленного слоя ( $RF$ ) вычисляется по формуле:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{TH_{cr}}} > 1. \quad (3)$$

При  $RF \leq 1$  прочность не обеспечивается. Для авиационных конструкций коэффициент запаса обычно выбирают из диапазона  $RF = 1,5 \div 2,0$ . Для конструкций из композитных материалов в силу их относительно малой изученности по сравнению с металлами коэффициент запаса  $RF$  не должен быть меньше 2.

При анализе прочности также достаточно широко используется обратный коэффициент запаса:

$$IRF = \frac{1}{RF} = \sqrt{TH_{cr}} < 1 \quad (4)$$

Вследствие анизотропии упругих и прочностных свойств композитов при использовании волокнистых КМ для восприятия силовых нагрузок является более благоприятным ориентирование волокон в направлении действия внешних сил. В большинстве случаев при такой ориентации армирующих элементов конструкция будет находиться в одноосном напряженном состоянии. Напряжения будут действовать в направлении вдоль волокон и обозначаться  $\sigma_1$  (см. рис. 1). В этом случае коэффициент запаса прочности будет определяться по формуле:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{TH_{cr}}} = \frac{X}{\sigma_1} > 1 \quad (5)$$

Если  $\sigma_1 > 0$ , то тогда  $X = X_t$ , где  $X_t$  – предел прочности однонаправленного слоя при растяжении в направлении 1. Если  $\sigma_1 < 0$ , то тогда  $X = X_c$ , где  $X_c$  – предел прочности однонаправленного слоя при сжатии в направлении 1.

Кроме того, разрушение слоя может быть достигнуто при достижении им определенных деформаций:

$$\varepsilon_1 < \bar{\varepsilon}_1 \quad \text{или} \quad \left| \frac{\sigma_1}{E_1} \right| < \left| \bar{\varepsilon}_1 \right|. \quad (6)$$

## 2. Прогнозирование свойств однонаправленного КМ по свойствам его компонентов

При проектировании различных нагруженных деталей и элементов авиационного двигателя из КМ необходимо выдерживать запас прочности в определённых пределах, а вес конструкции минимизировать. Для оценки прочности однонаправленного композита в условиях одноосного нагружения необходимо знать действующие напряжения  $\sigma_1$  и

предельные напряжения  $X = \bar{\sigma}_1$ . Для оценки работоспособности композита по допустимым деформациям необходимо также знать модуль упругости однонаправленного КМ  $E_1$  и предельные деформации  $\bar{\varepsilon}_1$ .

Модуль упругости  $E_1$  и предел прочности при растяжении  $\bar{\sigma}_1^+$  КМ в продольном направлении, а также плотность  $\rho_{\text{км}}$  композита с достаточной точностью определяются по формулам [2]:

$$E_1 = E_{\text{в1}} \cdot \psi_{\text{в}} + E_{\text{м}} \cdot (1 - \psi_{\text{в}}), \quad (7)$$

$$\bar{\sigma}_1^+ = \bar{\sigma}_{\text{в1}}^+ \left( \psi_{\text{в}} + (1 - \psi_{\text{в}}) \frac{E_{\text{м1}}}{E_{\text{в1}}} \right), \quad (8)$$

$$\rho_{\text{км}} = \rho_{\text{в}} \psi_{\text{в}} + \rho_{\text{м}} (1 - \psi_{\text{в}}). \quad (9)$$

В формулах (7) – (9) индексами «в» и «м» обозначены свойства волокон и матрицы соответственно, знаки «+» и «-» характеризуют растяжение и сжатие;  $\psi_{\text{в}}$  – коэффициент армирования или коэффициент объемного содержания волокон, определяющийся по формуле:

$$\psi_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{км}}}, \quad (10)$$

где  $V_{\text{в}}$  – объем, занимаемый волокнами,  $V_{\text{км}}$  – объем всего композита.

Предел прочности при сжатии  $\bar{\sigma}_1^-$  в первом приближении можно принять равным:

$$\bar{\sigma}_1^- = (0,67 \div 0,76) \cdot \bar{\sigma}_1^+ \quad (11)$$

В табл. 1 представлены свойства некоторых компонентов КМ [3–5].

**Таблица 1**

**Свойства компонентов КМ**

<b>Армирующие материалы</b>				
№	Наименование	$E_{\text{в1}}$ , ГПа	$\bar{\sigma}_{\text{в1}}^+$ , ГПа	$\rho_{\text{в}}$ , г/см <sup>3</sup>
1	Углеродные волокна	250÷300	1,75÷4	1,7÷1,8
2	Стекланные волокна	70÷95	2÷3,5	2,4÷2,6
3	Органоволокна	125÷150	2,1÷3,6	1,43÷1,45
4	Борные волокна	375÷400	3÷3,5	2,5÷2,75
5	Карбидокремниевые волокна	450÷480	1,7÷2,5	3,9÷4,05
6	Стальные волокна	200÷210	0,37÷0,45	7,7÷7,9
7	Базальтовые волокна	100÷110	2,2÷2,5	2,52÷2,97
<b>Матричные материалы</b>				
№	Наименование	$E_{\text{м}}$ , ГПа	$\bar{\sigma}_{\text{м}}$ , МПа	$\rho_{\text{м}}$ , г/см <sup>3</sup>
1	Эпоксидная смола	2,5÷3,5	60÷90	1,15÷1,25
2	Полипропилен	0,9÷1,2	27÷35	0,91÷0,92
3	Алюминиевый сплав	70÷71	180÷250	2,65÷2,75
4	Магнийевый сплав	37÷43	250÷310	1,74÷1,8
5	Титановый сплав	112÷113	360÷1050	4,49÷4,51
6	Полиимидное связующее РМР-15	3,1÷3,3	50÷60	1,0÷1,1
7	Полиимидное связующее СП-97	4,1÷4,3	55÷60	1,0÷1,2

Используя данные табл. 1, по формулам (7)–(9) можно рассчитать все необходимые

характеристики для оценки прочности однонаправленного композита в условиях одноосного нагружения.

### 3. Учет влияния температуры на упругие и прочностные характеристики однонаправленного КМ

На рис. 2, 3 представлены графики изменения предела прочности и модуля упругости различных композиционных материалов в зависимости от температуры [3–6].

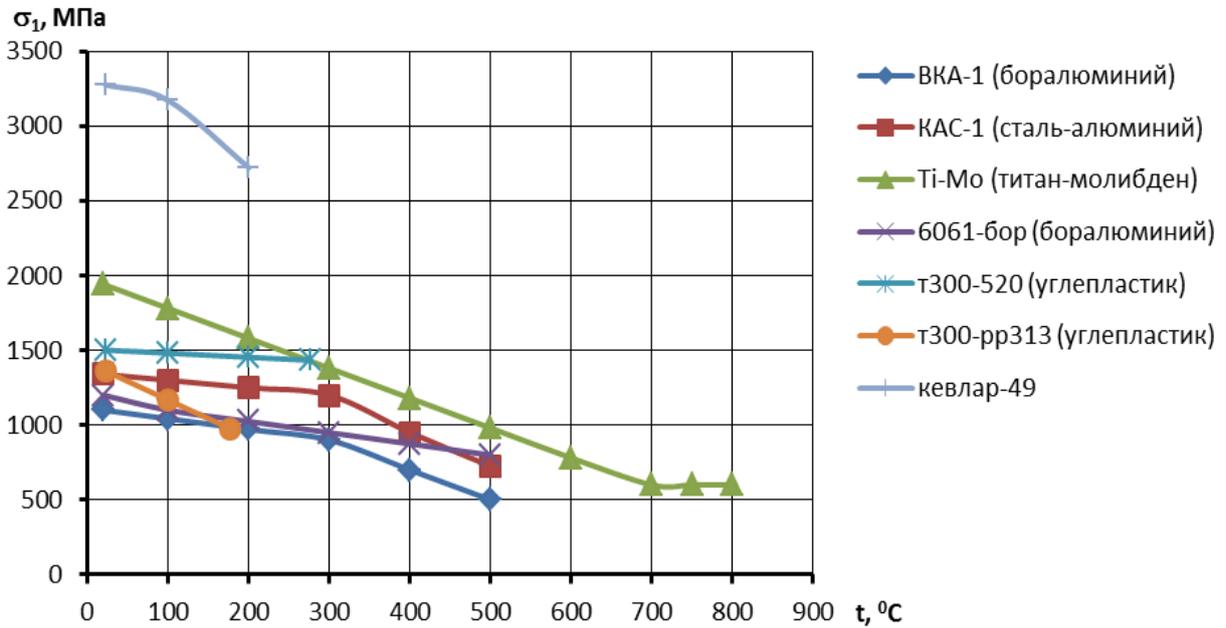


Рис. 2. Изменение предела прочности некоторых КМ в зависимости от температуры

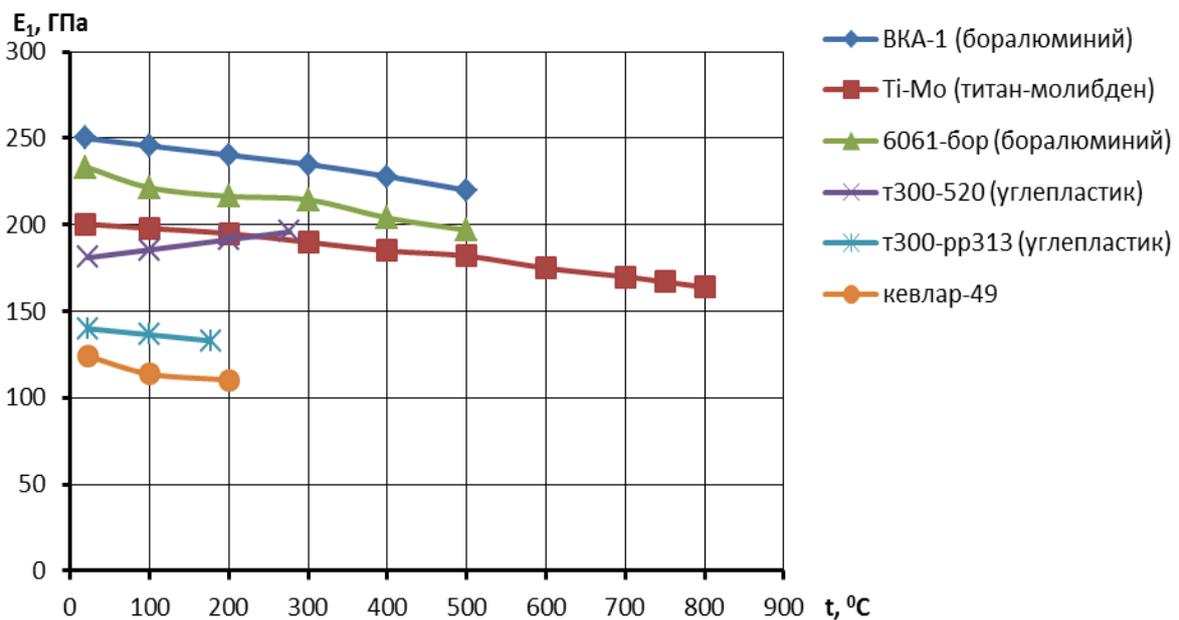


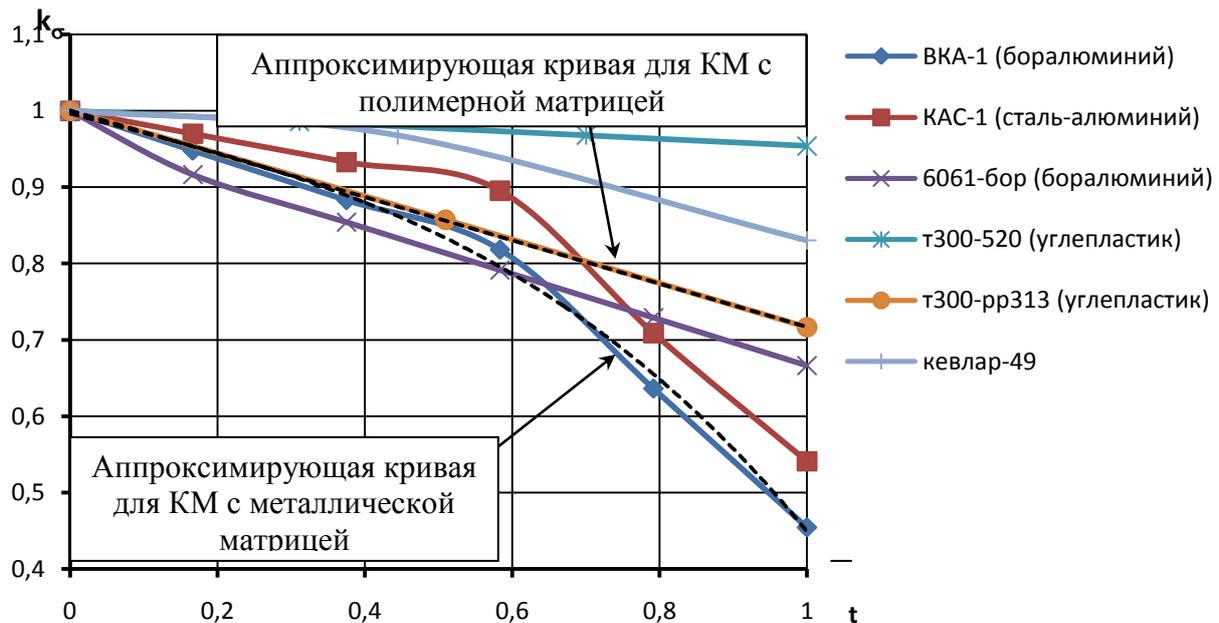
Рис. 3. Изменение модуля продольной упругости некоторых КМ в зависимости от температуры

Из графиков видно, что в целом с увеличением температуры как предел прочности, так и модуль упругости уменьшаются. Для унификации данных характеристик материалов представим эти зависимости в виде  $F' = F_0 \cdot f(\bar{t})$ , где  $F_0$  – значение параметра при нормальной температуре,  $f(\bar{t})$  – функция изменения параметра в зависимости от температуры,  $\bar{t}$  – безразмерная температура, определяющаяся по формуле:

$$\bar{t} = \frac{t - t_{н.у.}}{t_{\max} - t_{н.у.}}, \quad (12)$$

где  $t$  – действующая температура,  $t_{н.у.}$  – нормальная температура (принимаяем  $t_{н.у.} = 20^\circ\text{C}$ ),  $t_{\max}$  – максимальная температура работоспособности композита.

На рис. 4, 5 представлены графики зависимости функций изменения прочности  $f_\sigma$  и модуля упругости  $f_E$  некоторых композитов от безразмерной температуры  $\bar{t}$ . Данные аппроксимирующие зависимости получены исходя из соображений обеспечения несущей способности – по минимальным значениям параметров прочности и жёсткости КМ.



**Рис. 4.** Зависимость функции изменения предела прочности некоторых КМ от безразмерной температуры

Как видно из рис. 4 – 5:

- функция изменения пределов прочности КМ на металлической матрице в первом приближении может быть описана выражением

$$f_\sigma(\bar{t}) = -0,333 \cdot \bar{t}^3 + 0,038 \cdot \bar{t}^2 - 0,253 \cdot \bar{t} + 0,997, \quad (13)$$

- функция изменения пределов прочности КМ на полимерной матрице в первом приближении может быть описана выражением

$$f_\sigma(\bar{t}) = -0,283 \cdot \bar{t} + 1,001, \quad (14)$$

- функция изменения модуля упругости КМ независимо от материала матрицы в первом приближении может быть описана выражением

$$f_E(\bar{t}) = -0,143 \cdot \bar{t} + 0,988. \quad (15)$$

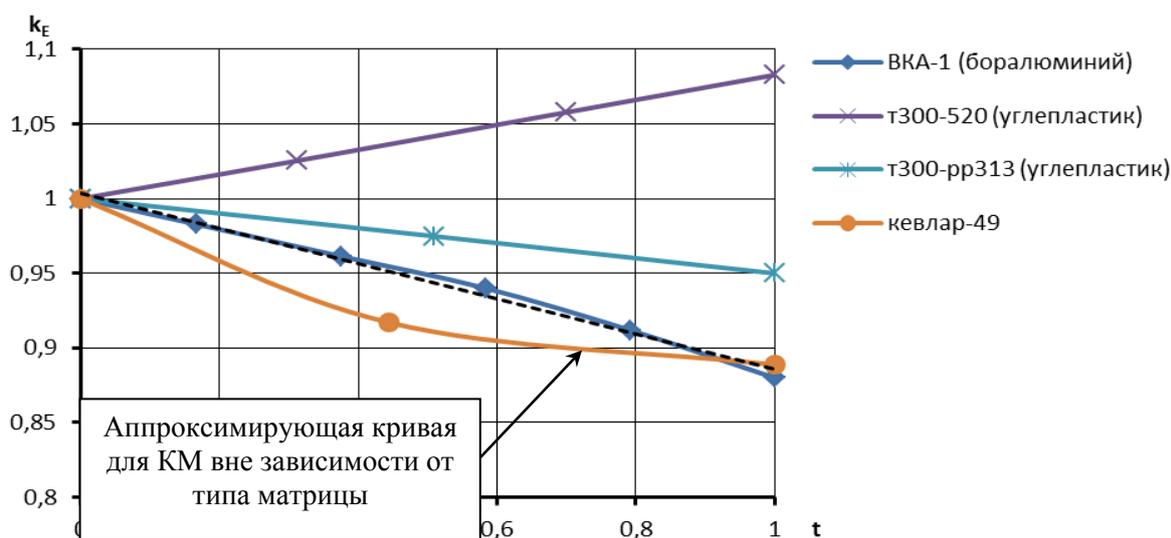


Рис. 5. Зависимость функции изменения модуля упругости некоторых КМ от безразмерной температуры

Выражения для определения пределов прочности и модулей упругости КМ в окончательном виде будут выглядеть следующим образом:

$$\bar{\sigma}_1^+(t) = \bar{\sigma}_1^+ \cdot f_\sigma(\bar{t}), \quad \bar{\sigma}_1^-(t) = \bar{\sigma}_1^- \cdot f_\sigma(\bar{t}), \quad (16)$$

$$E_1(t) = E_1 \cdot f_E(\bar{t}). \quad (17)$$

### Выводы

Таким образом, используя формулы (16), (17), можно прогнозировать изменение упругих и прочностных свойств однонаправленных композитов в направлении армирования в зависимости от температуры эксплуатации.

Данный подход позволяет осуществлять более точный учет изменения механических характеристик не только для однонаправленных композитов, но, для этого требуется больший объем экспериментальных данных и опытных кривых изменения упругих и прочностных свойств образцов из КМ с заданными структурами.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1848.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Неупругие свойства композиционных материалов.** – Механика: новое в зарубежной науке, № 16 / под ред. К. Гераковича, пер. с англ. Н. П. Жмудя, под ред. Ю. М. Тарнопольского – М.: Мир, 1978. – 295 с.
2. Роценс К. А., Штейнерс К. Н. **Оценка податливости и жесткости несбалансированных моноклинных композиций.** – Механика полимеров, 1976. – № 6. – С. 1030–1035.
3. **Композиционные материалы: Справочник** / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин, и др.; Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
4. **Справочник по композиционным материалам** / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; Под ред. Б. Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
5. Карпинос Д. М. **Композиционные материалы. Справочник.** – Киев: Наукова думка, 1985. – 588 с.
6. Михайлин Ю. А. **Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы.** – С.–Петербург: Профессия, 2006. – 490 с.

## ОБ АВТОРАХ



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

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



**Соловьев Павел Владимирович**, аспирант каф. сопротивления материалов УГАТУ, дипл. инж. (УГАТУ, 2009). Исследования в области механики несбалансированных композиционных материалов.

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



**Полежаев Никита Игоревич**, студент каф. авиационной теплотехники и теплоэнергетики УГАТУ. Исследования в области численного математического моделирования рабочих процессов в элементах авиационных ГТД.

e-mail: [nikita\\_redkey@mail.ru](mailto:nikita_redkey@mail.ru)



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

e-mail: [dark.1402@yandex.ru](mailto:dark.1402@yandex.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МАССЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СТАТЕР-ГЕНЕРАТОРОВ ОТ АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Куснади С., Афанасьев Ю. В.

На современных средних и тяжелых самолетах установленная мощность бортовых источников электроэнергии достигает 500 – 1450 кВа. С увеличением мощности генераторов и продолжительности полета масса генераторов возрастает. Уменьшение их массы обеспечивает возможность увеличения полезной нагрузки или запасов топлива (дальность полета). Если запасы топлива и полезную нагрузку не увеличивать, то можно достигнуть улучшения таких летных данных, как скороподъемность, маневренность, максимальная высота, максимальная скорость полета.

Проблема достижения наименьшей массы авиационных электрических машин, а также других источников электроэнергии на борту самолета, генераторов и стартер-генераторов, должна решаться во взаимосвязи со всем комплексом энергетических показателей. Снижение массы генератора не должно приводить к снижению его КПД, т.к. это может привести к отрицательным результатам вследствие дополнительного расхода топлива и уменьшения полезной нагрузки самолета.

Оценка возможных путей снижения собственной массы генератора может быть проведена в результате анализа формулы [1]:

$$G = \frac{0,08 \cdot P_{ном} \cdot k_E \cdot \gamma \cdot k_\gamma \cdot k_D^2 \cdot k_k \cdot p}{\alpha_i \cdot k_\phi \cdot k_{об} \cdot A \cdot B_\delta \cdot f} \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – расчетный коэффициент полюсного перекрытия;

$k_\phi$  – коэффициент формы поля;  $k_{об}$  – обмоточный коэффициент;

$A$  – линейная нагрузка;

$B_\delta$  – индукция воздушного зазора;

$P_{ном}$  – номинальная мощность;

$f$  – частота тока;

$p$  – число пар полюсов;

$\gamma$  – средняя плотность активных материалов на статоре и роторе;

$k_\gamma$  – коэффициент плотности, характеризующий заполнение электрической машины активными материалами на длине якоря  $l_a$ ;

$k_k$  – конструктивный коэффициент;

$k_D$  – конструктивный коэффициент, характеризующий отношение наружного диаметра статора к внутреннему;

$k_E$  – коэффициент ЭДС.

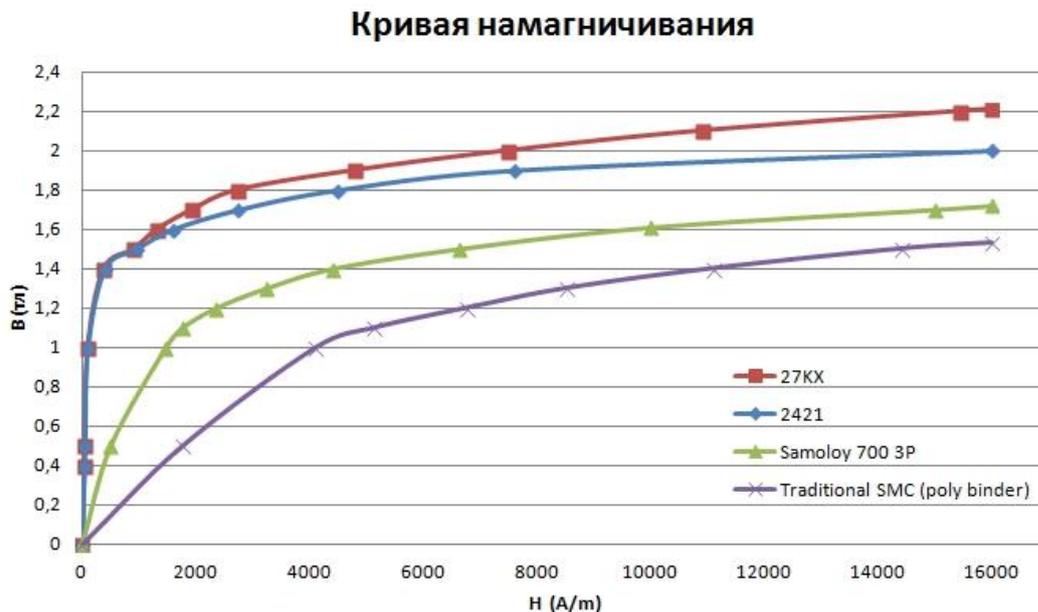
Из анализа уравнения (1) влияние свойств активных материалов можно оценить количественно и оценить снижение веса активной части генератора при увеличении рабочего значения индукции. Видно, что масса генератора обратно пропорциональна магнитной индукции в зазоре.

Достаточно очевидно, что уменьшение собственной массы авиационных электрических машин связано с применением также новых конструкционных материалов с низкими значениями удельной массы.

Был проведен поиск перспективных материалов для активной части генератора и определены возможные варианты сталей [3], применение которых позволит уменьшить массу генератора. В результате поиска можно предложить использовать в качестве

активных материалов листовые стали 27КХ или 49К2ФА а также магнитомягкие композиты samoloy 700 Зр, обладающие высокими магнитными характеристиками.

Кривые намагничивания данных материалов приведены на рис. 1.



**Рис. 1.** Кривые намагничивания современных магнитомягких электротехнических сталей для авиационных генераторов.

Сравнение индукции шихтовочных материалов и композитов показало, что композиты менее эффективны, но технологичность в 3Д конструкциях делает их предпочтительными для применения.

#### Выводы

1) При использовании нового материала с индукцией на 20 % (если активная часть по массе составляет 0,45 – 0,5 веса машины), то общее снижение веса машины будет порядка 10 % (27 КХ вместо 2421).

2) Использование листовых материалов стали 49К2ФА (кривая не приведена), которая имеет более высокую магнитную индукцию, позволяет снизить массогабаритные показатели до 15 %.

3). Достоинство композитов samoloy 700 Зр высокая технологичность с максимальным коэффициентом использования материалов, прогрессивная технология (прессование в прессформах, минимум отходов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А. И. исследование взаимосвязи массы и энергетической эффективности авиационных стартер-генераторов с воздушным охлаждением // электроснабжение и электрооборудование. №4 2011. с 16-20

2. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. В двух томах / под редакцией С. А. Грузкова. Том 1. Системы электроснабжения летательных аппаратов. – М.: Издательство МЭИ, 2005.-568 с.

3. Ola Andersson Advances in Soft Magnetic Composites – Materials and Applications // Höganäs, Sweden. 2009.



## ОБ АВТОРАХ

**Куснади Суриади.** студент 4 курса факультета авиационных приборов по специальности электромеханика.

e-mail [Suryasurya\\_9@yahoo.co.id](mailto:Suryasurya_9@yahoo.co.id)



**Афанасьев Юрий Викторович,** Доц кафедры электромеханики УГАТУ, канд техн наук по электромеханическим преобразователям энергии (УГАТУ 1976) Исследования и разработки в области электродинамических демпфирующих элементов в системах стыковки космических объектов и устройств генерирования и преобразования энергии авиационной техники.

УДК 621.438:62-762

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕТОЧНОГО И ЛАБИРИНТНОГО УПЛОТНЕНИЙ

**Мухамедов Р. Р.**

В данной работе был выполнен расчет массового расхода воздуха через лабиринтное и щеточное уплотнение и их сравнение.

### **Введение**

Традиционно в качестве уплотнительных устройств газотурбинных двигателей предусматривается использование уплотнений лабиринтного типа. Характерной особенностью лабиринтных уплотнений является наличие значительных утечек, возрастающих из-за чрезмерного износа ротора вследствие кратковременного контакта со статором, что в большинстве случаев может привести к динамической неустойчивости ротора. Использование щеточных уплотнений в газовых турбинах способствует уменьшению паразитных утечек и повышает адаптивность уплотнения вследствие перемещений ротора, что оказывает положительный эффект на динамическую устойчивость машины. Уменьшение утечек и перетечек воздуха (газа) в газоздушном тракте двигателя ведет к повышению эффективности ГТД как тепловой машины. Однопроцентная утечка воздуха из-за компрессора высокого давления на двигателе ПС-90А, например, ведет к увеличению расхода топлива на 0,72% (при поддержании тяги двигателя постоянной), а на взлетном режиме к увеличению температуры газов перед турбиной на 0,72% [1].

Целью работы является сравнение расходных характеристик щеточного и лабиринтного уплотнения.

**Лабиринтное уплотнение,** лабиринтовое уплотнение, один из распространенных типов уплотнений, бесконтактное устройство между двумя или несколькими деталями, находящимися в движении одна относительно другой. Состоит из ряда чередующихся узких щелей (или зазоров) и расширительных камер. Наиболее часто применяется для

уплотнения пространства между вращающимся валом и неподвижным корпусом. Л. у. препятствует перетеканию жидкости (смазки) или газа, позволяет применять большие скорости вращения, надёжно работает при высоких температурах.

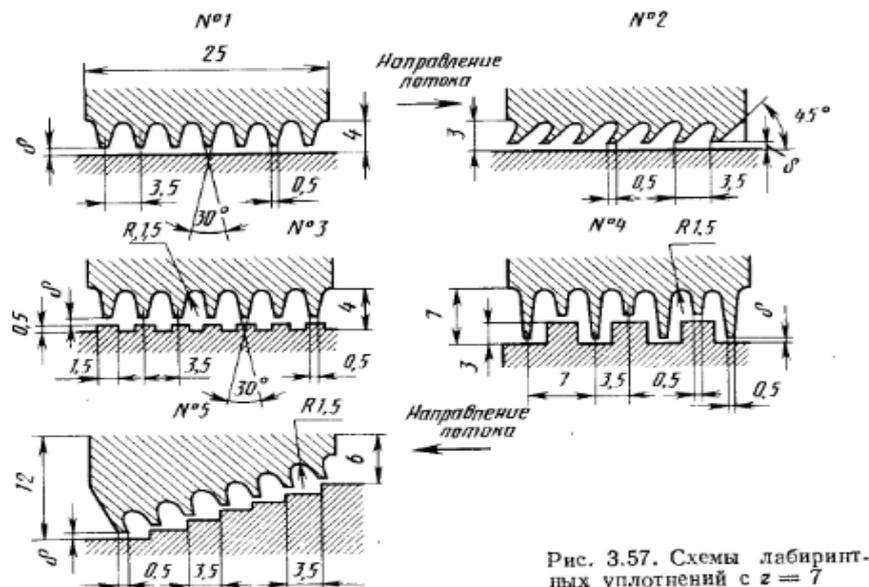


Рис. 3.57. Схемы лабиринтных уплотнений с  $z = 7$

Рис. 1. Виды лабиринтных уплотнений[2]

В данной работе было выбрано семигребешковое уплотнение второго типа (рисунок 1). В качестве исходных данных были взяты примерные давления перед и после уплотнения, которое устанавливается за компрессором высокого давления, температура перед уплотнением. Массовый расход воздуха через лабиринтное уплотнение такого вида [2, с.120]:

$$M = kf \sqrt{\frac{p_0^2 - p_1^2}{z R_0 T_0}} = 1,15 \cdot 3,14 \cdot 0,156 \cdot 0,0002 \cdot \sqrt{\frac{350^2 - 300^2}{7 \cdot 8,314 \cdot 423}} = 0,455 \text{ кг,}$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий особенности расширения и неполноты торможения воздуха в камерах и зависящий от конструкции лабиринта;  $f = \pi D_{ср} \delta$  – площадь сечения щели,  $m^2$ , где  $D_{ср}$  – средний диаметр уплотнения, м;  $p_0$  и  $p_1$  – давления перед и за уплотнением, Па;  $T_0$  – температура перед уплотнением, К;  $R_0$  – газа постоянная, Дж/кг · К.

**Щеточное уплотнение.** Щеточные уплотнения являются лабиринтно-контактными уплотнениями, у которых гибкие металлические щетки непрерывно касаются (под углом приблизительно  $45^\circ$ ) вращающейся части уплотнения. Щетки изготавливаются из кобальтовых (кобальтовый сплав) проволочек диаметром 0,025...0,1 мм, причем на 1 мм длины в окружном направлении располагается до 300 щетинок. Схема двухрядного щеточного уплотнения показана на рисунке 2.

Каждый ряд состоит из щеток, зажатых и закрепленных между малым и большим плоскими кольцами (пластинами). Между большими пластинами и ротором имеет место зазор, как в обычном лабиринтном уплотнении и, в случае обрыва щеток, уплотнение превращается в обычное лабиринтное. Щетки загромождают вход в зазор “ $\delta$ ” и каждой секции (ряда) лабиринтного уплотнения и уменьшают утечки на 20...40%.

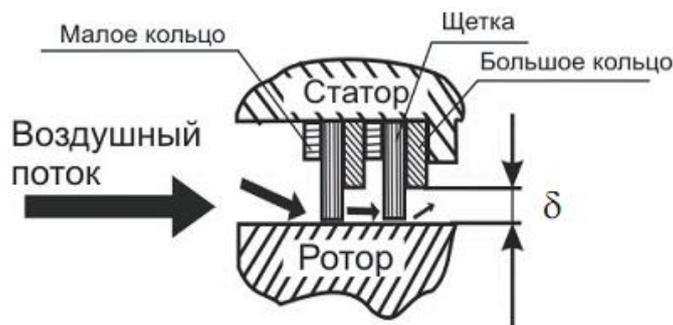


Рис. 2. Схема двухрядного щеточного уплотнения

Особенностью щеточных уплотнений является разогрев зоны контакта. Поэтому через пористую структуру пропускается некоторый расход уплотняемой среды, достаточный для отвода тепла. Щеточные уплотнения через короткое время приработки имеют глянцевую рабочую поверхность, работающую как самогенерируемый подшипник. При этом утечки через пористую среду значительно выше, чем через зону контакта. Допустимая величина контактной силы с точки зрения ресурса (изнашивания) подбирается опытным путем. К сожалению, практически полностью отсутствуют публикации о методах расчета щеточных уплотнений. При создании щеточных уплотнений ротора требуется решение следующих задач: отработка конструкции и технологии изготовления щетки; исследование газодинамических свойств уплотнений; исследование теплового состояния и фрикционных свойств упругого элемента; исследование упругодемпфирующих свойств элементов уплотнений.

Исходные данные для расчета массового расхода воздуха через щеточное уплотнение были взяты из предыдущего расчета лабиринтных уплотнений, а именно, давления перед и за уплотнением, ширина проточной части, также в качестве данных использовались свойства воздуха.

Таблица 1

Исходные данные

Дпр, м	П	R	R	δ	ρ	μ	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>
0,0001	150	0,162	0,15	0,0065	1,25	0,000022	350	300

Массовый расход воздуха через щеточное уплотнение вычисляется по формуле[3]:

$$M = \frac{2 \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \Pi^3 F_n \cdot \rho \cdot \Delta p}{153 \mu \delta_{\text{щет}} (1 - \Pi)^2} = 0,102 \text{ кг},$$

где  $\Pi$  – плотность;  $d_{\text{пр}}$  – диаметр проволоки;  $\delta_{\text{щет}}$  – ширина щетки;  $F_n$  – площадь выходного сечения щетки;  $\rho$  – плотность воздуха;  $\mu$  – динамическая вязкость воздуха;  $\Delta p$  – перепад давления воздуха.

Величину плотности щетки при конструировании щеточного уплотнения приходится выбирать, исходя из компромисса между герметичностью и надежностью. Щетка должна быть достаточно плотной, чтобы утечки были как можно меньше. Однако в этом случае возрастает количество выделяющегося в зоне трения тепла и ухудшается теплоотвод. Т.е., проволочки могут расплавиться или сгореть. Поэтому необходимо проведение теплового расчета щеточного уплотнения. В данной работе тепловой расчет не проводился, так как целью задачи являлась только определение массового расхода воздуха через уплотнения.

Выполнив расчеты обоих уплотнений, можно сделать вывод, что массовый расход

воздуха через щеточное уплотнение в 4,45 раз ниже, чем у лабиринтного, при одних и тех же условиях, что говорит о высокой эффективности щеточного уплотнения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иноземцев А. А.** Газотурбинные двигатели / Иноземцев А. А., Нихамкин М. А., Сандрацкий В. Л. - Том 3, Москва: Машиностроение, 2007 – 234с.
2. **Вьюнов С. А.** Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / С.А. Вьюнов, Ю. И. Гусев, А. В. Карпов. - Москва: Машиностроение, 1989 – 565с.
3. **Фалалеев С. В.** Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов. Основы теории и проектирования. / Фалалеев С.В., Чегодаев Д. Е. – М.: Издательство МАИ, 1998 – 274с.
4. **Фалалеев С. В.** Математическая модель щеточного уплотнения / Фалалеев С.В., Зрелов В.В. / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Самара, 2009. - т.11, №3 – с.192-196.

### ОБ АВТОРАХ



**Мухамедов Раиль Рифатович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ, 2012). Исследования в области уплотнений авиационных ГТД в газозвоздушном тракте двигателя

e-mail: [rail2008@mail.ru](mailto:rail2008@mail.ru)

УДК 621.452.3

## СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ О ПРОДУВКАХ РЕШЕТОК ПЛОСКИХ НЕИЗОГНУТЫХ ПЛАСТИН

**Кривошеев И. А., Симонов Н. Б.**

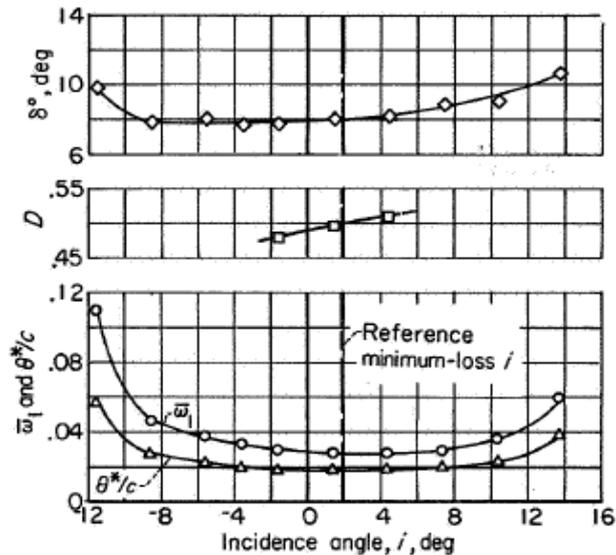
### ВВЕДЕНИЕ

Современная авиационная техника стремится повысить уже имеющиеся высокие показатели совершенства силовой установки. Дальнейшее увеличение показателей требует применения все более и более точных систем расчета, повышения качества проведения экспериментальных исследований в области аэродинамики компрессоров, использования различных типов и видов ступеней, применения 3D CAD/CAE систем, применения междисциплинарных систем расчета, поиска оптимальных вариантов конструкции. Чтобы улучшить методики расчета необходимо использовать эмпирические данные и теоретические выкладки, что в свою очередь налагает на конструктора высокую ответственность при выборе тех или иных параметров. Также необходимо разрабатывать новые методики расчета. В частности в лопаточных машинах остро стоит вопрос о выборе геометрии лопаток рабочих колес и направляющих аппаратов. В связи с этим возникает вопрос о степени адекватности результатов 3D CAD/CAE-моделирования течения в лопаточных машинах и условий, при которых можно использовать такие результаты при проектировании компрессоров и турбин.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ РЕШЕТОК ПРОФИЛЕЙ

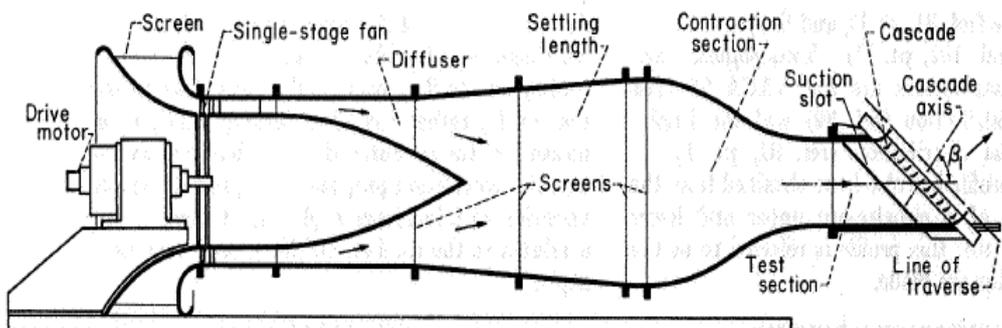
Для наиболее полного представления о протекании рабочего тела через

лопаточную машину, необходимо на стадии проектирования иметь представление о траектории движения частиц, об обтекании рабочих лопаток потоком воздуха, о возникновении срывов и неравномерностей. Опубликован ряд работ о проведении экспериментов по продувкам плоских решеток профилей. Работы такого плана помогают обобщать и анализировать двумерные модели течения. Так, например, в работе [1] представлена установка для испытания профилей НАСА 65-ой серии. Опубликованные в этой работе данные представляют собой зависимости угла отставания, степени диффузорности, и потерь полного давления от угла атаки (рис. ).



**Рис. 1.** Представление результатов эксперимента по продувкам решеток профилей [1]

Как указано, испытания решеток проводились на стенде (рис. 2). Основными компонентами типовых стендов для такого рода испытаний являются вентилятор, диффузорная секция, большая стабилизационная камера с сотовым наполнителем, заслонки для удаления любых завихрений и для равномерного распределения скорости, суживающийся участок для ускорения потока, испытываемая решетка профилей и некоторого рода выходное устройство. Решетка установлена таким образом, чтобы угол набегающего потока на профиль менялся. Измерения параметров выходного потока получаются из траверса вдоль решетки обычно между 0,5 и 1,5 длины хорды от задней кромки профиля на середине интервала лопаток.



**Рис. 2.** Испытательный стенд для продувок профилей

Плоская решетка профилей может рассматриваться как результат развертки выделенной внутри лопаточного венца кольцевой решетки, расположенной между двумя соседними цилиндрическими сечениями с радиусами  $r$  и  $dr + r$ . При развороте на плоскость кольцевой решетки и увеличении количества (а также высоты) лопаток

беспрельдно получается неподвижная плоская решетка профилей («элементарная решетка»).

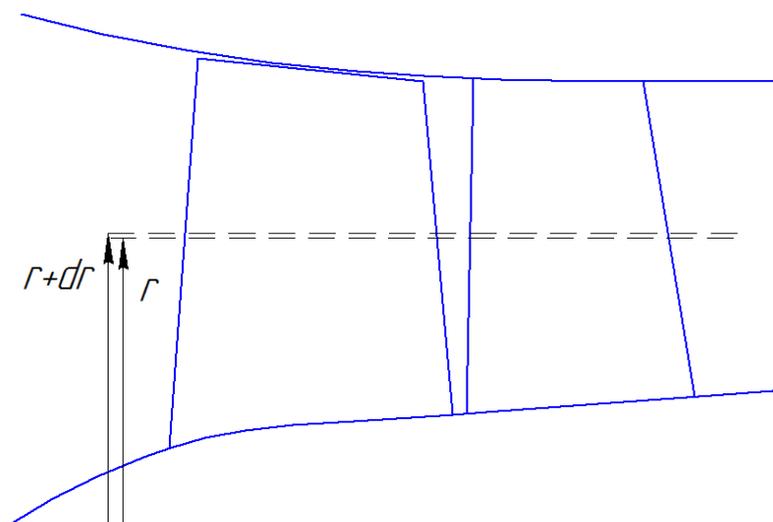


Рис. 3. Выделение плоской решетки профилей

Испытания такой плоской решетки помогают визуализировать картину течения. Испытуемая решетка помещается на специальный стенд или в аэродинамическую трубу. Изменяя угол набегающего потока в широком диапазоне можно получить характеристику профиля в виде зависимостей :  $\beta_2 = f(\beta_1)$  или  $\Delta\beta = f(\beta_1)$ . Последний вариант чаще используется на практике в координатах  $\Delta\beta = f(i)$ , где  $i$  - угол атаки, но это затрудняет экстраполяцию и сопоставление с идеальным протеканием характеристики (без отставания на выходе).

В [2] опубликованы данные о продувке плоских решеток из пластин, установленных под углом  $60^\circ$ . Получена зависимость угла отставания потока в решетке от её густоты и угла выхода потока и зависимость угла отставания потока в решетке от кривизны и угла входа потока при фиксированной густоте. Из графиков видно, что важнейшим параметром, влияющим на величину угла отставания  $\delta$ , является густота решетки  $b/t$ . Даже при углах входа потока  $\beta_1$ , значительно отличающихся от угла установки при увеличении густоты решетки, угол  $\delta$  существенно уменьшается.

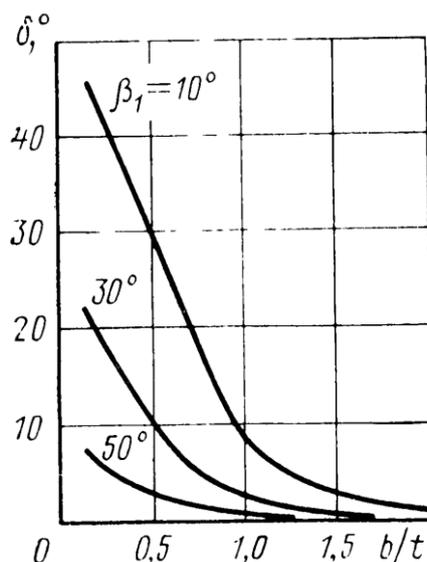
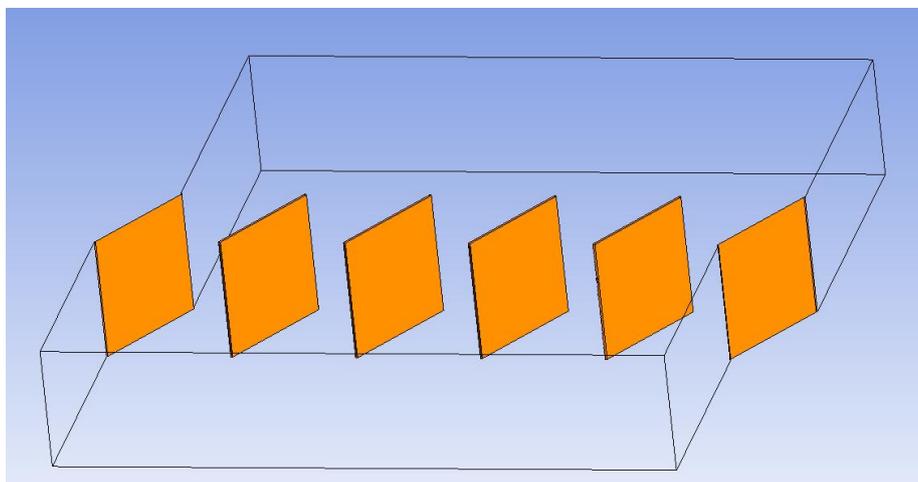


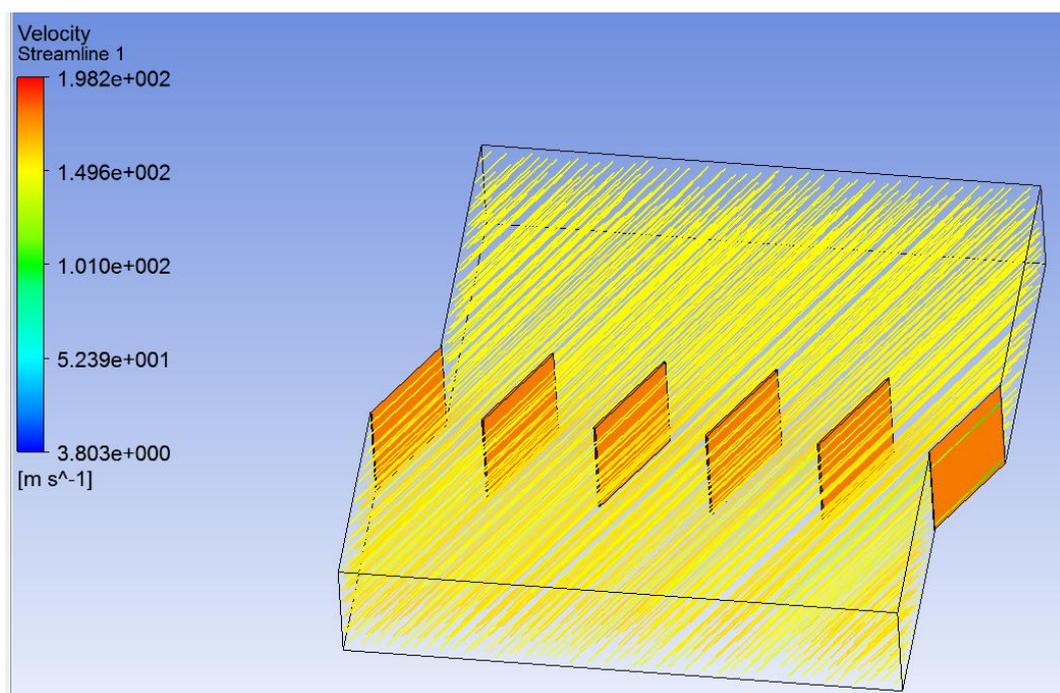
Рис. 4. Зависимость угла отставания потока в решетке от её густоты и угла входа потока [2]

Эти данные использованы для оценки степени адекватности результатов 3D CAD/CAE-моделирования в CAE-системе ANSYS CFX. Для проверки этих данных была построена модель плоской решетки профилей с параметрами : угол установки профиля -  $60^\circ$  и густоты  $b/t$  1. Расчеты проводились в ANSYS CFX при скорости набегающего потока 150 м/с. В соответствии с работами Ольштейна Л. Е. этот диапазон автомоделен по скорости натекания на решетку (для зависимости угла отклонения потока от угла атаки).



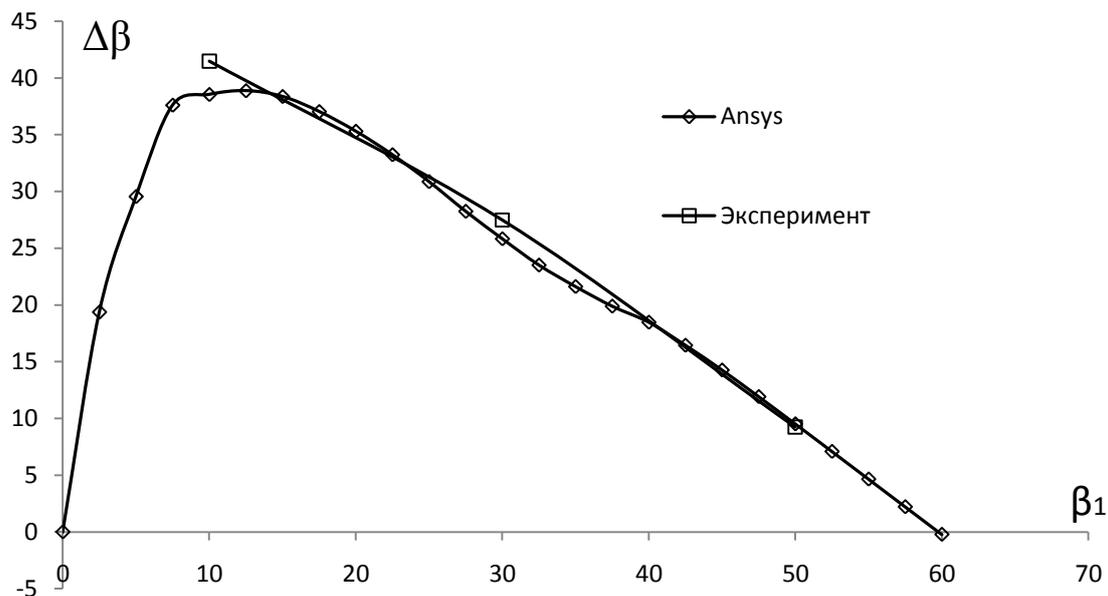
**Рис. 5.** Модель решетки профилей в ANSYS CFX

В результате 3D CAD/CAE-моделирования были получены картины течения через решетку профилей и характеристики решеток. Угол выхода потока  $\beta_2$  из решетки замерялся на расстоянии 12,5 мм, т.к. на этом расстоянии совпали контрольные точки эксперимента и модели. Было принято решение о замере параметров на этом расстоянии и для других решеток, т.к. хорда пластин не изменялась, а изменялась только густота решетки. Также была принята расчетная скорость в 150 м/с, т.к. более высокие скорости уже не находятся в зоне автомодельности и характеристики начинают «расслаиваться по скорости натекания на решетку.

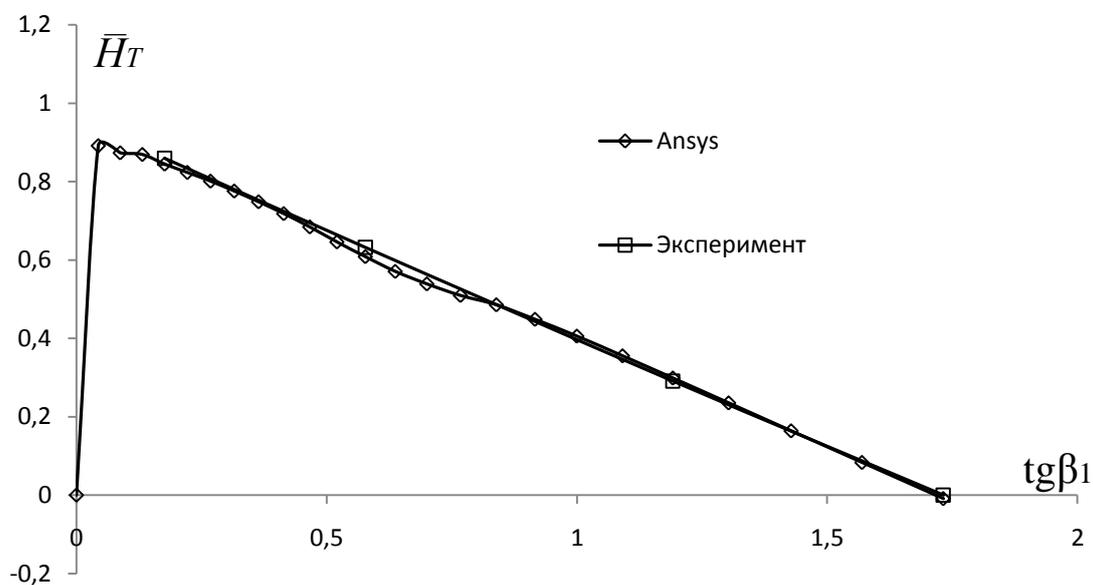


**Рис. 6.** Картина течения в решетке профилей в ANSYS CFX

По полученным из расчета в среде ANSYS CFX данным построены графики зависимости  $\Delta\beta = f(\beta_1)$  и  $\bar{H}_T = tg\beta_1$  и сопоставлены с результатами эксперимента.



**Рис. 7.** Сопоставление результатов эксперимента и расчета в среде ANSYS CFX при густоте решетки  $b/t=1$  в координатах  $\Delta\beta = f(\beta_1)$



**Рис. 8.** Сопоставление результатов эксперимента и расчета в среде ANSYS CFX при густоте решетки  $b/t=1$  в координатах  $\bar{H}_T = tg\beta_1$

### ВЫВОДЫ

В данной работе выполнена проверка, насколько результаты 3D CAD/CAE-моделирования течения в решетках профилей согласуются с результатами эксперимента. Определено, на каком расстоянии от выхода из решетки следует анализировать направление потока для определения угла отклонения потока и расчета коэффициента теоретического напора. На следующем этапе полученные результаты планируется

использовать для проверки выведенной авторами универсальной эмпирической зависимости для расчета аэродинамических характеристик решеток профилей.

Применение численного моделирования для продувок решеток профилей сокращают время доводки профилей, и компрессоров в целом, помогают прогнозировать характер течения, анализировать закономерности влияния тех или иных геометрических и газодинамических параметров на картины течения, величины углов отставания потока и равномерность обтекания. При использовании САЕ-пакетов типа ANSYS CFX необходимо проверить адекватность модели по экспериментальным данным, полученным с предельно допустимой точностью, и только после этого использовать такую типовую модель для дальнейших исследований. Как показывает сопоставление с экспериментом, в данном случае удалось построить адекватную модель, которая имеет относительно малую погрешность и выявлены условия (в каком сечении фиксировать направление потока на выходе), чтобы обеспечить требуемую точность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lieblein S. Incidence and deviation-angle correlations for compressor cascades. *TransASMEJournalofBasicEngineering* 82: 575—87 -1960.

2. Холщевников К. В., Емин О. Н., Митрохин В. Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. - М.: Машиностроение, 1986. - 432 с. Стр. 154-156

### ОБ АВТОРАХ



**Кривошеев Игорь Александрович**, проф. каф. авиац. двигателей, декан ФАД УГАТУ, науч. рук. НИЛ САПР–Д, дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (2000). Иссл. в обл. инф. техн. в двигателестроении.

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



**Симонов Николай Борисович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ, 2012)

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

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ТРДД ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ LEAP-X

Кидрасов И. Р., Горюнов И. М.

### ВВЕДЕНИЕ

Для перспективных самолетов гражданской авиации к середине 20-тых годов нашего века прогнозируемый уровень целевых показателей по данным [2] предполагает 60...70 % снижение расхода топлива, уменьшение на 50 % уровня эмиссии по  $\text{CO}_2$  и на 75...80 % по  $\text{NO}_x$ , снижение вдвое уровня воспринимаемого шума и др.

Выполнение поставленных задач по достижению заявляемых показателей самолетов гражданской авиации требует комплексного разностороннего подхода, рассмотрения всех областей, связанных с авиационной промышленностью и развитием передовых технологий.

В данной работе рассмотрен перспективный ТРДД LEAP-X, его основные характеристики и ключевые технологии, используемые при создании двигателя. Выполнен термогазодинамический расчет для предварительного определения его термогазодинамического облика.

### АНАЛИЗ СХЕМЫ ТРДД LEAP-X

По компоновке LEAP-X (рис. 1) вполне традиционный двухконтурный турбореактивный двигатель, однако, конструкция его узлов усовершенствована в целях снижения массы и оптимизации их совместной работы [4]. Массу двигателя LEAP-X намечают существенно уменьшить (примерно на 80 кг) путем сокращения числа лопаток турбины первой ступени и увеличения степени повышения давления в компрессоре высокого давления до значения 16 (у современных двигателей семейства CFMI этот показатель составляет около 11). Другим техническим решением, берущим начало в программах по GE 90/GE9x и направленным на уменьшение массы конструкции, является применение блисков в компрессоре. Основные данные двигателя LEAP-X приведены в таблице 1.



Рис. 1. ТРДД 5-го поколения LEAP-X

Мотогондола для нового двигателя, которая разрабатывается компанией Aircelle, членом группы SAFRAN, будет более легкой и обтекаемой для того, чтобы обеспечить

меньший расход топлива и снизить общий вес [4]. Запланированное снижение веса будет достигнуто за счет использования композиционных материалов для 80% гондолы. Более того, новый дизайн корпуса вентилятора и воздухозаборника обеспечит более эффективный поток воздуха внешнего контура. Другие проводимые исследования направлены на электрификацию некоторых функций, оптимизацию размеров некоторых элементов силовой конструкции и использование сопла с изменяемой геометрией.

LEAP-X [5] будет турбовентиляторным двигателем со степенью двухконтурности порядка 10, диаметром вентилятора от 70 до 74 дюймов и высокой степенью сжатия. Тяга двигателя будет составлять 91...159 кН. Увеличение производительности по сравнению с настоящими двигателями будет достигнуто за счет оптимизации термодинамических процессов, более глубокого понимания 3D-моделирования, более широкого использования композиционных материалов (композитов с органической и керамической матрицей, алюминиды титана) и использования инновационных производственных процессов (таких как 3D-плетеные детали с пластиковым переделом). Эти инновации будут использоваться при разработке корпуса вентилятора и лопаток, а также при разработке турбины низкого давления, которая впервые будет оснащена лопатками из композита с керамической матрицей. Конструкция модуля вентилятора и турбины низкого давления позволяет сэкономить 200 и 125 кг, соответственно, по сравнению с технологией CFM56. Также как и при разработке других деталей LEAP-X, при разработке газогенератора будут использованы методы трехмерного аэродинамического проектирования 3-го поколения совместно с использованием новых материалов для камеры сгорания.

Таблица 1

Основные параметры двигателя LEAP-X

Наименование параметра	Взлетный режим ( $H=0$ ; $M_{п}=0$ )	Крейсерский режим ( $H=10668$ ; $M_{п}=0,85$ )
Тяга, кН	90...159	26,05
Удельный расход топлива, (г/с)/кН	8,262	14,86
Степень двухконтурности		10
Полная степень повышения давления		43,68
$D_v$ , мм	1880	
Базовая масса, кг	2062	
Число ступеней компрессора	1F+(3...4)L, 8H	
Число ступеней турбины	1H+(4...5)L	
Применение	Airbus A320neo, Boeing 737 MAX, C919	

Конструктивными особенностями базового ТРДД LEAP-X [2] являются (рис. 2):

- корпус и широкохордные лопатки РК вентилятора ( $z_v=18$ ) с переменной по высоте стреловидностью из полимерного композиционного материала, усиленного волокнами углерода;
- 10-ступенчатый КВД, рассчитанный на степень повышения давления  $\pi_k^* > 22$  со ступенями конструкции блиск, с уменьшенным числом профилей, увеличенными запасом газодинамической устойчивости и КПД;
- малоэмиссионная камера сгорания TAPS II, обеспечивающая запас по уровню эмиссии  $NO_x$  в 60% относительно норм CAEP6 ИКАО и обладающая большим ресурсом (25000 п.ц.);

- 2-ступенчатая высоконагруженная ТВД с лопатками СА из керамического композиционного материала и РК из монокристаллического сплава нового поколения ATAMS;
- многоступенчатая ТНД с лопатками СА и РК из керамического композиционного материала, имеющая противовращение относительно ротора ВД;
- профили лопаток СА и РК ТВД и ТНД, обеспечивающие низкую интенсивность скачков уплотнения на выходе;
- диски ТВД и ТНД из порошкового сплава нового поколения;
- двухпозиционное сопло канала наружного контура.



Рис. 2. Конструктивные особенности ТРДД LEAP-X

Двигатель LEAP вообрал в себя многочисленные фундаментальные достижения в области программ развития аэродинамики, защиты окружающей среды и материаловедения. Сочетая использование передовых композитных материалов и металлических сплавов с целью уменьшения своего веса, новый двигатель [5]:

- улучшит удельный расход топлива на **15%**;
- сократит вредные выбросы на **50%** по сравнению с действующими стандартами CAEP/6;
- снизит уровень шума на **15 дБ** (EPNdB) в сравнении с современными двигателями CFM56 версии Tech Insertion.

### КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОЗДАНИИ LEAP-X

Основными ключевыми технологиями при создании двигателя LEAP-X [1] является следующее (рис. 3).

**Вентилятор.** Разрабатывается совершенно новый вентилятор с лопатками, изготовленными из композиционных волокон пространственного сплетения. Используются методы трехмерного аэродинамического проектирования 3-го поколения. Отлажена технология, позволяющая увеличить жесткость и прочность лопаток при одновременном уменьшении массы вентилятора.

Ведутся работы направленные на создание малошумного широкохордного вентилятора со стреловидными лопатками и высокой частотой вращения.

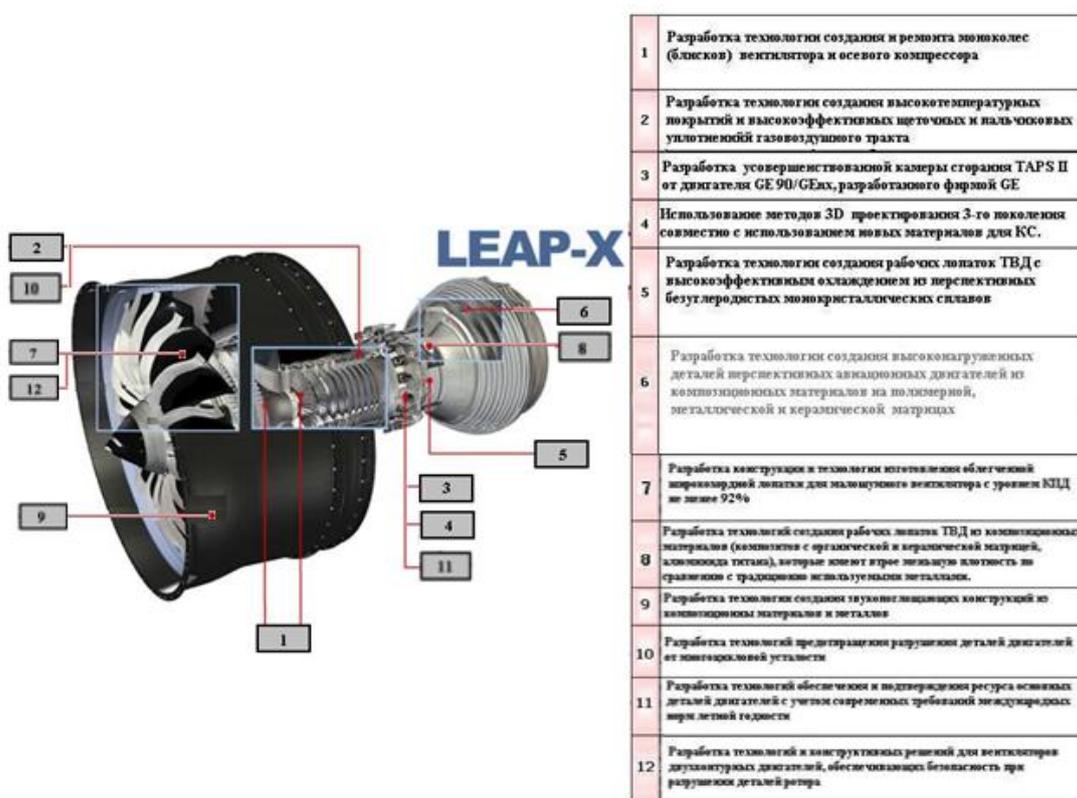
По оценкам специалистов применение вентилятора со стреловидными, широкохордными лопатками позволит:

- увеличить КПД;
- увеличить расход воздуха при большей частоте вращения;

- увеличить тягу двигателя, при том же диаметре вентилятора;
- уменьшить уровень шума.

**Подпорная ступень без регулируемого клапана перепуска (Variable Bypass Valve, VBV).** Цель внесения этого изменения в конструкцию двигателя – повышение устойчивости и уменьшение массы подпорных ступеней. В ходе проведенных исследований были успешно осуществлены:

- проверка работоспособности двигателя без клапана VBV.
- работы по надроторному устройству;
- выбор концепции устройства обнаружения града;
- испытания надроторного устройства на уменьшенной модели вентилятора;
- испытания двигателя, оснащенного камерой сгорания TAPS и устройством обнаружения града.
- проведенные исследования показали, что отсутствие клапана VBV не приводит к ухудшению работоспособности подпорных ступеней и двигателя.



**Рис. 3.** Ключевые технологии при создании LEAP-X

**Устройство снижения нагрузок (Load Reduction Device, LRD).** Оно предназначено для уменьшения массы конструкции, поддержания постоянной частоты вращения вентилятора и уменьшения дисбаланса при обрыве лопатки. Устройство LRD располагается в полости промежуточного корпуса и срабатывает мгновенно в случае обрыва лопатки вентилятора, разъединяя каскад низкого давления с остальной частью двигателя. Его применение позволяет снизить массу двигателя на 90 кг благодаря более простой и легкой конструкции корпуса вентилятора и пилона.

**Компрессор высокого давления.** Новая концепция КВД направлена на снижение стоимости технического обслуживания при улучшении его характеристик.

В компрессоре используются роторы типа «блиск» с лопатками обратной стреловидности и статоры с наклонными стреловидными лопатками.

**Камера сгорания TAPS II.** В двигателе LEAP-X будет использована

усовершенствованная камера сгорания TAPS II от двигателя GE 90/GE9x, разработанного фирмой General Electric. Конструкция камеры сгорания TAPS (Twin-Annular Pre-Mixed Swirler) направлена на снижение уровня эмиссии. Компания GEAE обладает рядом патентов на камеры сгорания, которые оснащены двухъярусными завихрителями с закруткой потока. Создавая мощные вихревые потоки, такие камеры сгорания обеспечивают быструю подготовку однородной топливно-воздушной смеси. С точки зрения эффективности, перспективные топливные форсунки могут снизить уровень эмиссии  $\text{NO}_x$ , CO и HC более чем на 50%. Технической проблемой является обеспечение долговечности, экономической доступности и удовлетворительной работоспособности в широком диапазоне эксплуатационных режимов работы.

В камере сгорания TAPS используется относительно новый класс материалов, известный как микроламиниты. Микроламиниты состоят из тонких слоев металлической и керамической фольги, которые спрессованы вместе при температуре чуть ниже температуры плавления металла. Микроламиниты привлекают все большее внимание в качестве замены никелевых сплавов при изготовлении деталей двигателя, а также в качестве возможной замены теплозащитных керамических покрытий.

Оптимизация режимов работы форсунок камеры сгорания TAPS, в зависимости от режима полета самолета, позволяет удовлетворить требованиям ИКАО по выбросу вредных веществ. Результаты, полученные на июль 2001 г., свидетельствуют, что камера сгорания TAPS позволяет понизить уровень эмиссии  $\text{NO}_x$  на 65%, а не на 50%, как планировалось ранее.

**Турбина.** Лопатки турбины LEAP-X намечают изготавливать из композиционных материалов на основе керамической матрицы, которые имеют втрое меньшую плотность по сравнению с традиционно используемыми металлами.

Объединение CFMI придает очень большое значение разработке новых вариантов ТВД и ТНД. Только оно обладает семейством двигателей с одноступенчатой ТВД для самолетов гражданской авиации, наработавших в эксплуатации более 170 млн. ч.

При разработке турбины принимается решение разработки ТВД и ТНД с противоположным вращением роторов.

1. Конструкция с противоположным вращением роторов имеет ряд преимуществ, позволяющих уменьшить массу, стоимость двигателя и затраты воздуха на охлаждение.

2. Специалисты CFMI остаются сторонниками сохранения простоты конструкции путем применения одноступенчатой ТВД, но при этом понимают сложность получения высокого КПД при использовании такого подхода.

3. При проектировании новых турбин особое внимание было обращено на:

4. а) для ТВД:

- разработку одноступенчатой турбины, рассчитанной на  $\pi^*_T=4,6$  с  $\eta_T=0,905$ ;
- применение 3D аэродинамики для лопаток СА и РК;
- уменьшение числа лопаток СА и РК на 10%;
- применение схемы охлаждения лопаток СА с низкими потерями на смешение;
- уменьшение интенсивности скачка уплотнения на задней кромке лопаток РК на

50%;

- уменьшение расхода охлаждающего воздуха на 22%.

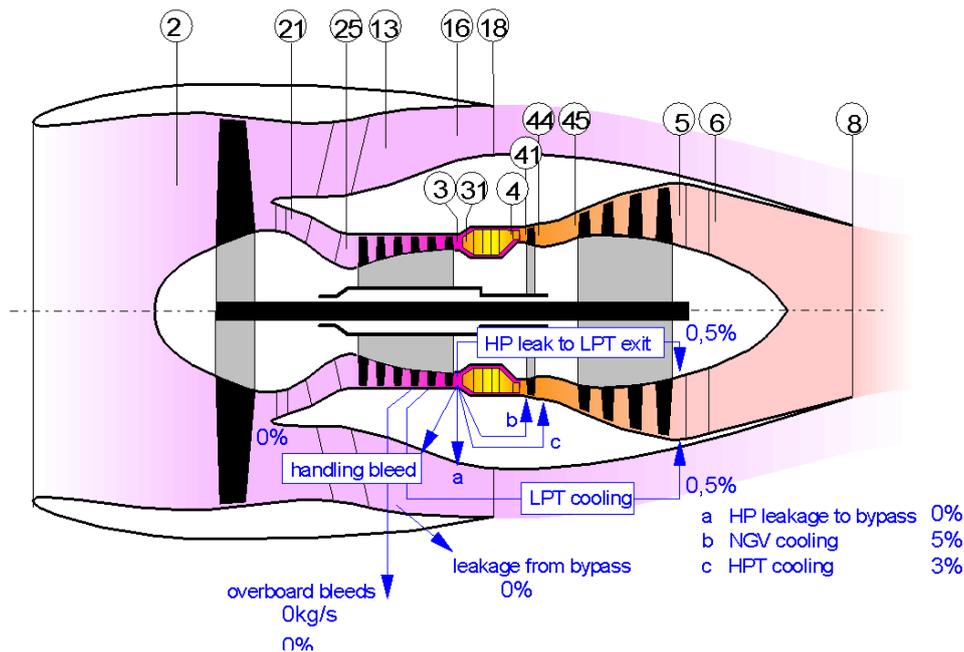
б) для ТНД:

- уменьшение числа деталей на 35%;
- улучшение обтекания при взаимодействии с ТВД.

**Щеточные уплотнения.** В рамках программы завершена серия испытаний щеточных уплотнений, установленных на модифицированном двигателе CFM56-5B. Результаты испытаний показывают, что щеточные уплотнения по сравнению с традиционными лабиринтными уплотнениями позволяют снизить утечки более чем на 40%.

### ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ОБЛИК ТРДД LEAP-X

Для определения термогазодинамического облика двигателя LEAP-X выполнен термогазодинамический расчет на крейсерском режиме в среде GasTurb. Для этого выбираем схему двухвального ТРДД без смешения потоков (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема двухвального ТРДД без смешения потоков для термогазодинамического расчета в среде GasTurb

Все параметры рабочего процесса и характеристик узлов исходя из анализа тенденции развития двигателей семейства CFMI, а также из источников для термогазодинамического расчета приведены в таблицах 2, 3.

**Таблица 2**

#### Общие параметры двигателя

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Размерность	Источник
Тяга двигателя на крейсерском режиме	$P_{кр}$	26050	Н	---
Расход воздуха через двигатель	$G_{в0}$	435	кг/с	---
Степень двухконтурности	$m$	10	---	[4]
Температура газа перед турбиной	$T_{г}^*$	1730	К	---
Степень повышения давления в компрессоре	$\pi_{к\Sigma}^*$	43,68	---	---
Степень повышения давления в вентиляторе	$\pi_{в}^*$	1,95	---	---
Степень повышения давления в подпорных ступенях	$\pi_{пс}^*$	1,4	---	---
Степень повышения давления в КВД	$\pi_{квд}^{*\square}$	16	---	[4]

Таблица 3

## Параметры эффективности двигателя

Параметр	Обозначение	Значение	Источник
КПД вентилятора по низу	$\eta_{в1}^*$	0,92	[2]
КПД вентилятора по верху	$\eta_{в2}^*$	0,92	[2]
КПД подпорных ступеней	$\eta_{пс}^*$	0,890	---
КПД компрессора высокого давления	$\eta_{квд}^*$	0,875	---
КПД турбины высокого давления	$\eta_{твд}^*$	0,915	---
КПД турбины вентилятора	$\eta_{тв}^*$	0,93	---
Механический КПД турбины высокого давления	$\eta_{мех\ вд}^*$	0,985	---
Механический кпд турбины вентилятора	$\eta_{мех\ в}^*$	0,995	---
Коэффициент полноты сгорания в КС	$\eta_{г}^*$	0,990	[3, с.308]
Относительный расход охлаждающего воздуха, отбираемого за компрессором для охлаждения ТВД и СА	$\bar{G}_{охл\ ТВД}$	0,08	[3, с.312]
Относительный расход охлаждающего воздуха, отбираемого за компрессором для ТВ	$\bar{G}_{охл\ ТТ}$	0	[3, с.312]
Относительный расход воздуха на утечки в масляную и разгрузочную полости	$\bar{G}_{\delta\delta}$	0,008	[3, с.312]
Коэффициент восстановления полного давления в КС	$\sigma_{к.с.}$	0,96	[3, с.307]
Коэффициент восстановления полного давления за вентилятором по низу	$\sigma_{вх.пс}$	0,99	[3, с.311]
Коэффициент восстановления полного давления в канале перед компрессором высокого давления	$\sigma_{вх\ квд}$	0,98	[3, с.311]
Коэффициент восстановления полного давления за ТВД	$\sigma_{вх\ тнд}$	0,98	[3]
Коэффициент скорости в сопле внутреннего контура	$\varphi_{с1}$	0,98	[3, с.311]
Коэффициент скорости в сопле наружного контура	$\varphi_{с2}$	0,98	[3, с.311]
Высота полета, м	H	11000	---
Число Маха полета	M	0,8	---

Результаты термогазодинамического расчета двигателя LEAP-X приведены в таблице 4.

Таблица 4

## Результаты расчета двигателя LEAP-X в среде GasTurb 9

Station	W	T	P	WRstd	FN	26,06
	amb	216,65	22,632		TSFC	15,0186
2	160,852	244,44	34,509	435,000	WF	0,39138
13	146,229	300,38	67,293		BPR	10,0000
21	14,623	332,72	94,210	16,900	s NOx	0,6460
25	14,623	332,72	93,267	17,071	Core Eff	0,5872
3	14,550	771,72	1492,28 0	1,617	Prop Eff	0,7457
31	13,307	771,72	1492,28 0			
4	13,698	1730,00	1432,58 8	2,374	P3/P2	43,2432
41	14,429	1686,07	1432,58 8	2,469	P16/P13	0,98000
43	14,429	1317,43	427,380		P16/P6	1,81340
44	14,868	1302,71	427,380		P16/P2	1,91100
45	14,868	1302,71	418,833	7,648	P6/P5	0,99000
49	14,868	764,30	36,734		A8	0,30774
5	14,941	762,35	36,734	67,035	A18	0,99036
8	15,014	762,40	36,366	68,045	P8/Pamb	1,60686
18	146,229	300,38	65,947	229,395	P18/Pamb	2,91386
P2/P1	1,0000				CD8	0,94454
Efficiencies:	isent	polytr	RNI	P/P	CD18	0,9600
Outer LPC	0,9200	0,9272	0,449	1,950	XM8	0,86
Inner LPC	0,9200	0,9304	0,449	2,730	XM18	1,00000
HPCompressor	0,8750	0,9119	0,722	16,000	V18/V8, id	0,90123
Burner	0,9900			0,960	Loading %	100,00
HP Turbine	0,9150	0,9035	0,742	3,352	PWX	0
LP Turbine	0,9300	0,9068	0,332	11,402	ZWBLD	0,00000
HP Spoolmech	0,9850	Nominal Spd	15183		WBLD/W21	0,00000
LP Spoolmech	0,9950	Nominal Spd	5380		WHcl/W25	0,03000
					WLcl/W25	0,00500
Fuel	FHV	humidity	war2			
Generic	43,124	0,0	0,0			

В результате термогазодинамического расчета двигателя LEAP-X был восстановлен его термодинамический облик и определены параметры рабочего процесса. Результаты расчета показали, что двигатель LEAP-X при той же крейсерской тяге будет экономичнее по расходу топлива на 12 % по сравнению с существующими двигателями CFM56-5, -7.

### ВЫВОД

Выполненные исследования показали, что ТРДД LEAP-X будет экономичнее по удельному расходу топлива по сравнению с современными двигателями четвертого поколения и будет отвечать требованиям (с уровнем параметров прогнозируемых на 2015-2020 гг.), предъявляемым к перспективным ТРДД пятого поколения. Однако для

дальнейшего соответствия требованиям NASA и ACARE (с уровнем параметров прогнозируемых на 2020-2025 гг.) требуется дальнейшая проработка различных нетрадиционных схем двигателей («Open rotor», гибридная СУ, СУ с выносным винтовентилятором и др.) для перспективных самолетов гражданской авиации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор)/ Под общей редакцией д. т. н. В.А.Скибина, к. т. н. В.И.Солонина. – М.: ЦИАМ, 2004. – 424 с.

2. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор)/ Под общей редакцией д. т. н. В.А.Скибина, к. т. н. В.И.Солонина. – М.: ЦИАМ, 2010. – 671 с.

3. Термогазодинамические расчеты авиационных ГТД: Учеб. Пособие/ Ахмедзянов А.М., Алаторцев В.П., Гумеров Х.С., Тарасов Ф.Ф.; Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1990. – 340 с.

4. Журнал Safran. Февраль 2009. №5

5. <http://www.safran.ru>

6. <http://www.cfm56.com>

7. <http://www.snecma.com>

8. <http://www.avia.ru>

9. <http://www.airwar.ru>

10. <http://www.ato.ru>

### ОБ АВТОРАХ

**Кидрасов Ильнур Раилович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. рабочих процессов в авиац. ГТД.



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

**Горюнов Иван Михайлович**, профессор кафедры авиационных двигателей УГАТУ, зав. НИЛ САПР-Д. Дипл. инж. –мех. (УАИ, 1974). Д-р техн. наук по тепл. двигателям ЛА (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. рабочих процессов в авиац. ГТД.



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

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ РЕШЕТОК, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ТОНКИХ НЕИЗОГНУТЫХ ПЛАСТИН

Кривошеев И. А., Рахманкулов Д. Я.

### Введение

Создание современного авиационного двигателя – комплексный процесс, базирующийся на новейших достижениях в области газовой динамики, горения и теплообмена, конструкционной прочности, теории интегрального управления и диагностики, материаловедения и технологии. Данная статья посвящена обеспечению газодинамического совершенства компрессора путем использования эмпирических зависимостей для плоских решеток профилей. От того, насколько полно изучены характеристики решеток, зависит эффективность их использования, темпы развития перспективных направлений. Теоретические исследования призваны значительно сократить экспериментальную проработку, осуществить модельный анализ различного рода турбомашин. Полученные представления могут быть использованы при обработке экспериментальных данных и развитии более общих моделей.

### Основная часть

Важным элементом лопаточной машины является «элементарная решетка профилей», в частном случае это плоская решетка, позволяющая пространственную кольцевую решетку, соответствующую рабочему колесу или неподвижному аппарату, расчленить на элементы с двумерным потоком. Плоская решетка, представленная на рисунке 1, получается в результате сечения кольцевой решетки поверхностью с последующей разверткой этой поверхности на плоскость [1]:



**Рис. 1.** Схема и геометрические параметры компрессорной решетки

Характер обтекания потоком решетки определяют углы конструктивные или геометрические (лопаточные):

$\beta_1$  – угол потока на входе в решетку;

$\beta_2$  – угол потока на выходе из решетки;

$\beta_{1л}$  и  $\beta_{2л}$  – углы между касательными к средней линии и фронтом решетки соответственно у передней и задней кромки профиля;

$i$  – угол атаки;  $i = \beta_{1л} - \beta_1$ ;

$\delta$  – угол отставания потока на выходе из решетки;  $\delta = \beta_{2л} - \beta_2$ ;

$\theta$  – угол кривизны профиля

Решетка характеризуется следующими параметрами:

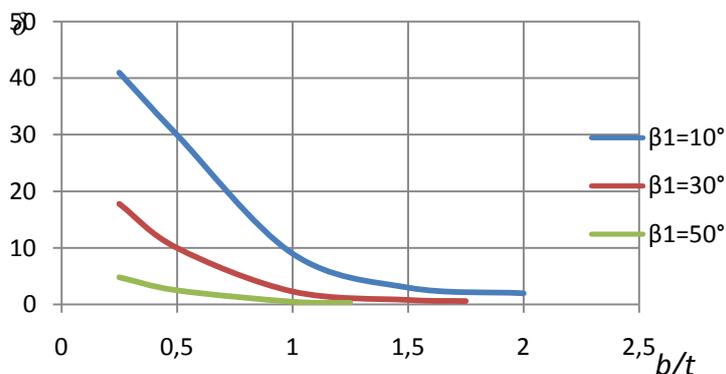
$t$  – шаг решетки, равный расстоянию между двумя одноименными точками

соседних профилей;

$b/t$  – густота решетки (обратная величина называется относительным шагом);

$\Delta\beta$  – угол отклонения потока в рабочей решетке, образованный векторами скоростей  $W_1$  и  $W_2$ ;

Опубликованы экспериментальные зависимости угла отставания ( $\delta$ ) от густоты решетки пластины ( $b/t$ ) и угла входа потока ( $\beta_1$ ) (угол установки пластин составляет величину  $\varphi = 60^\circ$ ) [1, стр.154]:



**Рис. 2.** Зависимость угла отставания в решетке пластин от густоты решетки пластины и угла входа потока

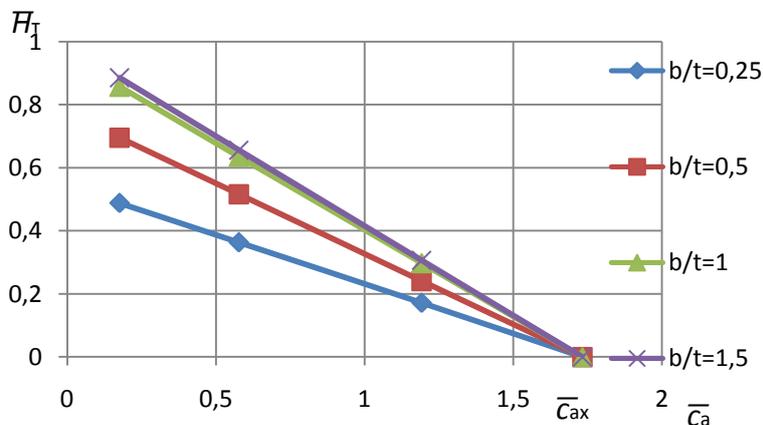
Эти результаты использованы авторами для получения универсальной зависимости, описывающей аэродинамические характеристики любых плоских решеток, составленных из тонких неискривленных пластин. При этом для удобства анализа и расчета введен безразмерный коэффициент расхода, представляющий отношение осевой скорости к окружной [2]:

$$\bar{c}_a = \frac{c_a}{u} = tg\beta_1. \quad (1)$$

Как известно, коэффициент расхода  $\bar{c}_a$  определяет форму треугольников скоростей на расчетном радиусе, что необходимо при проектировании лопаточных машин. Аналогично тому, как с помощью характерной скорости  $u$  вводят безразмерный коэффициент расхода, для оценки способности рабочего колеса передавать газу механическую работу используют безразмерный коэффициент теоретического напора [2]:

$$\bar{H}_T = \frac{H_T}{u^2} = 1 - \frac{tg\beta_1}{tg(\beta_{2л} - \delta)}, \quad (2)$$

где  $H_T$  – удельная работа, подведенная к газу, называемая теоретическим напором.



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента теоретического напора от коэффициента расхода для плоских пластин.

В данном случае, при построении упрощенной характеристики (рис. 3) для

диапазона густот, данных на рис. 1, можно обнаружить, что зависимость коэффициента теоретического напора от коэффициента расхода линейна, что согласуется с гипотезой Ольштейна Л. Е. [3].

Соответственно для построения упрощенной характеристики необходимо хотя бы 2 точки. Введем их обозначение:  $\bar{H}_{\text{тн}}$  – коэффициент теоретического напора при нулевой осевой скорости,  $\bar{c}_{ax}$  – коэффициент расхода при нулевой величине работы, затраченной элементом рабочего колеса на 1 кг протекающего через ступень воздуха.

Поскольку угол установки пластин составляет величину  $\varphi = 60^\circ$ , то для разных значений густот значение  $\bar{c}_{ax}$  постоянно:

$$\bar{c}_{ax} = \operatorname{tg} \beta_x = \operatorname{tg} 60^\circ = 1,732. \quad (3)$$

Согласно геометрическим представлениям расчета профиля решетки, коэффициент теоретического напора  $\bar{H}_{\text{тн}}$  равен:

$$\bar{H}_{\text{тн}} = \frac{\operatorname{tg} \beta_x}{\operatorname{tg} \beta_x - \operatorname{tg} \beta_1} \left( 1 - \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg}(\beta_x - \delta)} \right). \quad (4)$$

Данные расчета приведены в таблице 1

Таблица 1

Результаты расчета плоской решетки с углом установки  $60^\circ$

$b/t$	$\delta$	$\beta_1$	$i$	$\beta_x$	$\bar{H}_{\text{тн}}$	$\bar{H}_T$	$\bar{c}_a$
0,25	41	10	50	60	0,5432	0,4879	0,1763
0,25	17,8	30	30	60	0,5449	0,3633	0,5774
0,25	4,8	50	10	60	0,5505	0,1717	1,1918
0,25	0	60	0	60		0	1,7321
$b/t$	$\delta$	$\beta_1$	$i$	$\beta_x$	$\bar{H}_{\text{тн}}$	$\bar{H}_T$	$\bar{c}_a$
0,5	30	10	50	60	0,7733	0,6946	0,1763
0,5	10	30	30	60	0,7733	0,5156	0,5774
0,5	2,5	50	10	60	0,7718	0,2408	1,1918
0,5	0	60	0	60		0	1,7321
$b/t$	$\delta$	$\beta_1$	$i$	$\beta_x$	$\bar{H}_{\text{тн}}$	$\bar{H}_T$	$\bar{c}_a$
1	9	10	50	60	0,9544	0,8572	0,1763
1	2,3	30	30	60	0,95252	0,6350	0,5774
1	0,5	50	10	60	0,95532	0,2980	1,1918
1	0	60	0	60		0	1,7321
$b/t$	$\delta$	$\beta_1$	$i$	$\beta_x$	$\bar{H}_{\text{тн}}$	$\bar{H}_T$	$\bar{c}_a$
1,5	3	10	50	60	0,9859	0,8855	0,1763
1,5	0,8	30	30	60	0,9838	0,6531	0,5774
1,5	0,2	50	10	60	0,9822	0,3036	1,1918
1,5	0	60	0	60		0	1,7321

Таким образом, имеем возможность построить упрощенную характеристику для плоских пластин в узком диапазоне значений густот (рис. 2). На основе теоретических представлений авторами предложена экспоненциальная зависимость коэффициента теоретического напора  $\bar{H}_{\text{тн}}$  от густоты  $b/t$  для определенного угла установки пластин  $\varphi$ :

$$\bar{H}_{\text{тн}} = 1 - e^{-\frac{b/t}{T}}. \quad (5)$$

где  $T$  – постоянная времени (в терминологии ТАУ), соответствующая определенному углу установки профиля.

Зная величины коэффициента  $\bar{H}_{\text{тн}}$ , густоты  $b/t$  и угла установки пластин  $\varphi=60^\circ$  можно определить постоянную времени  $T$  через среднеарифметическое значение:

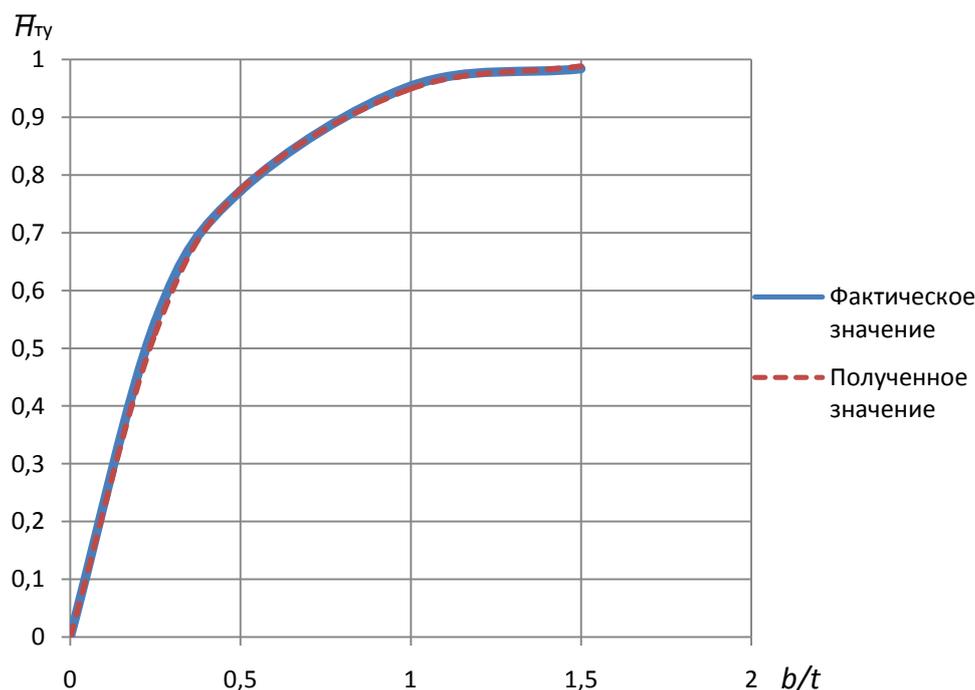
$$T = \frac{\sum T_b}{n} = - \frac{\sum \frac{(b/t)_i}{\ln\left(1 - \frac{\sum(\bar{H}_{\text{ты}})_j}{m}\right)}}{n}; \quad (6)$$

где  $n$  – суммарное число использованных густот;

$m$  – суммарное число коэффициентов теоретических напоров, соответствующие определенной густоте.

$$T = - \left( \frac{\frac{0,25}{\ln(1-0,5462)} + \frac{0,5}{\ln(1-0,7728)} + \frac{1}{\ln(1-0,9541)} + \frac{1,5}{\ln(1-0,9839)}}{4} \right) = 0,3354$$

В результате по формуле (5) построена универсальная зависимость  $\bar{H}_{\text{ты}} = f\left(\frac{b}{t}\right)$  для угла установки пластин  $\varphi=60^\circ$ , на рис 2 она сравнивается с фактической.

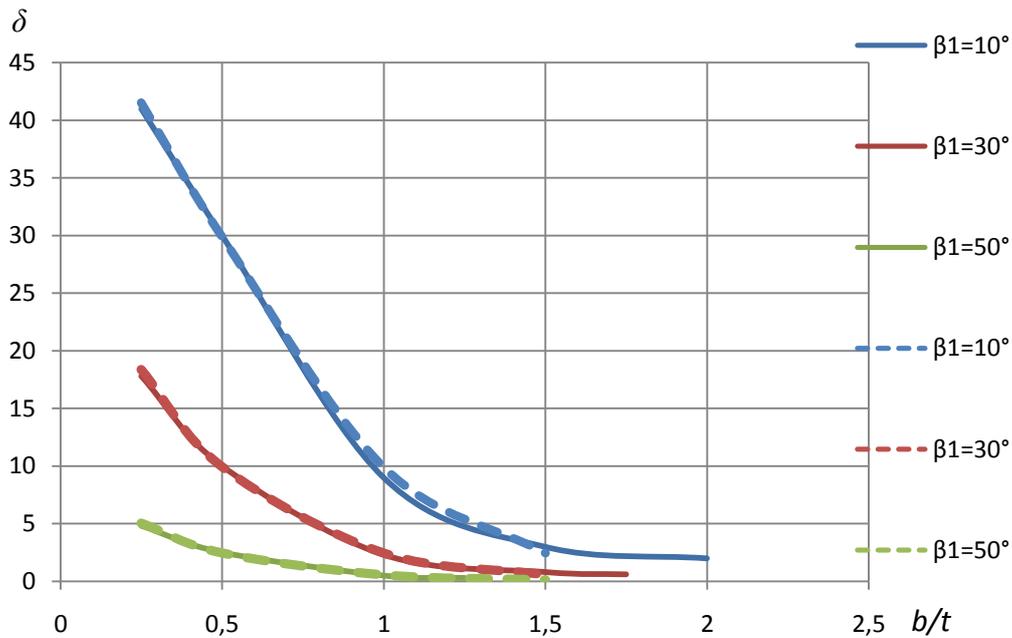


**Рис. 4.** Сравнение зависимостей коэффициента теоретического напора (при нулевом коэффициенте расхода) от густоты плоских решеток для угла установки  $\varphi=60^\circ$

Подставив формулу (4) в (5) вычислим аналитическую формулу для определения значений угла отставания потока плоской пластины, установленной под углом, равным  $60^\circ$ :

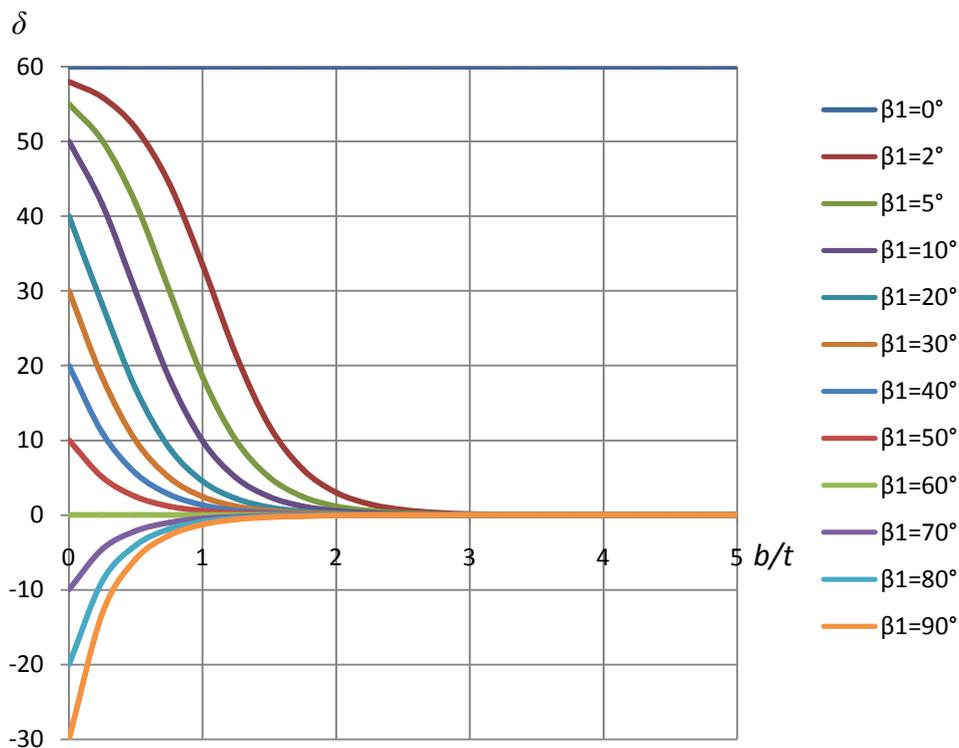
$$\delta = \beta_{2л} - \arctg \frac{tg\beta_1 \cdot tg\beta_x}{tg\beta_x - \left(1 - e^{-\frac{b/t}{T}}\right) \cdot (tg\beta_x - tg\beta_1)}. \quad (7)$$

Таким образом, относительная погрешность полученной зависимости не превышает 0,5%, о чем свидетельствует рис. 5 и доказывает целесообразность использования формулы (7) в широком диапазоне значений.



**Рис. 5.** Сравнение зависимостей угла отставания в решетке пластин от густоты решетки пластины и угла входа потока: сплошная линия – график, взятый из [1, стр. 154]; пунктирная линия – полученная зависимость (7).

Это позволило экстраполировать характеристики плоских решеток пластин для широкого диапазона изменения их параметров. Считая угол входа потока в решетку постоянной для каждой кривой, варьируем густоту пластины по формуле (7) в широком диапазоне значений, в результате получаем величины угла отставания потока:



**Рис. 6.** Зависимость угла отставания в решетке пластин от густоты решетки пластины и угла входа потока для плоских пластин, установленных под углом 60°

Такого рода характеристики позволяет построить выведенная универсальная формула для любых плоских решеток пластин. В свою очередь, как показали авторы, это может быть использовано в алгоритме расчета характеристик плоских решеток искривленных профилей конечной толщины. И уже все это используется в алгоритмах расчета характеристик реальных лопаточных венцов и ступеней (в создаваемой в НИЛ САПР-Д системе имитационного моделирования Venes).

#### **Заключение**

Таким образом, разработан метод расчета характеристик плоских решеток из тонких пластин на основе универсальной эмпирической зависимости. Экспоненциальную зависимость коэффициента теоретического напора  $\bar{H}_{\text{тн}}$  от густоты  $b/t$  можно использовать для разных углов установки пластин, приняв постоянный коэффициент  $T$  с выявленным в данной работе значением. Подтверждена линейность упрощенной характеристики в виде зависимости коэффициента теоретического напора от коэффициента расхода, согласно представлениям Ольштейна Л.Е.. В связи с недостатком экспериментальных данных по аэродинамике потока через решетки профилей использование предложенного метода позволит сократить экспериментальные работы при проектировании и доводке компрессоров.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Холщевников К. В., Емин О. Н., Митрохин В. Т., Теория и расчет авиационных лопаточных машин: Учебник для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с., ил.
2. Галеркин Ю. Б., Козаченко Л. И., Турбокомпрессоры: Учеб. Пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 374с.
3. Ольштейн Л. Е., Процеров В. Г., Метод расчета осевого компрессора по данным продувок плоских решеток// Труды ЦИАМ №150. – М: Издательство Бюро Новой Техники, 1948. – 64 с..
4. Ржавин Ю.А., Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов. – М.: Издательство МАИ, 1995. – 342 с..
5. Белоусов А. Н., Мусаткин Н. Ф., Радько В. М., Теория и расчет авиационных лопаточных машин. – Самара: Государственный аэрокосмический университет, 2003. – 344 с..

#### **ОБ АВТОРАХ**



**Кривошеев Игорь Александрович**, проф. каф. авиац. двигателей, декан ФАД УГАТУ, науч. рук. НИЛ САПР–Д, дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. Аппаратов (2000). Иссл. в обл. инф. техн. в двигателестроении.

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



**Рахманкулов Данил Яхьяевич**, магистрант группы ДЛА-602 кафедры «Авиационные двигатели» УГАТУ, степень бакалавра по специальности «Авиа- и ракетостроение» (УГАТУ, 2012).

e-mail: [raxmankulov.91@mail.ru](mailto:raxmankulov.91@mail.ru)

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТРДД ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ САМОЛЁТОВ****Аслямов А. А.****Введение**

Авиация является одним из главных факторов функционирования и прогресса общества, средоточием наивысших достижений науки, технологии, производства и мощным стимулом их дальнейшего интенсивного развития. Авиационный двигатель (АД)- «ключевое звено» любого летательного аппарата, в котором в первую очередь реализуются наиболее прогрессивные научные и технологические решения, используемы в дальнейшем и в других изделиях энергетического машиностроения. Газотурбинному авиационному двигателестроению около шестидесяти лет. За эти годы авиационный двигатель превратился в уникальное изделие машиностроения, аналогов которому по уровню напряжений и тепловому состоянию практически нет.

Эти впечатляющие результаты научно-технического прогресса авиадвигателей в сравнение с результатами, достигнутыми общим машиностроением, характеризуются наивысшими уровнями следующих основных показателей:

- термодинамического совершенства;
- совершенства по уникальным показателям массы и объема;
- рабочей температуры газа в турбинах;
- газодинамического совершенства и нагруженности компрессоров и турбин;
- объемной теплонапряженности и экологического совершенства камер сгорания;
- эффективности охлаждения и теплозащиты горячих элементов конструкций;
- принципиально новых металлических и неметаллических материалов;
- эксплуатационной надежности и безопасности.

Эти достижения основываются на фундаментальных исследованиях в области газовой динамики, горения и теплообмена, конструкционной прочности, теории интегрального управления и диагностики, которые базируются на широком применении компьютерного междисциплинарного моделирования высокого уровня, физического модельного эксперимента, а также натуральных экспериментальных исследованиях элементов, узлов и двигателей в целом на уникальных стендах, имитирующих условия эксплуатации. Прогресс в авиадвигателестроении базируется также на передовых достижениях технологии, материаловедение, химии, а также обеспечивается методологией организации всех стадий создания двигателей, научно-технического задела, проектирования, производства и системы эксплуатации.

Основные этапы развития авиационных газотурбинных двигателей военной и гражданской авиации можно укрупненно характеризовать сменой поколения этих двигателей.

Понятие «поколения АД» оказывается довольно устойчивым и характеризуется преимущественным (приоритетным) назначением АД, типажом и конструктивными схемами разрабатываемых АД, уровнем параметров цикла, конструктивными особенностями узлов (компрессоров, турбина, камера сгорания), а также применяемыми материалами и технологическими процессами изготовления (рис.1). Временные границы внедрения поколения АД размыты (с учетом разработок в разных странах), но ориентировочно поколения могут быть отнесены: 1-е – к 1940-1950-м годам, 2-е – к 1950-м годам, 3-е – к 1960-1970-м годам, 5-е – к 1990-2000-м годам.[1]

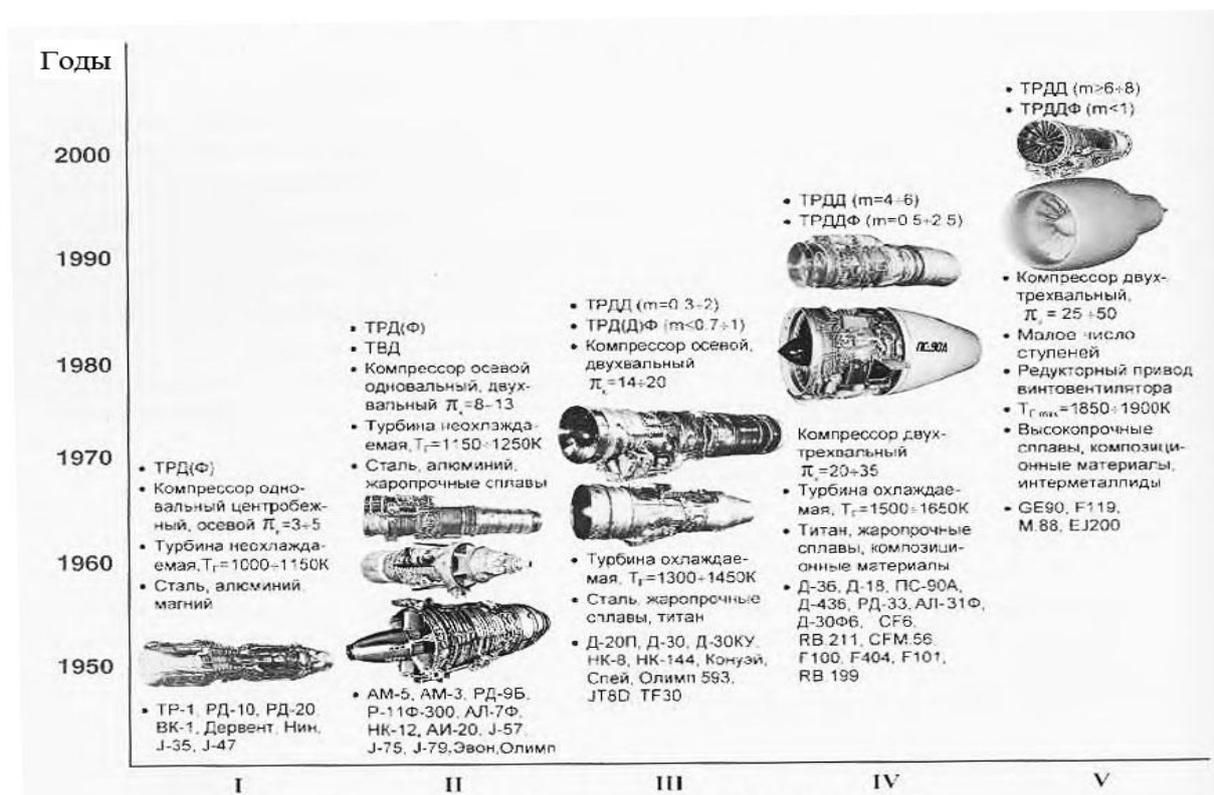


Рис. 1. Поколения авиационных двигателей

### Развитие авиационного двигателя 5-го поколения в России

Похоже, что не все так плохо в отечественной авиационной промышленности, как многие думают. Одной из главных отличительных особенностей авиастроительной державы всегда было и остается способность спроектировать и построить самолет, причем построить его полностью, от планера и различных механизмов, до сердца самолета — авиационного двигателя. Создание нового двигателя, в полной мере отвечающего всем современным требованиям, является очень сложной наукоемкой задачей, которую способны решить все лишь несколько мировых держав.

Четкого определения, что такое двигатель 5-го поколения, нет. Обычно поколения газотурбинных двигателей разделяются по их главной характеристике - удельному весу, то есть отношению веса двигателя к тяге. У двигателя 5-го поколения - эта цифра 0,1, если взять обратную величину - 10, то есть 1 кг веса двигателя создает 10 кг тяги. Двигатели первого поколения создавали тягу чуть больше своего веса - на один килограмм веса приходилось не более полутора килограмм тяги. Естественно, когда говорят о двигателе 5-го поколения, называют и другие важные технические характеристики - температура газа не ниже 2000 градусов Кельвина и т.д., но это все - производное. Главное - обеспечить необходимый удельный вес. Это технический аспект. Если посмотреть на двигатель 5-го поколения с экономической точки зрения, то здесь принципиально важной характеристикой является низкая стоимость жизненного цикла. А в жизненный цикл входит все - от замысла, от «осевой линии», как мы говорим, до момента утилизации. Это означает, что на его проектирование, доводку и эксплуатацию должно быть затрачено как можно меньше средств. Решить эту задачу можно лишь реализовав комплекс сложных конструкторско-технических решений. Низкая стоимость жизненного цикла подразумевает, что цена двигателя должна быть невысокой. Как ни парадоксально, двигатель с лучшими удельными характеристиками должен стоить меньше, чем двигатель предыдущего поколения.

В настоящее время проходит испытание новый перспективный двигатель (ПД-14), а точнее двигатель-демонстратор технологий (ДДТ), который пока не имеет официального

индекса. ДДТ даст начало целому семейству новых отечественных двигателей с тягой на взлете 8 — 18 тонн. Данный двигатель, головным разработчиком, которого является ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь), является турбовентиляторным двухконтурным двигателем нового поколения. Новые двигатели планируется устанавливать на перспективные Российские авиалайнеры, в том числе МС-21, а так же проводить модернизацию уже существующих, например ИЛ-96-400, ТУ-214 и др.

Создание перспективного двигателя потребовало привлечения всего имеющегося в стране научно-технического потенциала, в области авиационных материалов и двигателестроения. В программе создания двигателя участвуют: ОАО «Пермский моторный завод», ОАО «НПО «Сатурн», ОАО «УМПО», ОАО «НПП «Мотор», ОАО «Инкар», ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют», а так же институты ГНЦ РФ ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», ФГУП «ВИАМ», ОАО «ВИЛС», ОАО «ЛИИ им. Громова», ФГУП «ЦАГИ им. Жуковского» и др. (Рис.2)

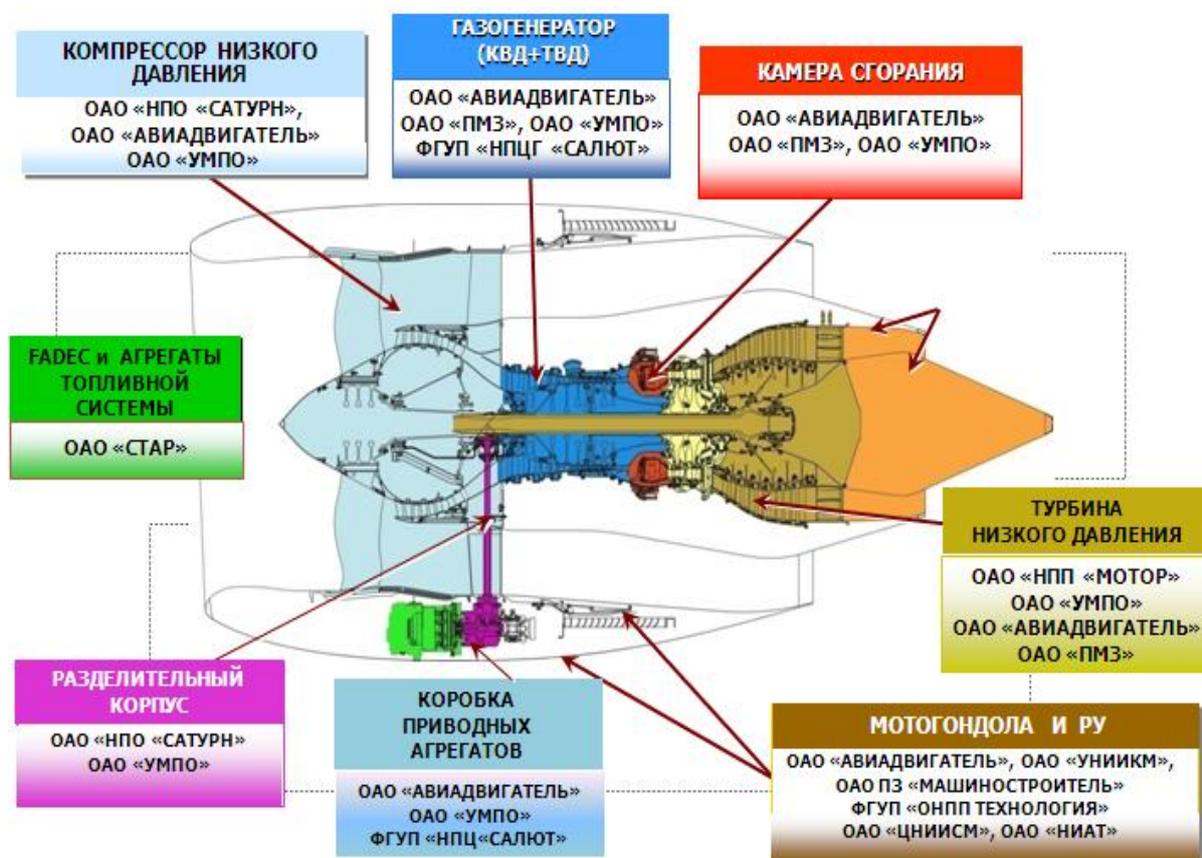


Рис. 2. Участие предприятий в создании ПД-14

Вкладываются значительные средства из федерального бюджета, которые идут в том числе и на подготовку производства, а так же технологического переоснащения предприятий участвующих в проекте. По заявлению ГНЦ РФ ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» новый перспективный двигатель по своим технико-экономическим показателям не уступает своим прямым конкурентам, среди которых PW1400G и PW1100G (Pratt & Whitney), а также Leap-1A и Leap-1B (General Electric и Snecma) (Рис.3).

Сравнение параметров базового двигателя ПД-14 и перспективных зарубежных ТРДД для БСМС

Параметры ТРДД	ПД-14 2-вальный ТРДД (ОДК)	PW1000G (GTF) 2-вальный редукторный ТРДД (PW)	RB285-70 3-вальный ТРДД (RR)	LEAP-X ГГ «Core1/«Core2» 2-вальный ТРДД (CFMI)
Диаметр вентилятора, мм	1900	2010	1830	1830
Взлетная тяга, $R_{взл}$ , тс	14,0	13,6	13,6	13,6
Степень двухконтурности, $m$	8,5	10	10	9/10
Суммарная степень сжатия в компрессоре $\pi_{12}^*$ в наборе	41,0	~ 42	40	35/50
Тяга на крейсерском режиме, $R_{кр}$ , кгс	2430	~ 2600	~ 2600	-
Удельный расход топлива, $C_p$ , кг/кгс.ч	0,526	0,52...0,53	~ 0,52	~ 0,53/0,51
Число ступеней в компрессоре	1+3+8	1+P+3+8	1+6+6	1+4+8/1+4+10
Число ступеней в турбине	2+6	2+3	1+1+6	1+(6...7)/2+(6...7)
Суммарное число ступеней ТК	20	17	21	20/24
Число валов	2	2 (вал на компрессорный редуктор)	3	2
Число подшипников	5	6	8	5
Масса силовой установки, кг	3780	~ 3800	3890	-
Целевой уровень снижения $NO_x$ отн. CAEP6	- 40 %	- 55 %		- 60 %
Целевой уровень запаса по шуму отн. Гл. 4	15 dB	20 dB		10...15 dB
Примечание: «Core1» - газогенератор по схеме «8+1» и $\pi_{12}^* = 15$ ; «Core2» - газогенератор по схеме «10+2» и $\pi_{12}^* = 22$ .				

Рис. 3. Сравнение параметров

При разработке двигателя ПД-14 и внедрении новых технологий учитываются интересы будущих заказчиков, тех, кто будет заниматься его эксплуатацией.

Целенаправленная работа по снижению себестоимости изготовления, затрат на техническое обслуживание и ремонт, обеспечению стабильности характеристик и высокой надежности двигателя, его топливной эффективности, снижению массы, шума и эмиссии вредных веществ гарантирует низкую стоимость жизненного цикла двигателя.

При реализации проекта параллельно с проектированием двигателя решаются вопросы создания современной и удобной для потребителей системы послепродажного обслуживания – максимально приближенной к клиенту ремонтно-технической базы, удобных логистических схем, предоставления наилучших гарантий и сервиса – всего того, что в связи с относительно малым количеством эксплуатирующихся самолетов отечественного производства полностью отсутствует и вызывает справедливые нарекания авиаперевозчиков.

Достигнутые на сегодня результаты дают нам уверенность, что ПД-14 будет конкурентоспособным не только по техническим характеристикам, но и по стоимости летного часа

Весной 2013-го состоялось значимое событие для проекта – подана заявка в АР МАК на получение сертификата типа двигателя ПД-14, а в конце года проект выйдет на этап международной сертификации в EASA.

В 2014 году будут начаты испытания двигателя ПД-14 на летающей лаборатории Ил-76 в ЛИИ имени Громова.

Реализация проекта « ПД-14» на базе широкой кооперации двигателестроительных предприятий и НИИ позволяет обеспечить высокую эффективность использования бюджетных средств. Государственные деньги вкладываются не только в разработку конкретного наукоемкого современного продукта – двигателя ПД-14, но и в реальное внедрение современных технологий проектирования, испытаний и производства, позволяющих существенно преодолеть технологическое отставание отечественного авиапрома и создать базу для его дальнейшего развития. Во-первых, есть гарантия, что эти технологии будут реально использованы при производстве востребованного конкурентоспособного продукта – двигателя ПД-14. Во-вторых, бюджетные деньги вкладываются в сильные стороны предприятий. Это минимизирует их риски освоения

новых компетенций – опираясь на свой практический опыт, они могут предупредить возможные ошибки и неудачи. В-третьих, поскольку участие в кооперации «отвлекает» только часть производственных мощностей предприятий, сохраняя их возможность получать доходы от реализации других продуктов, ни для одного кооперанта не возникает угрозы существенной потери прибыли на этапе первичных, всегда очень ограниченных по объему продаж двигателей и самолетов.

Такое распределение рисков между частным бизнесом и государством является оптимальным для достижения целей обеих сторон. Изменение сложившейся структуры реализации проекта неизбежно увеличит риски государства в очередной раз безрезультатно потерять уже вложенные в проект миллиардные средства.

Уверен, что реализация проекта создания ПД-14 станет примером успешного развития высокотехнологичного производства, основанного на отечественных конструкторских разработках и изобретениях.

Создание семейства перспективных двигателей на базе унифицированного газогенератора – блестящая возможность для России вернуть отечественное двигателестроение на мировой уровень, а для Объединенной двигателестроительной корпорации – шанс закрепиться в числе крупнейших мировых производителей газотурбинной техники.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор)/ Под общей редакцией д.т.н. В.А. Скибина, к.т.н. В.И. Солонина. 2004г.-стр.11
2. Журнал «Военное обозрение» статья «двигатель ПД-14-будущее российского авиапрома»
3. Материалы сайта <http://www.airwar.ru/>

### ОБ АВТОРАХ



**Аслямов Александр Андреевич**, магистрант каф. авиационных двигателей, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ 2012).

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

УДК 621.45.01

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

**Мусакаев М. И.**

Повышенный интерес к качеству в последние годы вызван требованиями рынка, определяющими главные цели и задачи в развитии современного промышленного производства. Основными из них являются: повышение качества, конкурентоспособности и экономичности выпускаемой продукции, повышение ее надежности, снижение себестоимости, материалоемкости и энергопотребления. Многолетний опыт разработки, изготовления и эксплуатации авиационных двигателей показывает, что характеристики

двигателей имеют разброс и отличаются от расчетных, часто в сторону ухудшения. Для устранения этих недостатков разброс входных факторов должен учитываться на всех этапах разработки и изготовления машины. Влияние этого разброса на выходные параметры противоречиво и имеет тенденцию к изменению с течением времени, что создает дополнительные трудности в повышении точности расчетов.

Для учета влияния погрешностей конструктивно-технологических факторов приходится без достаточных обоснований принимать запасы по всем показателям качества, что приводит к дополнительным экономическим затратам, вызванным увеличением материалоемкости или трудоемкости при необоснованно жестких допусках, а зачастую и к несоответствию показателей качества установленным требованиям стандартов.

Процесс производства не может обеспечить абсолютной тождественности всех выпускаемых двигателей по различным геометрическим и газодинамическим параметрам. Каждая партия двигателей имеет свою комбинацию значений геометрических, газодинамических параметров, находящихся в поле технологических допусков.

Процесс производства не может обеспечить абсолютной тождественности всех выпускаемых двигателей по различным геометрическим и газодинамическим параметрам. Каждая партия двигателей имеет свою комбинацию значений геометрических, газодинамических параметров, находящихся в поле технологических допусков.

В связи с этим для оценки стабильности качества выпускаемых двигателей, поведения их в эксплуатации возникает необходимость оценки закономерностей, определяющих характер и величину изменения результирующих параметров (устойчивости и надежности работы, тяги, расхода топлива, вибраций) от изменения составляющих параметров (зазоров, площадей, посадок) и выявления основных факторов, влияющих на неблагоприятное изменение какого-либо результирующего параметра.

Исходными материалами для корреляционного и регрессионного анализов служат результаты замеров различных геометрических параметров при сборке и ремонте, газодинамических параметров и основных данных - при испытаниях.

### **Уравнение регрессии**

Уравнение корреляционной зависимости, или уравнение регрессии, дает форму и численное выражение статистической зависимости результирующего параметра от составляющих параметров. Уравнение регрессии позволяет определять для каждого значения независимого переменного вероятное численное значение зависимого переменного.

В принципе уравнение регрессии может быть графически представлено на многомерной плоскости регрессии. Однако практически это может быть выполнено для двух- и трехмерных корреляционных зависимостей. Корреляционные зависимости могут выражаться прямой или плавной кривой линиями. Степень точности приближения принятой формы модели корреляционной зависимости к истинной (в некоторых случаях - теоретической) форме зависимости зависит от объема статистической информации и существенности влияния неучтенных параметров.

Поэтому получаемые расчетом по статистическим данным коэффициенты уравнения регрессии всегда нуждаются в оценке точности и надежности их определения. Наибольшую трудность в корреляционно-регрессионном анализе статистических данных составляет правильный выбор формы уравнения регрессии. Неправильный выбор формы уравнения регрессии может сказаться в ряде случаев на степени адекватности принятой модели истинному характеру зависимости.

Для авиационного двигателя трудно в явной форме найти такой результирующий параметр, изменение которого было бы следствием воздействия одного определяющего параметра. Как правило, на изменение результирующего параметра влияет ряд определяющих параметров. Так, например, располагаемый запас устойчивой работы компрессора двигателя зависит от величины зазоров, фактических установочных

углов лопаток и др.

Однако в ряде случаев один параметр является доминирующим по своему воздействию на результирующий параметр. В таких случаях можно вести корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязи, результирующего параметра от одного определяющего параметра. Так определение уточняющих коэффициентов к формулам приведения по статистическим данным целесообразно вести по совокупному влиянию на результирующий параметр (например, тягу) и температуры, и влажности наружного воздуха. Получить с большой достоверностью степень воздействия влажности на результирующий параметр по статистическим данным не представляется возможным. Поскольку влажность находится в известной связи с температурой наружного воздуха, то, благодаря такому способу, может быть определено значение уточняющего коэффициента к формулам приведения и по температуре и по влажности воздуха.

Кроме того, можно дополнительной обработкой статистического материала получить в конечном итоге такую информацию, анализ которой представляется возможным и целесообразным вести простейшим путем - применением двумерных корреляционно-регрессионных моделей.

Даже в условиях установившегося серийного производства абсолютной тождественности одноименных деталей всех от двигателя к двигателю практически невозможно. Возникают различия деталей разных двигателей по размерам, конфигурации поверхности и др. При сборке неизбежны дополнительные различия по осевым и радиальным зазорам, площадям проходных сечений и другим характерным факторам. Все это приводит к тому, что для серийно выпускаемых двигателей допускается определенный разброс основных данных, различных газодинамических параметров и геометрических размеров.

Существование различий элементов двигателя приводит к необходимости иметь определённые регулировочные элементы для того, чтобы с их помощью обеспечить контролируемые параметры в пределах допусков. Например, в качестве таких регулировочных элементов для основных данных, параметров по газо-воздушному тракту являются; величина площади сопловых аппаратов турбины и реактивного сопла, установочных углов лопаток направляющих аппаратов компрессора и др.

В процессе отладки двигателей соответствующим подбором значений регулировочных элементов обеспечиваются необходимые основные данные и определённые значения параметров по тракту. По полученной при таких условиях информации не выявляется статистическая взаимосвязь между параметрами, но после приведения к одинаковым значениям регулировочных элементов информации, статистическая взаимосвязь рассматриваемых параметров становится явно выраженной (см. рис. 1).

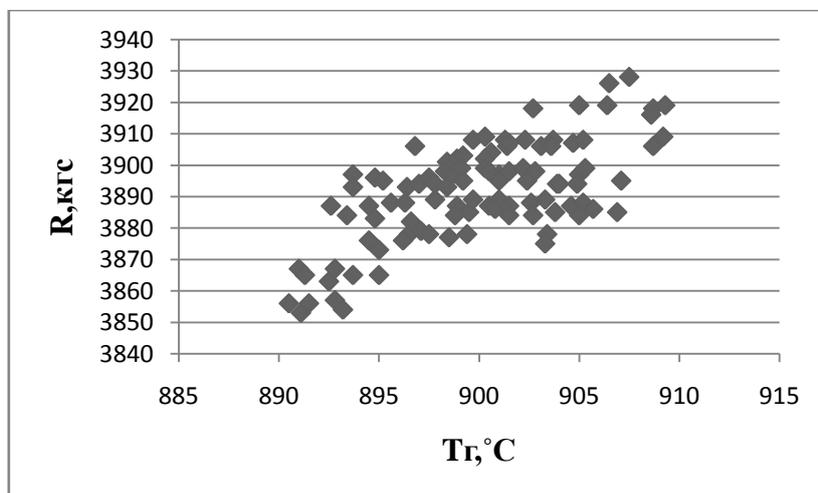


Рис. 1. Статистическая зависимость тяги от температуры газов перед турбиной

Для любого типа авиационных двигателей можно установить многомерные корреляционные связи между большим числом результирующих параметров, определяющих например, основные данные (тягу, мощность, удельный расход топлива), надежность и устойчивость работы (запас устойчивой работы компрессора, форсажной камеры, виброускорения корпусов двигателя) и составляющими параметрами (величинами параметров рабочего процесса, геометрическими параметрами в виде площадей, зазоров, посадок). Иногда может вызвать трудность правильное и достаточно полное выявление всех определяющих параметров, необходимых для анализа, и недостаточная статистическая информация по отдельным составляющим параметрам, связанная, как правило, с тем, что контроль некоторых составляющих параметров производится по соответствию их технологическим допускам, без указания конкретной величины составляющего параметра для каждого двигателя.

Исследование влияния качества изготовления двигателя на параметры контролируемые в процессе стендовых испытаний позволит координировать реальный процесс в сторону улучшения стабильности качества двигателей и оптимизировать достижение заданного качества при минимальных затратах на производство.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин М.А., Ройтман А.Б. Корреляционно-регрессионный анализ статистических данных в двигателестроении. М., «Машиностроение», 1974 - 124 с.
2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М., «Советское радио», 1962 - 552 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Мусакаев Максим Ильдарович**, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ 2012). Исследования в области совершенствования лабиринтных уплотнений в опорах компрессоров авиационных ГТД.

e-mail: [mmaks33@ gmail.ru](mailto:mmaks33@gmail.ru)

УДК 621.45.01

### ПРОБЛЕМА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ГАЗА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

**Смородникова А. В.**

С каждым новым поколением авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) растут параметры рабочего цикла и, прежде всего температура газа перед турбиной, которая достигает 1700...1850К. Поэтому создание новых поколений авиационных ГТД связано с разработкой высокотемпературного газогенератора, реализующего эффективный рабочий процесс двигателя.

Одним из условий, необходимых для обеспечения конкурентоспособности отечественных ГТД, является повышение ресурса основных узлов. Для удовлетворения требованиям ресурса камеры сгорания и турбины, необходимо проведение полного комплекса расчетно-экспериментальных работ, включающих в себя оптимизацию

распределения воздуха по сечению камеры сгорания, проектирование системы охлаждения стенок жаровых труб, доводочные работы для обеспечения заданного уровня радиальной и окружной неравномерности поля температур газа на выходе из камеры сгорания при условии обеспечения других характеристик, таких как полнота сгорания, потери полного давления, запасы по бедному и богатому срыву пламени, характеристики запуска [1].

### **Температурное состояние турбины**

Повышение эффективности проектирования турбины тесно связано с исследованием ее температурного состояния. Для того чтобы детали турбины, в частности лопатки, выдерживали высокие температурные нагрузки, разрабатывают жаропрочные и жаростойкие сплавы, а также различные конструктивные схемы охлаждения.

Рабочие и сопловые лопатки турбины работают в постоянном соприкосновении с высокотемпературным газом, при этом, необходимо учитывать, что допустимая температура сплавов лопаток ниже рабочих температур газа на 200...500С. Обеспечение надежности рабочих лопаток, наиболее трудно достичь в турбине высокого давления. Они, помимо термической усталости, подвержены вибрации, газовой коррозии, эрозии, воздействию центробежных сил. С учетом всего этого, для надежной работы средняя температура металла лопаток не должна превышать 900...1000С.

Помимо лопаток, газовому воздействию подвергаются: корпуса, ободная часть дисков, лабиринты и другие, менее нагруженные детали. Для обеспечения их надежной работы в течение всего заданного ресурса применяются:

- специальные жаропрочные, жаростойкие и коррозионно-стойкие сплавы;
- изготовление лопаток методом направленной кристаллизации или из монокристалла;
- покрытия для повышения жаростойкости материала;
- металлические многокомпонентные покрытия для повышения коррозионной жаростойкости материала;
- теплозащитные покрытия из керамических материалов с низкой теплопроводностью для снижения теплового потока в металл лопатки;
- различные схемы воздушного охлаждения.

Наиболее популярной системой охлаждения, является схема открытого воздушного охлаждения. Для охлаждения турбины используется воздух, отбираемый за компрессором высокого давления, компрессором низкого давления или из-за вентилятора.

Существуют способы, которые позволяют уменьшить расход воздуха, необходимого для охлаждения: формирование оптимальной радиальной эпюры температуры газа за камерой сгорания, уменьшение окружной неравномерности температур за камерой сгорания и др.

### **Температурное поле перед турбиной.**

Температура перед и за турбиной изменяется не только по радиусу, но и по окружности. Чаще всего это возникает по причине: неравномерной подачи топлива через форсунки, неравномерных полей скоростей воздуха, отклонения от нормального процесса горения. Помимо этого, неравномерность может изменяться в зависимости от режима работы двигателя. Отмечается также нерегулярность поля температур газа, т.е. в одной и той же точке измерения при неизменном режиме работы двигателя температура газа во времени изменяется по произвольному закону. Это объясняется непостоянной подачей топлива в двигатель и большой турбулентностью потока воздуха.

Снижение окружной неравномерности позволяет увеличить значение среднemasсовой температуры газа перед турбиной и тем самым повысить мощность и КПД газотурбинной установки. Профиль температур должен быть согласован с уровнем напряжения в лопатках турбины, чтобы обеспечить требуемый ресурс работы лопаток. Установлено, что повышение температуры газа в некотором локальном радиальном сечении лопаток турбины всего на 28 °C сможет уменьшить рабочий ресурс лопаток на 50%

или потребовать повышения на 0,5% расхода воздуха для охлаждения турбины, чтобы ресурс остался неизменным. Вместе с тем, увеличение на 1% расхода воздуха на охлаждение турбины снижает взлетную тягу ГТД на 2,25%. [1]

Неравномерность поля температур на выходе из камеры сгорания определяется большим количеством факторов — неравномерностью полей скоростей воздуха в диффузоре и кольцевых каналах камеры сгорания, количеством воздуха, подаваемого в зоны смешения и разбавления, геометрией камеры сгорания, характеристиками распыла топлива, рабочим режимом и пр. Факторы являются взаимовлияющими, а это затрудняет оценку вклада каждого из них. Поэтому для решения задачи связанной с уменьшением неравномерности поля температур на выходе из камеры сгорания требуется инструмент, предоставляющий возможность оценить влияние каждого из конструктивных и режимных параметров, а также их возможных сочетаний.

#### **Методики отладки температурных полей**

Достигнуть существенного влияния на температурное поле, можно с помощью разработки различных методик отладки. Одной из наиболее перспективных можно считать методику регулирования, суть которой заключается в изменении подачи топлива в камеру сгорания. Это можно осуществить с помощью регулирования подачи топлива в каналах форсунки и изменения площади ее сопла. В настоящее время на большинстве современных ГТД в основных камерах сгорания находят широкое применение многофорсуночные схемы подачи топлива с применением двухконтурных двухсопловых центробежных форсунок. Необходимо отслеживать, как каждая форсунка влияет на общую картину неравномерности, нужно найти связь подачи топлива из каждой форсунки со скачком температуры на выходе из камеры сгорания. Тем самым, температура будет выравниваться как в самой камере сгорания, так и перед турбиной. Данная методика должна работать на различных режимах работы двигателя, чтобы быть достаточно эффективной.

Для реализации методики, необходима точная 3D модель камеры сгорания и турбины. Необходимо производить совместный расчет ступени турбины и камеры сгорания, с заданием граничного условия на выходе в диффузор. За счет этого появится возможность получить представление о параметрах турбулентности на входе в турбину. Модель позволит при минимальных временных и материальных затратах, оптимизировать температурное поле и сравнивать с экспериментальными данными.

Для наиболее полного анализа течения вблизи охлаждаемых поверхностей, можно использовать метод математического маркирования воздуха. Он основан на возможности задавать, при численном анализе, набор газов, отличающихся только названием, но не физическими свойствами. Это позволяет применять метод для исследования формирования пленки вблизи охлаждаемых поверхностей, не опасаясь получения дополнительной погрешности. Метод анализа на основе математического маркирования, расширяет понимание распределения потоков воздуха и газа, что позволит улучшить качество методики отладки температурного поля.

Для точного анализа температуры в двигателе, необходимы современные методы ее измерения. Измерить температуру в двигателе достаточно трудно. Для ее измерения используют прямые и косвенные методы. К прямым методам можно отнести датчики температуры, обычно используются термпары. При измерениях температуры газов на выходе из турбины количество датчиков, которые должны располагаться в центрах равновеликих площадей, должно выбираться с учетом неравномерности температур таким образом, чтобы погрешность усреднения, не приводила к увеличению общей погрешности измерения температуры сверх указанной допустимой величины.

Косвенный метод заключается в измерении различных параметров, таких как частота вращения, на основе которых, быстродействующие вычислительные устройства определяют температуру. Но такому способу свойственна достаточная погрешность.

Рассчитать относительную радиальную неравномерность за камерой сгорания

можно следующим способом:

$$\theta = \frac{T_{г \text{ макс}} - T_{г \text{ ср}}}{T_{г \text{ ср}} - T_{в}} \cdot 100\% \theta = \frac{T_{г \text{ макс}} - T_{г \text{ ср}}}{T_{г \text{ ср}} - T_{в}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $T_{г \text{ макс}}$  – максимальная измеренная температура продуктов сгорания, К;

$T_{г \text{ ср}}$  – средняя температура продуктов сгорания, К;

$T_{в}$  – температура воздуха за компрессором, К.[2]

Неравномерность является существенной проблемой, она влияет на ресурс лопаток турбины и ее основных деталей, приводит к различным поломкам, прогарам, термоусталостным трещинам, высокотемпературному окислению. А так как лопатка турбины, является сложной и дорогостоящей деталью, и ее изменение может привести к неустойчивой работе двигателя, отправки его в ремонт и уменьшение ресурса, проблему отладки температурных полей необходимо решать с помощью новых современных методов.

Скачок температуры и неравномерное поле, могут приводить к серьезным поломкам двигателя, которые ведут к падению летательного аппарата. Так произошло с вертолетом Ми-8В МТВ-1, разбившимся 18 декабря 2007 года в Республике Конго. Комиссия по расследованию выявила, что происшествие произошло из-за отказа левого двигателя, вследствие разрушения турбины, в которую попала лопатка. Отрыв лопатки произошел по причине неравномерного поля температур перед сопловым аппаратом.

Неравномерное поле температур, может привести не только к серьезной поломке двигателя, но и человеческим жертвам, поэтому необходимо разрабатывать новые современные методы решения этой проблемы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрашкин В.Ю. Формирование полей температуры газа на выходе из камер сгорания малоразмерных ГТД, 2006 - 162 с.
2. Антоновский В.И., Пеков А.П., Полищук В.Г., Хайрулин С.М. «Натурные испытания камеры сгорания энергетической ГТУ» электронный журнал «Исследовано в России» от 2004.
3. Межгосударственный Авиационный комитет. Комиссия по расследованию авиационных происшествий. «Окончательный отчет по результатам расследования авиационного происшествия вертолета Ми-8В МТВ-1», 2008 – 45 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Смородникова Алевтина Владимировна**, дипл. бак. техники и технологии по направлению авиа- и ракетостроение (УГАТУ 2012). Исследования в области совершенствования лабиринтных уплотнений в опорах компрессоров авиационных ГТД.

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

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА****Жеребило В. Ю., Сеньюшкин Н. С., Рожков К. Е.**

Необходимо ли развивать альтернативную энергетику в России? Ресурсы полезных ископаемых планеты ограничены, их запасов на нужды теплоэнергетики хватит максимум на 100 лет. Спрос в энергоресурсах постоянно растет и к 2020 году, он вырастет на 70 %, возникает вопрос как избежать дефицита энергетических мощностей? По расчетам Минэкономразвития России, 80-85% прироста потребности России в энергии должно быть покрыто за счет повышения энергоэффективности экономики страны. На эти цели Минэнерго планирует до 2015 г. направить из бюджета порядка 630 млрд руб., что позволит приблизить энергоемкость российской экономики к европейским стандартам[1].

Одним из направлений повышения энергетической эффективности является развитие альтернативной энергетики. Традиционная энергетика наносит экологический вред химическими, тепловыми, радиоактивными загрязнениями. Используя возобновляемые источники энергии, можно решить эту экологическую, климатическую проблемы. Также внедряя станции, работающие на альтернативном топливе, можно увеличить экономическую эффективность.

На территории России располагается большое количество, удаленных от центра, районов. Строительство ТЭС, ГРЭС, АЭС на этих территориях экономически не выгодно, так же как и завоз топлива в районы, где располагаются, к примеру, дизельные электростанции. Транспортировка топлива в республику Саха в 2007 году обошлась в 1,2 млрд рублей[1]. Наиболее выгодным решением этой проблемы является установка на этих территориях электростанций, базирующихся на альтернативных источниках энергии. Еще одним положительным качеством возобновляемых источников энергии является их использование в качестве компенсации потерь в энергосетях, которые могут достигать 30%. Переход на альтернативные технологии в энергетике позволит сохранить топливные ресурсы страны. Цены на альтернативную энергию снижаются, в то время как на традиционную постоянно растут. Это связано с тем, что стоимость установок, работающих на альтернативном топливе, постоянно снижается ввиду технического и технологического прогресса, также значительно снижают стоимость возобновляемых источников энергии налоговые льготы для данного вида энергии. В традиционной энергетике учитываются затраты на сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, что соответственно приводит к завышению стоимости энергии, производимой из ископаемого топлива, также учитываются расходы на топливо. В этом заключается экономическая выгода альтернативной энергетики в отличие от традиционной.

В России есть необходимые природные ресурсы для развития альтернативной энергетики. По имеющимся оценкам, потенциал возобновляемых источников энергии в России составляет около 4,6 млрд т условного топлива в год, то есть в пять раз превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов России.

Значимыми альтернативными источниками энергии для России являются энергия солнца, ветра и приливов, а также геотермальная и био- энергии.



**Рис. 1.** Структура возобновляемых источников энергии в России [10]

Энергия солнца. Достоинствами гелио-станций являются: экологическая чистота, бесшумность и легкая заменяемость отработанных пластин, недостатками - непостоянный объем производства и необходимость больших площадей для установки батарей. Солнечный коллектор (плоский, вакуумный, воздушный, коллектор-концентратор и др.) — устройство для сбора тепловой энергии Солнца. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала – теплоносителя. Обычно применяются для нужд горячего водоснабжения и отопления помещений. В России введена в эксплуатацию солнечная электростанция для продажи электроэнергии в сеть. Система состоит из поликристаллических солнечных батарей мощностью 50 кВт и аморфных солнечных панелей такой же мощности. Расчетная производительность данной станции - 133390 кВтч в год. Установлена солнечная электростанция в Белгородской области (Яковлевский район, хутор Крапивенские дворы)[2].

Компания Snow Lizard Products, создала защитный чехол SLXtreme 4 с фотоэлектрическим элементом на задней стороне телефона, который позволяет заряжать аккумулятор телефона от солнечной энергии. Другую интересную разработку предложила компания Voltatic Systems. Это рюкзак с солнечной панелью, установленной на его внешней части. Создатели обещают, что с помощью него можно будет заряжать камеры, мобильные телефоны, планшеты — любые устройства, имеющие USB-вход. Час на солнце с таким рюкзаком обеспечит до 75 минут работы телефона в разговорном режиме.

Стоимость солнечных элементов составляет 2,5-3 долл/Вт при стоимости электроэнергии 0,25-0,56 долл/кВт.ч. Солнечные энергосистемы заменяют керосиновые лампы, свечи, аккумуляторы, а при значительном удалении от энергосистемы и малой мощности нагрузки - дизельные электрогенераторы и линии электропередач.

Если рассматривать ветроэнергетику, то наиболее выгодными участками для расположения ветряков, являются береговые линии, здесь сильный перепад температур и более сильный устойчивый ветер. На территории России такими характеристиками обладают прибрежные районы крайнего Севера и побережья северных и восточных морей на всем протяжении от Мурманска до Приморья. В Туймазинском районе Республики Башкортостан, д.Тюпкильды, смонтированы 4 ветротурбины мощностью по 550 кВт и скреплены в 1 агрегат с крыльями-лопастями по 19 метров[3].

Главным недостатком ветроэнергетики наряду с изменчивостью скорости ветра является низкая интенсивность, что требует значительной территории для размещения ветровой установки. Также к недостаткам относятся: низкая плотность энергии, приходящейся на единицу площади ветрового колеса; непредсказуемые изменения скорости ветра в течение суток и сезона, требующие резервирования ветровой станции или аккумуляирования произведенной энергии; отрицательное влияние на среду обитания

человека и животных, на телевизионную связь и пути сезонной миграции птиц.[9] Выделим основные достоинства ветроэнергетики: отсутствие влияния на тепловой баланс атмосферы Земли, потребления кислорода, выбросов углекислого газа и других загрязнителей, возможность преобразования в различные виды энергии (механическую, тепловую, электрическую).

Классификация ветрогенераторов. Существуют классификации по количеству лопастей, по материалам, из которых они выполнены, по оси вращения и по шагу винта.

- по количеству лопастей: двухлопастные, трёхлопастные и многолопастные ветрогенераторы. Многолопастные ветряки действительно начинают вращаться на меньших скоростях, чем двух- и трёхлопастные, но для выработки электроэнергии требуется и важен не сам факт вращения, а выход на нужные обороты. Каждая дополнительная лопасть увеличивает общее сопротивление ветроколеса, а это усложняет выход на рабочие обороты генератора, увеличивая необходимую рабочую скорость ветра. Таким образом, многолопастные ветрогенераторы действительно будут начинать вращаться при меньших скоростях, но они больше применимы, где важен сам факт вращения, то есть для перекачки воды или других подобных действий. При применении же для выработки электроэнергии многолопастных ветряков, они создают лишь видимость работы. Установление же редукторов не рекомендуется, так как, во-первых, усложняет конструкцию ветрогенератора, делает его менее надёжным, и, во-вторых, редуктор будет забирать мощность[8].

- по материалам лопастей: жёсткие лопасти ветрогенератора, парусные ветрогенераторы Парусные лопасти действительно стоят значительно меньше жёстких стеклопластиковых и металлических, проще в изготовлении. Но это дешевизна может обернуться большими расходами. При диаметре ветроколеса в 3 метра на рабочих оборотах генератора (400-600 оборотов в минуту), конец лопасти движется со скоростями в 500 км/ч. Даже в идеальных условиях это серьёзное испытание, а если учесть что в воздухе постоянно есть пыль и песок, то даже для жёстких лопастей требуются ежегодное обслуживание (замена антикоррозийной плёнки на концах лопастей). Без обслуживания жёсткая лопасть продолжит работать, чуть потеряв в своих характеристиках. Для парусной же лопасти может потребоваться полная замена не через год, а уже после первых сильных ветров. Поэтому для автономного электроснабжения, где требуется значительная надёжность компонентов системы, применение парусных лопастей не рекомендуется.

- по рабочей оси вращения: горизонтальные ветрогенераторы ,вертикальные ветрогенераторы. Вертикальные ветрогенераторы действительно учитывают порывы, не требует ориентирования по ветру, но любой вертикальный ветрогенератор обладает рабочей площадью поверхности в два раза меньшей, чем у классического горизонтального ветрогенератора с такой же площадью ветроколеса. Это значит, чтобы получить такую же мощность потребуются ветряк в два раза больший. Кроме того большое количество лопаток, а также часть ветроколеса в каждый момент времени движется против ветра. Это значительно увеличивает сопротивление ветроколеса, что увеличивает рабочую скорость ветра. С учетом, что для ориентирования горизонтального ветрогенератора достаточно флюгера, то вертикальный ветрогенератор для автономного электроснабжения теряет все преимущества[8].

- по шагу винта: фиксированный шаг винта, изменяемый шаг винта. Изменяемый шаг винта, безусловно, позволяет увеличить диапазон эффективных скоростей работы. Но внедрение этого механизма неизбежно ведёт к усложнению конструкции лопасти, уменьшению общей надёжности ветрогенератора, утяжелению ветроколеса, а значит, будут требоваться дополнительные усиления конструкции. Всё это приводит к удорожанию всей системы, как при покупке, так и при эксплуатации[8].

Стоимость 1 кВт/ч 'ветряного электричества' с учетом расходов на покупку, установку и эксплуатацию соответствующего оборудования в России составляет от 6 до 18 рублей в зависимости от регионов.

Приливная энергетика использует океанские и морские приливы и отливы. Доминирующим преимуществом ПЭС на сегодняшний день является доступная себестоимость энергии и экологичность. Самые большие приливы на территории России наблюдаются в Охотском море - в Пенжинской губе до 17 метров, в Гижигинской губе до 13 метров. В Мезенской губе Белого моря - до 10 метров. Приливы в Балтийском и Черном морях измеряются лишь сантиметрами, поэтому строительство ПЭС здесь нецелесообразно[4]. По экономическим показателям ПЭС сопоставимы с речными гидроэлектростанциями (ГЭС), в 2,5-3,5 раза выгоднее солнечных электростанций, и на 10 % экономичнее атомных электростанций (АЭС).

Геотермальная энергетика предполагает использование тепла земной коры в тех местах, где это экономически целесообразно. Преимущества геотермальных электростанций:

- Запасы геотермальной энергии велики, но не являются бесконечными. Её можно считать возобновляемой.

- Геотермальная электростанция для работы не требует поставок топлива из внешних источников.

- Экологическая выгодность: работа геотермальных электростанций не сопровождается вредными или токсичными выбросами, то есть является экологически безопасной.

- Помимо необходимого для первого старта насоса (насосов или) внешнего источника энергии, геотермальным электростанциям для дальнейшей работы внешняя энергия (топливо) не нужна.

- Экономическая выгодность: эксплуатация геотермальной электростанции не требует дополнительных расходов, кроме расходов на профилактическое техобслуживание или ремонт.

- Обычная геотермальная электростанция, расположенная на берегу моря или океана, может применяться и для опреснения воды, которую затем можно использовать для питья или ирригации. Опреснение происходит естественным путем в результате дистилляции - разогрева воды и охлаждения водяного пара в процессе работы электростанции.

Биоэнергетика. Биомассой называют различные образующиеся в процессе фотосинтеза энергоносители растительного происхождения. В России получение энергии из биомассы целесообразно организовывать в Черноземье, Краснодарском крае, центральной России и на юге Сибири.

Преимущества биотоплива:

- всегда есть.

- нет нужды добывать.

- при разложении выделяющиеся вещества полностью утилизируются либо в безобидные (не отравляют среду), либо сгорают с выделением тепла.

- являются продуктами сельскохозяйственной деятельности

- низкая цена

Недостатки биологического топлива.

- уничтожение лесов нанесет очень большой вред окружающей среде.

- если выращивать большое количество разнообразных растений для производства, то это может привести к истощению плодотворности нашей планеты.

Что же уже достигнуто Россией в развитии альтернативной энергии? В сфере ветроэнергетики на северо-западе России работают ВЭС в поселке Куликово Калининградской области (мощность 5,1 МВт)[5], ВЭС ООО «Красное» в Ленинградской области (75 кВт), ВЭС ЗАО «Ветроэнерго» в Мурманской области (200 кВт) и ВЭС в

Коми «Воркутинских электросетей» (1,2 МВт). В центре и на юге страны - Морпосадская ВЭС в Чувашии (200 кВт), Калмыцкая ВЭС (1,0 МВт), Маркинская ВЭС в Ростовской области (300 кВт). На северо-востоке России - Чукотская ВЭС (2,5 МВт) и ВЭС «Южных сетей» в селе Никольское на Камчатке (500 кВт). Суммарная установленная мощность ветровых электростанций в стране на 2009 год составляет 17-18 МВт.

В сфере геотермальной энергетики три ГеоЭС работают на Камчатке - Паужетская (установленная мощность 12 МВт), Мутновская и Верхне-Мутновская (суммарная мощность 60 МВт).

В сфере приливной энергетики на территории Мурманской области, в Кислой губе Баренцева моря, работает Кислогубская ПЭС, являющаяся одновременно научной базой НИИ энергетических сооружений (НИИЭС)[6]. В Архангельской области проектируется Мезенская ПЭС мощностью 11,4 ГВт, часть энергии она сможет передавать в зарубежную Европу. КПД ее ортогональных турбин (это новая российская разработка) - 63 %, что в два раза больше, чем у зарубежных аналогов. На Камчатке будут построены две мощные ПЭС, способные поделиться электроэнергией с энергодефицитными районами Юго-Восточной Азии. Мощность Тугурской ПЭС, что близ Николаевска-на-Амуре, составит 8 ГВт, а расположенной в Пенжинском заливе Пенжинской ПЭС - 87 ГВт [7].

#### Заключение.

Использование возобновляемых источников энергии не только приносит пользу людям, но и не наносит ущерба природе. Развитие альтернативной энергетики не стоит на месте. Сегодня многие автоконцерны занимаются созданием гибридов и машин, работающих на альтернативных источниках энергии, к примеру, на солнечной. Рекорд скорости для автомобиля, работающего исключительно на солнечных батареях, — 88 км/ч; он принадлежит модели Sunswift из Университета Нового Южного Уэльса. В 2006 году появился первый серийный автомобиль, получающий энергию от солнца — его выпустила французская фирма Venturi. Вес экоконцепта Venturi Astrolab составил всего 300 кг, он был выполнен из лёгких композитных материалов. Автономный ход автомобиля весьма невысок, всего 110 километров, а максимальная скорость — 120 км/ч. Автомобильная компания Toyota выпустила автомобиль с батареями на крыше, который движется исключительно за счет солнечной энергии.

По оценкам экспертов около 25% потребляемых в России первичных энергоресурсов могут быть экономически обоснованно замещены с использованием технологий нетрадиционной возобновляемой энергетики (не включая крупную гидроэнергетику), что составит около 270 миллионов тонн условного топлива ежегодно.

Рассмотрим динамику и планы развития альтернативной энергии: Российский рынок обладает большим потенциалом в области развития возобновляемой энергетики, в настоящее время принимаются определенные меры по развитию этого вида энергетики и повышению энергоэффективности.

В таблице отражен объем выработки энергии в 2007г. с помощью альтернативных технологий в сравнении с аналогичным показателем 2003г. и сделаны прогнозы до 2017г.

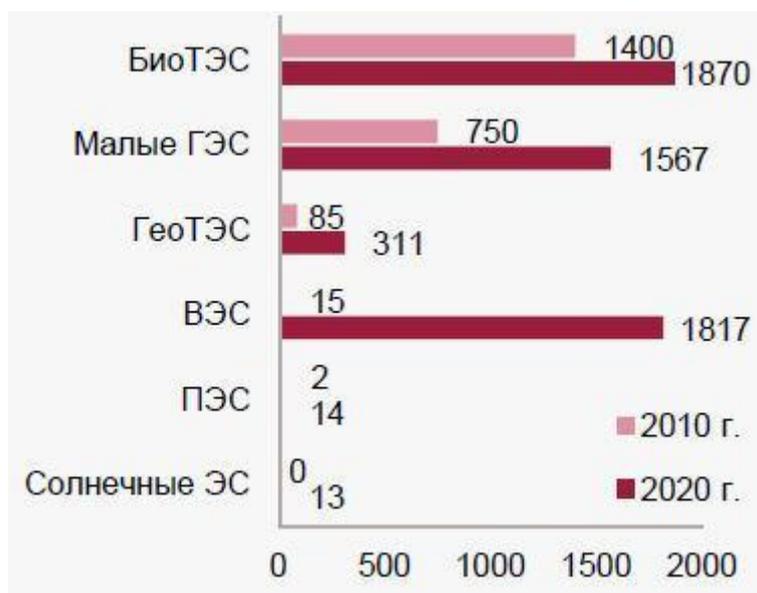
В 2010 году распоряжением Правительства Российской Федерации была разработана программа, по которой доля возобновляемых источников энергии к 2020 году будет составлять: 2010 год — 1,5%, 2015 год — 2,5%, 2020 год — 4,5%.

**Таблица 1.**

#### **Объем выработки энергии альтернативными источниками (Источник — Clean Edge)**

	2003	2007	2017
Солнечные установки	620 МВт	2821 МВт	22760 МВт
Ветряные установки	8000 МВт	20060 МВт	75781 МВт
Биотопливо	7 млрд.галлонов	15,6 млрд.галлонов	45,9 млрд.галлонов

Однако на 2010 год суммарная установленная мощность электростанций на базе нетрадиционных ВИЭ составляла лишь 2,25 ГВт, или около 1% от установленной мощности электростанций России. Наибольшие объемы установленной мощности приходятся на БиоТЭС – 1400 МВт, малые ГЭС – 750 МВт и ГеоТЭС – 85 МВт. При этом, такие популярные и активно развивающиеся в мире направления альтернативной энергетики, как ветряная и солнечная энергетика, на данный момент в России значительно отстают в своем развитии. В России ещё нет таких законов, которые бы регулировали возобновляемую энергетику и стимулировали ее развитие. Также альтернативная энергетика на данный момент времени довольно дорога по сравнению с традиционной, так как производители выпускают установки партиями в небольших количествах и соответственно являются очень дорогостоящими.



**Рис. 2.** Установленная мощность нетрадиционных источников ВИЭ в России на 2010 г. и целевая установленная мощность на 2020 г., МВт [10].

### Вывод

Альтернативная энергетика-это совокупность перспективных способов получения, передачи и использования энергии. Она представляет интерес в развитии из-за выгоды использования, а также экологической безопасности. Тем не менее развитие альтернативной энергетики на данном этапе сопряжено с тщательным анализом размещения производственных мощностей в целях наиболее полного использования потенциала географического расположения и насыщенности его тем или иным возобновляемым энергоресурсом. Кроме того, без общественной и государственной поддержки, развитого субсидирования и усовершенствования материально-технической базы в совокупности с научными разработками, альтернативной энергетике будет достаточно сложно конкурировать с традиционной, в разы превышающей ее по мощностям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.verdit.ru/finansing/4357-why-does-russia-need-alternative-energy.html> [Электронный ресурс].
2. [http://www.memoid.ru/node/Alternativnaya\\_energetika\\_v\\_Rossii#.D0.94.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.B8.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D1.8F](http://www.memoid.ru/node/Alternativnaya_energetika_v_Rossii#.D0.94.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.B8.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D1.8F) [Электронный ресурс].
3. <http://remont-chelyabinsk.ru/novosti-otrasli/vetrovaya-elektrostantsiya-tiunkildi> [Электронный ресурс].

4. «Известия» - 2007. - 15 июня
5. ОАО «РусГидро». История ветроэнергетики: статья
6. ОАО «РусГидро». НИИЭС: Общие сведения: статья
7. <http://memoid.ru> [Электронный ресурс].
8. <http://www.vevivi.ru/best/Vetrovaya-yenergetika-ref228060.html> [Электронный ресурс]
9. Ветроэнергетика/ Под ред. Д. Рензо. - М.: Энергоатомиздат, 1982г.
10. <http://www.avanturist.org/> [Электронный ресурс]

#### ОБ АВТОРАХ



Фото

**Жеребило Виктория Юрьевна**, студент гр. ТЭТ-301, факультет авиационных двигателей (УГАТУ)  
e-mail: [yika\\_zherebilo@mail.ru](mailto:yika_zherebilo@mail.ru)



Фото

**Сенюшкин Николай Сергеевич**, доцент каф. АТиТ, с.н.с. НИЛ САПР-Д, Зам. Декана ФАД. Диплом инж. по авиац. двигателям и энер. уст. (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепл., электроракент. двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009).  
e-mail: [aviastar-ufa@mail.ru](mailto:aviastar-ufa@mail.ru)



Фото

**Рожков Кирилл Евгеньевич**, ассистент каф. АТиТ, м.н.с. НИЛ САПР-Д, Диплом инж. по авиац. двигателям и энер. уст. (УГАТУ, 2009).

УДК 623

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТРЕБИТЕЛИ XXI ВЕКА

**Сенюшкин Н. С., Салимова И. И.**

Идея создания истребителя нового поколения появилась в СССР и США одновременно в конце 80-х. В статье рассмотрен обзорный и аналитический материал по данной тематике на основе открытых отечественных и иностранных источников.

Самолет должен был иметь крейсерскую сверхзвуковую скорость, малозаметность, мощную радарную систему, обеспечивающую всеракурсный обзор, компьютерный "мозг", управляющий полетом и ведением боевых действий, а также "прощающий" летчику все ошибки.

В настоящее время принят на вооружение только американский F-22 Raptor. Прежде всего следует отметить, что F-22А вобрал в себя наиболее передовые черты истребителей четвертого поколения.

Это интегральная аэродинамическая компоновка - плавное сопряжение крыла и фюзеляжа, повышающая несущие свойства и позволяющая максимально использовать внутренние объемы (F-16, Су-27, МиГ-29).

Применение РЛС с фазированной антенной решеткой, что дает возможность обстреливать ракетами одновременно несколько целей (МиГ-31).

Увеличение дальности и продолжительности полета на внутреннем запасе топлива

без дозаправки (Су-27).



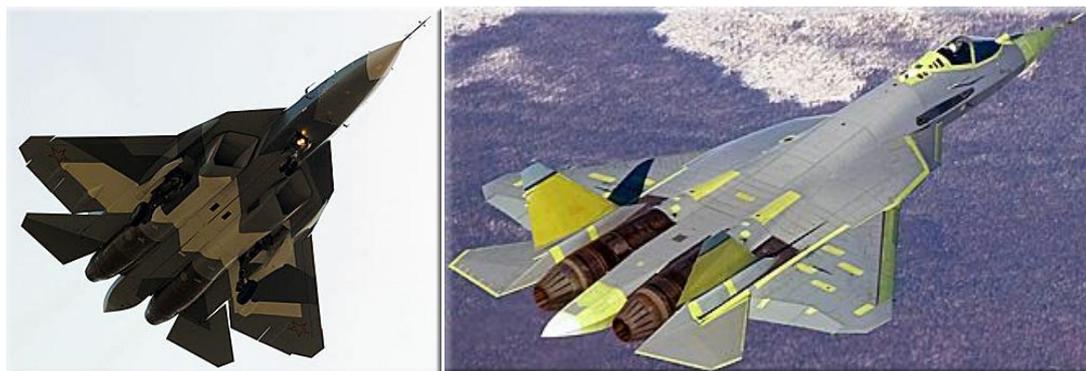
**Рис.1.** Истребитель 5-го поколения F-22 Raptor на взлете

Повышение маневренных характеристик путем снижения нагрузки на крыло, роста тяговооруженности и применения электродистанционной системы управления (F-15, F-16, Су-27 и другие). В то же время ряд характеристик F-22 качественно отличается от данных перечисленных только что машин. В первую очередь это сверхзвуковая крейсерская скорость полета, достигаемая на бесфорсажных режимах работы, и значительно сниженная заметность для РЛС противника. Далее - высокая маневренность не только на дозвуковых, но и на сверхзвуковых скоростях. Наконец, это высокая вероятность поражения цели без входа в зону боевого соприкосновения.

Совокупность этих отличий и дает основания считать F-22А самолетом пятого поколения. Однако эти требования оказались во многом противоречащими друг другу, что вынудило американских конструкторов пойти на ряд компромиссов, некоторые из которых отрицательно сказались на боевых качествах истребителя.

Несмотря на противоречия американцам удалось реализовать требования к пятому поколению почти полностью. Стоимость проекта обошлась военному бюджету США в 65 млрд долл. Сегодня выпуск американского самолета 5-го поколения F-22 Raptor временно приостановлен.

Зато в России относительно недавно началась сборка истребителей пятого поколения, которые временно проходят под обозначением Т-50. Первый полет самолета состоялся 29 января 2010 года в Комсомольске-на-Амуре.



**Рис. 2.** Т-50 в полете

Двигатели с отклоняемым вектором тяги позволяют летчику применять ряд противоракетных маневров, которые сегодня не может совершить ни один истребитель.

Этот самолет достигает сверхзвуковой скорости при штатном режиме. Двигатель на Т-50 представляет собой цифровую систему управления и плазменную систему зажигания. Вместе с перспективной конструкцией планера этот двигатель придает истребителю сверхманевренность. Специалисты работают над созданием двигателя второго этапа, который позволит улучшить летные характеристики самолета.



Рис. 3. Посадка ПАК ФА

Малозаметность, которая является обязательным качеством самолета пятого поколения, в Т-50 реализуется лишь частично. Стоит отметить, что из всех разработанных в РФ военных самолетов он наиболее защищен от радарного обнаружения. Однако, к примеру, американцам при создании истребителя 5-го поколения F-22 Raptor пришлось отказаться от дополнительной маневренности в пользу большей скрытности. Как считают эксперты, российские специалисты скорее предпочтут из этих двух качеств маневренность. ПАК ФА оснащен новейшей радиолокационной установкой с активной фазированной антенной решеткой производства НИИ приборостроения. Этот радар позволяет вести всесторонний и многоканальный обстрел целей, что тоже является требованием к самолету пятого поколения.

Оценка Сергея Богдана, летчика-испытателя, впервые поднявшего Т-50 в воздух и совершившего на нем 47-минутный полет:

- В ходе полета мы провели первичную оценку управляемости самолета, работы двигателя и основных систем. Самолет хорошо показал себя на всех этапах летной программы. Им комфортно управлять.

Настоящий же прорыв может случиться, когда в полной мере начнет реализовываться российско-индийское сотрудничество в формировании окончательного облика истребителя 5-го поколения на базе опытного Т-50. Благодаря этому появился Су-30МКИ - лучший на сегодня тяжелый истребитель. Будем надеяться, совместными усилиями российские и индийские специалисты насытят ПАК ФА современным оборудованием и оснастят лучшим оружием. Главное - финансирование и активизация летных испытаний Т-50. И тогда через три года наши ВВС получат первую партию таких самолетов для опытной эксплуатации в войсках. А с 2015 года мировой рынок тяжелых истребителей 5-го поколения будет насыщаться только российско-индийскими самолетами.

В создании новых машин не отстают и другие государства.

Пекин сделал первый ход в разработке собственного истребителя пятого поколения. **Прогресс авиастроения КНР впечатляет**, но вместе с тем жизнь китайским конструкторам существенно осложняет целый ряд системных инженерно-технологических проблем.



Рис. 4. Китайский J-20

Чэнду J-20 (Jiān-20, J-20, буквально Истребитель модель 20, также называют "Чёрный орёл") - китайский истребитель. Разработан Авиационной промышленной корпорацией Chengdu Aircraft Industry Corporation в г. Чэнду.

J-20 выполнен по аэродинамической схеме "утка" с высокорасположенным треугольным в плане крылом, сопряженным с фюзеляжем. Цельноповоротные кили имеют большой угол развала от продольной оси. Мотогондолы расположены по бокам фюзеляжа под крыльями. Истребитель имеет в длину 21,3 метра, в высоту 4,5 метра и размах крыльев - 12,9 метра. **Технические характеристики J-20 засекречены.** Предположительно, масса пустого самолета составляет 17 тонн. J-20 может развивать скорость до 2,5 числа Маха (2,9 тысячи километров в час), а крейсерская скорость его полета составляет 1,83 числа маха. Боевой радиус J-20 оценивается в две тысячи километров при практической дальности в пять тысяч километров. **Задачи, которые должен будет выполнять самолет J-20, официально не раскрываются.** Вероятно, самолет будет оснащен противокорабельными ракетами и будет применяться для борьбы с надводными кораблями, в частности, авианосными группами.

В январе 2011 года в Китае прошла первая демонстрация в полете прототипа истребителя 5-го поколения. Обсуждая первый полет, многие знатоки утверждали, что данный самолет - J-20 представляет собой всего лишь не очень удачный "коллаж" из различных элементов конструкции экспериментальных российских самолетов Су-47 и МИГ 1.44, а также американских истребителей 5-го поколения F-22 Raptor и F-35.

В мае 2006 года министерство обороны Японии опубликовало фото полноразмерных тестовых моделей планера АТD-X, после чего заявив, что на базе этого планера будет разрабатываться японский самолет пятого поколения Синсин. В 2007 году во время испытаний было проведено 40 вылетов, во время которых планер показал высокую маневренность и управляемость в различных условиях. После испытаний министерство обороны объединило ранее разрозненные исследования в одну государственную программу, которая начала работать в 2010 году, пробный полет был запланирован на 2011 год.

Разработки системы управления и двигателя начались еще в 2009 году. Первостепенная задача японского АТD-X - это противостояние таким невидимым самолетам пятого поколения, как например, спроектированному российским ОКБ "Сухой" Т-50. Длина АТD-X составляет 14 метров, размахом крыльев - 9 метров, взлетный вес - 8 тонн. На данный момент Япония обладает двумя прототипами самолетов пятого поколения, однако летных испытаний еще не было, по последним данным они будут проведены в 2014 году.



**Рис. 5.** Планируемый облик японского перспективного истребителя АТD-X

Также можно отметить европейский тайфун. Он, как и F-22 изначально задумывался как перехватчик, что определило современное состояние его вооружения – более слабое, по сравнению с другими представителями своего поколения ударное вооружение. При этом EF-2000 обладает высокими маневренными характеристиками на сверхзвуке, хоть и выходит на него с применением форсажа.

Конструктивные особенности истребителя отражают стремление разработчиков использовать последние мировые достижения в области самолетостроения и электроники. Для обеспечения требуемого уровня маневренных характеристик, особенно на больших углах атаки, самолет спроектирован по схеме с низкорасположенным треугольным крылом (угол стреловидности 53 градуса) и отрицательным запасом устойчивости, двухсекционными закрылками и предкрылками, поворотным передним горизонтальным оперением (ПГО), вертикальным килем с рулем направления без стабилизатора. Такая схема обладает рядом преимуществ, основное из которых — снижение сопротивления самолета на сверхзвуковых скоростях. Запас топлива размещается в фюзеляжных и крыльевых топливных баках, полностью занимающих кессоны консолей крыла.

На «Тайфуне» применена четырёхкратно резервированная цифровая электродистанционная система управления полетом, объединенная с системой управления двигателями. Она обеспечивает искусственную устойчивость и высокую маневренность, а также отклонение органов управления для достижения максимального аэродинамического качества на всех режимах и во всем диапазоне скоростей и высот полета

На сегодняшний день, в неофициальных источниках упоминается, что по результатам учений, проведенных в июне 2012 года на Аляске, включавших индивидуальные воздушные бои истребителей F-22 с Тайфунами под управлением немецких пилотов, противники сражались на равных, на больших расстояниях F-22 имел преимущество за счёт новейшего оборудования, однако на близкой дистанции более лёгкий Тайфун оказывался в выгодном положении. То есть, фактически признано то, что F-22 имеет превосходство над EF-2000 в основном благодаря применению РЛС с АФАР, а появление аналогичной станции на борту европейского истребителя вопрос времени



Рис. 6. Eurofighter Typhoon F2, одноместный истребитель

Сравнивая перспективных истребителей, можно привести таблицу (рис 7).



Рис. 7. Сравнение истребителей

Изучив ее, можно сказать, что наш истребитель превосходит своих прототипов в максимальной скорости и дальности полета, тяговооруженности, скороподъемности, величине максимально реализуемой перегрузки, меньшей величине разбега и пробега. Но, чтоб выявить явные недостатки или преимущества, самолеты нужно свести в бою, и там уже точно определится лучший из лучших.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виртуальная энциклопедия военной техники. <http://pro-samolet.ru>
2. Научно-популярный журнал ВВС «Авиация и космонавтика», №2 2011.
3. Свободная энциклопедия википедия. <http://ru.wikipedia.org>.

### ОБ АВТОРАХ



Фото

**Сенюшкин Николай Сергеевич**, доцент каф. АТиТ, с.н.с. НИЛ САПР-Д, Зам. Декана ФАД. Диплом инж. по авиац. двигателям и энер. уст. (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепл., электроракент. двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009).

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



Фото

**Салимова Ирина Ильинична**, студент 4-го курса кафедры Авиационная теплотехника и теплоэнергетика.

e-mail: [irinasalim6@mail.ru](mailto:irinasalim6@mail.ru)

УДК 338.32.053.4

### ТЕПЛОВОЙ НАСОС КАК ЭЛЕМЕНТ ТЭЦ. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Ганеев Р. Ш., Рязанова А. С.**

Тепловой насос представляет собой машину, в которой подводимая низкопотенциальная теплота преобразуется в теплоту более высокого потенциала. Количество энергии, затрачиваемой на этот процесс, значительно меньше количества получаемой энергии. Применение тепловых насосных установок обеспечивает экономию топлива и уменьшение теплового загрязнения окружающей среды. Утилизируемая с помощью тепловых насосов природная теплота или теплота вторичных энергоресурсов может использоваться для различных целей теплоснабжения.

В связи с обострением энергетических и экологических проблем, идея использования тепловых насосов для целей теплоснабжения привлекает к себе повышенное внимание. Их вовлечение в тепловой баланс позволяет уменьшить затраты первичной энергии и способствует оздоровлению окружающей среды, практически исключая вредные выбросы.

Сильный толчок к использованию тепловых насосов в системах отопления дал энергетический кризис начала 70 годов прошлого века, во время которого существенно увеличились цены на топливо [1].

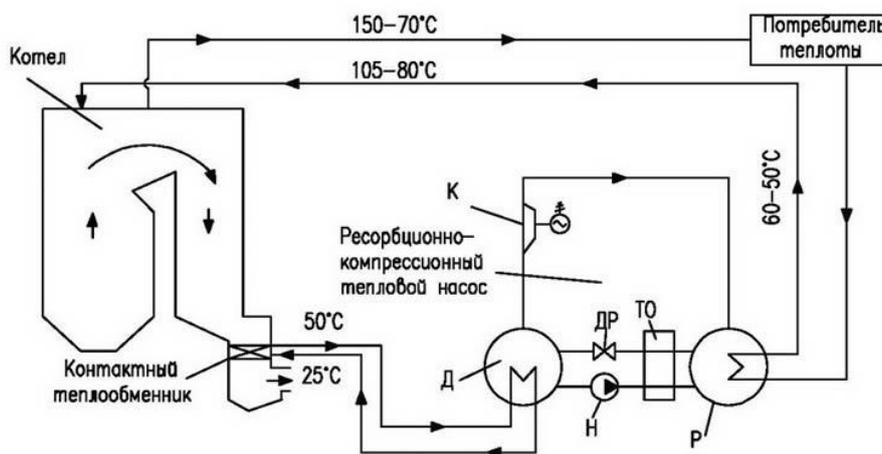
Как источник теплоты для работы тепловых насосов на ТЭЦ могут быть

использованы следующие виды тепловых вторичных энергетических ресурсов [2]:

- теплота охлаждающей воды паровых турбин тепловых и атомных электростанций;
- теплота продуктов сгорания в котельных;
- теплота продуктов сгорания в газотурбинных установках и газопоршневых агрегатах;
- теплота водяных паров низкого давления, выбрасываемых в атмосферу (выпар);
- сбросное тепло градирен.

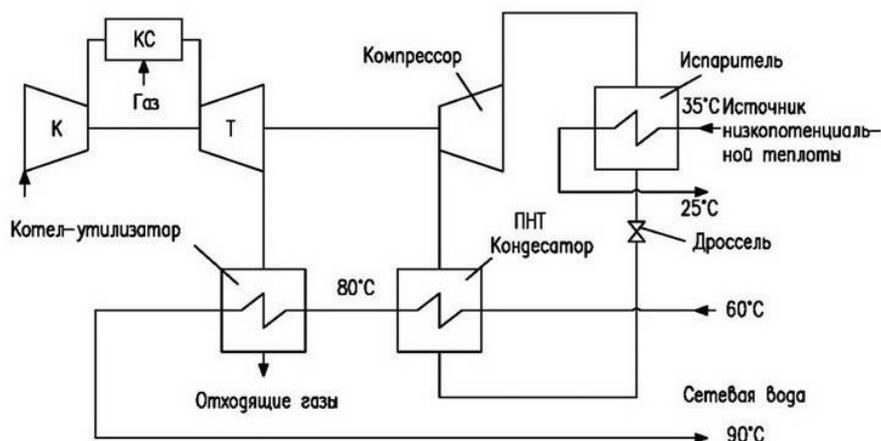
Рассмотрим варианты применения тепловых насосов в контуре ТЭЦ.

На рисунке 1 представлена схемы утилизации теплоты уходящих газов энергетического котла [3].



**Рис. 1.** Принципиальная схема утилизации теплоты уходящих газов котлов с применением контактного теплообменника ресорбционно-компрессионного теплового насоса: Д - дегазатор; Р - ресорбер; К - компрессор; ДР - дроссель; Н - насос; ТО – теплообменник

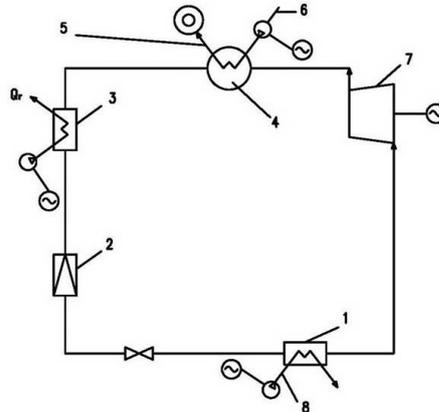
Применение газотурбинных установок для выработки электроэнергии (рисунок 2) дает возможность использовать тепловые насосы как для охлаждения уходящих продуктов сгорания (при этом часть тепла целесообразно использовать в котлах-утилизаторах или рекуперативных теплообменниках), так и для понижения температуры теплоносителя, обеспечивающего промежуточное охлаждение ступеней компрессора. Промежуточное охлаждение ступеней компрессора увеличивает КПД газотурбинной установки и существенно уменьшает выброс в атмосферу окислов азота. Сама газотурбинная установка может служить как источник электрической или механической энергии для теплового насоса [2].



**Рис. 2.** Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса (ПНТ) с газотурбинной установкой: К - компрессор; Т - газовая турбина; КС - камера сгорания

На рис. 3 показана схема компрессионного внутриквартирного насоса (КВТН) [3].

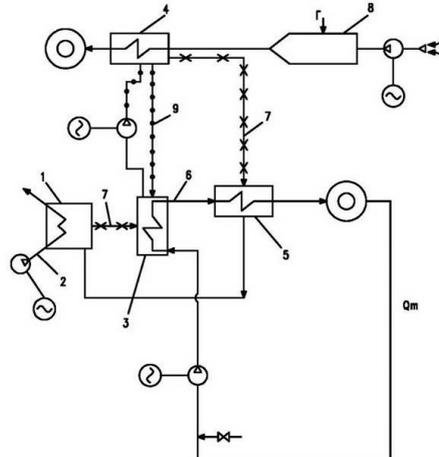
Сетевая вода от ТЭЦ (в виде низкопотенциального тепла) поступает в испаритель 1, где испаряется рабочее тело (например, фреон). Его пары поступают в компрессор 7, где при сжатии нагреваются до 80...90°C и направляются в конденсатор 4, в который подается вода внутриквартирного контура 6. Часть тепла используется в теплообменнике 3 для подогрева воды в системе горячего водоснабжения. Жидкое рабочее тело проходит через дроссель 2 и направляется снова в испаритель.



**Рис. 3.** Схема компрессионного внутриквартирного теплового насоса (КВТН):

1 - испаритель; 2 - дроссель; 3 - теплообменник; 4 - конденсатор; 5,6 - линии внутриквартирной сетевой воды (5 - прямой, 6 - обратной); 7 - компрессор; 8 - подвод сетевой воды от ТЭЦ

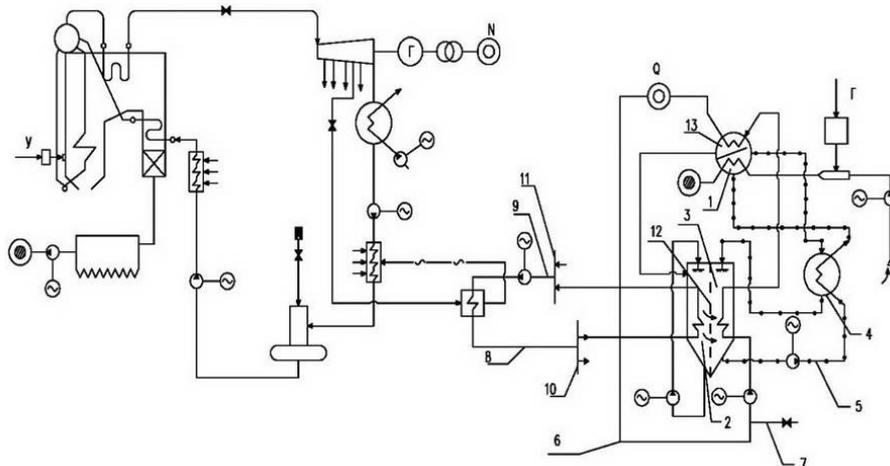
На рисунке 4 показана схема бромисто-литиевого теплового насоса [3]. В испарителе 1 насоса при пониженном давлении (соответствующей температуре сетевой воды 2 от ТЭЦ, которая является низкопотенциальным энергоносителем) испаряется вода. Ее пары поступают в абсорбер 3, где поглощаются раствором бромистого лития. Происходит разогрев раствора за счет теплоты этой реакции. Это тепло передается сетевой воде внутриквартирного контура 6. Слабый раствор (водный раствор бромистого лития) подводится в генератор 4, обогреваемый дымовыми газами из камеры сгорания 8. В генераторе вода из раствора выпаривается. Пары поступают в конденсатор 5, где конденсируясь, отдают тепло сетевой воде внутриквартирного контура. Конденсат из конденсатора поступает в испаритель. Образовавшийся в генераторе крепкий раствор бромистого лития направляется в абсорбер и цикл повторяется.



**Рис. 4** Схема ВТН:

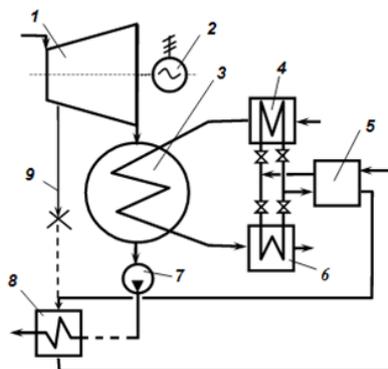
1 - испаритель; 2 - подвод сетевой воды от ТЭЦ; 3 - абсорбер; 4 - генератор;  
 5 - конденсатор; 6 - сетевая вода внутриквартального контура; 7 - пар; 8 - камера сгорания;  
 9 - бромисто-литиевый контур; Г - природный газ

На рисунке 5 показана тепловая схема ТЭЦ с теплонасосными внутриквартальными теплофикационными схемами [3].



**Рис. 5** Тепловая схема ТЭЦ с теплонасосными теплофикационными системами:  
 N, Q - потребители электро- и теплотенергии соответственно; y, г - пылеугольное и газовое топливо соответственно; 1 - генератор внутриквартального пикорегулирующего абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса (ВТН); 2, 3, 4 - испаритель, абсорбер, теплообменник ВТН; 5 - бромистолитиевый контур; 6 - теплофикационный контур; 7 - линия добавочной воды; 8,9 - линии прямой и обратной сетевой воды от ТЭЦ; 10, 11 - тепловые сети подключений ВТН к сетевой воде; 12 - жалюзийная решетка; 13 - конденсатор ВТН

На рисунке 6 представлена схема включения теплового насоса для утилизации теплоты циркуляционной воды конденсатора турбины [4].



**Рис. 6** Схема включения теплового насоса:  
 1 – паровая турбина; 2 – электрогенератор; 3 – конденсатор паровой турбины;  
 4, 6 – теплообменники испарителя теплового насоса; 5 – тепловой насос;  
 7 – конденсатный насос; 8 – подогреватель низкого давления паровой турбины;  
 9 – трубопровод последнего отбора паровой турбины.

При использовании приведенных схем достигаются следующие положительные эффекты:

- на производство теплоты ТНУ не затрачивается дополнительное топливо;
- улучшение экологической ситуации;
- за счет понижения температуры циркуляционной воды в конденсаторе турбин существенно улучшается вакуум и повышается электрическая выработка с турбин;

- сокращение потерь циркуляционной воды и затрат на ее перекачку;
- уменьшение тепловых потерь с уходящими газами котельных установок и ГТУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девянин Д.Н. Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования тепловых насосных установок в энергетике. //Новости теплоснабжения – 2000 - № 1 – с.50-53
2. Тепловые насосы [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://msd.com.ua/misc/teplovye-nasosy-4/> (дата обращения 25.09.2013)
3. Развитие тепловых насосов [Электронный ресурс]: Тепловые насосы. Принципиальные схемы тепловых насосов. 2012. URL: [http://www.gigavat.com/netradicionnaya\\_energetika\\_v-i-e\\_15.php](http://www.gigavat.com/netradicionnaya_energetika_v-i-e_15.php) (дата обращения 25.09.2013)
4. Применение тепловых насосов в теплоэнергетике ООО «ПСП Энергия» [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.myshared.ru/slide/396374/> (дата обращения 25.09.2013)

### ОБ АВТОРАХ



Фото

**Ганеев Роман Шамилевич**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл.инж. по тепловым электрическим станциям (УГАТУ, 2013).

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



Фото

**Рязанова Алина Сергеевна**, магистрант каф. авиац. теплотехники и теплоэнергетики

e-mail: [alisha\\_ryazanova@mail.ru](mailto:alisha_ryazanova@mail.ru)

УДК 338.32.053.4

## ВЛИЯНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ВОЗДУХОВОДЫ КОТЛА НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА

**Рязанова А. С., Ганеев Р. Ш.**

Серьезное внимание на окислы азота как на токсичные составляющие дымовых газов парогенераторов ТЭС было обращено лишь в конце шестидесятых годов. Это объясняется в основном тем, что условия для соединения кислорода и азота воздуха возникли при создании очень крупных парогенераторов и максимальной интенсификации топочных процессов.

Окислы азота являются весьма вредной примесью, даже при минимальных дозах в воздухе они раздражающе воздействуют на органы дыхания, разрушают оборудование и материалы, способствуют образованию смогов и ухудшению видимости. Особенностью окислов азота является то обстоятельство, что они могут образовываться при сжигании всех видов топлив, используемых в энергетике – углей, мазутов, природного газа.

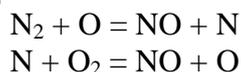
Для правильной оценки путей и методов по снижению этих выбросов необходимо четко понимать механизм образования оксидов азота и степень влияния состава органического топлива, условий и режимов его сжигания на их уровень.

Источниками образования оксидов азота при горении могут быть азотсодержащие

компоненты топлива и молекулярный азот воздуха, который используется в качестве окислителя для горения. Поэтому эти оксиды азота принято делить на топливные и воздушные. Воздушные, в свою очередь, подразделяются на термические, которые образуются при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (этот механизм изучен и предложен академиком Ю.Б. Зельдовичем) и «быстрые» – в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом – OH. «Быстрыми» они названы потому, что скорость их образования велика в узкой зоне пламени. Топливные оксиды азота образуются на базе азотсодержащих компонентов топлива.

При сжигании газа около 25% составляют жидкие окислы азота, а остальные 75% - термические. При сжигании мазута около 45% составляют топливные окислы, 50% - термические, около 5% - «быстрые».

На образование азота в топочной камере влияет ряд факторов, из которых важнейшим является температурный уровень в ядре горения. Из результатов экспериментальных данных следует, что концентрация окислов азота быстро возрастает с температурой и достигает существенных значений при температуре более 1750 °С. При этом, наибольшую концентрацию имеет низший окисел NO, в то время как содержание высших окислов NO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> является незначительным. Окисление азота можно представить следующим образом [1]:



Первая реакция идет с атомарным кислородом, образовавшимся из молекул O<sub>2</sub> при высокой температуре. Вторая реакция для газового топлива происходит только за счет образовавшегося атомарного азота в результате первой реакции. Для твердого топлива и мазута вторая реакция может идти независимо от первой с азотом, содержащимся в топливе, который находится в связанном состоянии и поэтому легко реагирует с молекулами кислорода.

Образовавшийся в ядре горения топочной камеры NO практически не может быть окислен кислородом дымовых газов за то короткое время, измеряемое секундами, в течение которого газы движутся в пределах парогенератора, внешних газоходов и дымовой трубы. Таким образом, в атмосферу выбрасывается в основном окисел NO, который постепенно может окисляться до NO<sub>2</sub> в процессе движения в атмосфере.

Исходя из механизмов образования оксидов азота при горении органического топлива выбирают принципиальные пути снижения этих выбросов [2]:

- ограничение доли окислителя (ниже стехиометрического) на начальном участке факела выбором соответствующего уровня избытка воздуха на горелки (с учетом уровней газификации, воспламенения, а также и газовой коррозии);
- сведение до технологически возможного минимума доли первичного воздуха;
- ввод в первичный воздух максимально возможного по условиям устойчивого горения количества рециркулирующих газов;
- максимально возможное по условиям устойчивого воспламенения, горения и выгорания топлива снижения температуры в зоне и на выходе из зоны активного горения;
- выбор оптимального с учетом условий воспламенения, горения и шлакования соотношения скоростей вторичного и первичного воздуха в горелочном устройстве.

Сложность в выборе оптимальных технических решений и режимных параметров по указанным принципиальным направлениям состоит в том, что возникают определенные противоречия: достижение максимальных показателей по условиям экономичности и надежности сжигания приводит и к максимальным выбросам NO<sub>x</sub>. И, наоборот, лучшие показатели по выбросам приходится на режимы с наихудшей экономичностью и надежностью. В связи с этим оптимум должен находиться с учетом

всех ограничительных факторов. Наиболее полно это достигается при наладке топчного режима работы котельного агрегата.

В рассмотренном в данной работе методе рециркуляции дымовых газов снижение выбросов  $\text{NO}_x$  основано на снижении максимальной температуры факела.

Для определения оптимальных конструктивных решений по вводу дымовых газов рециркуляции в топку был выполнен комплекс исследований как на промышленных котлах, так и на специальных экспериментальных установках [3]. Промышленные испытания проводились на котлах производительностью от 120 до 3950 т/ч. Результаты испытаний различных схем ввода рециркуляции дымовых газов показали, что наибольший эффект по снижению выбросов  $\text{NO}_x$  дает ввод дымовых газов рециркуляции через центральные каналы горелок. Однако широкого распространения этот способ не нашел, так как возникают проблемы с обеспечением стабильного воспламенения факела, особенно при сжигании тяжелых сортов мазута.

Наибольшее распространение получил ввод дымовых газов рециркуляции в смеси с дутьевым воздухом, а также по среднему или периферийному каналам горелок. Причем, если раньше количество дымовых газов рециркуляции, вводимых в топку, составляло в среднем около 15%, то в последние годы наметилась тенденция к увеличению количества дымовых газов до 30%.

До внедрения технологических методов снижения выбросов рециркуляция дымовых газов рассматривалась в основном лишь как средство регулирования температуры пара. При этом котел рассчитывался так, чтобы при номинальной нагрузке эксплуатировался с минимальной загрузкой дымососов рециркуляции, а при снижении нагрузки количество рециркулирующих дымовых газов увеличилось бы для поддержания постоянной температуры перегретого пара.

Для снижения же выбросов  $\text{NO}_x$  следует подавать в топку максимальное количество рециркулирующих дымовых газов при номинальной нагрузке. По условиям обеспечения номинальной температуры первичного пара на барабанных котлах и температуры пара промперегрева на прямоточных, большинство отечественных котлов оказалось непригодными для работы в таком режиме. Для широкого внедрения рециркуляции дымовых газов, особенно при большой доле рециркуляции, требуется реконструкция системы регулирования температуры перегрева пара путем применения байпасирования паро-паровых теплообменников, увеличения впрысков и т.п.

Для котлов, работающих большую часть времени на газообразном топливе, используется схема с подачей дымовых газов рециркуляции из конвективной шахты на всас дутьевых вентиляторов, позволяющая обойтись без установки специальных дымососов рециркуляции.

Проходя через вентилятор, регенеративный воздухоподогреватель и систему воздухопроводов, дымовые газы рециркуляции хорошо перемешиваются с воздухом и, попадая через горелку в топку, обеспечивают эффективное снижение выбросов оксидов азота.

В качестве экспериментального подтверждения, рассмотрим эффективность применения рециркуляции газов на следующих примерах.

На паровых котлах ТП-150 и БКЗ-75 Свердловской ТЭЦ для подавления оксидов азота в дымовых газах по проекту Уралтехэнерго установлены дымососы рециркуляции газов (ДРГ), подающие дымовые газы после экономайзера II ступени в напорные короба горячего воздуха перед горелками. Применение такой схемы позволяет при доле рециркуляции газов 20 % уменьшить концентрацию оксидов азота соответственно на 50 и 65 %. Однако при этом за счет увеличения температуры уходящих газов и коэффициента избытка воздуха происходит значительное снижение экономичности сжигания топлива [4].

На котле ДКВР-4/13, установленном в котельной Московского комбината железобетонных изделий, была смонтирована схема рециркуляции дымовых газов из

газохода перед экономайзером на всас дутьевого вентилятора. Для оценки эффективности схемы были проведены опыты с разной долей рециркуляции ( $r$ , %). При определенной нагрузке и фиксированном избытке воздуха изменялось положение заслонки на всасывающем коробе перед дутьевым вентилятором и/или шибером на линии рециркуляции газов. Степень рециркуляции рассчитывалась по содержанию кислорода на всасе вентилятора и в газах рециркуляции, т.е. за котлом. При максимальной нагрузке ( $D=5$  т/ч) и приоткрытом шибере на линии рециркуляции ( $r=4$  %) концентрация  $NO_x$  равна  $231$  мг/м<sup>3</sup> (6 %  $O_2$ ). По мере открытия шибера содержание  $NO_x$  снижается и при  $r=27,5$  % составляет всего лишь  $39$  мг/м<sup>3</sup>, т.е. примерно в 6 раз меньше, чем при  $r=0$ . При этом температура газовоздушной смеси перед горелкой увеличивается до  $88,5$  °С, а содержание оксида углерода СО за котлом несколько возрастает, но остается на приемлемом уровне. Температура уходящих газов за котлом при максимальной рециркуляции повышается с  $240$  до  $249$  °С. При номинальной и сниженной нагрузках ( $D=4$  и  $2,9$  т/ч) рециркуляция дымовых газов также дает значительный эффект: в первом случае увеличение  $r$  от 0 до 20 % уменьшило концентрацию  $NO_x$  с  $260$  до  $70$  мг/м<sup>3</sup>, а во втором уже при  $r=7-8$  % концентрация  $NO_x$  снизилась с  $280$  до  $152-164$  мг/м<sup>3</sup>. Содержание оксида углерода во всех опытах оставалось достаточно низким (менее  $100$  мг/м<sup>3</sup> в пересчете на 6 %  $O_2$ ) [5].

Влияние рециркуляции наиболее значительно при вводе продуктов сгорания в воздухопроводы перед горелками, когда они в смеси горячим воздухом поступают в топку. Наибольший эффект снижения концентрации  $NO_x$  достигается при доле рециркуляции  $r_{rc}=0,2-0,3$ . Дальнейшее увеличение  $r_{rc}$  при сжигании газа и мазута ведет к затягиванию горения и появлению недожога топлива. К тому же максимальное подавление образования  $NO_x$  требуется при номинальной или близкой к ней нагрузке, когда ввод заметного количества газов рециркуляции сильно увеличивает скорость газов и аэродинамическое сопротивление газового тракта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.А. Рихтер Тепловые электрические станции и защита атмосферы. - М.: «Энергия», 1975.
2. Л.И. Пугач Энергетика и экология. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
3. Коглер В.Р., Енякин Ю.П. Реализация и эффективность технологических методов подавления оксидов азота на ТЭС: Теплоэнергетика, № 6, 1994.
4. Стадничук В.С., Рященко И.Л. Опыт опробования и применения технологических методов подавления выбросов оксидов азота в дымовых газах на газомазутных котлах электростанций Свердловэнерго. - Электрические станции, №5, 1997.
5. Коглер В.Р., Беляков С.Е. Экологические характеристики отопительных и промышленных котлов малой мощности. - Теплоэнергетика, № 6, 1998.

#### ОБ АВТОРАХ



Фото

**Рязанова Алина Сергеевна**, магистрант каф. авиац. теплотехники и теплоэнергетики

e-mail: [alisha\\_ryazanova@mail.ru](mailto:alisha_ryazanova@mail.ru)



Фото

**Ганеев Роман Шамилевич**, аспирант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. инж. по тепловым электрическим станциям (УГАТУ, 2013).

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

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЯВЛЕНИЙ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ САЙТЕ

Дронь Е. А., Мухаметов Р. Р.

Данная информационная система относится к типу сайтов: электронные доски объявлений, такие как из рук в руки, авито.ру. В качестве доменного имени используется название купить-продать.рф. Система управления сайтом была создана в полном объеме в течение года. Сайт объявлений является действующим.

В настоящее время посещаемость сайта более 500 человек в день, количество объявлений 2500 тысячи, каждый день в среднем добавляют более 10 объявлений. В базе учтено более 4000-х тысяч населенных пунктов, и в настоящее время добавлены объявления во всех крупные города России.

Организационная структура показана на рис. 1. В организационную структуру входят:

- администратор системы, который производит первоначальную настройку и назначает модераторов;
- модераторы, для каждого региона может быть закреплён свой модератор с уникальными правами доступа к модулям сайта;
- зарегистрированные пользователи, прошедшие регистрацию на сайте и подтвердившие свой электронный ящик;
- посетители сайта.



**Рис. 1.** Организационная структура сайта «купить-продать.рф»

На рис. 2 представлена мнемосхема процесса размещения объявлений. Основные возможности системы:

- добавление объявлений;
- размещение баннерной рекламы;
- для компаний размещение информации в каталоге организаций.

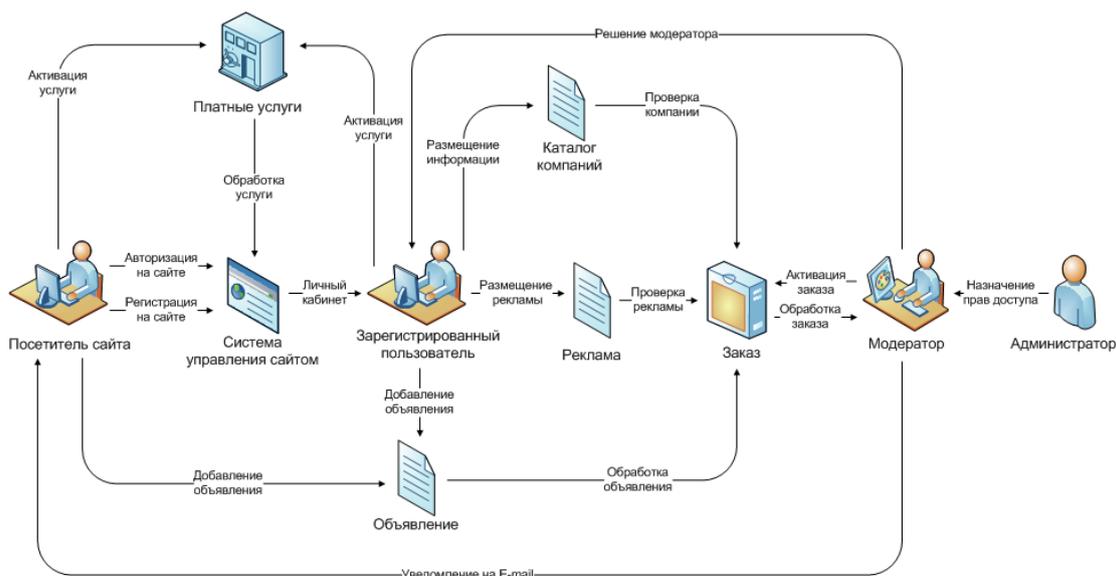


Рис. 2. Мнемосхема процесса размещения объявлений

Структура сайта представлена на рис. 3. Основное меню сайта:

- поиск объявлений по рубрикам;
- каталог компаний;
- добавление нового объявления;
- вход и регистрация пользователя.

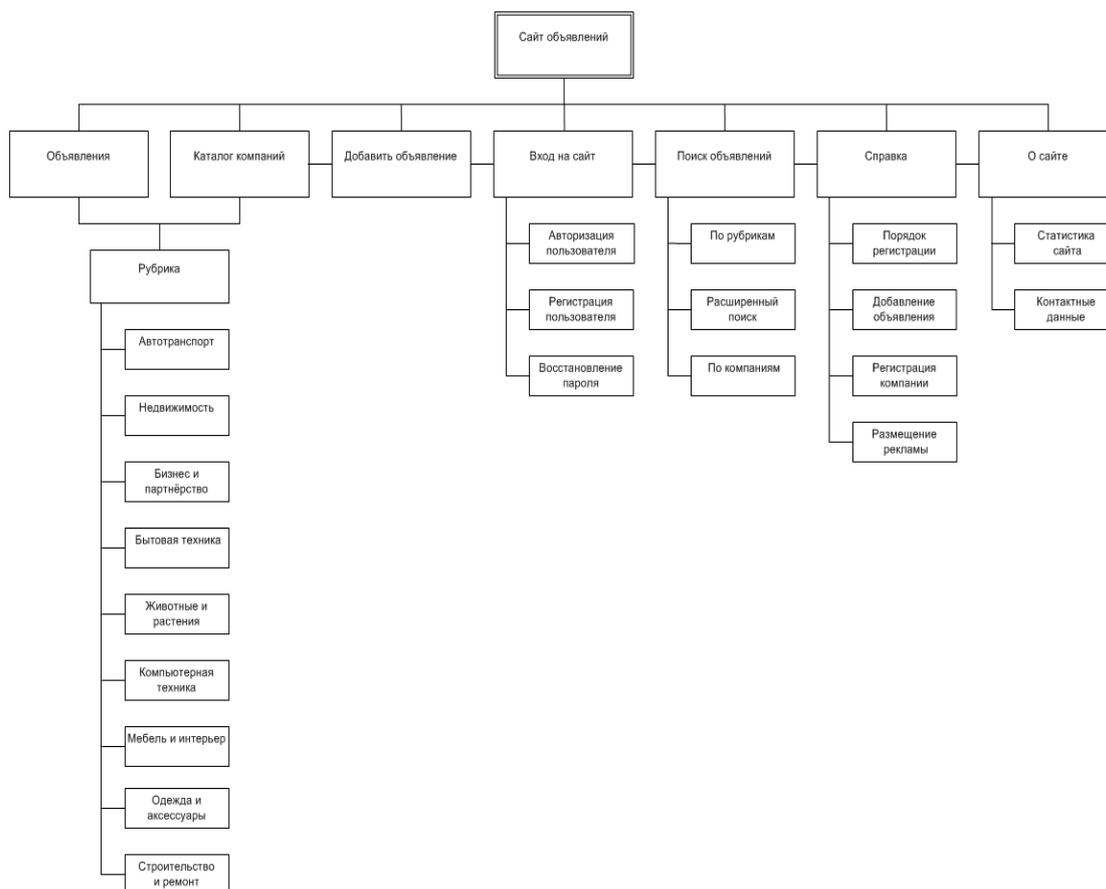


Рис. 3. Структура сайта «купить-продать.рф»

В результате проведенного информационного моделирования был определен набор сущностей и атрибутов, на основе которого построена информационная модель, представленная на рис. 4.

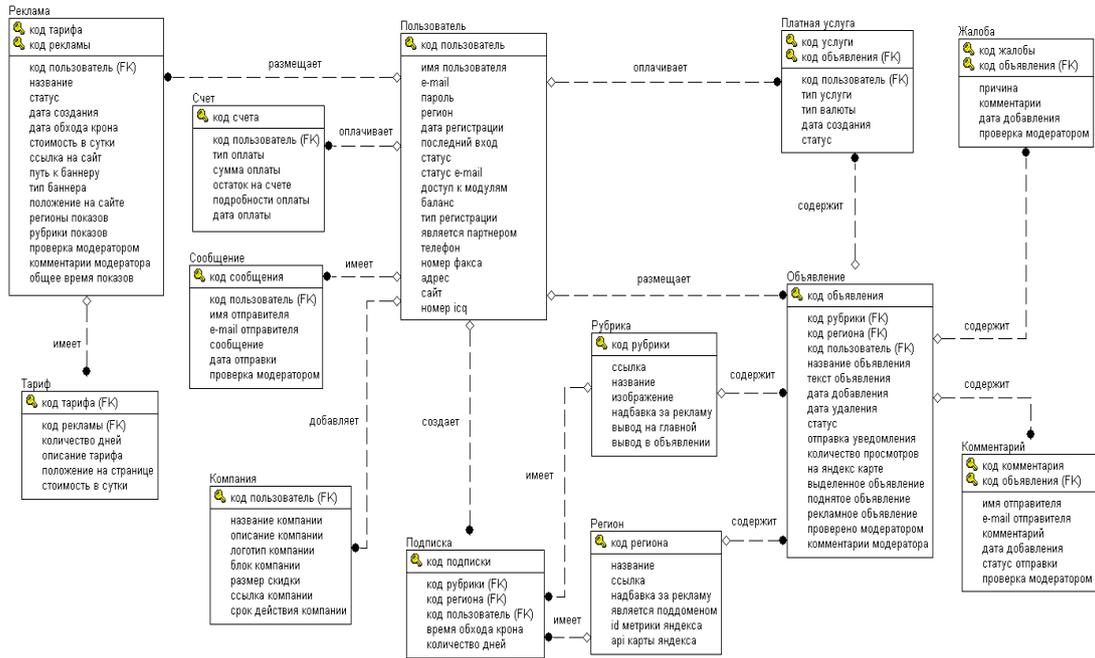


Рис. 4. Информационная модель сайта

Математическая модель позволила выделить группы пользователей на основе кластерного анализа. Для каждой выделенной группы представлен набор информации и страниц, которые необходимо разместить на сайте. Результаты приведены на рис. 5.

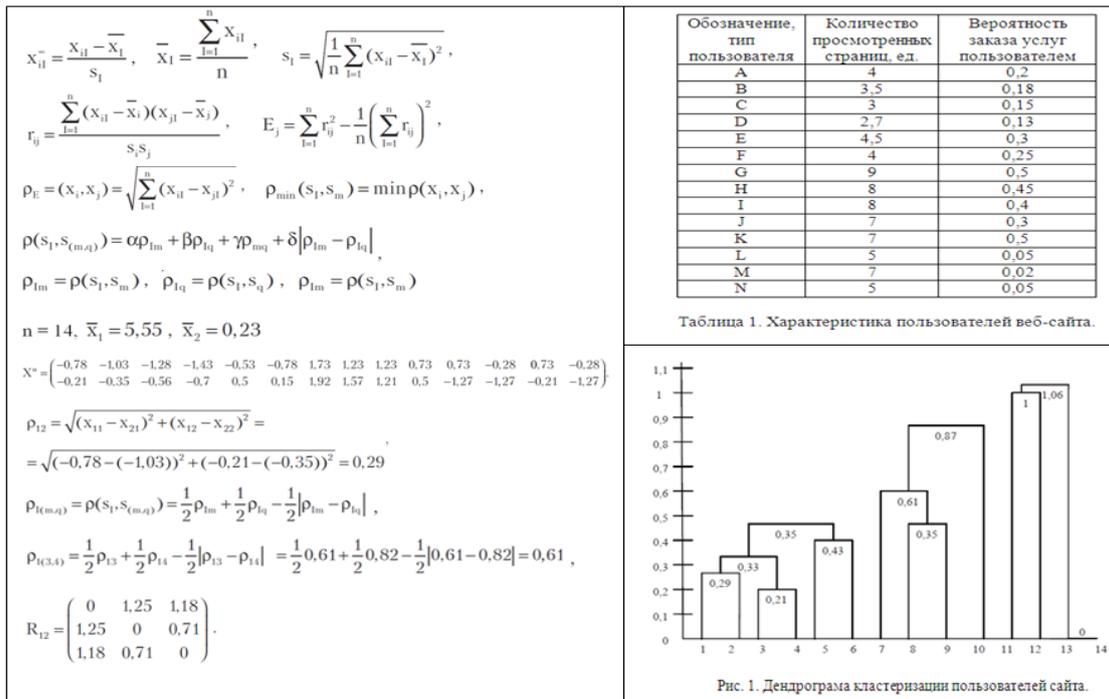
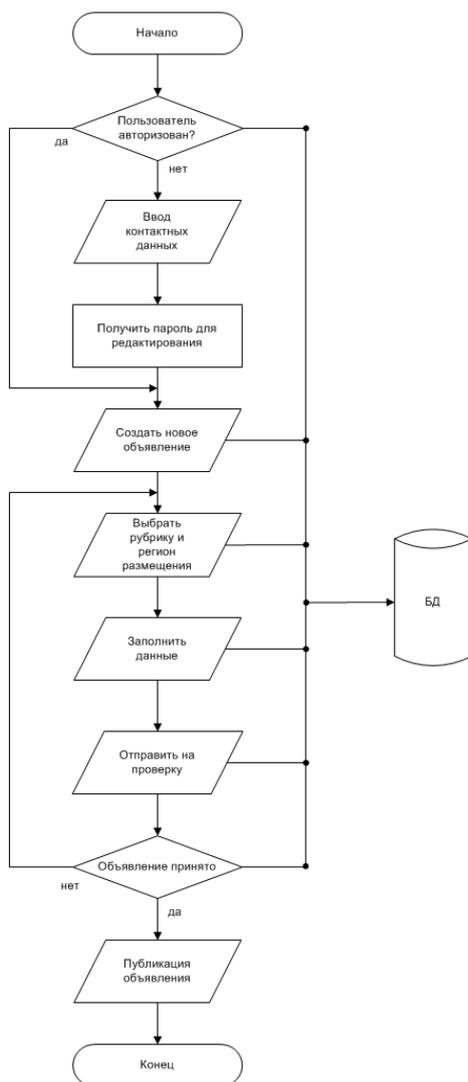


Рис. 5. Математическая модель размещения информации на сайте

В ходе исследования был определен комплекс технических и программных средств. Система представляет собой веб-приложение, написанная на языке программирования PHP, с использованием баз данных MySQL. Веб-приложение это так называемый портал, доступ для посетителей сайта, модераторов и администратора системы.

Для размещения объявления пользователь вводит в специальной форме название/ описание объявления, своё имя либо название организации, а также координаты: адрес электронной почты, почтовый адрес, телефон. Так же пользователь добавляет фотографии, указывает объект продажи на Яндекс-карте, при необходимости добавляет ролик youtube и отправляет на модерацию. Блок-схема алгоритма добавления объявления на сайт представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Схема алгоритма добавления объявления на сайт

На рис. 7 10 представлены основные экранные формы сайта:

- главная страница;
- поиск объявлений по параметрам – расширенный поиск;
- вывод готового объявления;
- листинг объявлений по разделам купле/продажи.

купить-ПРОДАТЬ.РФ  
бесплатные объявления

Люди ищут то, что вы продаете

Google

объявления магазины добавить объявление регистрация вход корзина

Россия  
сменить регион

Автотранспорт  
Недвижимость  
Бизнес и партнёрство  
Бытовая техника  
Животные и растения  
Компьютерная техника  
Мебель интерьер  
Одежда и аксессуары  
Отдам даром  
Работа и образование  
Строительство ремонт  
Товары для детей  
Увлечение и отдых  
Услуги и сервисы

Сайт бесплатных объявлений России. Частные объявления - подать объявления бесплатно.

Каждый из посетителей может купить или продать тот или иной товар, а так же предложить свои услуги. Сайт окажется очень полезным и интересным тем, кто хочет купить квартиру или машину, кого интересует работа, позволит подобрать и купить различную бытовую технику, электронику, предметы быта и даже домашних животных. Всего объявлений: 2 500

<b>Автотранспорт</b>	141	<b>Компьютерная техника</b>	5
Легковые автомобили	10	КПК и коммуникаторы	1
Коммерческий транспорт	33	Комплекующие	0
показать ещё 3		показать ещё 10	
<b>Недвижимость</b>	2057	<b>Одежда, обувь, аксессуары</b>	17
Квартиры	2021	Для женщин	13
Комнаты	2	Для мужчин	3
показать ещё 5		показать ещё 2	
<b>Бытовая техника</b>	7	<b>Строительство и ремонт</b>	72
Аудио, Видео	2	Вентиляционные системы	0
Индивидуальный уход	0	Двери	2
показать ещё 9		показать ещё 9	

Новые объявления

**Kia Granbird Parkway 2010 год** сегодня 03:52  
2 300 000 руб.  
Автобусы | Владивосток

Реклама от Google  
Акция на

Рис. 7. Главная страница сайта «купить-продать.рф»

Главная » Автотранспорт » Легковые автомобили » Автомобили с пробегом » Продам

Поиск: ключевые слова

Регион поиска: Башкортостан — Уфа

Рубрика поиска: Автотранспорт — Легковые автомобили — Автомобили с проб — Продам

Модель: - любое значение -

Объём двигателя: от — до

Пробег, км: от — до

Год выпуска: от — до

Тип объявления: все предложения

Стоимость: от — до

Сортировка: по дате - новые

Объявления:  с фото  с видео

найти

1 все объявления продам куплю

**KIA Sportage, внедорожник, 2011** 15 февраля 00:25  
930 000 руб.  
Уфа

Рис. 8. Поиск объявлений по параметрам – расширенный поиск

**Приморский край  
Владивосток**  
сменить регион

- Автотранспорт
- Недвижимость
- Бизнес и партнёрство
- Бытовая техника
- Животные и растения
- Компьютерная техника
- Мебель интерьер
- Одежда и аксессуары
- Отдам даром
- Работа и образование
- Строительство ремонт
- Товары для детей
- Увлечение и отдых
- Услуги и сервисы

Реклама от Google

**Готовые Фирмы**  
www.9248208.ru

Со счетом в  
Мастер банке  
Ч/ТБ.24 От 35тыс.  
Доставка. Курьер.

➔

← назад

**Главная » Автотранспорт » Коммерческий транспорт » Автобусы » Продам**

**Kia Granbird Parkway 2010 год** Цена: 2 300 000 руб.





Туристический автобус Kia Granbird Parkway 2010 год. Мест 47. Двигатель D6AC - турбированный дизель мощностью 340 л.с. КПП - механическая 5-тиступенчатая. Размеры - 11,990\*2,490\*3,335мм. Тормоза пневматические. Пневмоподвеска. Комплектация: камера заднего вида, кондиционер, холодильник, котел подогрева, диспенсер, салонные и водительские печки, RADIO/TV/DVD, кофлаки. Предпродажная подготовка: вторая дверь (аварийный люк), новые автоматические зеркала с подогревом, новая резина (зимняя), покраска, обтяжка сидухек тканью, шторы, линолеум, боковинки, большие лимузиновские спойлера, новая задняя и передняя оптика, молдинги. Цена - 2 300 000 руб. В наличии во Владивостоке.

контактная информация все объявления автора

Контактное лицо: ООО Альфа Ск (частное лицо)

Телефон: 79147078014

E-mail: [написать письмо](#)

параметры объявления выделить объявление

Регион: Приморский край » Владивосток

Добавлено: 17.06.2013 03:52

Номер: 31 342

Просмотров: 30


[комментировать](#) [предложить цену](#) [переслать](#) [пожаловаться](#)

**Акция на домены RU и РФ**

Хостинг в подарок с доменом RU/RF Предложение ограничено!

www.reg.ru

➔

Реклама от Google

**Похожие объявления**

2 200 000 руб.



**Kia Granbird Sunshine 2009 год на подушках**

Рис. 9. Вывод готового объявления

6	все объявления	продам	куплю
	<p><b>Kia Granbird Parkway 2010 год</b></p> <p>2 300 000 руб.</p> <p>Владивосток</p>		сегодня 03:52
	<p><b>Автобус Hyundai Universe Luxury 2011 год</b></p> <p>3 750 000 руб.</p> <p>Владивосток</p>		10 июня 09:54
	<p><b>Kia Granbird Sunshine 2009 год на подушках</b></p> <p>2 200 000 руб.</p> <p>Владивосток</p>		20 мая 03:36
	<p><b>Автобус Hyundai Aero City 540 2010 синий-</b></p> <p>1 850 000 руб.</p> <p>Владивосток</p>		20 мая 03:36

Рис.10. Листинг объявлений по разделам купле/продажи

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов М.В., Симдянов И.В., Гольшев С.В. РНР 5 на примерах. – Санк-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 576 с.
2. Матросов А.В., Сергеев А.О., Чаунин М.П. HTML 4. – Санк-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. 672 с.

## ОБ АВТОРАХ



**Дронь Елена Анатольевна**, к.т.н., доц. каф. автоматизированных систем управления. Дипл. экономист по инфор. системам (УГАТУ, 1999). Канд. техн. наук по автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами (УГАТУ, 2003)

e-mail: [elena\\_dron@bk.ru](mailto:elena_dron@bk.ru)



**Мухаметов Рафаэль Ринатович**, студент 5 курса специальности «Прикладная информатика в экономике», УГАТУ

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

УДК 004

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПРЕДПРИЯТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

**Дронь Е. А., Медведков В. Ю.**

Основной задачей мониторинга программно-аппаратного комплекса энергетического предприятия города Уфы является осуществление постоянного контроля за состоянием ИТ-инфраструктуры, способствовать выявлению тех или иных сбоев в работе, а также оповещать ответственный персонал об обнаруженных неполадках. Для реализации выше указанных задач система мониторинга должна осуществлять:

- сбор данных о состоянии контролируемого оборудования. Может осуществляться с использованием стандартных протоколов мониторинга (таких как InternetControlMessageProtocol (ICMP), SimpleNetworkManagementProtocol (SNMP)) или при помощи вспомогательного программного обеспечения (ПО);

- выявление нештатных ситуаций в ИТ-инфраструктуре. Генерирование событий при выходе контролируемых параметров работы оборудования за установленные пределы (и присвоение категорий критичности);

- оповещение ответственного персонала о зарегистрированных событиях в зависимости от степени важности событий. Может производиться различными способами;

- визуализация ИТ-инфраструктуры, в виде карты взаимосвязанных элементов. Это позволяет сократить время выявления сбойного узла, за счет наличия наглядной структурной схемы, особенно в ситуациях, когда сбой одного узла вызывает множественные сбои в других узлах, например, при неполадках в работе сетевого оборудования;

– генерирование отчетов о выявленных событиях, произошедших в ИТ-инфраструктуре. Отчеты могут быть представлены как в виде таблиц, или текстов, так и в графическом виде.

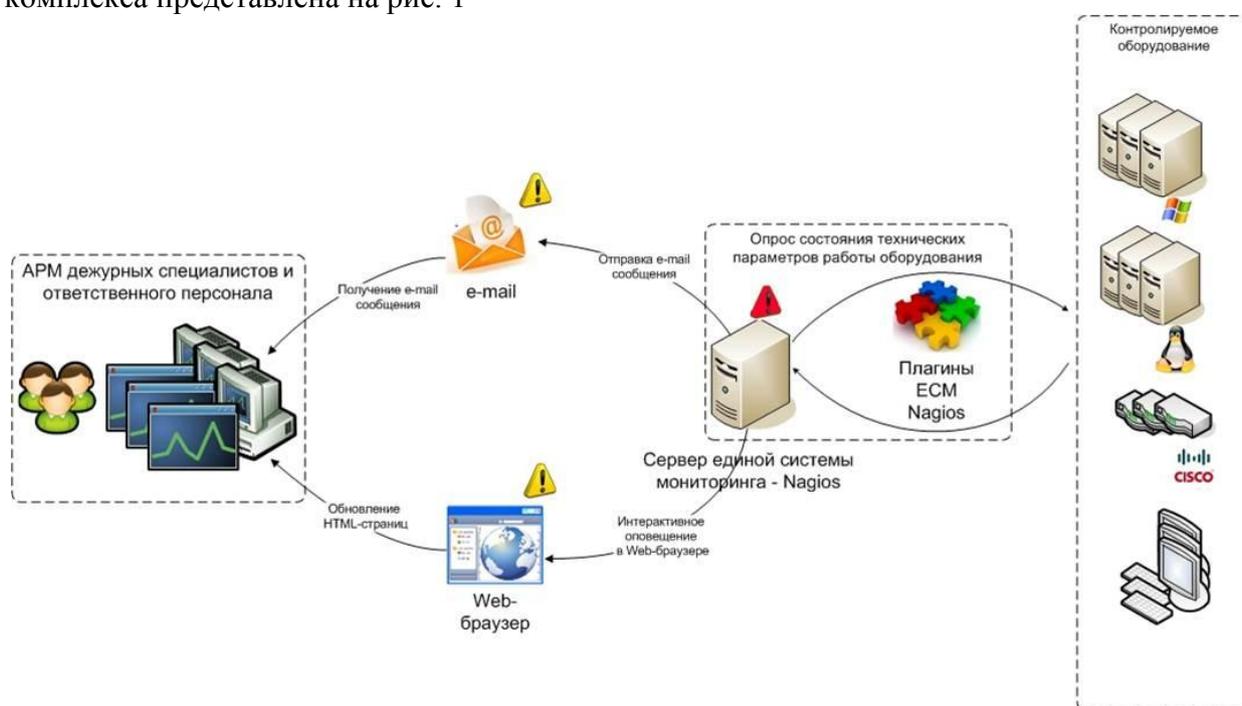
Реализация перспективных направлений развития системы мониторинга ПАК энергетического предприятия города Уфы позволит:

– повысить эффективность деятельности сотрудников ИТ-подразделения за счет осуществления более оперативных мер направленных на устранение нештатной работы оборудования, а так же уменьшить число избыточных задач, выполняемых сотрудниками ИТ-подразделения, путем их автоматизации;

– уменьшить упущенную предприятием прибыль из-за простоев различных элементов ИТ-инфраструктуры;

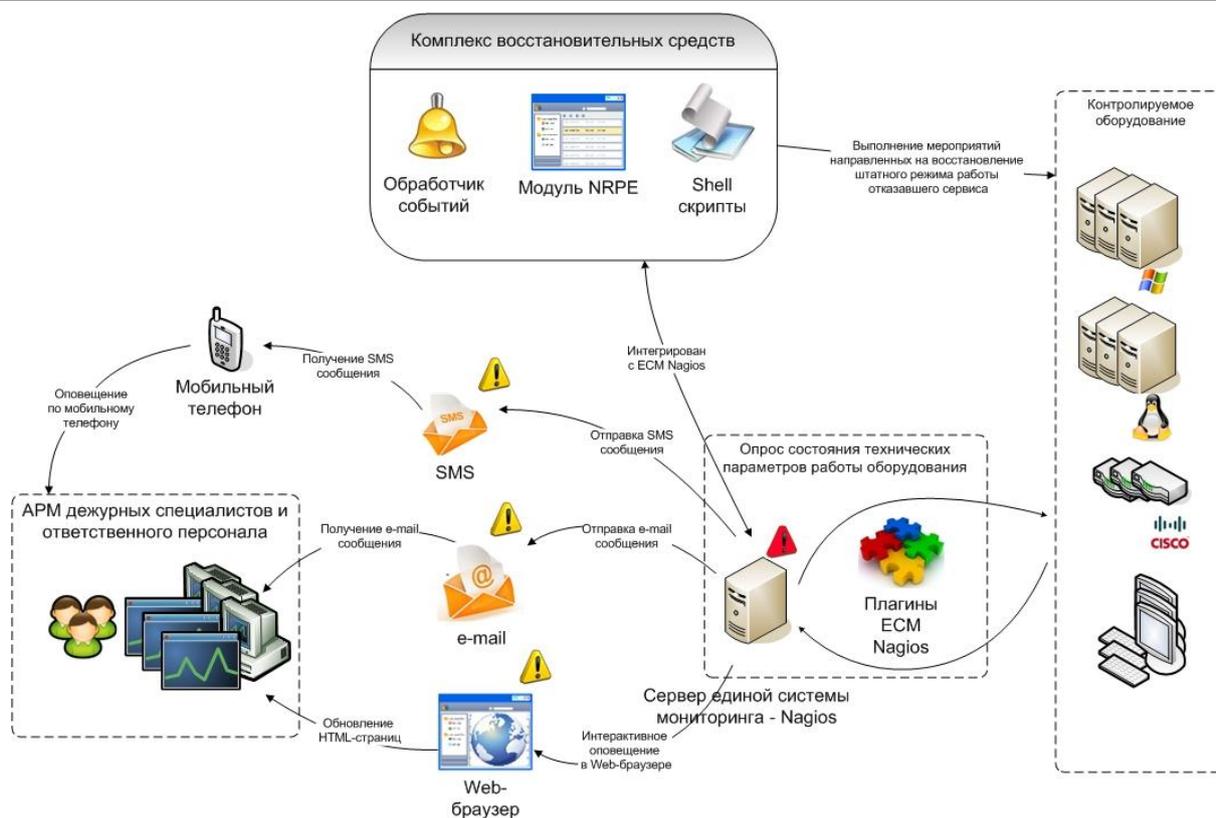
– повысить производительность труда конечных пользователей информационных систем.

Мнемосхема существующего процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 1



**Рис. 1.** Мнемосхема существующего процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса энергетического предприятия города Уфы

Мнемосхема предлагаемого процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса энергетического предприятия города Уфы представлена на рисунке 2

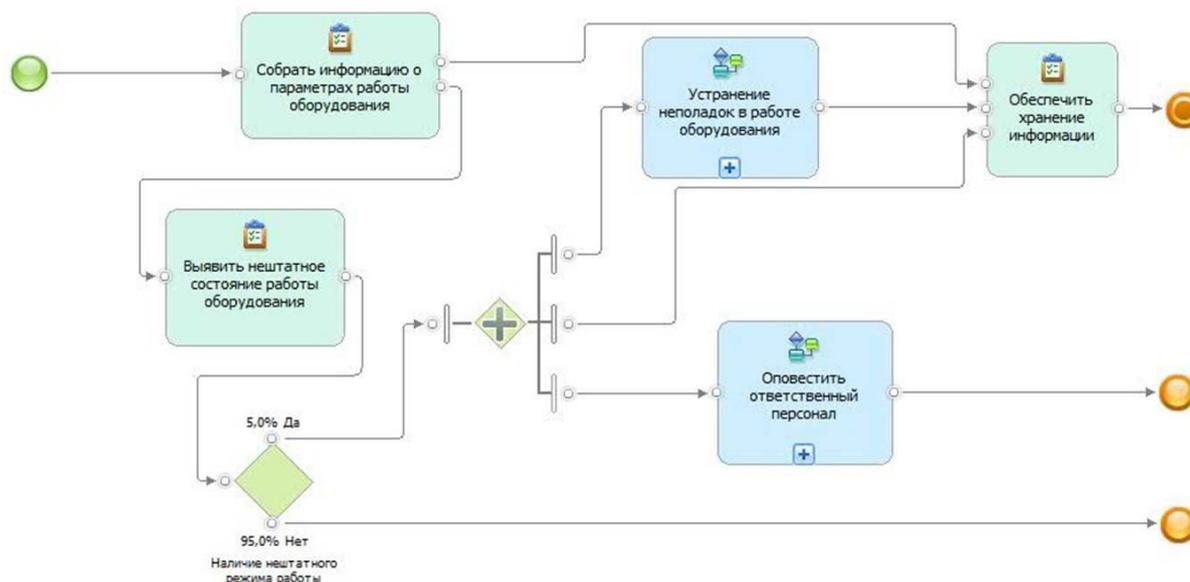


**Рис. 2.** Мнемосхема предлагаемого процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса энергетического предприятия города Уфы

В предлагаемом процессе предполагается дополнить систему оповещения сотрудников отдела дежурных специалистов информационных технологий и ответственного персонала организацией рассылки оповещений о произошедших неполадках посредством отправки SMS-сообщений, а так же создание индивидуальных обработчиков событий для автоматического устранения неисправностей. Предложенная система оповещения является более востребованной в связи с тем, что ответственный персонал будет информирован о наличии нештатной ситуации более оперативно и в тоже время данный вид оповещения является более мобильным в связи с тем, что адресаты будут оповещены даже в отсутствии на рабочих местах, что было недоступным при ранее организованных видах оповещения. Создание индивидуальных обработчики событий даст возможность устранять определённую часть возникающих проблем без привлечения человеческих ресурсов, на основе шаблонов поведения системы. Обработчик событий позволяет реагировать на изменение состояния наблюдаемого сервиса путём выполнения указанных скриптов. Таким образом, можно настроить систему на выполнение перезапуска отказавшего сервиса, запускать внешние приложения, передавая им параметры и результаты последних проверок.

В качестве математической части осуществлена имитация предлагаемой модели процесса.

На рисунке 3 представлена имитация предлагаемого процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса предприятия энергетики



**Рис. 3.** Имитационная модель процесса мониторинга программно-аппаратного комплекса предприятия

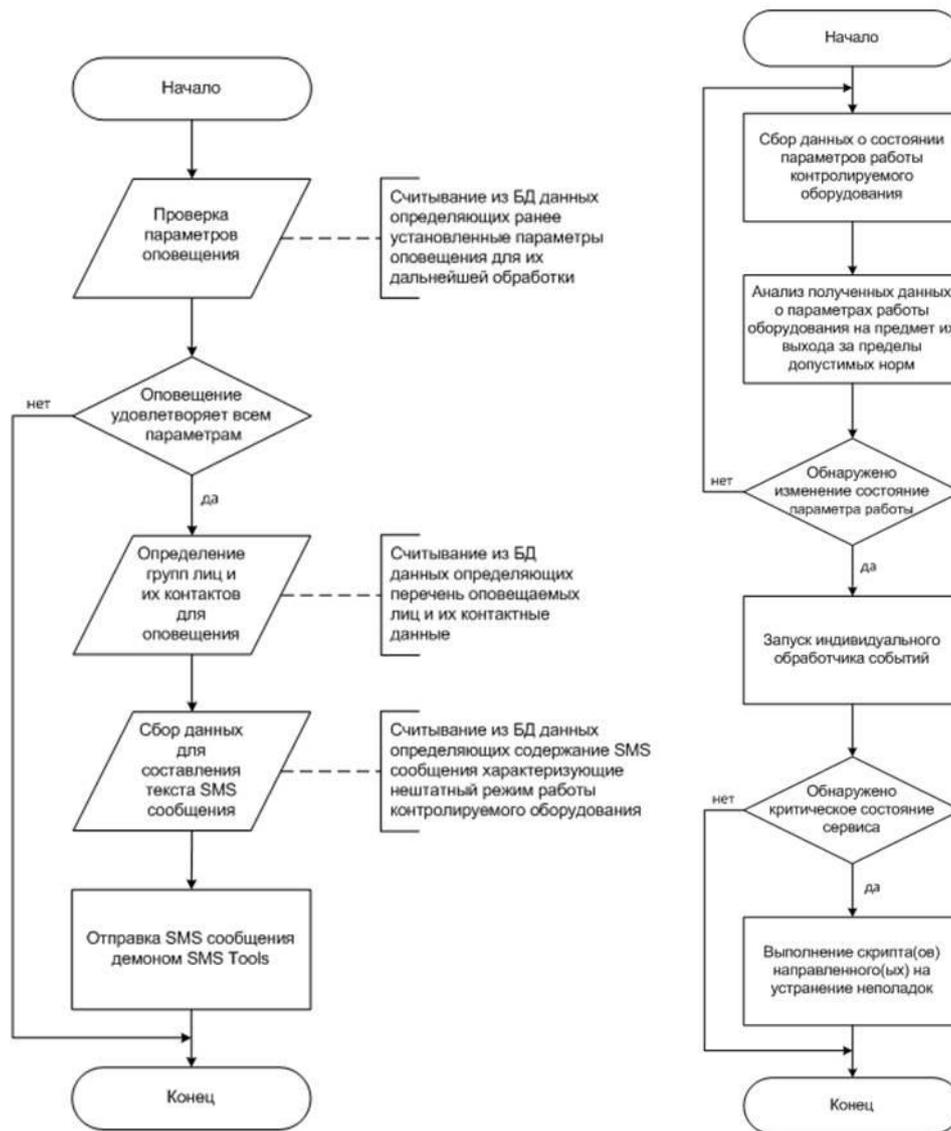
Реализации SMS оповещения условно разделена на три этапа:

- установка и настройка конфигурационных файлов дополнительного демона SMSTool;
- интеграция системы мониторинга с GSM-модемом с установленной в него SIM-картой;
- настройка необходимых конфигурационных файлов самой системы мониторинга Nagios.

Создание индивидуальных обработчиков событий даст возможность устранять определённую часть возникающих проблем без привлечения человеческих ресурсов, на основе шаблонов поведения системы. Обработчик событий позволяет реагировать на изменение состояния наблюдаемого сервиса путём выполнения указанного скрипта. Таким образом, можно настроить систему на выполнение перезапуска отказавшего сервиса, запускать внешние приложения, передавая им параметры и результаты последних проверок.

Реализации индивидуальных обработчиков событий так же условно разделена на три этапа:

- создание команд и установка параметров работы обработчиков событий;
- написание самих скриптов;
- установка и настройка агента NSClient++ на рабочие станции.



**Рис. 5.** Блок-схема алгоритмов работы SMS-оповещения и индивидуальных обработчиков событий

Ожидаемыми результатами внедрения ИС являются:

- уменьшение времени, затрачиваемое на процесс оповещения ответственного персонала о наличии нештатного режима работы контролируемого оборудования;
- уменьшение времени, затрачиваемое на устранение нештатного режима работы оборудования.

Факторы, обуславливающие повышение экономической эффективности деятельности энергетического предприятия города Уфы за счет внедрения ИС:

- экономическая выгода за счет сокращения стоимости обслуживания клиента;
- увеличение скорости реакции, на негативные события, происходящие во время эксплуатации программно-аппаратного комплекса;
- уменьшение риска простоя предприятия за счет отказа оборудования;
- уменьшение нагрузки на сотрудников ИТ-отдела за счет автоматического устранения неисправности без привлечения человеческих ресурсов.

Говоря о целесообразности системы в экономическом плане, то по итогам расчетов и анализа факторов повышения экономической эффективности можно утверждать что внедрение позволит увеличить эффективность единой системы мониторинга, а также временные затраты на решаемые с помощью системы задачи, что

приведет к уменьшению годовых текущих затрат с 103 259,06 руб. до 24 088,33 руб. Что дает право говорить о целесообразности системы в экономическом плане.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнова Г. Н., Тельнов Ю. Ф. Проектирование экономических информационных систем (часть 1)/Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М.: МЭСИ, 2004. – 223 с.
2. Ясенев В. Н. Автоматизированные информационные системы в экономике: Учебно-методическое пособие. – Н. Новгород, 2007. – 439 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Дронь Елена Анатольевна**, к.т.н., доц. каф.автоматизированных систем управления. Дипл. экономист по инфор. системам (УГАТУ, 1999). Канд. техн. наук по автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами (УГАТУ, 2003)

e-mail: [elena\\_dron@bk.ru](mailto:elena_dron@bk.ru)



**Медведков Вадим Юрьевич**, студент 5 курса специальности «Прикладная информатика в экономике», УГАТУ

УДК 621.45

## РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МАССЫ

**Нигматуллин Р. Р.**

Настоящее время характеризуется широким разнообразием используемых в качестве силовой установки летательных аппаратов (СУ ЛА) двигателей, вызванное различными сферами назначения, предъявляемыми требованиями, размерностью ЛА и прочими факторами. Тем не менее, двигатели объединяет требование создания тяги  $P$  (двигатели прямой реакции) или мощности на валу  $N_e$  (двигатели непрямой реакции). Также двигатели характеризуются сухой массой  $M_{дв}$ , как одним из основных параметров. Это вызвано хотя бы таким фактом, что увеличение массы двигателя на 1 кг приводит к увеличению массы планера на 3...5 кг только за счет несущих элементов. Поэтому стремление к уменьшению массы двигателя вполне оправдано, а значение массы жестко контролируется на всех этапах проектирования и доводки авиационного двигателя (АД). Для сравнительной оценки уровня технического (параметрического, конструктивного, технологического) совершенства АД используются удельные параметры, не зависящие от размерности двигателя, к их числу относится удельная масса  $\gamma$  – отношение сухой массы к тяге или мощности (для одно- и двухконтурных турбореактивных двигателей (ТРД и ТРДД)  $\gamma=M_{дв}/P$ , для турбовинтовых и турбовальных двигателей (ТВД и ТВАД)  $\gamma=M_{дв}/N_e$ ), в зарубежной литературе часто приводится обратная величина – отношение тяги или мощности к массе. Важность вопроса уменьшения удельной массы можно показать на примере того, что во всем мире практикуется закладка опережающей текущие технологические возможности нормы  $\gamma$  при разработке каждого перспективного

современного двигателя. Целью данной статьи является демонстрация совершенствования АД по обеспечению удельной массы за все время развития авиации.

На пути своего развития АД прошел несколько стадий своего развития.

Первоначально человек пытался подняться в воздух, подражая полету птицы, используя искусственные машущие крылья, приводимые в движение мускульной силой летчика. Несмотря на несостоятельность подобных проектов, доказанную многочисленными испытаниями, они оставили свой отпечаток в истории авиации. Позднее, на основе наблюдений за парением и планированием птиц, предложены варианты самолета с неподвижным крылом и пропеллером (Х. Гюйгенс, 1689 г.), однако энергетика того времени не позволяла реализовать перспективную схему, как и проект вертолета, предложенный Леонардо да Винчи.

Первый проект самолета с тепловым (паровым) двигателем предложен в 1835 г. Ф. Маттисом. А.Ф. Можайский в 1883 г. также использовал паровой двигатель, испытывая первый в России самолет. В 1890 г. Самолет К. Адера впервые оторвался от земли. Первые проекты реактивных самолетов на пульсирующем воздушно-реактивном двигателе (ПуВРД) создали в 1865 г. П. Маффиотти и Ш.де Луврие. В записях С.С. Неждановского встречаются идеи применения реактивных двигателей, работающих на сжатом газе, водяном паре, смеси спирта с воздухом (1882-89 гг.). Идеи Неждановского о применении на сопле эжекторных насадок для подсоса воздуха к выхлопной струе для повышения общей тяги в настоящее время нашла воплощение в двухконтурном турбореактивном двигателе (ТРДД). Во втором десятилетии XX в. предлагались проекты прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД), вызванные стремлением летать быстрее и выше. Нельзя не упомянуть проект А. Коандэ 1910 г. – первый самолет с турбореактивным двигателем (однако в качестве турбины использовался поршневой двигатель; поступающий в центробежный компрессор воздух подогревался теплотой отработанных газов ДВС и расширялся на выходе из реактивного сопла).

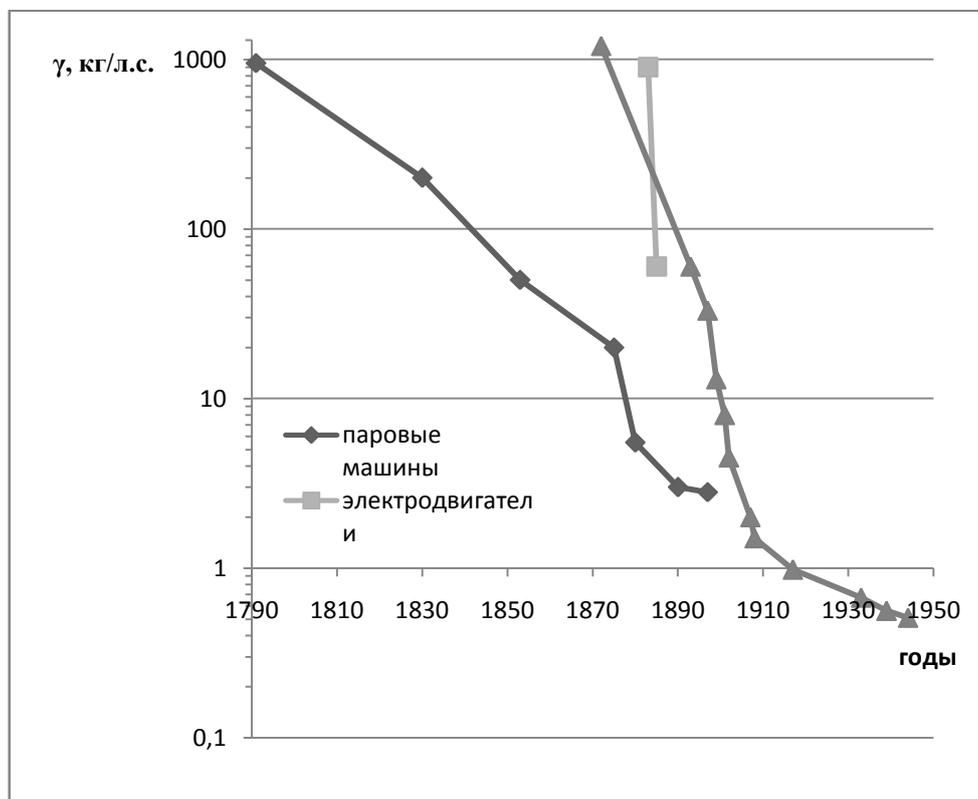
Н.А. Шишков и В.А. Татаринев являются авторами проектов самолетов с электродвигателями в качестве СУ. Проблема выбора электрической мощности заключается в значительной массе аккумуляторных батарей и решалась применением натянутой вдоль маршрута проволокой. Только сейчас, благодаря солнечным батареям, появились относительно перспективные проекты полностью электрических ЛА.

Первый самолет с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) был построен в 1899 г. Самолет братьев Райт в 1903 г. впервые произвел установившийся полет.

Воплощению перечисленных проектов в жизнь препятствовал большой вес двигателей, вернее, заниженное значение изобретателями потребной мощности. Однако стремительное расширение военно-морского флота ведущих морских держав потребовало увеличения энерговооруженности судов, большая часть которых эксплуатировалась с паровыми двигателями. Усовершенствованию парового двигателя способствовали такие нововведения, как последовательное расширение пара в цилиндрах, замена чугунных отливок пустотелыми стальными, повышение КПД котлов с быстрым парообразованием, создание поверхностных холодильников и конденсаторов, использование перегрева пара, замена угля нефтью и спиртом.

Развитие ДВС также происходило отдельно от авиации. Посредством автомобилестроения ДВС быстро развивался: водяное охлаждение, 4-тактный рабочий цикл с предварительным сжатием топливно-воздушной смеси, замена светильного газа бензином, создание поплавкового карбюратора, улучшение системы зажигания и другие нововведения позволили повысить надежность и экономичность. Хотя первые ДВС были недостаточно надежны, а по удельной массе уступали лучшим паровым машинам своего времени (Рис. 1), основные преимущества – отсутствие котла и конденсатора, компактность, и легкость управления – позволили к концу XIX в. говорить о перспективности применения ДВС в авиации. После первых экспериментальных полетов братьев Райт стало очевидно, что необходимо разрабатывать специальные авиационные

двигатели. В начале XX в. за несколько лет мощность двигателя возростала в два раза, за счет увеличения числа цилиндров, при этом удельная масса уменьшалась примерно в 1,5 раза. Дальнейшее развитие мирового авиадвигателестроения пошло по двум направлениям: ротативные ДВС воздушного охлаждения (отличались легкостью и компактностью, вращение цилиндров обеспечивало нормальное охлаждение на всех скоростях) и ДВС автомобильного типа с водяной системой охлаждения (более надежные и экономичные, конструкция позволяла достичь больших мощностей, в полете не сказывался гироскопический эффект вращающихся цилиндров). Опыт первой мировой войны показал превосходство двигателей второго типа. К концу войны появился нагнетатель с механическим и турбинным приводом, позволивший повысить мощность и высотность двигателя, уменьшить рабочий объем цилиндров и, следовательно, массу; основным материалом головок цилиндров стал алюминий. С ростом скорости проявилась необходимость понижать лобовое сопротивление двигательной установки; наряду с обтекаемым коком винта, металлическим капотированием двигателя и тоннельным радиатором потребовалось уменьшение миделевого сечения двигателя: получили распространение двигатели «двойная звезда». Повышение мощности ДВС в 1930-х гг. происходило за счет повышения частоты вращения коленчатого вала (что вынудило ввести в состав СУ редуктора и трехлопастного пропеллера вместо двухлопастного), массы нагнетаемого воздуха, его промежуточного охлаждения, степени сжатия в нагнетателе и цилиндрах. Последнее потребовало повышения детонационной стойкости бензина (к 1936 г. требуемое октановое число бензина стало 73-100 вместо 50). Проводились экспериментальные полеты самолетов с дизельными двигателями, однако, из-за большей в 1,5 раза удельной массы, в серию двигатели не пошли. В истребительной авиации воюющих стран во время второй мировой войны предусматривалась возможность ввода кратковременных форсированных режимов, предусматривающих перегрузку мотора по оборотам и (или) наддуву с повышением мощности на 30-50%; впрыск в нагнетатель закиси азота на больших высотах или водо-метаноловой смеси – на малых.



**Рис. 1.** Изменение минимального удельного веса двигателей в 1790-1945 гг. (по данным [5, 6])

В обстановке стремительной гонки вооружений перед началом второй мировой войны требовалось быстрое развитие летных характеристик самолетов, но потенциальные возможности винтомоторного самолета во многом были уже исчерпаны и прирост скорости и высоты давался с большим трудом. Велись работы по проектированию паротурбинной авиационной СУ, позволявшей достигнуть мощности до 10000 л.с., но первые опытные турбины имели недопустимо высокое значение удельной массы. Что касается опытов по применению твердотопливных ракетных установок на летательных аппаратах, то они не оправдали возлагаемых надежд из-за кратковременности реактивного действия, вместе с тем они применялись в качестве вспомогательной СУ для облегчения взлета самолета. Жидкостный ракетный двигатель в качестве полноценной СУ появился в 1939 г., однако так же не мог работать более нескольких минут, на борту требовался дополнительно запас окислителя (азотная кислота), испытания зачастую заканчивались катастрофой. Только воздушно-реактивный двигатель мог обеспечить высокую тягу в течение продолжительного времени. Преимущества такого двигателя заключались в простоте конструкции (нет пропеллера, отсутствует поршневая группа и т. д.) и в том, что развиваемая им сила тяги не уменьшается с ростом скорости и значительно меньше зависит от высоты полета. Улучшенные удельные параметры ГТД по сравнению с ПД связаны с особенностями конструкции и термодинамического цикла. Если в ПД весь цикл происходит в цилиндре, а операции сменяются со временем, то в ГТД процессы происходят одновременно и непрерывно в различных узлах двигателя, поэтому массовый расход рабочего тела в 50...100 раз выше. Это позволило в компактном объеме сконцентрировать большие мощности. Началась эра реактивной авиации.

Первые изготовленные ТРД и ТВД наряду с высоким расходом топлива показали значительное повышение запасов тяги и мощности, уверенность в успехе работ по совершенствованию газотурбинных СУ.

Задача уменьшения удельной массы является комплексной: во-первых, стремятся увеличить тягу (мощность), во-вторых – уменьшить массу двигателя. Первоначальной задачей ранних ТРД и ТВД было повышение тяги и мощности. Повышение тяги (мощности) до 10% возможно без изменения конструкции двигателя и заключается в повышении температуры за камерой сгорания и частоты вращения роторов до определенных пределов, выявленных опытом эксплуатации. Повышением температур, давлений рабочего тела в проточной части двигателя, частот вращения роторов, напорности ступеней или добавлением дополнительных ступеней компрессора, применением новых жаропрочных и жаростойких материалов обеспечивается повышение тяги (мощности) до 20% без изменения его массы и габаритов. Повышение более 20% требует увеличения площади входного сечения ГТД, следовательно, габаритов и массы.

Снижение массы достигается различными путями:

- аэродинамическое и конструктивное совершенствование узлов и двигателя в целом – правильно выбранная силовая схема, применение второго и третьего каскада, повышение нагруженности ступеней компрессора и турбины уменьшают количество ступеней;

- повышение параметров процесса в отдельных агрегатах – совершенствование термодинамического цикла позволяет уменьшить расход воздуха через ГТД и размерность,

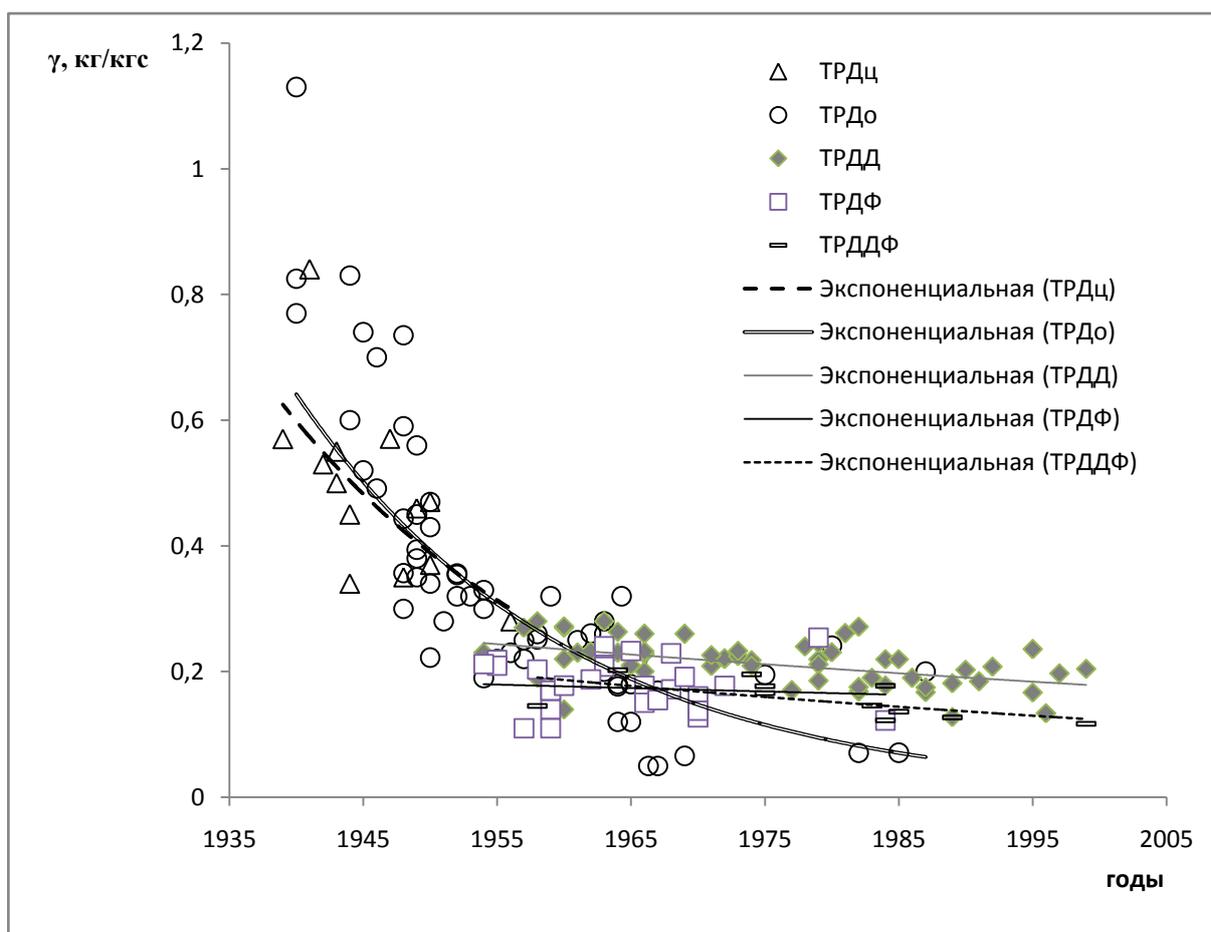
- совершенствование технологических процессов изготовления деталей – применение новых методов сварки, защитных покрытий, высокоточных операций и т.д. способствует не только экономии материала, но и повышению эксплуатационных свойств;

- применение новых конструкционных материалов, в том числе композиционных, с улучшенными удельными параметрами жесткости и упругости, длительной и цикловой прочности в течение назначенного ресурса определяет существующие резервы понижения массы.

Таким образом, наилучшие результаты в понижении удельной массы достигаются при незначительном форсировании двигателя и комплексном снижении массы узлов двигателя.

Однако, как известно, в такой сложной системе, как ГТД, при проектировании возникает задача совмещения противоречивых требований. Например, применение регенерации тепла выхлопных газов повышает КПД цикла, но неприемлемо с точки зрения массы – существующие на данный момент теплообменные аппараты значительно повышают массу и габариты СУ, требуют непрерывного контроля состояния. Повышение лобовой тяги, приводящее к увеличению удельного расхода топлива, положительно сказывается на весовой отдаче двигателя, т.к. уменьшаются габариты и вес двигателя. В этих и других случаях разработчики должны найти компромиссное решение.

На рис. 2 показано изменение удельной массы по отношению к тяге турбореактивных двигателей. При детальном рассмотрении графика выясняется, что в первые годы наибольшее распространение и массовое совершенство имели ТРД с центробежным компрессором (ТРДц), т.к. одна ступень центробежного компрессора имела меньшую массу, чем несколько ступеней осевого компрессора при одинаковой степени повышения давления; в дальнейшем их вытеснили ТРД с осевым компрессором (ТРДо), ввиду постепенного совершенствования и большей удельной лобовой тяги последних. Применение форсажной камеры в ТРД (ТРДФ) позволило увеличить лобовую тягу двигателя, и уменьшить удельную массу; тем не менее для повышения топливной экономичности ТРД были заменены на двухконтурные ТРД (ТРДД), как и ТРДФ на ТРДДФ.



**Рис. 2.** Изменение удельного веса реактивных двигателей в 1940-2000 гг. (по данным [1, 3, 4])

На рис. 3 показано изменение  $\gamma$  авиационных двигателей, предназначенных для

привода мощности на винт вертолетов и самолетов с пропеллером. Поршневые двигатели, в том числе дизельные, продолжают совершенствоваться по массе, экономичности, надежности, они в основном применяются в малой авиации; турбовальные двигатели (ТВаД), в основном применяемые в СУ вертолетов, имеют лучшие удельные характеристики, чем ТВД, из-за наличия свободной турбины; различные по мощности ТВД показывают улучшение массовых характеристик со временем; следует учитывать, что редуктор ТВД имеет меньшую степень редукции, чем редуктор ТВаД, поэтому имеет меньшую массу, что существенно в классе больших мощностей.

Следует упомянуть, что удельная масса двигателя (примем простейший вариант – ТРД) зависит от диаметра и тяги. При сохранении геометрического подобия, механической и термической напряженности масса двигателя в зависимости от диаметра  $D$ . Однако, есть некоторая доля деталей, выполненных из листового материала (в узлах входного устройства, камеры сгорания, реактивного сопла), в которых толщина листа почти не меняется, для них характерен квадратичный закон увеличения массы. Таким образом, масса двигателя пропорциональна диаметру  $D$  в степени  $n$ , лежащей между значениями 2 и 3:

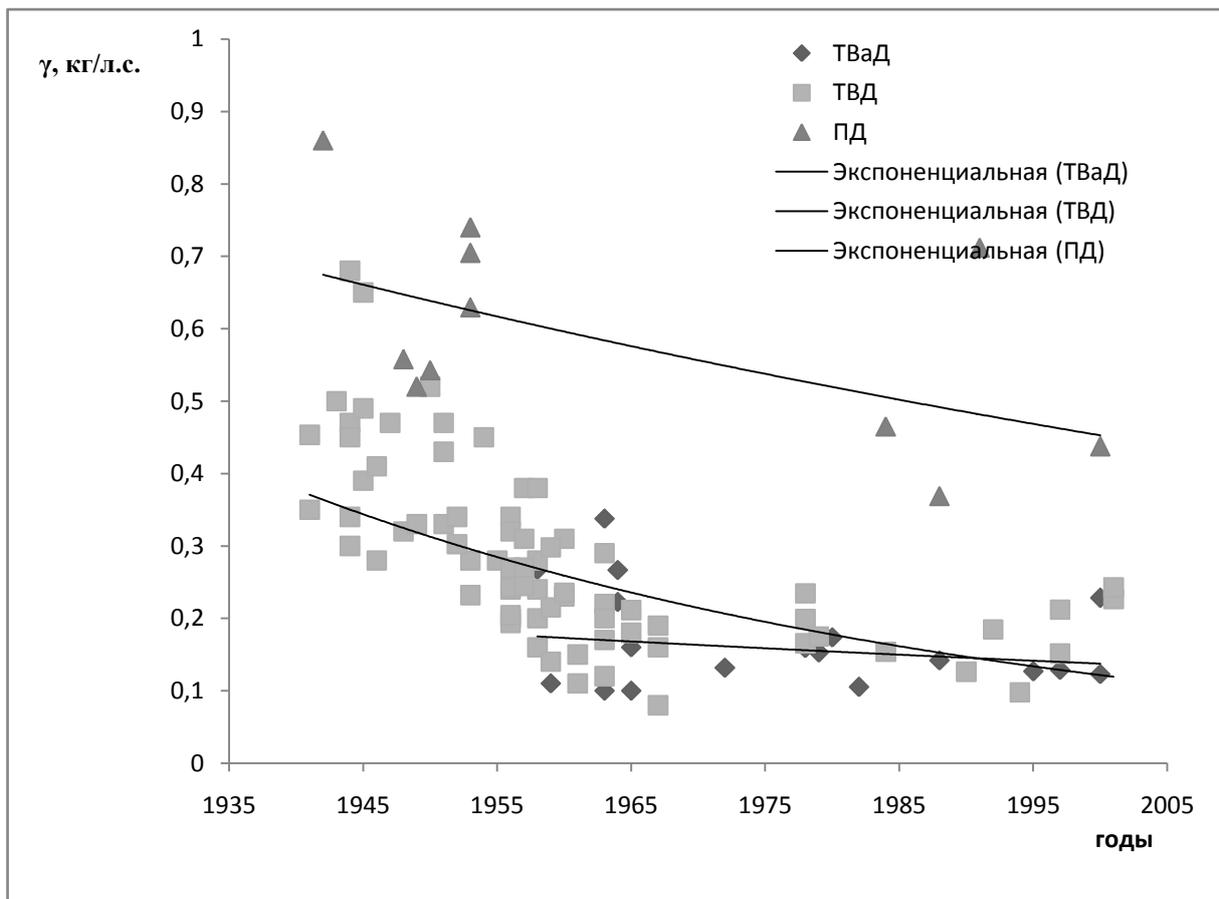
$$m_{\text{дв}} = C_1 D^n, \quad (1)$$

где  $C_1$  – коэффициент пропорциональности (масса двигателя при  $D=1,0$ ).

Тяга двигателя зависит от расхода воздуха, пропорционального квадрату диаметра на входе в компрессор:

$$P = C_2 D^2, \quad (2)$$

где  $C_2$  – коэффициент пропорциональности (тяга двигателя при  $D=1,0$ ).



**Рис. 3.** Изменение удельного веса авиационных двигателей с приводом на винт в 1940-2000 гг. (по данным [1, 3, 4])

Уравнение удельной массы с учетом (1) и (2) примет вид:

$$\gamma = \frac{m_{\text{дв}}}{P} = \frac{C_1}{C_2} \left( \sqrt{\frac{P}{C_2}} \right)^{n-2} = C P^{\frac{n-2}{2}}$$

Отсюда следует вывод, что при  $n > 2$  удельная масса двигателя растет с увеличением тяги, поэтому путем изменения геометрических размеров двигателя текущего уровня совершенства нельзя добиться понижения его удельной массы. Однако и уменьшение тяги двигателя до величины менее 1000 дан не способствует уменьшению удельной массы ввиду ограничений технологии производства деталей малых размеров. Тем не менее, работы по проектированию двигателей данной размерности велись с определенным успехом. В дальнейшем, благодаря увеличивающемуся объему статистических данных о произведенных двигателях задача предварительного расчета массы вновь проектируемых двигателей получила теоретическое обоснование.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели 1944-2000: авиационные, ракетные, морские, промышленные. – 393 с.
2. Иноземцев А.А. Газотурбинные двигатели. / Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. – Пермь: «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.
3. Скибин В.А. Иностраные авиационные двигатели. / под ред.: В.А. Скибин, В.И. Солонин – М.: изд-во ЦИАМ, 2005. – 592 с.
4. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. М.: «Машиностроение», 1969. – 544 с.
5. Соболев Д.А. История самолетов. Начальный период. М.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 1995. – 343 с.
6. Соболев Д.А. История самолетов 1919-1945. М.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 1997. – 356 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Нигматуллин Руслан Радикович**, магистрант каф. авиац. двигателей УГАТУ, дипл. бакалавра техники и технологии по специальности «Авиаракетостроение» (УГАТУ, 2012). Исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД

УДК 621.45.038

### УПРАВЛЕНИЕ РАДИАЛЬНЫМИ ЗАЗОРАМИ

**Камалтдинов И. И., Зырянов А. В.**

Основными параметрами цикла, влияющими на изменение удельного расхода топлива, удельной мощности и удельного веса в авиационных газотурбинных двигателях, является температура газа перед турбиной, степень повышения давления в компрессоре, КПД узлов входящих в состав ГТД.

Для достижения минимального удельного расхода топлива одновременно с повышением температуры газа перед турбиной  $T_T^*$  необходимо увеличивать и степень

повышения давления в компрессоре  $\pi_k^*$ . Однако повышение  $T_r^*$  и  $\pi_k^*$  сопровождается, как правило, падением КПД и увеличением расхода охлаждающего воздуха, что может привести на нет весь потенциальный выигрыш. Поэтому одной из основных задач при проектировании современных газотурбинных двигателей является повышение его коэффициента полезного действия. Эффективность газотурбинных двигателей в свою очередь сильно зависит от потерь энергии, вызванных наличием радиального зазора в компрессоре и турбине.

Одной из практически важных задач является регулирование радиального зазора для того, чтобы его величина на всех режимах работы двигателя была минимальной, но достаточна для предотвращения врезания торца рабочей лопатки в детали статора.

В табл.1 приведены данные по влиянию 1 мм радиального зазора КВД и ТВД на удельный расход топлива[1].

Таблица 1

Влияние 1мм радиального зазора

Параметры ГТД на взлетном режиме $H=0, M=0$	Ср	
	КВД	ТВД
ГТД №1 ( $\pi_k^*=12 T_r^*=1300K, m=1.3$ )	+0.68	+0.7
ГТД №2 ( $\pi_k^*=27 T_r^*=1620K, m=1.3$ )	+1	+1.5
ГТД №3 ( $\pi_k^*=40 T_r^*=1650K, m=15$ )	+1.3	+2.9

На рис. 1 показано влияние радиальных зазоров на КПД турбины. Видно, что 1% изменения величины зазора по концам лопаток турбины ВД может приводить к уменьшению КПД примерно на 1,5 -2,8% [1].

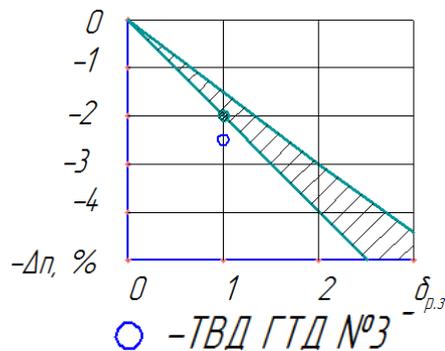


Рис. 1. Влияние относительного зазора на изменение КПД турбины

#### Целями при управлении зазорами турбины являются:

обеспечение минимально возможного рабочего зазора на основном рабочем режиме (режиме крейсерского полета) или нескольких основных режимах, обеспечивающего максимальный к.п.д. турбины; исключение неприемлемого износа корпуса и особенно ротора при возможном контакте на переходных режимах, которое приводит к увеличению радиальных зазоров на величину износа на всех стационарных рабочих режимах.

Управление радиальными зазорами подразумевает:

- конструктивное обеспечение минимально допустимых радиальных зазоров – так называемое пассивное регулирование радиальных зазоров;
- конструктивное обеспечения минимального износа деталей ротора (лопаток и

лабиринтов) и статора (корпуса и уплотнений) во время эксплуатации;

- применение систем активного управления радиальными зазорами (САУРЗ) во время рабочего цикла двигателя [2].

### **Пассивное регулирование радиальных зазоров.**

Пассивное управление радиальными зазорами основано на выборе материалов и конструкции ротора и статора турбины, обеспечивающих минимальное относительное перемещение.

В конструкциях авиационных турбин, созданных до начала 1980-х годов и до сих пор находящихся в эксплуатации, применялось только пассивное регулирование радиальных зазоров. Наружные корпуса турбины снаружи не охлаждались или охлаждались только постоянным потоком воздуха наружного контура (в двухконтурных двигателях).

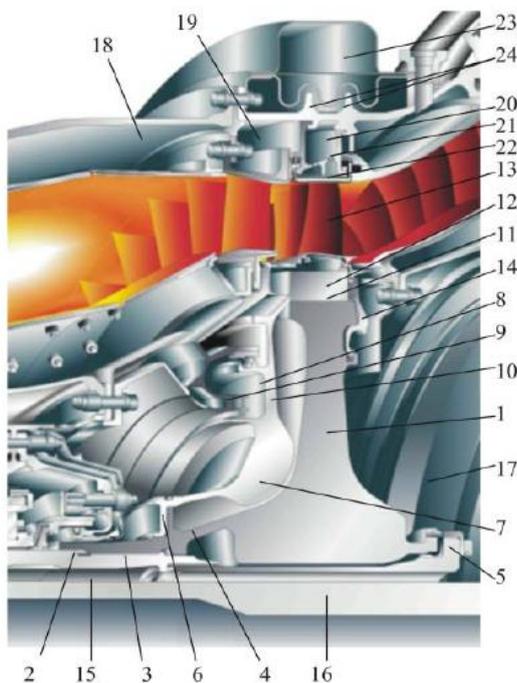
Конструктивные меры по управлению радиальными зазорами турбины в основном заключаются в увеличении тепловой инерционности корпуса турбины. Это вызвано тем, что геометрические параметры ротора и его материалы определяются в основном по условиям прочности и обеспечения требуемого ресурса.

На рис. 2 приведена конструкция корпуса ТВД PW6000, которая использует различные способы увеличения тепловой инерционности корпуса:

применение двухслойного корпуса (кольцевого наружного, удаленного от проточной части и внутреннего - из отдельных сегментов, составляющего проточную часть); при этом холодный наружный корпус определяет радиальное перемещение статора;

введение двух областей концентрации массы (фланцев) со специальным их охлаждением на наружном корпусе;

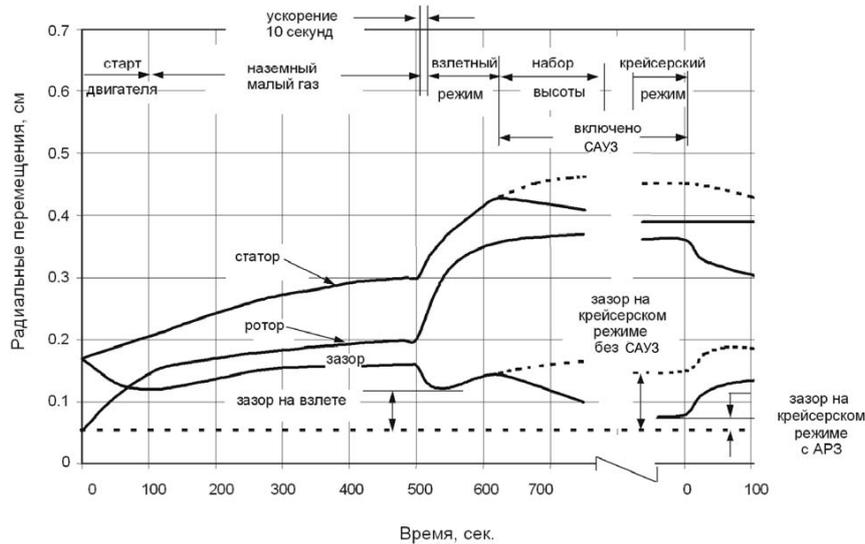
струйное охлаждение вставок через специальные отверстия и их термобарьерное покрытие для уменьшения теплового потока в корпус [2].



**Рис. 2.** Ротор ТВД PW 6600 1-диск; 2- вал ТВД; 3-шлицы; 4-фланец диска; 5-гайка; 6-фланцеве соединение; 7-передний дефлектор; 8-полость за аппаратом закрутки; 9-аппарат закрутки; 10-отверстие в дефлекторе 7; 11-полость под замком лопатки; 12- замок лопатки; 13-рабочая лопатка ТВД;14-задний дефлектор; 15-межвальная полость; 16- вал ТНД; 17-полость ротора ТНД; 18-вторичная зона КС; 19-полость над 1СА; 20-полость над РЛ; 21-тверстия; 22-вставка над РЛ; 23-кольцевая полость системы охлаждения корпуса; 24-фланцы корпуса

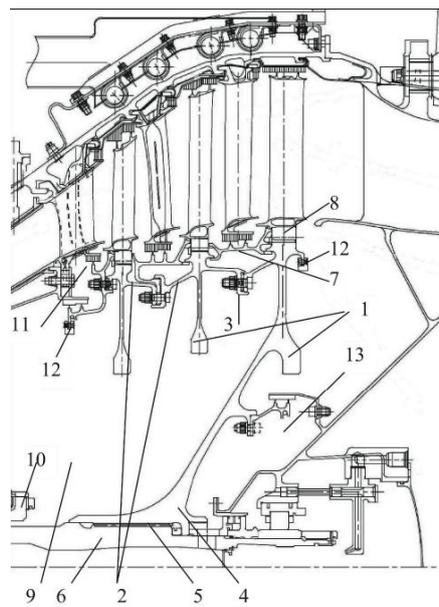
### Активное регулирование радиальных зазоров.

Активное регулирование зазоров предназначено для уменьшения рассогласования темпов прогрева роторных и статорных частей турбины. На рис. 3 приведено изменение радиального зазора рабочей лопатки первой ступени ТВД в полетном цикле двигателя за счет применения САУРЗ. САУРЗ управляет тепловой инерционностью статора с помощью управляемого его охлаждения (управления расходом воздуха охлаждающего воздуха на корпус)[2].



**Рис. 3.** Изменение радиального зазора для 1РЛТвд на режимах запуска, взлета, набора высоты и крейсерского полета (без включения и с включением САУРЗ)

На рис. 4 приведена конструкция системы наружного обдува корпусов ТВД и ТНД PW6000. Для улучшения реакции корпуса на нем выполнены дополнительные ребра, к которым непосредственно приближена система обдува [2].



**Рис. 2.** Ротор ТНД двигателя PW 6600 1-диски; 2- фланец диска; 3-болтовое соединение; 4-удлиннитель фланца диска; 5-шлицы; 6-вал ТНД; 7- дефлектор; 8-замковое соединение; 9-плотность ротора ТНД; 10-Вал ТВД; 11-осевой зазор; 12- балансировочные грузы; 13 –разгрузочная полость

Влияние САУРЗ на характеристики турбины зависит от:

- эффективности охлаждения корпусов;
- закона управления работой системы, который в свою очередь может быть:
- двухпозиционным (включено-выключено);
- управляющим расходом воздуха в трубопроводах обдува по заранее установленной модели (откалиброванной в процессе доводки);
- использующим систему обратной связи (управляющий расходом воздуха в системе на основании информации о реальной температуре корпуса и сравнении ее с данными в управляющей модели). Идеальным вариантом было бы использование информации о величине зазора, но в условиях эксплуатации получить такую информацию пока не представляется возможным.

### **Расчет в среде ANSYS деформации части элемента статора (простой пластины) при его охлаждении.**

Целью данной работы является разработка инженерной методики расчёта величины изменения радиального зазора для условий эксплуатации двигателя. Для достижения цели работы должен быть проведен расчет в среде ANSYS части статора ТВД, охлаждая его воздухом.

Определим исходные данные, необходимые для данного расчета. При проектировании системы примем, что статор охлаждается из-за КВД. Принимаем что статор турбины изготовлен из жаропрочного литейного интерметаллидного сплава ВКНА-1В, его плотность:  $\rho_{ст} = 7938 \text{ кг/м}^3$ .

Скорость воздуха в ступени турбине:  $\omega = 262 \text{ м/с}$ .

Скорость охлаждающего воздуха над статором:  $\omega = 175,74 \text{ м/с}$ .

Температура охлаждающего воздуха для статора ТВД:  $T_{охл} = 423\text{K} = 150^\circ\text{C}$ .

Температура газа в ТВД:  $T_r = 1535\text{K} = 1262^\circ\text{C}$ .

Давление охлаждающего воздуха для статора ТВД:  $p_{охл} = 0,322 \text{ МПа}$ .

Давление ТВД:  $p_r = 1,977466 \text{ МПа}$ .

Величина коэффициента теплоотдачи от воздуха к статору  $\alpha$  зависит от параметров турбины. Определим коэффициент теплоотдачи для процесса обтекания статора над лопаткой. Процесс обтекания статора охлаждающим воздухом можно упрощённо представить в виде вынужденного продольного обтекания воздухом плоской поверхности пластины.

Для воздуха  $T_{охл} = 423\text{K} = 150^\circ\text{C}$ :

динамическая вязкость воздуха:

$$\mu = 2,41 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

число Прандтля:

$$\text{Pr} = 0,6834;$$

удельная теплопроводность воздуха:

$$\lambda = 3,565 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

плотность воздуха при  $p_{охл} = 0,322 \text{ МПа}$ :

$$\gamma = \frac{p_{охл}}{R \cdot T_{охл}} = \frac{0,322 \cdot 10^6}{287 \cdot 423} = 2,652 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

кинематическая вязкость:

$$\nu = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} = \frac{2,41 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81}{2,652} = 8,913 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Число Рейнольдса при обтекании участка статора над лопаткой:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{охл} \cdot l_{ст}}{\nu} = \frac{175,74 \cdot 0,021}{8,913 \cdot 10^{-6}} = 4,14 \cdot 10^{-5}.$$

$\text{Re} < 5 \cdot 10^{-5}$  - режим течения в пограничном слое ламинарный. Средняя по длине теплоотдача может быть рассчитана из критерия Нуссельта:

$$Nu_x = 0,33 \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{-0,5} Re^{0,5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 0,33 \cdot (4,14 \cdot 10^5 \cdot 0,021)^{0,5} \cdot 0,683^{0,33} = \frac{8,569}{\sqrt{x}}.$$

Также

$$Nu_x = \frac{x \cdot \alpha_x}{l} \Rightarrow \alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda}{x},$$

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda}{x}.$$

$$\alpha_x = \frac{8,569 \cdot 3,565}{x \cdot \sqrt{x}} = \frac{30,55}{x \cdot \sqrt{x}} = 30,55 \cdot x^{-1,5}.$$

Тогда определим интегральный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_x = \int_0^{l_{ст}} \alpha_x dx = \int_0^{0,021} (30,55 \cdot x^{-1,5}) dx = \frac{30,55}{0,5} \cdot x^{-0,5} \Big|_0^{0,021} = \frac{61,098}{0,021^{0,5}} = 421,616 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Аналогично определяем коэффициент теплоотдачи для процесса обтекания статора газом в ТВД для  $T_r = 1535\text{K} = 1262^\circ\text{C}$ :

динамическая вязкость воздуха:

$$\mu = 5,4426 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с};$$

число Прандтля:

$$Pr = 0,5538;$$

удельная теплопроводность воздуха:

$$\lambda = 13,159 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

плотность воздуха при  $p_{охл} = 1977466 \text{Па}$ :

$$\gamma = \frac{p_{охл}}{R \cdot T_{охл}} = \frac{1,977466 \cdot 10^6}{287 \cdot 1535} = 5,46 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

кинематическая вязкость:

$$\nu = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} = \frac{5,4426 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81}{5,46} = 9,779 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Рейнольдс при обтекании участка статора над лопаткой:

$$Re = \frac{\omega_{охл} \cdot l_{ст}}{\nu} = \frac{262 \cdot 0,036}{9,779 \cdot 10^{-6}} = 9,672 \cdot 10^5.$$

$Re < 5 \cdot 10^5$ - режим течения в пограничном слое турбулентный. Средняя по длине теплоотдача может быть рассчитана из критерия Нуссельта:

$$Nu = 0,032 \cdot Re^{0,8} = 0,032 \cdot (9,672 \cdot 10^5)^{0,8} = 1965,851.$$

Также

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_{ст}}{\lambda} \Rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_{ст}};$$

Тогда определим интегральный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_{ст}} = \frac{1965,851 \cdot 0,13159}{0,0361} = 716,604 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Проведем расчет части ступени; для сравнения выполним 2 варианты расчета задач с охлаждением и без охлаждения части статора ТВД. Для расчета будем использовать универсальную программную систему конечно-элементного анализа ANSYS 14,5. Часть статора будет нарисована в CAD/CAM/CAE/CSE системе Unigraphics NX 7,0 и экспортирована в ANSYS 14,5. На рис. 5 приведен эскиз конструкции конструкции части статора ТВД.

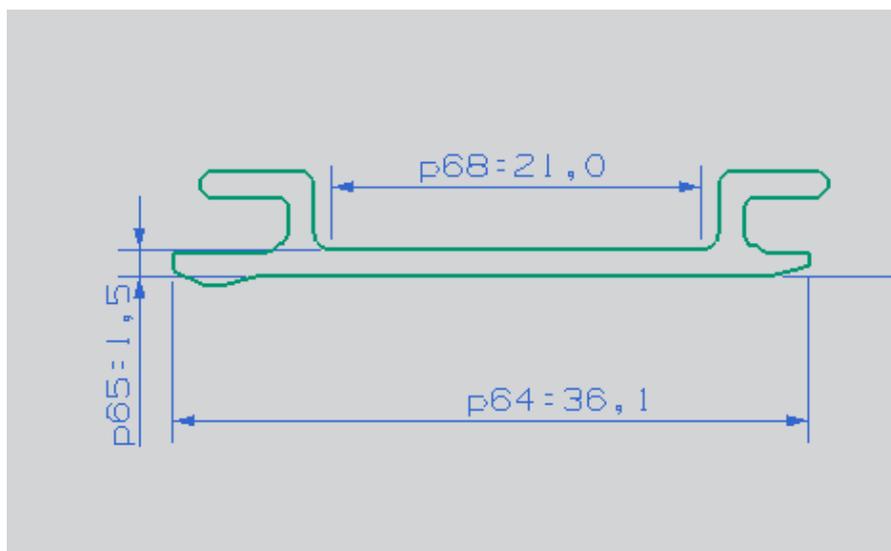


Рис. 5. Эскиз части статора ТВД

Создаём проект в ANSYSWorkbench: 2 ячейки для решения задачи теплообмена и 2 ячейки для решения задачи деформации статора в процессе нагревания . Дерево проекта в ANSYSWorkbench представлено рис. 6.

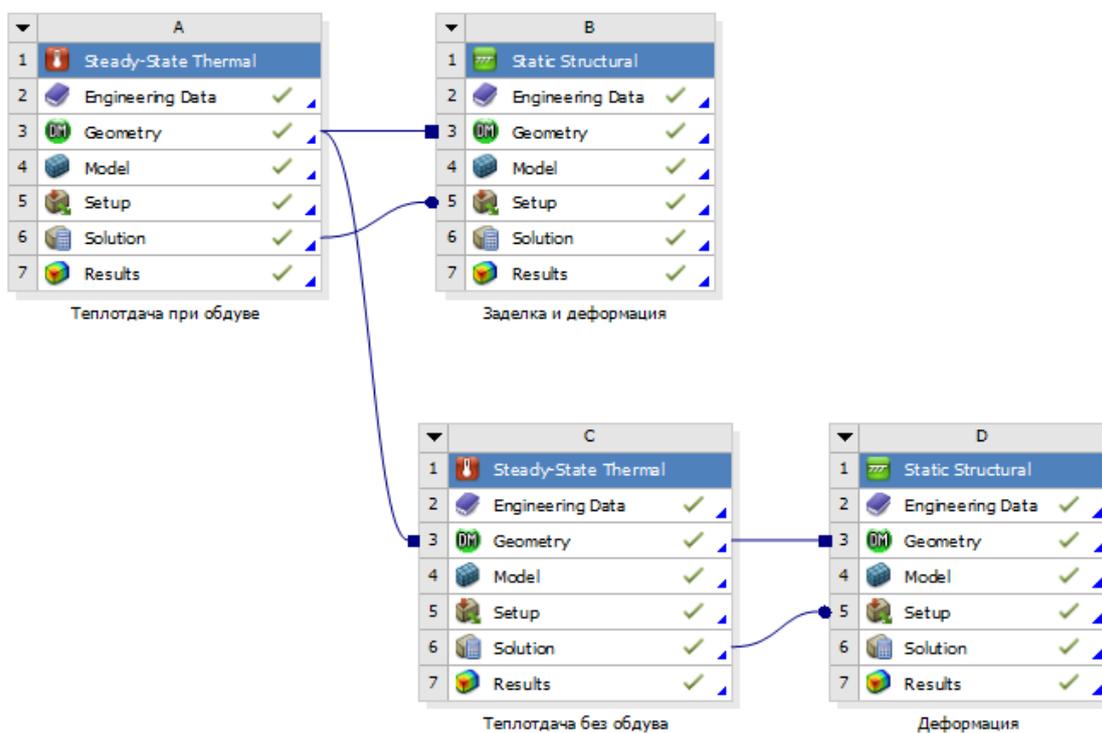


Рис. 6. Дерево проекта ANSYS

Указав все свойства материала и разбив геометрию на структурированную сетку выполним расчет . На рис. 7 и 8 показаны результаты расчета задач с охлаждением и без охлаждения части статора ТВД.

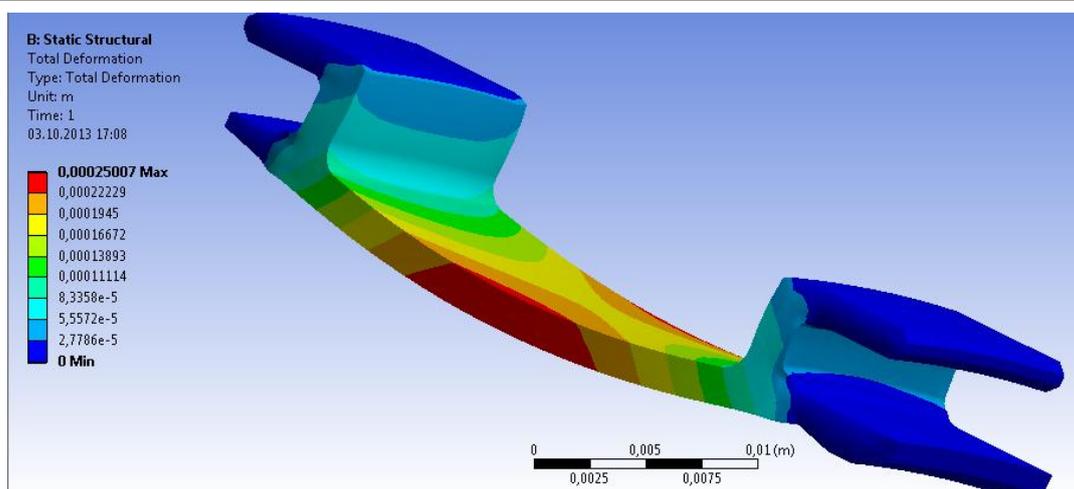


Рис. 7. Деформация части статора при охлаждении воздухом и КВД

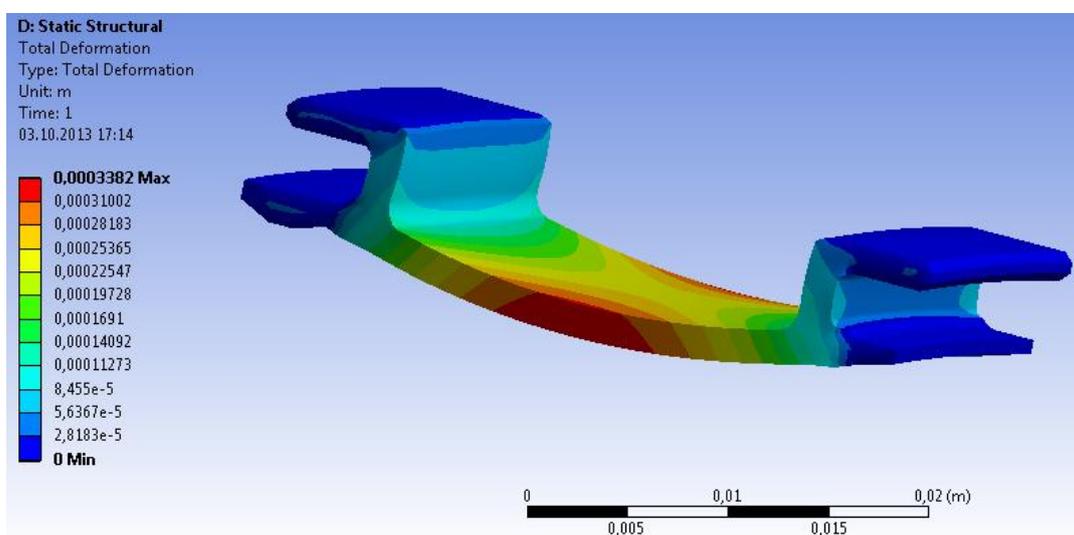


Рис. 8. Деформация части статора без охлаждения

### Заключение

Был приведён анализ зависимостей приведенных в научно-технической литературе, определяющих влияние величины радиального зазора на КПД двигателя для различных ГТД. Рассмотрены методы регулирования радиального зазора (пассивные и активные).

Для определения теплового состояния деформации статора был проведён расчет в среде ANSYS части элемента простой пластины при его охлаждении. Созданная модель показала что при обдуве статора радиальный зазор примерно на 1,3 мм меньше обычной схемы. Это показывает какую важную роль в авиастроение ГТД использование систем САУРЗ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Н.Д., Данильченко В.П., Резник В.Е. Управление радиальными зазорами в турбокомпрессорах авиационных ГТД. Самар. авиац. и-т., 1991. 109 с.
2. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник для студентов специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки». Серия: «Газотурбинные двигатели». М.-«Машинстроение», 2007.-232 с.

3. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. -344 с.

### ОБАВТОРАХ



**Камалтдинов Ильгиз Ильгамович**, магистрант группы ДЛА-602 кафедры «Авиационные двигатели» УГАТУ, степень бакалавра по специальности «Авиа-и ракетостроение» (УГАТУ, 2012).

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



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

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

УДК 621.45.037

## СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

**Михайлова А. Б., Аймурзин В. А., Варакута О. А.**

С развитием технологий повышаются требования к характеристикам авиационных двигателей, а, следовательно, и к их качеству. Для обеспечения широкого спектра требований к двигателям новых поколений в условиях сокращения затрат (времени и материальных ресурсов) и повышения качества продукции на международном рынке происходит коренной пересмотр методологии проектирования с внедрением информационных технологий в рамках CALS – компьютерной поддержки жизненного цикла продукции, реализации системного и объектного подходов, широкого использования математического моделирования.

В настоящее время ведутся работы над созданием двигателей нового поколения, которые должны обладать рядом характеристик, придающих качественно новый уровень летательному аппарату. Среди основных направлений развития компрессоров следует отметить сокращение числа ступеней при одновременном повышении суммарной степени повышения давления и адиабатического КПД. Это может быть достигнуто за счет значительного повышения аэродинамической нагруженности и адиабатического КПД отдельных ступеней, а также применения новых материалов и технологий изготовления, совершенствования методов конструирования и оценки напряженно-деформированного состояния узла.

Повышение требований в ГТД означает повышение нагрузок на его элементы, одним из которых является лопатка компрессора. Расчет на прочность является одним из важных элементов при проектировании лопаток авиационных ГТД и самих двигателей в целом. Компрессорные лопатки можно разделить на две большие группы – рабочие лопатки колес и статорные лопатки. Рабочие лопатки работают в сложных условиях, и

поэтому их проектированию уделяется особое внимание. Для статорных лопаток многие проблемы отсутствуют, и проектирование менее проблематично.

К конструкции рабочих лопаток предъявляются весьма высокие требования, которые можно представить в виде четырех основных условий:

- совершенные газодинамические характеристики. Выполнение этого условия способствует достижению высоких коэффициентов полезного действия компрессора;
- высокая надежность конструкции рабочих лопаток;
- технологичность конструкции;
- живучесть конструкции – способность сохранять надежность в процессе эксплуатации при условии появления возможных, заранее обусловленных повреждений посторонними предметами.

Лопатка находится под воздействием двух основных статических сил: центробежной силы собственной массы лопатки и поперечных аэродинамических сил, создаваемых потоком воздуха. Центробежные силы вызывают большие напряжения растяжения, а поперечные аэродинамические силы вызывают изгиб лопатки.

Центробежные силы, в зависимости от конструкции пера и расположения бандажных полок, могут создавать изгиб лопатки, что используется для компенсации аэродинамических изгибающих моментов.

Оценка прочности лопатки производится по совокупности действий всех силовых факторов. В качестве расчетных для оценки прочности лопатки принимаются следующие режимы:

- стендовый режим;
- режим полета на максимальной скорости у земли;
- режим полета на максимальной высоте при максимальной частоте вращения ротора.

В процессе проектирования широко используются математические методы оценки прочности лопаток. Их сочетание с программными комплексами позволяет сократить время, затрачиваемое на выполнение математических расчетов и ускорить процесс проектирования. Для информационной поддержки ранних стадий проектирования необходима разработка многоуровневого гибкого программного комплекса, базирующегося на одномерных и двухмерных моделях рабочего процесса, что позволит значительно сократить трудоёмкость последующих стадий проектирования, а также экспериментальной доводки изделия.

В НИЛ САПР-Д кафедры авиационных двигателей УГАТУ разработана СИМ компрессоров авиационных ГТД COMPRESSOR. Разработанная СИМ позволяет проводить проектировочный расчет многоступенчатых осевых компрессоров по среднему диаметру, распределять параметры по высоте пера лопатки в каждой ступени, производить профилирование лопаток рабочего колеса в различных сечениях по высоте пера лопатки. В СИМ COMPRESSOR реализована возможность получения характеристик многоступенчатых осевых компрессоров в широком диапазоне изменения входных условий и частот вращения ротора. Также в СИМ COMPRESSOR реализована возможность проектировочного расчета центробежных компрессоров.

Структурные элементы, формирующие модель компрессора соединяются информационными взаимосвязями, по которым передаются параметры между элементами. Для осевого компрессора это «Механический поток» (зеленого цвета), «Поток газа» (синего цвета) и «Профилирование» (желтого цвета).

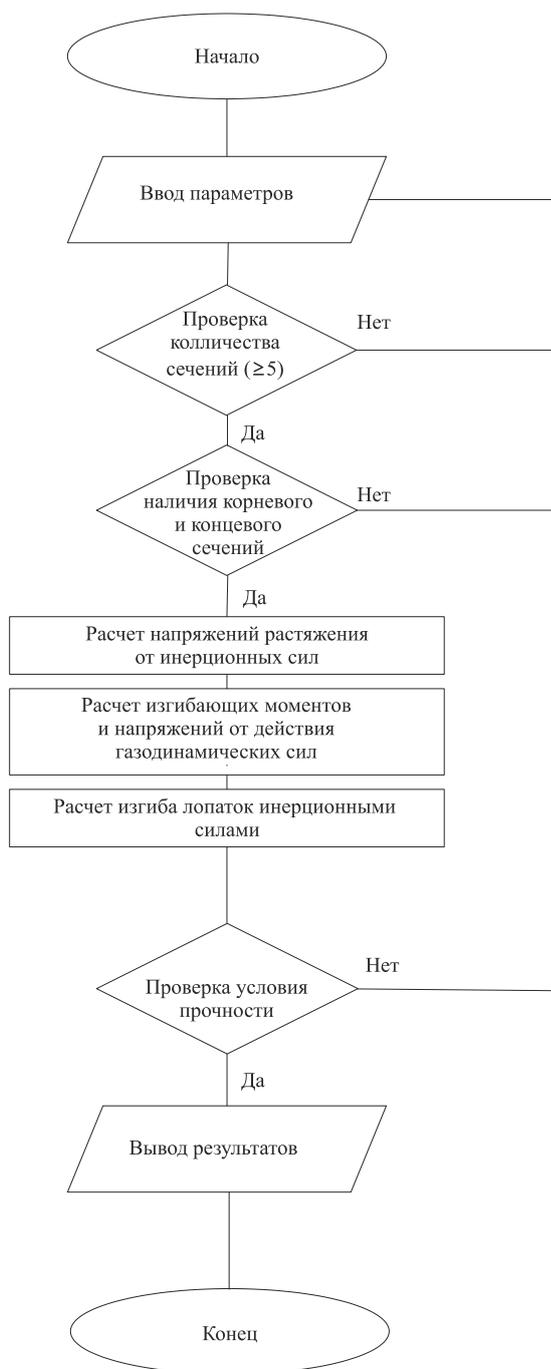
СИМ COMPRESSOR позволяет профилировать лопатки ГТД по сечениям на основе параметров потока в конкретной ступени компрессора.

Для предварительного расчета лопаток на прочность в программе COMPRESSOR с помощью САМСТО создан модуль «прочность». В нем реализован математический метод расчета и проверки выполнения условия прочности. Данный модуль напрямую зависит от результатов профилирования рабочих лопаток, так как входными параметрами для

расчета на прочность являются выходные параметры профилирования.

При таком подходе к данной проблеме значительно упрощается задача проектирования лопаток компрессора, что ведет к значительному снижению вероятности появления ошибок в расчетах, повышению эффективности и снижению трудоемкости. Данный модуль позволяет рассчитать на прочность перо лопатки по пяти (как минимум) сечениям, построить эпюру напряжений и предоставить информацию в наглядном виде.

Программный модуль «прочность» использует метод расчета лопаток на прочность, представленный в [1]. Принцип работы модуля в общем виде представлен на рис.1.



**Рис. 1.** Блок-схема программного модуля «прочность»

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хронин Д.В.** Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – Москва, Машиностроение, 1989.

2. **Михайлова А. Б.** Система моделирования компрессоров авиационных ГТД COMPRESSOR / А. Б. Михайлова, Д.А. Ахмедзянов, И.А. Кривошеев: Свидетельство № 2009612688. Москва: Роспатент, 2009

### ОБ АВТОРАХ



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

e-mail: [alexandra1112007@yandex.ru](mailto:alexandra1112007@yandex.ru)

Фото

**Варакута Олег Александрович**, студент 4 курса группы Т10 АД-435.

e-mail: [knyaz66666@mail.ru](mailto:knyaz66666@mail.ru)

Фото

**Аймурзин Вадим Аркадьевич**, студент 4 курса группы Т10 АД-435.

e-mail: [halfer56@mail.ru](mailto:halfer56@mail.ru)

УДК 629.52.6

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ГЛИССИРУЮЩИХ КАТЕРОВ

**Ахмадеев Р. Т.**

В настоящее время на глиссирующих катерах используются схемы теплообменников открытого типа, которые имеют следующие недостатки:

- интенсивное обрастание проточных полостей трубопроводов;
- коррозионное разрушение деталей охлаждающей системы;
- вместе с водой в систему охлаждения вносятся примеси.

Актуальной задачей является разработка замкнутой схемы теплообменника, по следующим причинам: за счет наличия низкой температуры головки цилиндров происходит лучшее охлаждение камер сгорания; отсутствует коррозия металла и засорения осадками и накипью очень тонких каналов системы охлаждения; охлаждающая жидкость не замерзает при отрицательных температурах [1].

При выборе схем теплообменников учитываются такие требования как большая площадь теплообмена и минимальные гидравлические потери полного давления рабочей жидкости.

### 1 Приближенный расчет параметров теплообменника

Потери давления в каналах теплообменника определяются по формуле [2]:

$$\Delta p = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (1.1)$$

где  $l$  – длина трубопровода;  $d$  – диаметр труб;  $\sum \xi$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $v$  – скорость течения жидкости.

Необходимая площадь теплообмена определяется по следующей формуле [3]:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp.лог}}, \quad (1.2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи;  $\Delta t_{cp.лог}$  – среднелогарифмическая разность температур;  $Q$  – общее количество теплоты, отводимое в охлаждающую жидкость;

$$Q = G \cdot C_p (t_1' - t_1'') = 4 \cdot 3620 \cdot (98 - 75) = 33304 \text{ Вт}, \quad (1.3)$$

где  $G$  – расход рабочей жидкости;  $C_p$  – теплоемкость рабочей жидкости;  $t_1'$  – температура рабочей жидкости после прохождения через двигатель;  $t_1''$  – температура рабочей жидкости после охлаждения;

$$\Delta t_{cp.лог} = \frac{(t_1'' - t_2') - (t_1' - t_2'')}{\ln \left( \frac{t_1'' - t_2'}{t_1' - t_2''} \right)} = \frac{(75 - 15) - (98 - 55)}{\ln \left( \frac{75 - 15}{98 - 55} \right)} = 40^\circ \text{C}, \quad (1.4)$$

где  $t_2'' = t_2' + \frac{Q}{G_2 \cdot C_{p2}} = 15 + \frac{333040}{2 \cdot 4200} = 55^\circ \text{C}$ ;  $t_2'$  – температура заборной воды.

В результате расчета получены следующие данные:

потребный перепад давлений  $\Delta p = 57884,6 \text{ Па} = 57,9 \text{ МПа}$ ;

потребная площадь теплообмена  $F = 0,61 \text{ м}^2$ .

Полученные данные позволяют построить трехмерную геометрическую модель теплообменника и провести трехмерный расчет течения жидкости.

### 2 Трехмерные расчеты течения жидкости с теплообменом

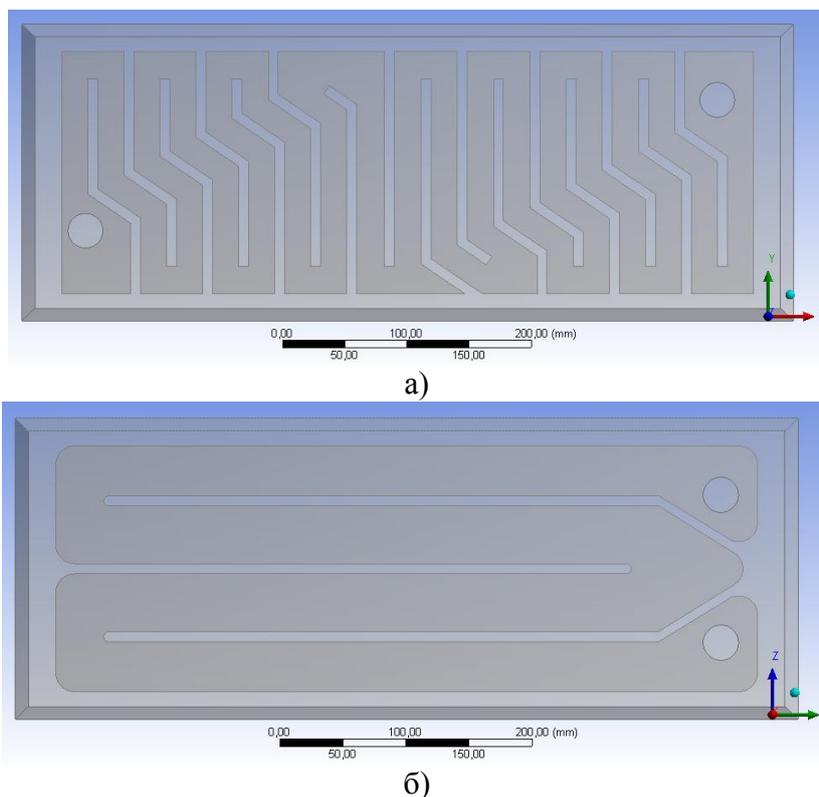
Трехмерные (3D) расчеты течения жидкости в теплообменниках проводятся с помощью численных методов, реализованных в программном комплексе ANSYS CFX.

Процесс численного моделирования можно разделить на несколько этапов:

- 1) создание геометрической модели объекта;
- 2) разбиение геометрической модели на конечно-элементную сетку;
- 3) задание граничных условий и свойств рабочей среды;
- 4) проведение расчетов;
- 5) анализ результатов.

### 3 Разработка геометрических моделей и построение расчетных сеток

Геометрические модели теплообменных аппаратов состоят из пластин, внутри которых имеются каналы, по которым должна протекать охлаждающая жидкость. Различие моделей заключается в ширине каналов и их расположении внутри пластины (продольно или поперечно).



**Рис. 1.** Геометрические модели:

а – теплообменник с поперечно расположенными каналами;

б – теплообменник с продольно расположенными каналами

На рис. 2 представлены сетки для исследования теплообменников.

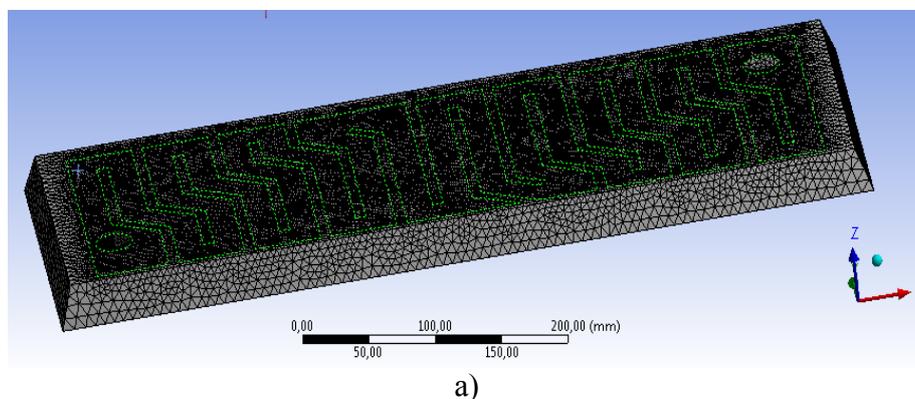
Параметры расчетных сеток теплообменников (рис. 2):

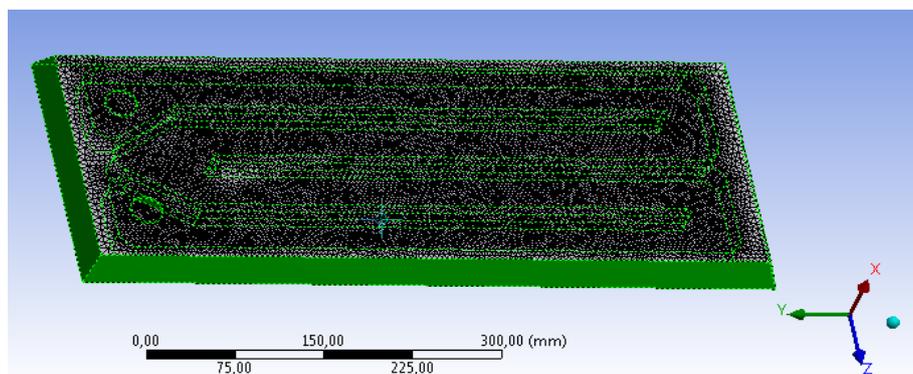
- минимальный размер ребра ячейки – 2,5 мм;
- максимальный размер ребра объемной ячейки – 10 мм;
- максимальный размер ребра поверхностной ячейки – 10 мм.

Общее количество ячеек в сетке теплообменника с поперечными каналами – 433786, а в сетке теплообменника с продольными каналами – 323549.

Имитационные модели теплообменников приведены на рис. 3.

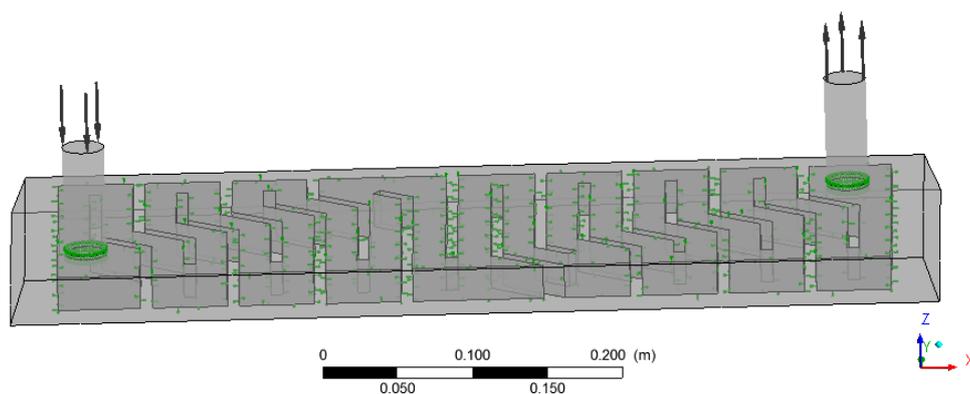
На входе в теплообменник задан массовый расход  $m = 2,25$  кг/с и температура  $T = 371,15$  К. В качестве рабочей жидкости выбрана вода, а материал пластин – алюминий.



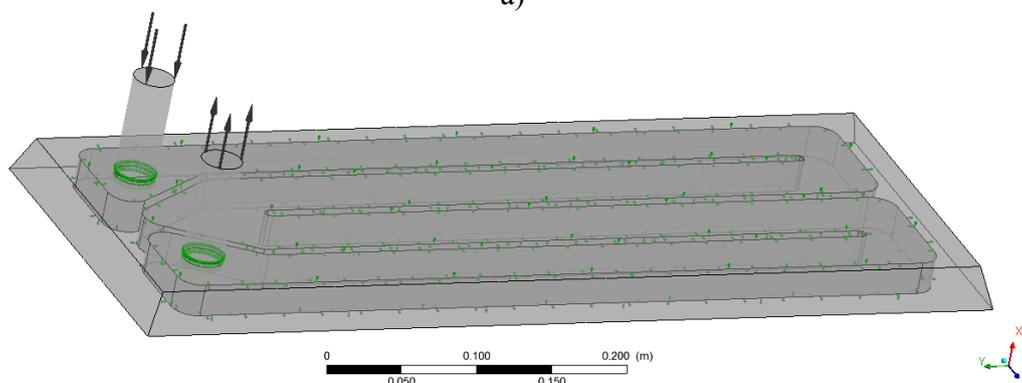


б)

**Рис. 2.** Сеточные модели для исследования теплообменников:  
 а – теплообменник с поперечно расположенными каналами;  
 б – теплообменник с продольно расположенными каналами



а)



б)

**Рис. 3.** Имитационные модели:

а – теплообменник с поперечно расположенными каналами;  
 б – теплообменник с продольно расположенными каналами

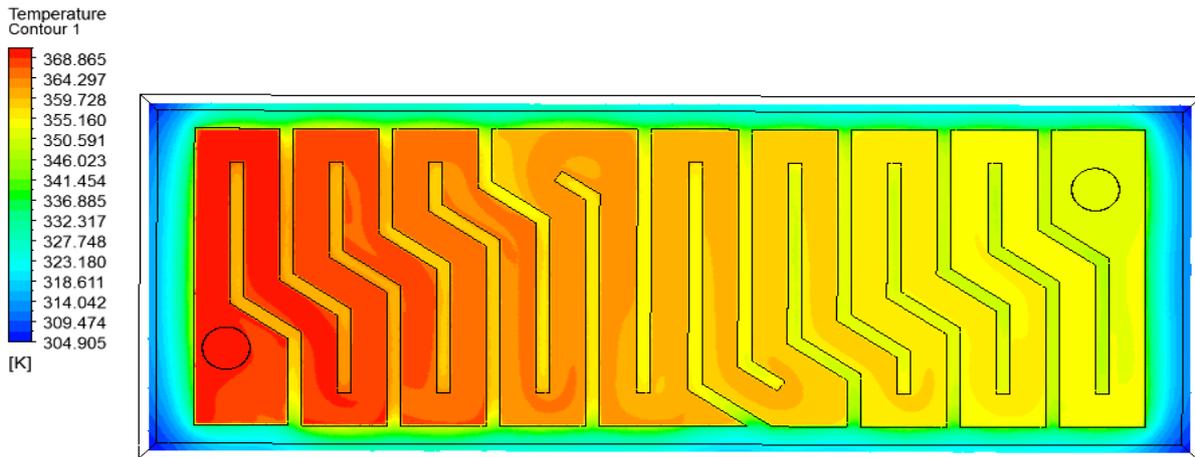
#### 4 Анализ результатов моделирования

Критерием сходимости результатов моделирования является погрешность по невязкам до  $10^{-4}$ , т.е. относительная погрешность между значениями каждого из параметров (скорость, давление, температура и др.) на последующей и предыдущей итерации составляет не более 0,01%. Указанная погрешность была достигнута после проведения 300 итераций, полученные результаты представлены ниже в виде иллюстраций.

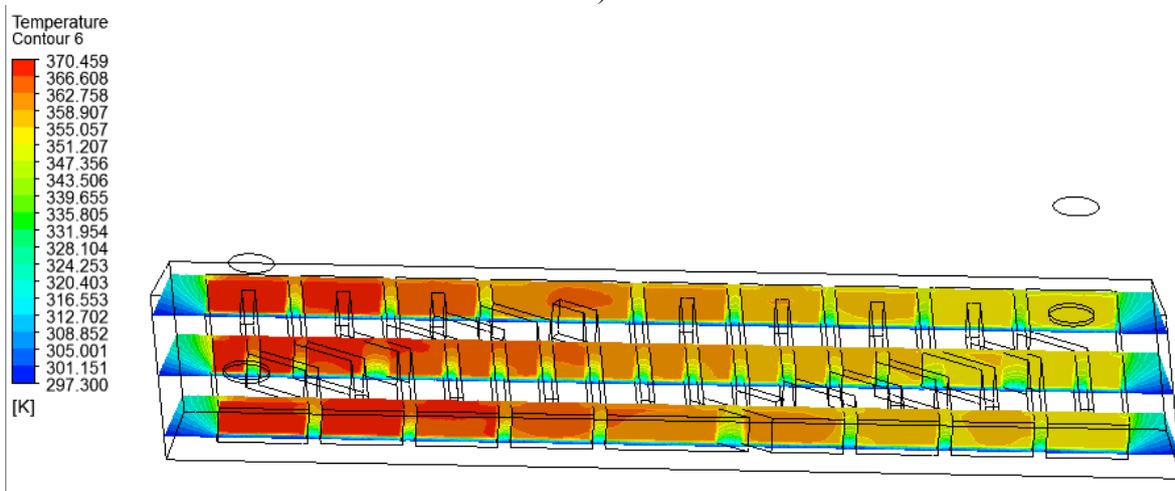
##### 4.1 Теплообменник с поперечно расположенными каналами.

Температура на входе в теплообменника была принята  $T_1 = 98^\circ\text{C}$ . В результате расчета температура на выходе из теплообменника получилась  $T_2 = 78^\circ\text{C}$ . Таким образом перепад температур  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ . На (рис. 4) представлено распределение температур в

горизонтальной и вертикальной плоскости теплообменника.



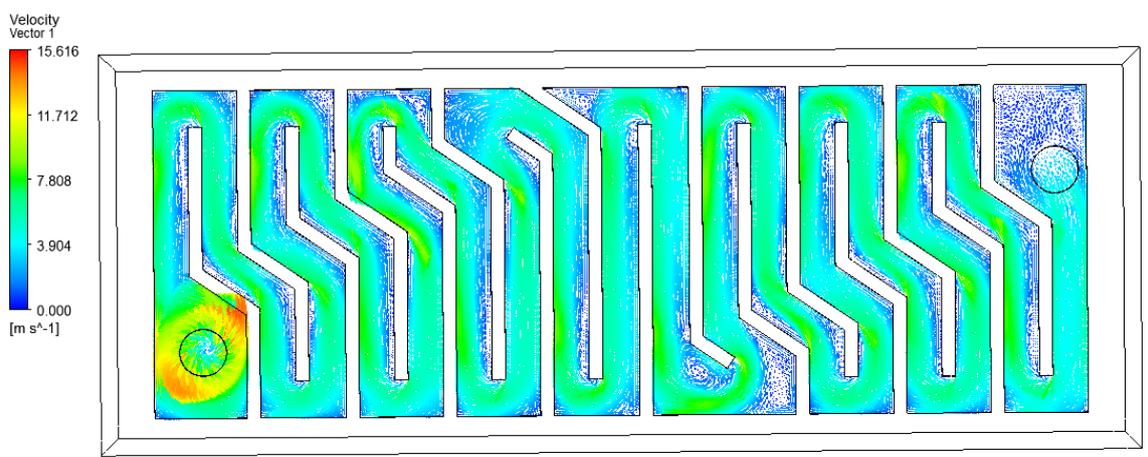
а)



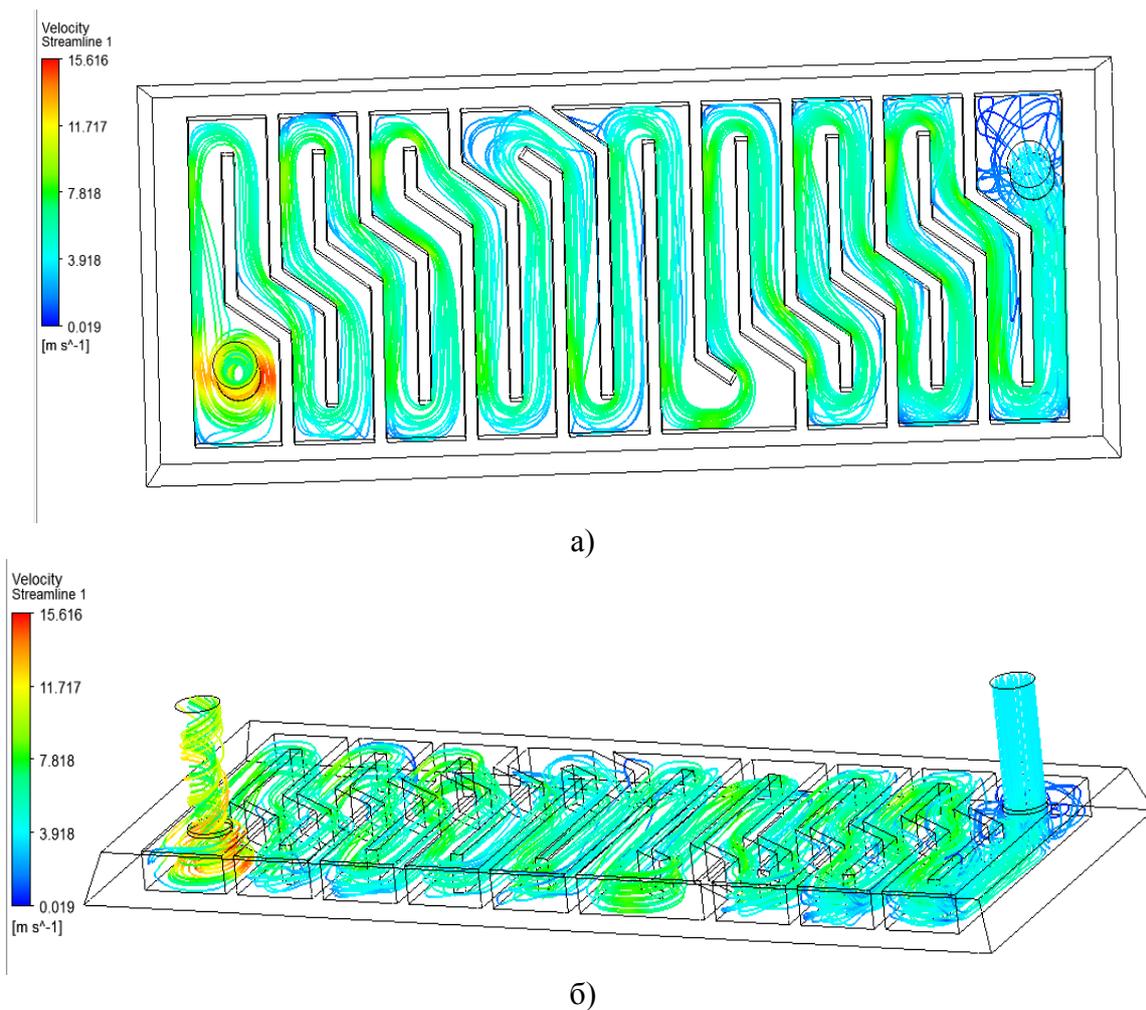
б)

**Рис. 4.** Распределение температуры в каналах теплообменника:  
 а – вид поля температур в горизонтальной плоскости;  
 б – вид поля температур в вертикальной плоскости

На (рис. 5, б) представлены линии тока скорости и векторы скорости в каналах теплообменника.



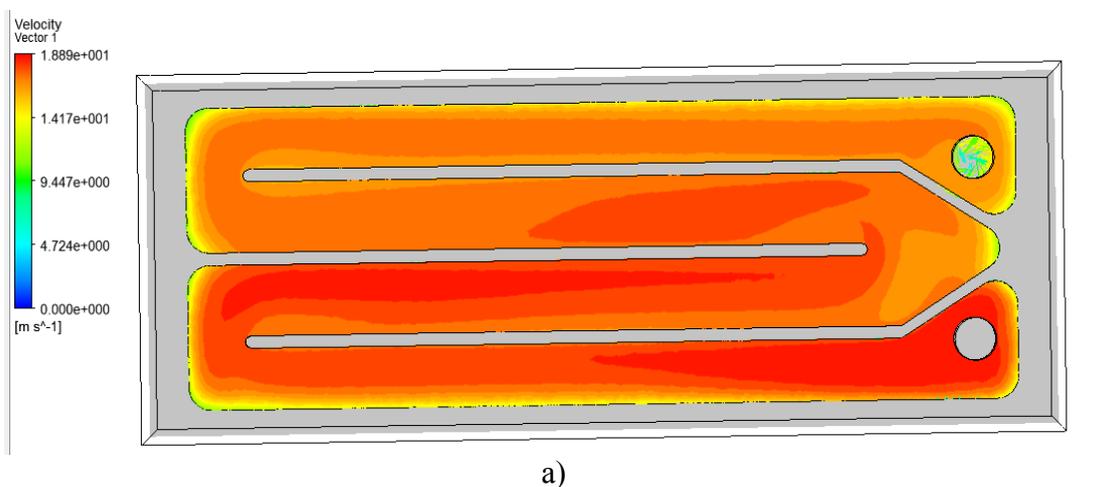
**Рис. 5.** Векторы скорости в каналах теплообменника

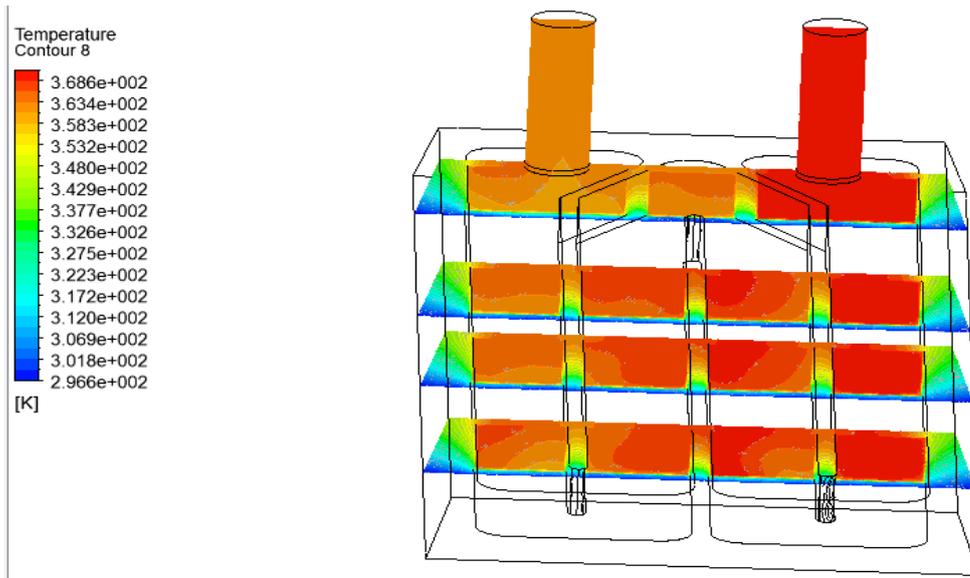


**Рис. 6.** Линии тока скорости в каналах теплообменника:  
а – вид сверху; б – вид сбоку

**4.2 Теплообменник с продольно расположенными каналами.**

Температура на входе в теплообменника была принята  $T_1 = 98^{\circ}\text{C}$ . В результате расчета температура на выходе из теплообменника получилась  $T_2 = 89^{\circ}\text{C}$ . Таким образом перепад температур  $\Delta T = 9^{\circ}\text{C}$ . На (рис. 7) представлено распределение температур в горизонтальной и вертикальной плоскости теплообменника:

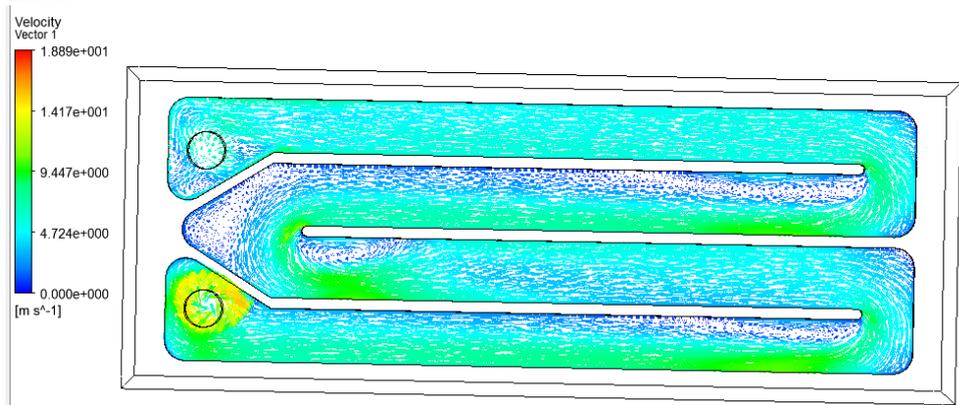




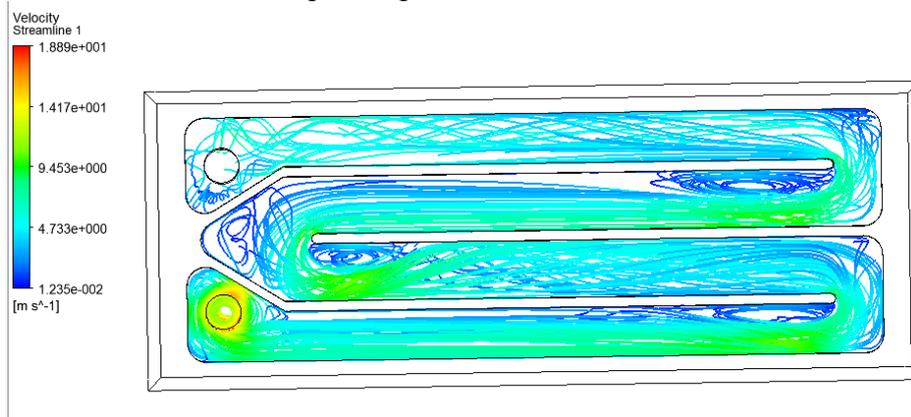
б)

**Рис. 7.** Распределение температуры в каналах теплообменника:  
 а – вид поля температур в горизонтальной плоскости;  
 б – вид поля температур в вертикальной плоскости

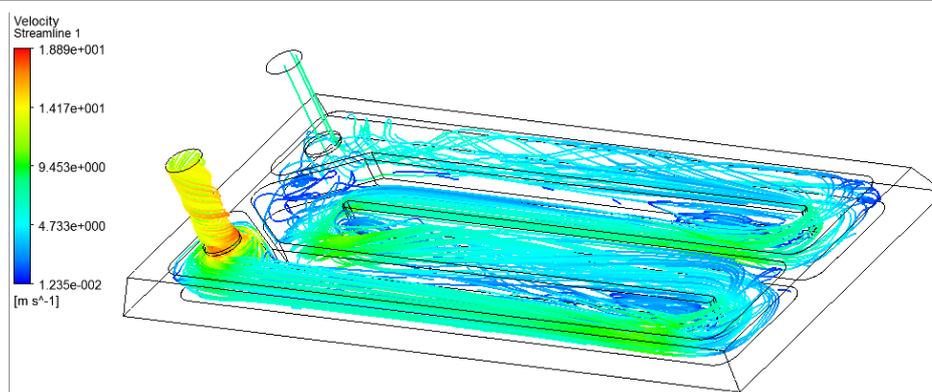
На (рис. 8, 9) представлены линии тока скорости и векторы скорости в каналах теплообменника:



**Рис. 8.** Векторы скорости в каналах теплообменника



а)



б)

**Рис. 9.** Линии тока скорости в каналах теплообменника:  
а – вид сверху; б – вид сбоку

### 5 Заключение

Из проделанного анализа можно сделать вывод, что теплообменник с поперечно расположенными каналами обладает лучшими характеристиками (лучшее охлаждение жидкости, меньше застойных зон), чем теплообменник с продольно расположенными каналами.

По результатам анализа установлено, что потери давления в теплообменниках получились в первом случае  $\Delta p = 570,9 \text{ кПа}$  во-втором случае  $\Delta p = 277 \text{ кПа}$ . Потери давления слишком велики и напора используемого насоса будет недостаточно. Перепады температур:  $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\Delta T = 9 \text{ }^\circ\text{C}$ . В обоих случаях перепад температур не удовлетворяет требуемому –  $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Результаты проведенной работы показывают, что рассмотренные схемы теплообменников не годятся для использования на катере в связи с выявленными в них недостатками, необходима принципиально другая схема.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания"/В. П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л. В. Грехов и др.; Под общей редакцией А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
3. В. К. Кошкин/ Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике. – М.: Оборонгиз, 1960. – 388 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Ахмадеев Ринат Галгатович**, студент группы ГМ-443, обучающийся по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», УГАТУ, научный руководитель д-р техн. наук. проф. Месропян А.В.

e-mail: [rinatakhmadeev.02@gmail.com](mailto:rinatakhmadeev.02@gmail.com)

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК [378:001.895]:338

### ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НИОКР И ТРАНСФЕРТА ТЕХНОЛОГИЙ В ВУЗЕ

**Галимова М. П., Месропян А. В., Митягина М. О., Ахмедзянов Д. А.**

Одной из актуальных задач развития российской науки сегодня является коммерциализация ее результатов, предполагающая продвижение результатов НИОКР на рынок и создание на их основе высокотехнологичных и высокорентабельных производств. Если говорить о высшей школе, то уровень современных эффективных разработок, выполненных учеными вузов, достаточно высок. Однако процесс коммерциализации созданного интеллектуального продукта идет очень медленно. Если же говорить о стране в целом, то высокотехнологичная продукция на мировом рынке занимает менее 1 %. В развитых странах около 60 % роста экономики достигается за счет технологичных секторов, в то время как в России такой рост составляет лишь 8 %, и положение к лучшему не меняется, масштабы инноваций растут очень медленно [1].

Инновационная практика показывает, что основной причиной неудач в продвижении объектов интеллектуальной собственности, результатов НИОКР, технологий, инициированных вузами, на рынок является недостаточная развитость и эффективность организационных форм коммерциализации. Имея мощный научно-технический задел, университеты реализуют лишь часть собственного инновационного потенциала. Традиционной причиной низкого уровня инновационной активности является недостаточное финансирование инновационных разработок. Характер и объемы финансирования обычно увязываются с уровнем инновационных разработок.

Накопленный опыт показывает, что в зависимости от степени общественно-полезной значимости, созданные в результате научно-технической деятельности инновационные разработки можно разделить на:

- инновационные разработки, направленные на дальнейшее развитие и совершенствование действующего производства, на решение его конкретных производственных задач. Такие разработки финансируются предприятиями-заказчиками;

- инновационные разработки, способные оказать решающее влияние на прогресс экономики страны, отрасли и региона. Они представляют собой ключевые многопрофильные технологии и часто приводят к появлению новых прорывных технологий. Финансирование такого рода поисковых работ требует значительных средств, что связано с риском и поэтому нуждается в государственной поддержке [2].

Инновационные разработки требуют значительных финансовых вложений. Для большинства стран Западной Европы и США характерно примерно равное распределение финансовых ресурсов для НИОКР между государственным и частным капиталом.

Принципы организации финансирования должны быть ориентированы на множественность источников финансирования и предполагать быстрое и эффективное внедрение инноваций с их коммерциализацией, обеспечивающей рост финансовой отдачи от инновационной деятельности.

Традиционно финансирование инновационных разработок может осуществляться из:

- средств федерального бюджета и бюджетов различного уровня, выделяемых на проведение фундаментальных и прикладных исследований;

- внебюджетных средств, поступающих в университет из различных источников, в том числе из средств фондов, организаций, банков и иных юридических и физических лиц, на развитие инновационной деятельности;
- прибыли, остающейся в распоряжении университета, от деятельности, связанной с коммерциализацией объектов интеллектуальной собственности (ОИС).

Финансирование инновационной деятельности за счет бюджетных средств осуществляется в соответствии с целями и приоритетами государственной инновационной политики и предназначается как для решения крупномасштабных научно-технических проблем, так и для поддержки малого и среднего инновационного предпринимательства. Государственное финансирование предоставляется на безвозмездной и безвозвратной основе, в форме грантов. Внебюджетные средства включают в себя собственные средства университета, осуществляющего инновационную деятельность, и средства инвесторов [3].

Инновационный потенциал вуза, отражающий ресурсную и результативную составляющие деятельности высшего учебного заведения, является основой успешного сотрудничества с предприятиями реального и финансового секторов экономики, а так же эффективного участия в государственных и международных грантах.

В процессе формирования и развития инновационного потенциала, вуз перестает быть только научно-образовательным центром. Университет трансформируется в особый учебно-научно-инновационный комплекс, взаимодействующий с инновационной инфраструктурой в виде НИИ, опытно-конструкторских производств, конструкторских бюро, научных и научно-производственных центров, центров подготовки и переподготовки кадров, технопарков, инновационно-технологических центров, бизнес-инкубаторов, малых и средних инновационных и наукоемких предприятий и частных предпринимателей [4].

Инновационный потенциал университета, в первую очередь, характеризует компетентность участников научно-исследовательской деятельности:

- качественный состав ППС;
- актуализация научной деятельности ППС (число публикаций и их цитируемость в ведущих журналах, отнесенные к единице приведенного штатного состава преподавателей и единице времени);
- эффективность работы аспирантуры (процент защитившихся в срок до трех лет после окончания аспирантуры);
- организационная активность в научно-исследовательской сфере (объем научных грантов, контрактов, договоров с внешними заказчиками на единицу приведенного штатного состава ППС и единицу времени);
- признанная результативность научно-исследовательской деятельности (число зарегистрированных открытий, патентов, сертифицированных разработок – отраслевая сертификация – на единицу приведенного штатного состава ППС и единицу времени).

Вторым важным фактором, определяющим инновационный потенциал вуза, является его инфраструктура в части, ориентированной на инновационную деятельность:

- наличие в структуре вуза отраслевых (базовых) кафедр, решающих задачи обеспечения кадрами отраслей (процент отраслевых кафедр в структуре вуза);
- специализированные подразделения вне стандартной образовательной структуры, решающие задачи доведения инновационных идей до промышленных разработок (конструкторские бюро, студенческие научные общества, инновационные технопарки, бизнес-инкубаторы и пр.; объем финансовых потоков за год, проходящих через данные подразделения по отношению к годовому бюджету вуза);
- эффективная информационная система (годовой трафик системы на одного человека, включая всех учащихся и сотрудников вуза).

Третьим фактором инновационного потенциала является стратегия развития вуза, его нацеленность на перспективные задачи. Оценочными параметрами этого важного компонента могут служить:

- структура подготовки, принятая в вузе (доля инновационных образовательных программ);
- структура венчурного инвестирования проектов вуза (доля средств, направляемых на перспективные разработки);
- стратегические ориентиры, принятые коллективом вуза (оценка внутреннего климата вузовского коллектива).

Прямым измерением инновационного потенциала вуза должен быть совокупный финансовый показатель доходов выпускников вуза (за определенный срок, например, пять лет) и доходов вуза от его собственной научно-инновационной деятельности (за тот же срок), отнесенный к совокупным инвестициям в образовательный процесс и организацию научно-инновационной деятельности (за тот же период). Однако подобные измерения требуют создания в вузе верифицируемой системы мониторинга успешности выпускников, позволяющей проводить эффективную ее оценку [5].

Направления использования инновационного потенциала разнообразны:

- заключение хозяйственных договоров с промышленными предприятиями;
- госбюджетные НИР;
- вклад ОИС в уставной капитал компаний;
- создание малых инновационных предприятий;
- заключение лицензионных соглашений.

Только десятая часть интеллектуальных вложений и усилий приносит реальный доход. И если рассматривать инновационную активность как скорость и объем реализации инновационного потенциала, как скорость прироста дохода за счет внедрения инноваций, то инновационная активность ниже среднего. Такая ситуация характерна для высших учебных заведений, основной функцией которых является образовательная и просветительская.

Новые условия конкурентной среды, такие как, глобализация экономики и приход на рынок образовательных услуг конкурентов из-за рубежа, активное развитие сетевых и информационных технологий, усиление открытости экономики и упрощение доступа к результатам НИОКР, требуют ускорения в области освоения и внедрения новых технологий для удержания конкурентных преимуществ требует того же и государство, включая в рейтинг оценки вузов такие индикаторы, как количество малых инновационных предприятий (МИП), объем НИР на 1 сотрудника вуза.

Вузы сегодня конкурируют не только на рынке образовательных услуг, но и на рынке интеллектуальной собственности, на рынке технологий и научно-технической продукции, на рынке информационных услуг.

Все это требует создания эффективной организационной структуры коммерциализации результатов НИОКР. За рубежом управление коммерческой реализацией объектов интеллектуальной собственности осуществляют специально создаваемые управленческие структуры, которые являются университетскими подразделениями. Они, как правило, не обладают правами юридического лица и имеют функции отдела обслуживания. Такие структуры обслуживают администрацию университета, представителей фирм, органов исполнительной власти, отдельных ученых, инженеров, изобретателей, предпринимателей и всех, кто интересуется коммерциализацией интеллектуальных ресурсов университета [6].

В УГАТУ также создана эффективная инфраструктура научно-исследовательской и инновационной деятельности, которая обеспечивает весь процесс создания и разработки новой техники на всех этапах жизненного цикла.

Одной из стратегических целей вуза является вовлечение всех работников университета в инновационную деятельность. Для этого необходимо создать условия, которые позволили бы каждому сотруднику университета влиться в инновационный процесс, увидеть результаты своей деятельности и других работников и получить доход от вложенных усилий. Необходимо мотивировать каждого работника к продвижению

своих научных идей, разработок и технологий на рынок.

Таким образом, инновационная инфраструктура вуза представляет сложную систему, требующую использование новых управленческих и экономических инструментов. Каждый этап организации инновационного процесса требует определенных финансовых вложений, что влечет за собой необходимость бюджетирования и финансового контроля этих процессов, требует разработки уникальной системы оценки их результативности.

**Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1006.**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федоров И. Б.** Инженерное образование: состояние, проблемы, перспективы / И. Б. Федоров // Высшее образование в России. – 2008. – № 1. – с. 4 – 11.
2. **Атоян В. Р., Плотников А. Н., Чеботаревский Ю. В. и др.** Трансформация российских университетов в учебно-научно-инновационные комплексы / под общ. ред. В. Р. Атояна. – Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2001. – 416 с.
3. **Клебанов И. И.** Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и на дальнейшую перспективу / И. И. Клебанов // Инновации. – 2002. – № 2-3 (49-50). – с. 3 – 5.
4. Управление высшим учебным заведением: учебник/ под. ред. С. Д. Резника, В. М. Филиппова. 2-е изд. перераб. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 767 с.
5. **Палкин Е. А.** Индикаторы инноваций / Е. А. Палкин. – Аккредитация в образовании, 2008. – № 26. – с. 54-55.
6. **Зинов В. Г.** Управление интеллектуальной собственностью: учеб. пособие / В. Г. Зинов. – М.: Дело, 2003. – 513 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Галимова Маргарита Петровна**, доцент каф. ЭП. Канд. экон. наук (1996). Иссл. в обл. управления инновационными процессами и организации производства.



**Месропян Арсен Владимирович**, проф. каф. ПГМ. Диплом инженера-механика (УГАТУ, 1996). Д-р техн. наук по гидромашинам и гидропневмоагрегатам (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. гидроприводов систем управления ЛА и гидрофицированных систем испытаний и вскрытия нефтеносных пластов.

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



**Митягина Мария Олеговна**, ассистент каф. ПГМ. Диплом магистра (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. проектирования электрогидравлических сверлящих перфораторов для вторичного вскрытия продуктивных пластов.

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



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

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

УДК 658.3

## **МАНИПУЛЯЦИИ С СОЗНАНИЕМ В ОБЩЕСТВЕ И ТРУДОВЫХ КОЛЛЕКТИВАХ**

**Зайцев И. К.**

Все люди в той или иной степени манипуляторы. Наличие сотрудника в коллективе, желающего «пощекотать» нервы других, создающего интриги, распространяющего сплетни и слухи, негативно сказывается на рабочей обстановке в организации, начинает страдать трудовая дисциплина, работники вместо выполнения своих обязанностей «воюют» друг с другом. В связи с этим необходимо правильно выявлять манипуляторов, это необходимо для их нейтрализации.

Манипуляция – скрытое управление человеком (группой людей). Манипулятор находит слабости и недостатки у собеседника, воздействуя на них, он добивается от оппонента определённых поступков, нужных манипулятору.

Манипуляция делятся на два типа: сознательные и бессознательные. Сознательные манипуляции происходят, когда манипулятор владеет техниками воздействия на сознание и знает, как они работают. При бессознательной манипуляции, манипулятор воздействует неосознанно на человека, но его поведение, сложившиеся привычки заменяют специальные техники манипулирования сознанием.

В каждом из нас присутствуют черты, как «манипулятора», так и «жертвы». В различных ситуациях та или иная часть характера пробуждается в человеке и начинает действовать, либо бездействовать.

Существует четыре группы манипулятивных воздействий: внушение, убеждение, заражение, подражание.

Для начала рассмотрим такой прием, как внушение. Внушение – это вид целенаправленного воздействия на поведение человека (или группы людей), в результате которого человек, делает что-то вопреки его характеру, убеждениям, привычкам. Существуют два типа внушения: прямое и косвенное.

Прямое внушение характеризуется своей открытостью, прямолинейностью, внушение направлено на конкретного человека. Построение фраз отличается своей

однозначностью, твердостью, произносятся твердым, не терпящим возражения тоном. Для усиления эффекта применяются многие невербальные техники воздействия: немигающий взгляд в глаза «жертвы», наклон туловища, вперед с целью вывести собеседника из зоны комфорта и т.д. Прямое внушение используется, когда человек не может или не хочет оказать сопротивление «манипулятору». При таком воздействии нет нужды в изощренных техниках воздействия. Прямое внушение происходит благодаря харизме, силе воли, авторитету «манипулятора».

Косвенное внушение характеризуется непрямым воздействием на «жертву». При косвенном внушении нужная информация преподносится в скрытом виде. При построении фраз используются более мягкие формулировки, оказывается меньшее давление, чем при прямом внушении. Такое внушение лучше применять против гордой, самоуверенной, сильной личности. Во время косвенного внушения необходимая установка закладывается в разум «жертвы» окольным путем, например в форме намека. Существует множество техник косвенного внушения, рассмотрим основные:

1. Чтение мыслей. «Манипулятор» преподносит свое мнение не как отдельного человека, а как большой группы людей.
2. Умолчание. Метод позволяет не допустить в разговор сведений, препятствующих манипуляциям с «жертвой».
3. Эвфемизмы. Смысл приема заключается в использовании уклончивой терминологии при обсуждении незаконной деятельности лиц, которые применили или хотят применить силу. В качестве примера возьмем среднестатистическую статью, рассказывающую о рейдерском захвате предприятия. Как правило, журналисты, выступающие на стороне захватчиков, избегают использовать слова связанные с насилием («кровопролитие», «захват» и т.д.).
4. Непрямая атака. Воздействию подвергается не сама «жертва», а сторонники и ближайшее окружение. Такой прием используется для ослабления позиций «жертвы» в обществе или коллективе. Непрямая атака применяется в случае, если «жертва» имеет непререкаемый авторитет в своем окружении.
5. Обвинение по ассоциации. При общении с «жертвой» акцентируется внимание не на сути обсуждаемого вопроса, а на связи «жертвы» с аморальными, отталкивающими явлениями общественной жизни.
6. Поддельный нейтралитет. «Манипулятор» выстраивает тактику своего поведения таким образом, что у стороннего наблюдателя складывается впечатление о его нейтралитете, на самом деле его усилия направлены на поддержку одной из противоборствующих сторон. Поддельный нейтралитет достигается при помощи следующих средств:
  - Фальшивый комплимент. В статье, публикации, телевизионном сюжете журналист делает еле уловимый комплимент характеру или умственным способностям «жертвы», после этого начинает восхвалять его оппонента. Данный прием необходим для создания образа независимого репортера. Комментатор кажется объективным, способным видеть плюсы и минусы обеих противоборствующих сторон.
  - Фальшивая критика. Прием диаметрально противоположный «фальшивому комплименту».
  - Фальшивый авторитет. Используя этот метод, корреспондент представляет мнение определенного лица, утверждая, что он выступает от имени большой группы человек, например от лица жителей города или трудового коллектива. У объекта атаки складывается мнение, что все представители данной группы согласны с мнением выступающего.
  - Фальсификация. Рассматриваемый прием направлен на то, чтобы скрыть необъективный подход к трактовке сведений, подаваемых средством массовой информации.

Внушение является самым распространенным способом манипуляцией сознания как в коллективе, так и в обществе.

Теперь перейдем к следующему способу манипулирования. Убеждение — это метод воздействия на сознание людей, обращенный к их собственному критическому восприятию. Его суть заключается в том, чтобы с помощью логических аргументов сначала добиться от человека внутреннего согласия с определенными умозаключениями, а затем на этой основе сформировать и закрепить новые установки (или трансформировать старые), соответствующие поставленной цели.

Убеждая, необходимо следовать определенным правилам:

- логика убеждения должна быть доступной интеллекту объекта воздействия;
- убеждать надо доказательно, опираясь на факты, известные людям;
- помимо конкретных фактов и примеров (без них нельзя убедить тех, кому недостает широты кругозора, развитого абстрактного мышления) информация должна содержать и обобщенные положения (идеи, принципы);
- убеждающая информация должна выглядеть максимально правдоподобной;
- сообщаемые факты и общие положения должны быть такими, чтобы вызывать эмоциональную реакцию объекта воздействия.

Критерием результативности убеждающего воздействия является убежденность. Это глубокая уверенность в истинности усвоенных идей, представлений, понятий, образов. Она позволяет принимать однозначные решения и осуществлять их без колебаний, занимать твердую позицию в оценках тех или иных фактов и явлений. Благодаря убежденности формируются установки людей, определяющие их поведение в конкретных ситуациях. Важная характеристика убежденности — ее глубина. Она прямо связана с предыдущим воспитанием людей, их информированностью, жизненным опытом, способностью анализировать явления окружающей действительности.

Эффективность убеждения зависит от многих факторов. Во-первых, от того, насколько оно доказательно и убедительно. Доказательность основывается на логичности, правдоподобию и непротиворечивости изложенного материала. Иначе говоря, важно не только то, что сообщается, но и то, каким образом это делается.

Убедительность зависит в большой степени от учета присущих объекту воздействия установок, убеждений, интересов, потребностей, его образа мышления, национально-психологических особенностей и своеобразия языка.

Психологи исходят из того, что:

- содержание убеждающего воздействия должно быть хорошо продумано и соответствовать законам формальной логики;
- конкретное в его содержании всегда воспринимается убедительнее абстрактного;
- чем динамичнее убеждающее воздействие, чем ярче и разнообразнее содержащиеся в нем факты, тем больше оно привлекает внимание;
- лучше воспринимается то, что близко интересам и потребностям объекта воздействия;
- лучше осмысливается то, что преподносится небольшими смысловыми частями (блоками);
- лучше усваивается то, что вызывает эмоциональный отклик у объекта воздействия;
- лучше воспринимается, осмысливается и усваивается та информация, которая преподносится в соответствии с национальными особенностями восприятия объекта.

Рассмотрим следующий способ управления - заражение. Феномен заражения известен с древнейшей истории человечества и имел проявления в виде массовых вспышек различных эмоциональных состояний, возникающих во время паники, ритуальных танцев, спортивных состязаниях и т.д. Так как это эмоциональное состояние

возникает в массе, действует механизм взаимного усиления эмоционального воздействия контактирующих людей. Человек не испытывает давления конкретно на него, он просто бессознательно усваивает и повторяет образцы чьего-то поведения, подчиняясь ему. Выделяют наличие особой «реакции заражения», это происходит во время передачи эмоционального состояния от одного человека к другому, при этом возникает «цепная реакция». Эффект, прежде всего, возникает в неорганизованной толпе, выступающей своеобразным ускорителем, разгоняющей определенное эмоциональное состояние.

Особой ситуацией, где усиливается воздействие через заражение, является ситуация паники. Паника возникает в массе людей при избытке или недостатке информации о какой-либо пугающей или непонятной новости. Ярким примером является возникновение массовой паники в США 30 октября 1938 г. после передачи по радио произведения Г. Уэллса «Война миров». Массы радиослушателей (около 1 200 000 человек) поверили во вторжение марсиан на Землю. Многие из них точно знали, что по радио передается инсценировка литературного произведения (диктор трижды повторял это), но при этом приблизительно 400 тыс. человек лично засвидетельствовали появление марсиан. Как мы видим, заражение настолько сильно влияет на подсознание, что легко может побудить разумного человека, совершать нетипичные и абсурдные для него поступки.

Перейдем к последнему механизму воздействия на общественное мнение – подражание. Подражание это следование некому образцу, имитация поведения, в целом оно очень похоже на заражение, но если заражение происходит бессознательно, за счет передачи эмоций, то подражание может быть, как сознательным, так и бессознательным. Бессознательное подражание это такие неосознанные действия, которые мы повторяем, смотря на другого человека, ярким примером может служить «заразительная» зевота.

В свою очередь сознательное подражание происходит с человеком всю жизнь, начиная с самого раннего возраста. В детстве это в первую очередь видно при обучении ребенка, то есть младенец, пытаясь повторить речь взрослых, их движения, учиться говорить, ходить, имитируя взрослых. Всю жизнь человек учится, пытаясь скопировать действия других. Но подражание проявляется не только в этом, в более зрелом возрасте, когда человек уже выбирает себе кумиров и пытается во всем подражать им, перенимая характер, привычки и т.д. Поэтому воздействуя на одну яркую личность, можно управлять большой общностью людей.

Во время делового общения манипуляция – обычная вещь. Зачастую манипуляторы, хорошо представляют, кто перед ними, заранее собирая информации о том, с кем им предстоит столкнуться. Умелый руководитель вместо применения силы управляет подчиненным незаметно, создавая у них иллюзию полной самостоятельности и свободы. Нередки случаи, когда подчиненные сами управляют своими начальниками.

Для выявления манипуляторов среди коллектива, необходимо обратить внимание на то, как сотрудники взаимодействуют, друг с другом. Во время наблюдения за коммуникациями между сотрудниками, можно выявить скрытые признаки манипулирования. Скрытое управление людьми основано на использовании следующих типовых манипуляций.

Теория взаимодействий внутри коллектива была разработана американским психотерапевтом Э.Берном в 60-х годах 20-го века.

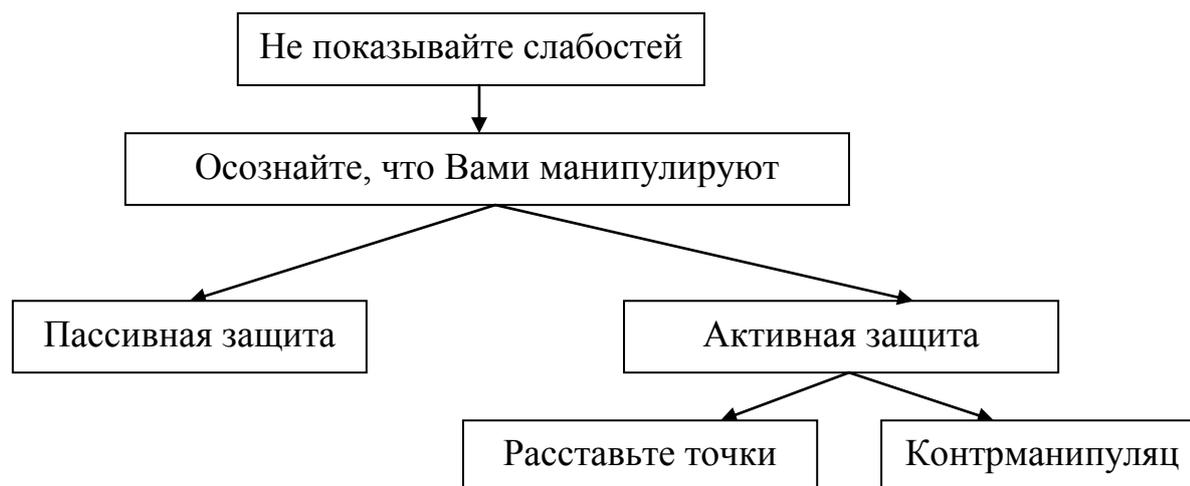
Люди в различных ситуациях занимают различные позиции, но основными ролями являются : «родитель», «взрослый» и «дитя».

- «Родитель» - требует, оценивает (осуждает и одобряет), учит, руководит, покровительствует окружающим его людям.
- «Взрослый» - характеризуется рассудительностью, работой с информацией.
- «Дитя» - это проявление чувств, беспомощности, подчинения.

Можно выделить четыре типа темперамента людей: меланхолик, сангвиник, холерик, флегматик, знание темперамента собеседника помогает определить, что за

человек перед ним и как нужно вести себя с ним или как он поведет себя в той или иной ситуации. Если сангвиники и флегматики являются уравновешенными в отношениях с другими людьми, редко идут на конфликт, трезво оценивают свое место и роль в групповых и социальных процессах, то в отличие от них холерики являются наиболее конфликтными и неуравновешенными личностями, вечно выясняющими отношения с другими. Они не терпят группового или авторитарного давления со стороны, хотя вместе с тем достаточно общительны и социально активны. Меланхолики же малообщительны, Им свойственны интровертность, боязнь расширения контактов, болезненное восприятие неудач в социальном общении и взаимодействии.

Анализ манипуляций показывает, что при всех различиях они имеют много общего, эта общность позволяет выстроить довольно надежную защиту от манипулирования. Осуществить её можно по следующему алгоритму:



**Рис.2.** Защита от манипулирования.

Следует заметить, что пассивный манипулятор, подчеркивающий свою слабость и неспособность управлять ситуацией/партнером, зачастую оказывается более эффективным, чем активный.

Можно сделать вывод, что с развитием психологии, политологии, пиар технологий появляется все больше способов манипуляции сознанием как отдельного человека, так и общества. Используя эти знания, грамотный руководитель будет успешным при работе, как с внешней, так и с внутренней средой предприятия. Он сможет виртуозно проводить различные переговоры, встречи, пресс-конференции, а также эффективно управлять персоналом на предприятии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейнов В.П. Как управлять другими, как управлять собой. М.: Прайм-Еврознак, 2011. – 193 с.
2. Ильин Е.П. Внушение и убеждение: условия успешности// Элитариум. -2011. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.elitarium.ru/2011/09/12/vnushenie\\_ubezhdenie\\_uspeshnost.html](http://www.elitarium.ru/2011/09/12/vnushenie_ubezhdenie_uspeshnost.html).
3. Хенрик Фексеус. Искусство манипуляции. Как читать мысли других людей и незаметно управлять ими. Рипол Классик, 2010. – 272 с.

## ОБ АВТОРЕ



**Зайцев Игорь Константинович**, студент УГАТУ, кафедры Менеджмента и Маркетинга. (УГАТУ, 2014). Исследования в области психологии и мотивации персонала.

e-mail: [igor.zaisev@gmail.com](mailto:igor.zaisev@gmail.com)

УДК 159.92

## ПОКОЛЕНИЕ «Z»: СУТЬ, ХАРАКТЕРИСТИКА, МОТИВАЦИЯ

**Зайцев И. К.**

Теория поколений была создана в 90-х годах XX века американскими учеными – историками и социологами Нейлом Хоувом и Вильямом Штраусом. Они ушли от традиционной интерпретации различий только на основе возраста и охарактеризовали поколения, исходя из глубинных ценностей. В своей теории американцы разложили свою историю, поколения до момента создания американского государства. Заинтересовавшись, ученые, практики бизнеса начали проверять адекватность гипотезы для других стран – в ЮАР, Канаде, Европе, Азии – и обнаружили, что теория работает. С определенными модификациями на самых разных континентах поколения и их ценности схожи. Разве что иногда наблюдается запаздывание в появлении одного и того же поколения (как, например, в ЮАР). Каждые четыре поколения составляют цикл. Длительность одного цикла – примерно 80–90 лет.[1]. Затем начинается повторение: пятая генерация обладает ценностями, схожими с первой.

Согласно теории поколений, каждые 20-30 лет происходит смена поколений, по некоторым признакам можно судить, что сейчас происходит переход к новому поколению – поколению «New». На процесс смены поколений, сильное влияние оказывает изменение окружающей среды. В первую очередь это появление цензуры и массовая работа по ограничению, фильтрации той информации, которую получают дети. Влияя на детей с самого разного возраста, государство стремится воссоздать «рабочий» класс. Об этом свидетельствуют разнообразные меры по поднятию престижа рабочих профессий. Люди, выросшие в это время, при выборе между стабильностью и большими возможностями, предпочтут первое. Им нужна будет уверенность в завтрашнем дне, постоянная зарплата, спокойная рутинная работа. Можно сказать что «New», будет поколение тружеников, рабочих лошадок.

На практике теорию поколений можно использовать несколькими способами. В первую очередь, пользуясь теорией поколения, можно прогнозировать, какой будет основная масса новых сотрудников. Какие интересы они преследуют, их характер, что они любят, чего опасаются. Можно выявить предрасположенность к определенным видам деятельности. Да следует учитывать каждого человека как личность, но данная теория в первую очередь направлена на создание общей концепции мотивации и управления персоналом на предприятии. Для каждого поколения, в большей степени, будут эффективны свои методы управления персоналом. Создание персональной концепции для каждого поколения, позволит повысить эффективность работников, их самоотдачу, удовлетворенность работой. Также рассматриваемая теория позволит прогнозировать конфликты вызванные столкновениями разных поколений. Ярким примером такого

конфликта может служить борьба за управленческие позиции между поколением Беби-бумеров (1943-1965) и поколением «X» (1963-1980). Беби-бумеры – поколения идеалистов, трудолюбивых, которые стремятся быть активными как можно дольше и не представляют свою жизнь без работы. Им противостоит поколение «X». «Вся наша жизнь – борьба» - девиз, жизненное кредо «X». Они везде стремятся быть лучшими, первыми. Но в борьбе за управленческие позиции они наткнулись на сильное нежелание уходить на покой беби-бумеров. Такое столкновение приводит к конфликтам, скрытой и активной конфронтации, что наносит урон предприятию. И подобные конфликты происходят повсеместно. Умея пользоваться теорией поколений, можно предугадать всплеск подобных конфликтов и предотвратить их либо, по крайней мере, снизить урон причиняемый ими.[2].

В настоящее время применительно к России можно рассматривать следующие поколения:

- Поколение «Беби-бумеров» - 1945 – 1965 .
- Поколение «X» - 1965-1980.
- Поколение «Y» - 1980-1990 .
- Поколение «Z» - 1990-2010 .

Любому грамотному управленцу известно: для того чтобы сотрудник работал с максимальной отдачей, нужно его правильно мотивировать. Зная основные ценности поколения, можно разработать эффективную систему поощрений, хорошо мотивирующую целый пласт людей – поколение.

Поколение «Z» - это наше будущее, уже сейчас первопроходцы этого поколения стучаться в двери кадровых агентств и различных фирм в поисках работы, от них будет зависеть окружающий нас мир, именно эти люди вскоре будут писать историю. Понимание характера этого поколения позволит разработать долгосрочную мотивационную концепцию, которая будет не догонять время, а наоборот станет неким «окном в будущее».

Разумно считать, что в течение 20 лет люди будут рождаться в разных условиях. За прошедшие 20 лет в России произошло много значимых событий: распался СССР, появилась Россия, череда волнений в начале 90-х, бандитский беспредел, дефолт 98-го года, относительное спокойствие 2000-х, сменившиеся кризисом 2008-го. Окружающая среда оказывает значительное влияние на развитие личности и эта среда постоянно меняется. Поэтому поколение «Z» как целостность, следует разбить на несколько субпоколений, у каждого из которых есть некая отличительная черта. Про большинство людей поколения «Z», можно сказать следующее - это люди творческие, ветреные, которые не любят рутину и стабильность, они больше за разнообразие и изменение, за самореализацию. Американский детский психолог Шерри Постник-Гудвин считает, что дети поколения «Z» предпочитают общаться в сети, чем в реальной жизни. Что они редко бывают на улице, не могут жить без мобильных телефонов, высоких технологий. Что дети «Z» выберут компьютер, а не книгу. По мнению Постник-Гудвина они не умеют ждать, предпочитают немедленный результат. Также, по его мнению, они быстро взрослеют и нацелены только на успех, с трудом принимая поражения.[3].

Поколение «Z» можно разделить на 3 субпоколения: 1990-1995, 1995-2005, 2005-2010. Далее рассмотрим их подробнее.

Субпоколение 1990-1995. В то время когда у ребенка формировался некий личностный фундамент, на котором в будущем будет строить характер, система ценностей, происходили ужасные вещи. Ломался привычный мир миллионов людей, происходила агония старой системы мировосприятия, новая еще не успела сформироваться. Пропала уверенность в будущем, каждый день люди выживали, рушились семьи, в стране процветал бандитизм, люди за день могли стать миллионерами и потерять все. Родители не могли уделять достаточно внимания на воспитание, поэтому дети росли самостоятельно и выросли рано. Они привыкали все делать сами, готовить,

убирать, делать уроки, при этом меньше времени оставалось на общение со сверстниками, в результате выросло целое поколение индивидуалистов рассчитывающих только на себя.

Постоянный стресс также повлиял на психику, можно выделить два типа людей выросших в это время. Первый тип, люди стрессоустойчивые, абсолютно спокойны, излишне без эмоциональны. Дети неким образом абстрагировали свои эмоции от внешнего мира, закрывались в панцирь, что и привело к таким результатам. Такие люди будут хороши на тех должностях, где требуется собранность, умение контролировать себя, но к сожалению к ним слабо подойдут профессии в развлекательной сфере, особенно где требуется передать людям эмоциональный заряд. Другой же крайностью являются люди, которые живут одними эмоциями, у которых настроение меняется по несколько раз на дню, они являются полной противоположностью предыдущего типа. Кто-то может сказать, что это зависит от характера, но стрессовая обстановка начала 90-х возвела все это в крайности.

Это было время противоречий, большая часть людей жила в лишениях, при этом были люди, не отказывающие себе ни в чем, это было время огромного разрыва между богатыми и бедными. Из-за таких условий подсознательно большая часть сотрудников будет стремиться к комфорту: сытно кушать, сидеть на мягком кресле и т.д. При этом они не являются «потребителями», для счастья им не нужен излишний комфорт вроде кожаного дивана или золотого телефона, они умеют довольствоваться малым. Если работодатель обеспечит приемлемый уровень комфорта, то он получит сотрудник, который действительно будет работать на совесть.

Субпоколение 1995-2005. Дети рожденные в этот период, росли в стабильности, в стране не происходили кардинальные потрясения, касавшихся всех, кроме дефолта 98-го года, который был отголоском экономической политики начала 90. В этот период одним из основных факторов повлиявших на развитие детей стал компьютер. До этого это был предмет роскоши, в этот период самое простенькое устройство могла позволить себя практически любая семья. Благодаря компьютеру, дети получили бесконтрольный доступ к огромному количеству информации находящейся в интернете, если по телевизору была хоть какая-то цензура, то в интернете такое понятие отсутствовало. На детей обрушился колоссальный поток информации, правду и ложь в котором трудно было различить. Если родители не уделяли достаточно внимания к воспитанию ребенка и плохо объясняли что такое хорошо и что такое плохо, то могла произойти подмена ценностных понятий, дети любопытны и впитывают окружающую информацию как губка. Интернет это в первую очередь площадка для взаимодействия людей, они в первую очередь обсуждают интересные для них темы, и чем больше тему обсуждает интернет аудитория, тем больше вероятность, что она окажется на главной странице новостных сайтов, поисковых систем, в тех местах, куда в первую очередь заглянет ребенок, попавший в эту среду. А что больше всего будоражит кровь обывателя, как не сцены насилия, порнографии, жестокости. Как мы знаем ребенок стремится подражать взрослым, и впитывая весь коктейль негативных эмоций, они считают, что так «круто». К сожалению не всем вовремя успели объяснить родители, что это не так. В результате можно наблюдать всплеск подростковой жестокости, наркомании, алкоголизма, ранние половые контакты и т.д. Если раньше период взросления происходил поэтапно, то в этот период молодежь стала вести себя как взрослые, при этом оставаясь детьми. С большой вероятностью, в результате такого коктейля человек может остановиться в своем психологическом развитии и остаться на порубежном состоянии между подростком и взрослым.

Следует ожидать всплеск появления большого количества инфантильных людей, у которых может наблюдаться детское поведение, несерьезность, не собранность. При этом благодаря тому же влиянию растет субпоколение потребителей, которые ради телефона самой последней модели готовы отдать последние деньги, хотя объективно он им не нужен. То есть для них в первую очередь будут эффективны методы денежного

стимулирования, которые должны быть направлены на покрытие их капризов. Но не все так плохо это будут в первую очередь люди творческие, любящие находится в «свободном полете», они плохо приемлют контроль над собой, и предпочитают демократический стиль управления. От них стоит ожидать оригинальных идей и нестандартных подходов решения проблем.

Есть еще одна черта отличающее данное субпоколение от предыдущего. Это замена реального общения на виртуальное. В это время бурно развивались виртуальные системы общения, начиная от обычных мобильных телефонов, заканчивая социальными сетями. Если раньше общение на расстоянии было неинформативно и дорогостоящим, то в 2000-е оно стало стоить копейки, и стало проще общаться в сети, чем выйти на улицу и погулять со сверстниками. Все это привело к тому, что дети стали общаться со многими людьми виртуально, даже не зная человека в жизни, это же ведь ничего не стоит зайти на тематический сайт и начать общаться на тему, которая тебе нравится, дети учились находить общий язык с людьми виртуально. Все это замечательно, но есть один существенный недостаток, в живую (тет-а-тет), люди разучились разговаривать, они теряются, стесняются, не знают, как начать разговор. Поэтому можно предположить, что нас ждет спад профессий, основывающихся на живом общении с человеком. Люди, росшие в виртуальной среде, по большей части будут избегать его как огня.

Следует отметить, что дети, рождённые с 1995 по 2010, практически с рождения привыкают работать с огромными потоками информации. Поэтому они будут успешны в качестве аналитиков или на тех должностях, где осуществляется работа с большими пластами данных и требуется отделить «зерна от плевел».

Все вышеперечисленное привело к росту числа детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности. Этим детям трудно долго оставаться сосредоточенными на чем-то одном, они очень непоседливы и потому расторможены, гиперактивны. Поэтому у таких детей часто возникают проблемы с успеваемостью из-за неусидчивости и нетерпеливости, хотя при этом они и могут быть одаренными в каких-то отдельных сферах деятельности. Существует миф, который поддерживается в родительской и отчасти педагогической среде, о том, что это якобы особые, одаренные дети, «люди будущего». Но это, к сожалению, не так. Недостаток эмоциональных контактов, в первую очередь в семье, и избыток информации, который обрушивается на детскую голову с первых лет жизни, приводят к нарушению возрастного развития. Вот почему эти дети повышено возбудимы, впечатлительны, непоседливы и менее послушны. И хотя со временем эти черты детского поведения частично сглаживаются, но все-таки в будущем нас ждет общество бывших гиперактивных детей. Гиперактивный социум, в котором люди будут отличаться большей потребностью в новизне, поиске ощущений, меньшей терпеливостью и терпимостью, склонностью к повышенной конфликтности. Поэтому заранее следует разработать систему мер, призванных сглаживать межличностные конфликты внутри организации и уделить этому особое внимание.

Субпоколение 2005-2010. Это поколение можно по праву назвать первым «капиталистическим». По сравнению с предыдущим поколением, социальные условия изменились не сильно, дети росли в схожей среде. Главное различие заключается в разном воспитании, родители детей этого субпоколения, в основной своей массе родились после 1980-го года. Они воспитывались в условиях перестройки, когда на смену коммунистическим ценностям, пришел капитализм. Можно сказать, что дети 2005-2010 впитывали капиталистическую идеологию с молоком. Об этих людях можно сказать, что они будут индивидуалистами, ставящих свой личный комфорт в «абсолют» и не считающихся со мнением других. Это поколение карьеристов, идущих по головам других, ради достижения своих целей. Эти люди будут нацелены на результат, и будут идти до конца ради достижения своих целей, следует позаботиться о том чтобы эти цели совпадали с целями организации. Для наибольшей их эффективности, следует разработать грамотную систему карьерного лифта, помогающих человеку реализовать себя, но

снижая его степень воздействие на окружение, чтобы снизить влияние закулисных интриг на работу компании.

Можно сделать вывод, что поколение «Z» - поколение творческих людей, обладающих оригинальным взглядом на окружающий мир. Это некое переходное поколение, сильно отличающиеся от тех кто был и от тех кто будет. Это свежая струя, которая принесет множество новых идей. Главная задача HR- менеджера, раскрыть весь творческий потенциал, которым обладают «Z».

Таким образом, теория поколений является отличным инструментом для планирования потребности в персонале, прогнозирования тех ситуаций, с которыми придется столкнуться, реализуя HR-менеджмент. Благодаря ей можно грамотно построить систему мотивации и коммуникации внутри предприятия. Это один из главных помощников при формировании корпоративной культуры, на основе ценностей разных поколений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинюк А. "Теория поколений" - как HR инструмент // HR-portal. -2008. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.hr-portal.ru/article/teoriya-pokoleniy-kak-hr-instrument>.
2. HowN., StraussW. Millennials. Rising: TheNextGreatGeneration: - NY.: Vintage books ,2000. – 432 с.
3. Сборник. Лучшие HR-решения: - М.: Вершина, 2009.– 192 с.

### ОБ АВТОРЕ



**Зайцев Игорь Константинович**, студент УГАТУ, кафедра Менеджмента и Маркетинга. (УГАТУ, 2014). Исследования в области психологии и мотивации персонала.  
e-mail: igor.zaisev @ gmail.com

УДК 658.152

### ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ СОБСТВЕННОГО КАПИТАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Амирханова Л. Р., Атнабаева Д. Ф.**

Структура капитала представляет собой соотношение собственных и заемных средств долгосрочного характера. Эффективное управление капиталом заключается в создании его смешанной структуры, представляющей такое оптимальное сочетание собственных и заемных источников, при котором минимизируются общие затраты на капитал и максимизируется рыночная стоимость предприятия. Однако, несмотря на кажущуюся очевидность, проблема формирования оптимальной структуры капитала и даже сам факт ее существования является одной из самых сложных и противоречивых в финансовой теории [1, 2, 7, 8, 9, 10].

В статье предлагается оригинальный подход к определению оптимальной величины собственного капитала, после оценки которого уже возможен переход к расчету

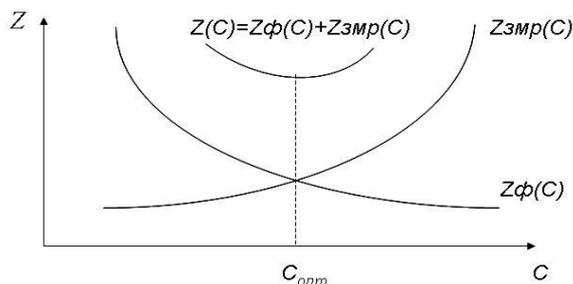
целесообразного объема заемных средств, необходимых для ведения производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Подход основан на определении зависимости убытков, возникающих из-за замораживания в результате использования в производственной деятельности предприятия избыточной величины собственного капитала, и невозможности парировать влияние факторов внутренней и внешней природы из-за недостатка собственных средств. Величина собственного капитала должна быть оптимальной. В связи с этим предлагается критерий (1) оптимизации величины собственного капитала (рис. 1).

$$Z(C) = Z_{\Phi}(C) + Z_{ЗМР}(C), \quad (1)$$

где  $Z(C)$  – суммарные убытки предприятия, зависящие от величины собственного капитала ( $C$ );  $Z_{\Phi}(C)$  – экономические убытки, возникающие вследствие влияния внешних и внутренних факторов;  $Z_{ЗМР}(C)$  – убытки, которые несет предприятие в результате замораживания избыточной величины собственного капитала.

При увеличении величины  $C$  экономические убытки от его замораживания  $Z_{ЗМР}(C)$  возрастают. Уменьшение величины  $C$  ведет к ситуации, когда капитала может не хватить на покрытие убытков из-за влияния различных факторов внутренней и внешней среды  $Z_{\Phi}(C)$ . В связи с этим можно сделать вывод о том, что величина  $C$  должна принимать оптимальное значение  $C_{опт}$ . При этом для различных экономических условий эта величина будет разной.

Как уже выше отмечалось, на выбор оптимальной величины собственного капитала влияют не только внутренние факторы каждого конкретного предприятия, но и внешней среды [3, 4, 5]. В связи с этим возникает задача оценки  $C_{опт}$  при влиянии не только внутренних факторов, но и факторов внешней среды. Для этого необходимо найти зависимости  $Z_{\Phi}(C)$  и  $Z_{ЗМР}(C)$ . Для их нахождения и оценки  $C_{опт}$  предлагается методика:



**Рис. 1.** Графическая модель оптимизации величины собственного капитала

1) выявление спектра основных факторов внешней и внутренней среды, влияющих на функционирование предприятия;

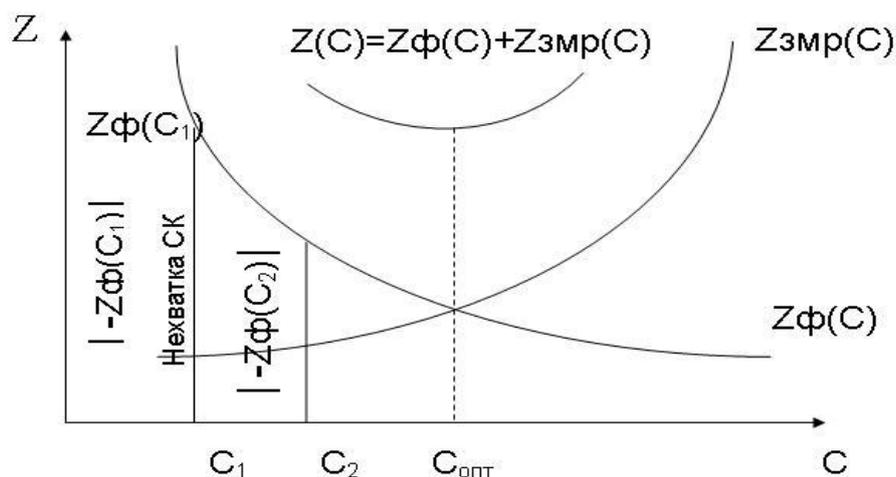
2) определение по различным множествам факторов внешней и внутренней среды кластеров состояний предприятий. В некоторый момент времени определенному состоянию предприятия соответствует некий набор факторов внешней и внутренней среды. Следовательно, можно объединить однородные состояния предприятия в кластеры. Затем с помощью известных инструментальных средств определить, в какой из  $i$ -х кластеров по своему состоянию попадает исследуемое предприятие, для каждого из которых известна ожидаемая величина экономических убытков  $\Delta Z_i(C)$ ,  $i=1, \dots, N$ . Эти убытки предприятие несет из-за влияния факторов внутренней и внешней среды;

3) построение многофакторной регрессионной модели по  $i$ -му кластеру ( $i=1, \dots, N$ ) для определения аналитической зависимости экономических убытков  $\Delta Z_i(C)$  от величины  $C$  исследуемого предприятия. Рассчитаем, используя многофакторную регрессионную модель по  $i$ -му кластеру, величину убытка  $\Delta Z_i(C)$  для исследуемого состояния предприятия и примем его за  $const$ . Далее из  $const$  вычитаем минимальное значение собственного капитала ( $C_{\min}$ ) и получаем убытки, которые не покрываются

$C_{\min}$ , т.е.  $Z_{\phi}(C_1)$ . Затем  $C_{\min}$  наращиваем на определенную величину (шаг) и получаем новое увеличенное значение собственного капитала. И вновь из *const*, свойственного исследуемому состоянию предприятия, вычитаем увеличенное значение собственного капитала и получаем убытки  $Z_{\phi}(C_2)$ , которые не покрываются уже этим новым значением собственного капитала. Таким образом действуем до тех пор, пока не достигнем максимально возможной величины собственного капитала ( $C_{\max}$ ). Затем строим график зависимости убытков  $Z_{\phi}(C)$  от значений величин  $C$ , находящихся в интервале  $[C_{\min}; C_{\max}]$  [6];

4) построение для  $i$ -го кластера функциональной зависимости  $Z_{ЗМР}(C)$  в результате замораживания величины  $C$  из-за его избыточного использования в производственной деятельности предприятия. Строим график убытков из-за замораживания собственного капитала, находящегося в интервале  $[C_{\min}; C_{\max}]$ , используя формулу расчета динамических показателей эффективности инвестиций;

5) для нахождения  $C_{\text{опт}}$  предприятия совмещаем оба графика на одной координатной плоскости и выбираем оптимальное значение величины собственного капитала по  $i$ -му кластеру, при котором суммарные убытки из-за замораживания капитала и влияния различных факторов примут минимальное значение (рис. 2).



**Рис. 2.** Оптимальная величина капитала с учетом влияния факторов внешней среды и убытков от замораживания избыточных средств предприятия

Рассмотрим пример использования предложенной методики для оценки оптимальной величины собственного капитала исследуемого промышленного предприятия:

1) выявление факторов внешней и внутренней среды, влияющих на производственно-хозяйственную предприятия (табл. 1);

2) по данным табл. 1 определить кластеры состояний предприятий с помощью программы SPSS. Получено три кластера соответственно в табл. 2, табл. 3, табл. 4;

3) построение многофакторной регрессионной модели по  $i$ -му кластеру для определения аналитической зависимости экономических убытков предприятия  $\Delta Z_i(C)$  от величины собственного капитала  $C$ .

С помощью программы SPSS проведем регрессионный анализ по первому кластеру состояния предприятия, результаты которого сведены в табл. 5.

Таблица 1

**Основные факторы внешней и внутренней среды предприятия**

Год	Инфляция, %	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2000	20,10	7 306	427 981	130 959	16 112	1877245
2001	18,80	8 944	492 495	233 423	33 361	2427411
2002	15,06	10 831	440 903	268 685	10 747	3190388
2003	11,99	13 243	750 025	136 561	13 488	4233028
2004	11,74	17 048	852 113	316 989	12 584	5324327
2005	10,91	21 610	644 816	288 634	78 514	6321468
2006	9,00	26 917	714 806	781 837	166 075	8051354
2007	11,87	33 248	721 664	355 926	227 189	10669224
2008	13,28	41 429	1 223 838	398 518	99 269	10401143
2009	8,80	38 809	1 076 561	487 145	8 482	6296648
2010	8,78	45 166	1 604 030	254 727	8 447	7121952
2011	6,10	54 369	1 346 224	849 147	6 330	9745445

Таблица 2

**Кластер 1 – Предкризисный период**

Год	Инфляция, %	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2000	20,10	7 306	427 981	130 959	16 112	1877245
2001	18,80	8 944	492 495	233 423	33 361	2427411
2002	15,06	10 831	440 903	268 685	10 747	3190388
2003	11,99	13 243	750 025	136 561	13 488	4233028
2004	11,74	17 048	852 113	316 989	12 584	5324327
2005	10,91	21 610	644 816	288 634	78 514	6321468

Таблица 3

**Кластер 2 – Кризисный период**

Год	Инфляция, %	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2006	9,00	26 917	714 806	781 837	166 075	8051354
2007	11,87	33 248	721 664	355 926	227 189	10669224
2008	13,28	41 429	1 223 838	398 518	99 269	10401143

Таблица 4

**Кластер 3 – Период после кризиса**

Год	Инфляция, %	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2009	8,80	38 809	1 076 561	487 145	8 482	6296648
2010	8,78	45 166	1 604 030	254 727	8 447	7121952
2011	6,10	54 369	1 346 224	849 147	6 330	9745445

Таблица 5

**Результаты регрессионного анализа первого кластера  
(предкризисный период)**

Год	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2000	7 305,6	427 981	130 959	16 112	1 877 245
2001	8 943,6	492 495	233 423	33 361	2 427 411
2002	10 830,5	440 903	268 685	10 747	3 190 388
2003	13 243,2	750 025	136 561	13 488	4 233 028
2004	17 048,1	852 113	316 989	12 584	5 324 327
2005	21 609,8	644 816	288 634	78 514	6 321 468

На основе данных табл. 5 получаем регрессионную модель (2)

$$y = -486436,154 + 334,564 \cdot x^1 + 0,520 \cdot x^2 - 0,567 \cdot x^3 - 7,454 \cdot x^4, \quad (2)$$

где  $y$  – убытки предприятия от влияния факторов внутренней и внешней среды ( $\Delta Z_1(C)$ );  $x^1$  – номинальный ВВП, трлн. руб.;  $x^2$  – запасы, тыс. руб.;  $x^3$  – дебиторская задолженность, тыс. руб.;  $x^4$  – налог на прибыль, тыс. руб.

Также проведем регрессионный анализ по второму кластеру состояния предприятия, результаты которого сведены в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты регрессионного анализа второго кластера  
(кризисный период)**

Год	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2006	26917,2	714 806	781 837	166 075	8051354
2007	33247,5	721 664	355 926	227 189	10669224
2008	41428,6	1 223 838	398 518	99 269	10401143

На основе данных табл. 6 получаем регрессионную модель (3)

$$y = -1,863E - 9 + 498,93 \cdot x^1 + 1,128 \cdot x^2 - 8,758 \cdot x^3, \quad (3)$$

где  $y$  – убытки предприятия от влияния факторов внутренней и внешней среды;  $x^1$  – номинальный ВВП, трлн. руб.;  $x^2$  – дебиторская задолженность тыс. руб.;  $x^3$  – запасы тыс. руб.

Далее получим регрессионную модель убытков для третьего кластера. Для этого проведем регрессионный анализ по третьему кластеру состояния предприятия, результаты которого сведены в табл. 7.

Таблица 7

**Результаты регрессионного анализа третьего кластера (после кризисный период)**

Год	Номинальный ВВП, трлн. руб.	Запасы, тыс. руб.	Дебиторская задолженность тыс. руб.	Налог на прибыль тыс. руб.	Убытки, тыс. руб.
2009	38808,7	1 076 561	487 145	8 482	6296648
2010	45166	1 604 030	254 727	8 447	7121952
2011	54369	1 346 224	849 147	6 330	9745445

По результатам табл. 7 получим регрессионную модель (4):

$$y = -9,313E - 10 + 174,750 \cdot x^1 + 1,249 \cdot x^2 - 128,911 \cdot x^3, \quad (4)$$

где  $y$  – убытки предприятия от влияния факторов внутренней и внешней среды;  $x^1$  – номинальный ВВП, трлн. руб.;  $x^2$  – дебиторская задолженность, тыс. руб.;  $x^3$  – налог на прибыль, тыс. руб.

Для построения графиков потерь предприятия для всех кластеров от воздействия внешних и внутренних факторов  $Z_{\Phi}(C)$  необходимо найти значение  $Z_{\Phi}(C1)$ ,  $Z_{\Phi}(C2)$  и т.д. Затем полученные значения вводим соответственно в табл. 8, табл. 9, табл. 10. При этом количественное значение  $y = \Delta Z_1(C) = const$ .

Для первого кластера состояний предприятия максимальным значением убытков от влияния внешних и внутренних факторов является  $y = \Delta Z_1(C) = const = 6\,321\,468$  тыс. руб., минимальным значение собственного капитала  $C_{\min} = 554\,746$  тыс. руб.

Для второго кластера состояний предприятия максимальным значением убытков от влияния внешних и внутренних факторов является  $y = \Delta Z_1(C) = const = 10\,401\,143$  тыс. руб., минимальным значение собственного капитала  $C_{\min} = 1\,294\,393$  тыс. руб.

Для третьего кластера состояний предприятия максимальным значением убытков от влияния внешних и внутренних факторов является  $y = \Delta Z_1(C) = const = 9\,745\,445$  тыс. руб., минимальным значение собственного капитала  $C_{\min} = 1\,643\,409$  тыс. руб.

$$Z_{\Phi}(C1) = const - C_{\min}; \quad Z_{\Phi}(C2) = const - (C_{\min} + n); \quad (5)$$

где  $n$  – шаг, определенное значение;

4) рассчитаем значения убытков  $Z_{ЗМР}(C)$  из-за замораживания собственного капитала, находящегося в интервале  $[C_{\min}; C_{\max}]$ , используя формулу расчета динамических показателей эффективности инвестиций. При этом за расчетный период возьмем 6 лет, средняя ставка кредитных организаций за депозитные счета составляет 9%. Результаты расчетов сводим соответственно в табл. 8, табл. 9, табл. 10;

5) Используя данные табл. 8, табл. 9, табл. 10 строим зависимости  $Z_{\Phi}(C)$  и  $Z_{ЗМР}(C)$  от величины собственного капитала, находящегося в интервале  $[C_{\min}; C_{\max}]$  (соответственно рис. 3, рис. 4, рис. 5).

Из рис. 3 видно, что для первого кластера  $C_{\text{опт}} = x = 3\,254\,746$  тыс. руб., а суммарные убытки  $y = Z(C) = 3\,128\,746$  тыс. руб. Для второго кластера состояний предприятия на рис. 4 можно наблюдать, что  $C_{\text{опт}} = x = 5\,494\,393$  тыс. руб., а суммарные убытки принимают значение  $y = Z(C) = 5\,345\,043$  тыс. руб. В третьем кластере, в периоде после кризиса, по рис. 5 можно наблюдать некоторое уменьшение значения  $C_{\text{опт}} = x = 5\,243\,409$  тыс. руб. и  $y = Z(C) = 4\,684\,128$  тыс. руб.

Таблица 8

Результаты расчетов  $Z_{\Phi}(C)$  и  $Z_{ЗМР}(C)$  для первого кластера в  $[C_{\min}; C_{\max}]$

Значение собственного капитала	$Z_{\Phi}(C)$	$Z_{ЗМР}(C)$	Дисконтированное значение собственного капитала
$C_0 = 554746$	5766722	554745	0,555
$C_1 = 854746$	5466722	854745	0,855
$C_2 = 1154746$	5166722	1154745	1,155
$C_3 = 1454746$	4866722	1454745	1,455
$C_4 = 1754746$	4566722	1754744	1,755
$C_5 = 2054746$	4266722	2054744	2,055
$C_6 = 2354746$	3966722	2354744	2,355
$C_7 = 2654746$	3666722	2654743	2,655
$C_8 = 2954746$	3366722	2954743	2,955
$C_9 = 3254746$	3066722	3254743	3,255
$C_{10} = 3554746$	2766722	3554742	3,555

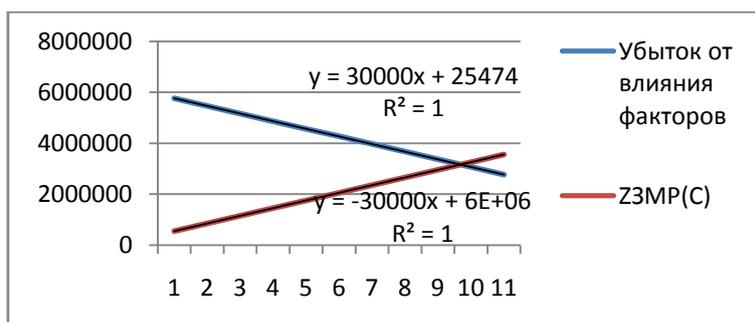
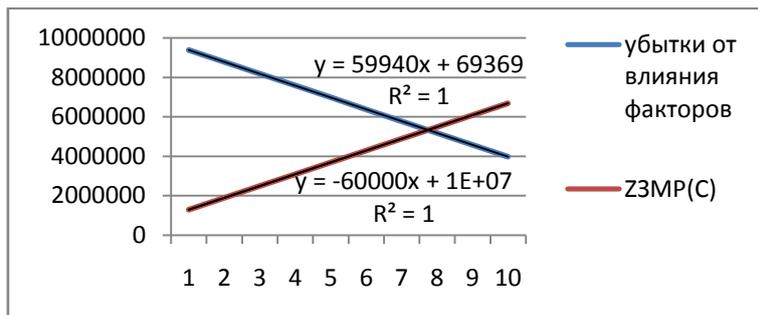


Рис. 3. Определение оптимальной величины собственного капитала предприятия для первого кластера

Таблица 9

Результаты расчетов  $Z_{\Phi}(C)$  и  $Z_{ЗМР}(C)$  для второго кластера в  $[C_{\min}; C_{\max}]$

Значение собственного капитала	$Z_{\Phi}(C)$	$Z_{ЗМР}(C)$	Дисконтированное значение собственного капитала
$C_0 = 1294393$	9374831	1293099	1294
$C_1 = 1894393$	8774831	1892499	1894
$C_2 = 2494393$	8174831	2491899	2494
$C_3 = 3094393$	7574831	3091299	3094
$C_4 = 3694393$	6974831	3690699	3694
$C_5 = 4294393$	6374831	4290099	4294
$C_6 = 4894393$	5774831	4889499	4894
$C_7 = 5494393$	5174831	5488899	5494
$C_8 = 6094393$	4574831	6088299	6094
$C_9 = 6694393$	3974831	6687699	6694

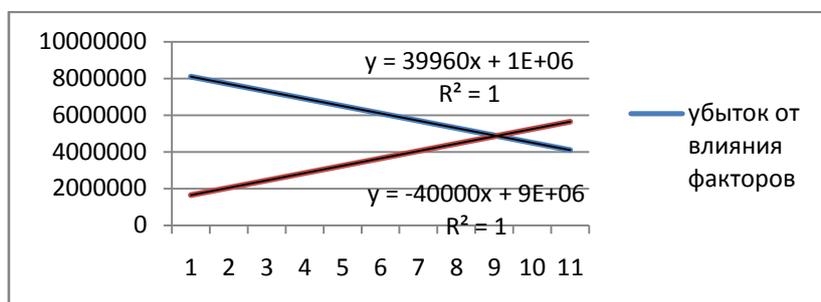


**Рис. 4.** Определение оптимальной величины собственного капитала предприятия для второго кластера

**Таблица 10**

**Результаты расчетов  $Z_{\Phi}(C)$  и  $Z_{3MP}(C)$  для второго кластера в  $[C_{\min}; C_{\max}]$**

Значение собственного капитала	$Z_{\Phi}(C)$	$Z_{3MP}(C)$	Дисконтированное значение собственного капитала
$C_0 = 1643409$	8102036	1641766	1643
$C_1 = 2043409$	7702036	2041366	2043
$C_2 = 2443409$	7302036	2440966	2443
$C_3 = 2843409$	6902036	2840566	2843
$C_4 = 3243409$	6502036	3240166	3243
$C_5 = 3643409$	6102036	3639766	3643
$C_6 = 4043409$	5702036	4039366	4043
$C_7 = 4443409$	5302036	4438966	4443
$C_8 = 4843409$	4902036	4838566	4843
$C_9 = 5243409$	4502036	5238166	5243
$C_{10} = 5643409$	4102036	5637766	5643



**Рис. 5.** Определение оптимальной величины собственного капитала предприятия для третьего кластера

Таким образом, для каждого состояния предприятия (предкризисный период, кризисный, период после кризиса) можно рассчитать свое значение  $C_{\text{опт}}$ , которое позволит заранее подготовиться к наступлению различных неблагоприятных ситуаций и эффективно противостоять влиянию негативных факторов. При этом необходимо отметить, что

максимальное значение убытков свойственно предприятию, находящемуся в состоянии кризиса. И меньше всего – в предкризисный период, что является подтверждением адекватности полученных моделей (1), (2), (3) и предложенного подхода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрютин М.С. Финансовый анализ коммерческой деятельности: учебное пособие / М.С. Абрютин. – М.: Финпресс, 2002. – 176 с.
2. Балабанов И.Т. Финансовый анализ и планирование хозяйствующего субъекта / И.Т. Балабанов. – 2-е изд., доп. – М.: ФиС, 2002. – 208 с.
3. Бланк И.А. Управление прибылью / И.А. Бланк. – Киев: Высшая школа, 2002. – 321 с.
4. Бондасов О.В. Анализ рентабельности собственного капитала / О.В. Бондасов // Научные труды Вольного экономического общества России. Т41. – М. – 2003. – С. 131-174.
5. Бригхем Ю. Финансовый менеджмент, полный курс / Ю. Бригхем, Л. Гапенски. В 2-х т. Пер. с англ. под ред. В. В. Ковалева. – СПб.: Питер, 2001, Т.1. – 497 с., Т.2. – 669 с.
6. Дубнов П.Ю. Обработка статистической информации с помощью SPSS / П.Ю. Дубнов. – М.: НТ Пресс, АСТ, 2004 – 221 с.
7. Любушин Н.П. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия: учебное пособие для вузов / Н.П. Любушин, В.Б. Лещева, В.Г. Дьякова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 471 с.
8. Наумова Н.В. Эффективное управление капиталом и источниками его покрытия на промышленных предприятиях региона / Н.В. Наумова, Б.И. Герасимов, Л.В. Пархоменко. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. – 125 с.
9. Парушина Н.В. Анализ собственного и привлечённого капитала / Н.В. Парушина // Бухгалтерский учёт. – 2002. – № 3. – С. 72 – 78.
10. Рудык Н.Б. Структура капитала корпораций: теория и практика / Н.Б. Рудык. – М.: Дело, 2004, – 272 с.

### ОБ АВТОРАХ



ФОТО

**Амирханова Лилия Рифовна** профессор кафедры «Менеджмента и маркетинга» УГАТУ, д.э.н., профессор. Исследование в области оптимизации расходования ресурсов и прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

e-mail: [nfs\\_kamil@mail.ru](mailto:nfs_kamil@mail.ru)



ФОТО

**Атнабаева Дилъра Фаатовна** аспирант кафедры «Менеджмента и маркетинга» УГАТУ. Диплом Специалиста по рекламе (ИЖГТУ 2010 г.). Исследование в области прогнозирования экономических явлений.

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

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Романова О. В., Калистратова К. В.

В рыночной экономике проблема качества является важнейшим фактором повышения уровня жизни, экономической, социальной и экологической безопасности. На современном этапе экономического развития многие отечественные предприятия выпускают продукцию, уровень качества которой отстает от продукции зарубежных товаропроизводителей. Поэтому необходимы методы, позволяющие определить качество продукции с целью его дальнейшего совершенствования.

В соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2008 качество [1] – это степень соответствия совокупности присущих продукции характеристик требованиям потребителей. Для количественной характеристики качества применяется понятие «уровень качества» [2] – относительная оценка качества, основанная на сравнении совокупности характеристик рассматриваемого изделия с базовыми, т.е. изделиями конкурентов, перспективных образцов, стандартов, опережающих стандартов и т.п.

Существует несколько методов определения уровня качества продукции, но в стандартах не даются четкие рекомендации по применению одного из них.

Можно выделить методы, основанные на сравнении продукции. Они применяются для оценки качества работы предприятия с учетом многих показателей: дифференциальный, комплексный и смешанный. Но для их применения необходимым условием является наличие нормативных (эталонных) значений, с которыми можно сравнивать фактические уровни показателей.

Дифференциальный метод – достаточно прост и состоит в сравнении единичных показателей качества оцениваемого изделия с одноименными базовыми показателями.

Об уровне качества судят по величине единичных относительных показателей [2].

$$qi = \frac{Xi}{Xiб}, \quad qi = \frac{Xiб}{Xi} \quad (1)$$

где  $Xi$  - значение  $i$ -го показателя качества оцениваемой продукции;

$Xiб$  - значение  $i$ -го базового показателя

$p$  - количество рассматриваемых показателей качества продукции.

Комплексный метод – основан на сравнении комплексных показателей оцениваемого изделия с комплексными базовыми показателями [2]. Однако значимость этих свойств в составе качества не одинакова. При этом методе уровень качества определяется отношением обобщенного показателя качества оцениваемой продукции  $Q_{оц}$  к обобщенному показателю качества базового образца  $Q_{баз}$ , т.е.

$$K = \frac{Q_{оц}}{Q_{баз}} \quad (2)$$

Но существует сложность объективного нахождения обобщенного показателя. Было предложено несколько вариантов [3]:

1. Когда можно выделить главный показатель и установить функциональную зависимость этого главного показателя от остальных единичных показателей:

$$Q = f * (n, P, Y) \quad (3)$$

где  $n$  – число единичных показателей;

$P_i$  –  $i$ -й единичный показатель;

$Y_i$  – коэффициент при  $i$ -м единичном показателе.

В качестве обобщенного может использоваться интегральный показатель качества,

показывающий величину полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции, приходящегося на каждый рубль суммарных затрат на ее создание и эксплуатацию или потребление.

2. В тех случаях, когда невозможно построить функциональную зависимость, исходя из основного назначения продукции, применяют взвешенные среднеарифметические показатели. При этом обобщенный показатель вычисляется по формуле:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * P_i}{n} \quad (4)$$

где  $m_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го показателя.

При этом должно соблюдаться условие [3]:

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1 \quad (5)$$

Смешанный метод оценки уровня качества сочетает дифференциальный и комплексный методы. Наиболее важные свойства оценивают дифференциальным методом, другие свойства объединяют в группы и оценивают комплексным методом.

Для сводной оценки уровня качества продукции (изделия) пользуются методикой В.А. Трапезникова. При этом рассчитывают «коэффициент качества», равный произведению частных показателей качества (коэффициентов), характеризующих отклонение фактического значения каждого контролируемого параметра от значений, установленных стандартами или принятых за эталон. Сводный коэффициент ( $K_{св.}$ ) находят по следующей формуле:

$$K_{св} = \prod_{i=1}^n K_i \quad (6)$$

где  $K_i$  – частные показатели качества.

При комплексной оценке качества продукции может быть также использован средний взвешенный арифметический показатель, когда усредняемые исходные относительные показатели  $K_i$  сравнительно мало отличаются друг от друга [3]:

$$K_{св} = \prod_{i=1}^n K_i * W_i \quad (7)$$

где  $K_i$  – частный относительный показатель качества;

$W_i$  – коэффициенты весомости показателей (определяются экспертно).

Но чаще интегральная оценка уровня качества находится по формуле относительных линейных оценок [3]:

$$K_{инт} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{K_{\phi i}}{K_{\sigma i}} - 1 \right| \quad (8)$$

где  $K_{\phi i}$  – фактический уровень качества,

$K_{\sigma i}$  – эталонный (нормативный) уровень.

Отдельно выделяют статистические методы оценки продукции, которые применяются отдельно для каждого предприятия. Определяют простые показатели, которые вычисляются отдельно для каждого вида продукции, и комплексные – по всему предприятию в целом.

К простым показателям относят [4]: удельный вес продукции изделий первого (высшего) сорта в общем объеме выпуска; средняя сортность выпущенных изделий; средняя цена единицы продукции; индекс сортности (для оценки выполнения плана и динамики сортности); потери (накопления) от изменения сортности; коэффициент дефектности - среднее взвешенное количество дефектов, приходящееся на единицу продукции  $i$ -го вида; относительный показатель дефектности продукции  $i$ -го вида.

Для комплексной оценки уровня качества продукции применяют индексы качества продукции:

1. Индексом качества продукции используется при составлении планов повышения качества и проверке их выполнения, при сопоставлении качества продукции различных предприятий, при оценке стабильности производства и в других случаях.

5. Наиболее часто он вычисляется на основе главного показателя. Обычно это производительность или долговечность изделий.

$$ИК = \frac{\sum_{i=1}^S N_i * K_i * Ц_i}{\sum_{i=1}^S N_i * Ц_i} \quad (9)$$

где  $K_i$  – относительный показатель качества  $i$ -го вида продукции;  
 $N_i$  – количество изделий  $i$ -го вида или объём  $i$ -й продукции в текущем периоде;  
 $Ц_i$  – оптовая цена продукции  $i$ -го вида, руб.

2. Когда оцениваемая продукция имеет сортность, в роли индекса качества можно применить коэффициент сортности, равный отношению фактической стоимости выпущенной продукции в оптовых ценах к её условной стоимости при допущении, что вся она выпущена высшим сортом:

$$Кс = \frac{\sum_{i=1}^S (\sum_{k=1}^n Ц_{ik} * N_{ik})}{\sum_{k=1}^n Ц_{ik} * \sum_{k=1}^n N_{ik}} \quad (10)$$

3. Индекс дефектности продукции:

$$Ид = \frac{\sum_{i=1}^S C_i * q_i}{\sum_{i=1}^S C_i} \quad (11)$$

где  $C_i$  – сумма, на которую выпущено продукции  $i$ -го вида за период;  
 $q_i$  – относительный показатель дефектности продукции  $i$ -го вида

4. Для сводной характеристики уровня и динамики качества используют индекс качества, предложенный проф. А.Я. Боярским:

$$I_k = \frac{\sum_{ik} (p q_1)}{\sum p q_1} \quad (12)$$

где  $q_1$  – фактически выпущенное количество продукции каждого вида (сорта);

$p$  – фиксированные цены;

$ik$  – индивидуальные индексы качества по видам продукции, определяемые как отношение фактического уровня качества к базисному уровню ( $ik = k_1:k_0$ ).

Если  $I_k$  умножить на индекс объема продукции ( $I_q$ ), то произведение даст динамику объема продукции с учетом изменения ее качества:

$$I_{qk} = I_q * I_k = \frac{\sum_{ik} (p q_1)}{\sum p q_0} \quad (13)$$

Иногда применяются интегральные показатели качества, когда известен полезный суммарный эффект от использования продукции и суммарные затраты на ее создание, обращение и потребление. При расчетах полезного эффекта могут быть использованы такие показатели, как срок службы изделий, производительность изделия за определенный период и т.п. [4]:

Описанные выше методы определяют уровень качества в виде показателей, характеризующих сам продукт: его сортность, дефектность, долговечность и т.п. Но ведь качество продукции определяет качество жизни человека, сохранение окружающей среды и, в конечном счете, социально-экономического развития. Однако, эти методы совсем не рассматривают «внешнее проявление» качества продукции, т.е. как качество изделия отражается на потребителях и обществе в целом. Поэтому современные условия функционирования отечественных предприятий требуют новых подходов к проблеме оценки качества продукции.

Совершенно другой подход предлагает профессор Тагути, определяющий качество как общие потери, которые наносит изделие обществу. Это означает: чем меньше потери потребителя, тем изделие более желаемо. Потери потребителя от разброса характеристик изделия часто пропорциональны квадрату отклонения выходной характеристики от заданного значения [5].

Пусть  $Y$  – выходная характеристика,  $t$  – заданное значение  $Y$ ,  $l(y)$  – потери, которые несет потребитель в произвольное время в течение срока службы изделия из-за отклонения  $Y$  от  $t$ . На основании наблюдений было выявлено, что увеличение разности  $(Y-t)$  приводит к увеличению потерь в виде квадратичной функции. Простейшая функция потерь выглядит следующим образом:

$$l(y) = k * (Y - t)^2 \quad (14)$$

где  $k$  – константа (рис. 1).



**Рис. 1.** Функция потерь потребителя при отклонении выходной характеристики от заданного значения

Неизвестную константу  $k$  можно определить, если известно  $l(y)$  для конкретного  $Y$ . Например, если параметр изделия  $Y$  выходит за интервал  $(t-\Delta; t+\Delta)$ , то изделие функционирует не удовлетворительно, а затраты на ремонт или замену составляют  $A$  денежных единиц. Тогда  $A = k\Delta^2$ ,  $k = A/\Delta^2$ . Нахождение неизвестного параметра не является сложным, поэтому можно легко рассчитать средние потери потребителя.

Для удобства расчетов введен такой показатель как «сигнал – шум» ( $z(\theta)$ ): который характеризует отклонение выходной характеристики изделия под воздействием помех. Выделяются следующие виды помех: внешние; помехи из-за несовершенства производства; помехи из-за деградации изделия. При этом определяются следующие факторы, влияющие на качество изделия (отклик –  $Y$ ) [5]:

1. Сигнальный фактор ( $M$ ) – которые устанавливаются для достижения заданного значения  $Y$ ;
2. Управляемые факторы ( $Z$ ) – значения которых определяет разработчик;
3. Факторы помех ( $X$ ) вызывают отклонения выходных характеристик изделия, при этом они могут систематически варьироваться при проведении экспериментов;
4. Масштабно-выравнивающий фактор ( $R$ ) – особые управляемые факторы, с помощью которых регулируют функциональное соотношение между сигнальным параметром и откликом.

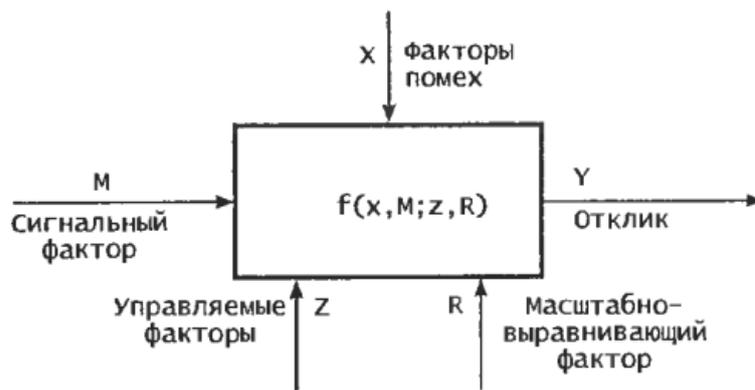


Рис. 2. Блок-схема изделия

Функциональная зависимость между этими факторами выглядит следующим образом [5]:

$$y = g(M, z, R) + e(x, M, z, R) \quad (15)$$

где  $g(M, z, R)$  – прогнозируемое соотношение между  $M$  и  $Y$ ;  
 $e(x, M, z, R)$  – непрогнозируемая часть.

Задачей оптимизации по Тагути является нахождение такого набора значений управляемых факторов, чтобы минимизировать непрогнозируемую часть уравнения 15. Для этого строятся матрицы параметров проектирования и факторов помех. В первой матрице столбцы – параметры проектирования, а строки – все возможные комбинации значений параметров, аналогично для второй. Затем проводится совмещение матриц для определения результирующего параметра и последующего вычисления показателя «сигнал – шум» (рис. 3). Совмещенная матрица называется ортогональной (рис. 4).

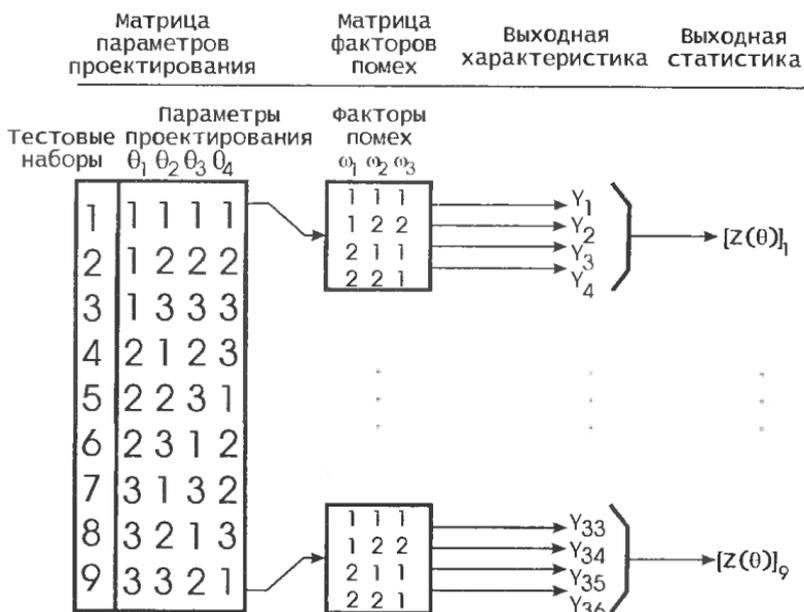


Рис. 3. План исследования по Тагути

Внутренняя матрица										Внешняя матрица										
										1	Н	В	Н			В	С/Ш		среднее	
										2	Н	В	В			Н				
3	Н	Н	В	В																
уФ Реализация	1	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	8	1	2	3	4						
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					С/Ш 1	$\bar{y}_1$				
	2	2	1	3	1	1	1	2	3											
	18	2	3	3	2	1	2	3	1					С/Ш 18	$\bar{y}_{18}$					

Рис. 4. Ортогональная матрица

Показатель «сигнал – шум» вычисляется следующим образом [5]:

1. Как можно меньшее значение  $Y$  является наилучшим, тогда

$$z(\theta) = -10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum y_i^2 \right) \quad (16)$$

2. Как можно большее значение  $Y$  является наилучшим, тогда

$$z(\theta) = -10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (17)$$

6.

3. Некоторое конкретное значение  $Y$  является наилучшим, тогда

$$z(\theta) = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum \bar{y}^2 / s^2 \right) \quad (18)$$

7. где  $\bar{y}$  – среднее арифметическое  $Y$ ;  $s^2$  – дисперсия  $Y$

8.

9. Затем проводится дисперсионный анализ для установления влияния управляемых факторов на выходной параметр качества. Особое влияние уделяют факторам, оказывающим максимальное воздействие на «сигнал – шум» (предполагается, что они управляют изменчивостью процесса), оказывающим минимальное воздействие (предположительно он значительно влияет на среднее значение отклика и является сигнальным). После этого для выбранных управляемых факторов выбирают оптимальные значения (либо с помощью повторных экспериментов, либо с помощью дисперсионного анализа). Нахождение потерь потребителя не будет рассматриваться в данной статье из-за высокой трудоемкости.

10. Рекомендуется применение метода Тагути для исследования процессов, включающих большое количество факторов, чтобы увеличить точность дисперсионного анализа. Желательный минимум – 10 расчетных значений «сигнал – шум».

11. Рассмотрим пример: *анализ процесса производства цементных смесей.*

12. Выходной характеристикой является прочность; управляемыми параметрами – средняя частота вращения клинкера при дроблении, время температурной обработки компонентов; фактор помех – средний размер частиц клинкера после термообработки. Лучшим значением для показателя качества является соответствие конкретному значению.

Таблица 1

## Условные обозначения

Фактор		Уровни		
Обозначение	Название	1	2	3
А	средняя частота вращения клинкера при дроблении, об/мин	20	27	33
Б	время температурной обработки компонентов, в % от общего времени технологического процесса	14,0	14,5	14,8
–	средний размер частиц клинкера после термообработки	14,4	14,6	14,8

Примечание: для фактора помех не приводится обозначение, т.к. он единственный в данном исследовании.

Таблица 2

## Ортогональная матрица исследования

Реализация	А	Б	Помехи			$z(\theta)$	$\bar{y}$
			1	2	3		
1	1	1	506	506	503	49,29	505,00
2	1	2	503	504	504	58,81	503,67
3	1	3	504	504	506	52,81	504,67
4	2	1	503	503	502	58,80	502,67
5	2	2	506	506	503	49,29	505,00
6	2	3	502	502	503	58,79	502,33
7	3	1	505	505	503	52,80	504,33
8	3	2	504	506	504	52,81	504,67
9	3	3	505	503	503	52,79	503,67

Следующими шагами робастного проектирования будут:

1. Поиск набора факторов, которые затрагивают вариацию, но при тех уровнях, где эта вариация минимальна.

2. Использование фактора, который влияет на среднюю величину отклика, но при этом не влияет на вариацию, для корректировки этой средней величины.

Важно помнить, что показатель «сигнал – шум» в случае "номинал – лучшее" определяет факторы, которые затрагивают вариацию прочности цемента. Большие значения свидетельствуют о меньшей вариации, следовательно, цель поиска – максимизировать коэффициент «сигнал – шум».

Затем строится таблица откликов. Она получена из столбца  $z(\theta)$ , который содержит значение показателя «сигнал – шум» для каждого уровня каждого фактора. Чтобы определить, который фактор имеет значительный эффект на данный показатель, сравнивается среднее значение показателя «сигнал – шум», полученное при уровне 1 фактора, со средним значением при уровне 2. Чтобы упростить этот процесс, мы просто вычисляем разность между средними значениями обоих уровней. Большая разность означает более сильный эффект фактора.

Через анализ показателя «сигнал – шум» оптимальное условие, которое минимизировало вариацию в прочности, было найдено. Для фактора А это уровень 2, для фактора Б – уровень 3. Однако данный вывод требует экспериментальной проверки. Это тот же самый процесс повторяется для средних значений прочности, чтобы определить, какой фактор имеет влияние на  $\bar{y}$  (табл. 3).

Таблица 3

## Анализ показателей

Анализ коэффициентов «сигнал – шум»			Анализ средних значений откликов		
	А	Б		А	Б
Уровень 1	53,64	53,63	Уровень 1	504,44	504,00
Уровень 2	55,63	53,64	Уровень 2	503,33	504,44
Уровень 3	52,80	54,80	Уровень 3	504,22	503,56
Разница между уровнями:			Разница между уровнями:		
1 и 2	-1,99	-0,01	1 и 2	1,11	-0,44
2 и 3	2,82	-1,16	2 и 3	-0,89	0,89
1 и 3	0,84	-1,17	1 и 3	0,22	0,44

Анализ вычисленных значений показал, что ни один из факторов не имеет действительно сильного влияния на среднюю величину (потому что по модулю значения разницы не велики). Отметим, что для данного процесса достижение желательного целевого (среднего) значения не является проблемой. Действительное значение получаемой средней прочности и среднего размера поля допуска имеют приемлемое различие. Проблема процесса в чрезмерной вариации размера частиц клинкера, что требует дополнительного анализа причин этого.

Таблица 4

## Результаты дисперсионного анализа

Фактор	Число степеней свободы	Дисперсия	F
А	2	31,75	144,4
Б	2	0,122	939,5

Расчетные значения F-статистики превышают критическое, уровень значимости для них 5%. На основании проведенного анализа видно, что среди данных факторов нет сигнальных. Они должны все использоваться для управления выходной характеристикой качества. Однако данные результаты могут быть недостоверны из-за того, что рассмотрено малое количество управляемых факторов и, соответственно, было малое количество наблюдений.

Проблемы возникающие при использовании метода Тагути :

1. Не учитываются взаимодействия между управляемыми факторами – возможно преодоление с помощью проверочного эксперимента, когда отобраны оптимальные параметры, или разложение в ряд Тейлора искомой характеристики;

2. Если исследуемая величина непрерывна, то следует исследовать десятичный логарифм показателя «сигнал – шум»;

3. Если при каждой комбинации уровней факторов было проведено несколько экспериментов, то необходимо применять аккумуляционный анализ.

К несомненным достоинствам робастного проектирования Тагути относится возможность его применения для следующих областей:

1. Проектирование изделия (расчет допусков);
2. Проектирование производства;
3. Оптимизация производства.

Применение данного метода оптимально в сложных системах, где затруднено выявить функциональную или регрессионную зависимости. Но, к недостаткам можно отнести необходимость большого количества испытаний для получения достаточного статистического материала, которое обеспечивало бы достаточную точность расчетов.

Таблица 5

**Сравнительная характеристика методов оценки качества продукции**

Признак	Дифференциальный, комплексный, смешанный	Статистический	Метод Тагути
Единицы измерения	Доли или проценты		Стоимостной показатель
Применение	Сравнение изделия с образцом	Оценка качества вида продукции или всех видов по предприятию в целом	Оценка потерь потребителя от неудовлетворительного качества
Условия применения	Наличие образцов-эталонов для сравнения. Необходимы эксперты для выбора характеристик изделия и назначения коэффициентов весомости	Нет ограничений	Рекомендуется для процессного управления
Трудоемкость	Низкая	Низкая	Высокая

Не существует единого метода определения уровня качества: каждый из рассмотренных выше методов имеет свое назначение – поэтому выбор должен определяться продукцией, целями предприятия и т.д.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М: Стандартинформ, 2008. - 70 с.
2. Ребнин И.Ю. Управление качеством: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 174 с.
3. Андропова И.В., Шитина М.М. Управление качеством. Курс лекций. Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. - 77 с.
4. Марусина М.Я., Тихановский А.Б. Метрология, сертификация и стандартизация. С.-П.: СПбГУ ИТМО, 2010. 210 с.
5. Управление качеством. Робастное проектирование. Методы Тагути. Пер. с англ. – М.: Сейфи, 2002. - 384 с.

**ОБ АВТОРАХ**

**Калистратова Ксения Владимировна**, магистрант кафедры экономики предпринимательства УГАТУ, дипл. экономиста-менеджера (УГАТУ, 2012). Проект внедрения элементов процессного управления на предприятии

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



**Романова Оксана Владимировна**, доцент кафедры экономики предпринимательства ИНЭК УГАТУ, дипл. экономиста-менеджера (УГАТУ, 1998). Кандидат экон. наук «Методический инструментарий управления формированием инновационных промышленных объединений» 08.00.05 - «Экономика и управление народным хозяйством» (УРГЭУ, 2004). Исследования в области интегративных преобразований, процессного управления, экономики услуг.

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

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НИИ САПР-Д УГАТУ

**Информационная поддержка проектирования, доводки и эксплуатации газотурбинных двигателей и установок (для ГПА и ЭУ) на основе ИПП/CAES и ИЛП-технологий**

**Параметрическая диагностика технического состояния АД и ГТУ**

**Моделирование двигателей и ЭУ, их узлов, рабочих процессов в них**

**Управление и автоматизация испытаний ГТД и ГТУ**

**Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) технической эксплуатации АД и газотурбинных приводов (ГТП) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и энергоустановок**

Адрес: 450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12, корпус 2, к.603а  
 научный руководитель: Кривошеев Игорь Александрович  
 (+7)27306935  
 Email: [Krivoshchev@ugatu.ac.ru](mailto:Krivoshchev@ugatu.ac.ru)

### Методы и средства проектирования компрессоров авиационных ГТД

**Система COMPRESSOR**

**Центробежный компрессор**

- Расчет по среднему
- Расчет по высоте
- Проточная часть
- Треугольники скоростей

**Осевой компрессор**

- Расчет по среднему
- Расчет по высоте
- Проточная часть
- Треугольники скоростей
- Профили

**Система COMPRESSOR\_2D**

- Расчет характеристик (2D)
- Расчет распределения параметров по радиусу (2D)

**Система COMPRESSOR\_S**

- Расчет характеристик (1D)
- Получение границы устойчивой работы (1D)
- Расчет характеристик (1D)
- Интеграция с математической моделью двигателя (0D)

Интеграция с 3D CFD

450000, г.Уфа, К. Маркса, 12, корпус 2, комната 505  
 Науч. рук. Кривошеев Игорь Александрович  
 Михайлова Александра Борисовна  
 e-mail: [mikhailova.ugatu@gmail.com](mailto:mikhailova.ugatu@gmail.com)



# «Точка отрыва - Уфа»

- Радиоуправляемые модели самолётов, вертолётов, 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

№ 4 (9) / 2013

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 09.10.2013. Формат 1/8  
Бумага офсетная. Печать плоская. ГарнитураTimesNewRoman.  
Усл. печ. л.20,8. Уч.-изд. л 20,7.  
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Редакционно-издательском комплексе УГАТУ  
450000, Уфа, ул.К.Маркса, 12.