

КОНЦЕПЦИЯ ОБОБЩЁННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЛАЖНОЙ ОЧИСТКИ ПРОТОЧНОГО ТРАКТА ГТД

© 2011 Б. М. Силаев¹, Е. Н. Мальцев²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

²ОАО «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Приведены расчётные зависимости, позволяющие определять оптимальные характеристики и параметры системы влажной очистки проточного тракта газотурбинного двигателя (ГТД). Показаны возможности алгоритмизации расчёта и проектирования системы.

Система влажной очистки проточного тракта ГТД, математическая модель системы, структурная схема системы, обобщённый метод расчёта и проектирования.

В работах [1,2] на основе исследований состояния газотурбинного двигателя (ГТД) и изменения его характеристик при эксплуатации показано, что загрязнение деталей проточного тракта существенно влияет как на экономические показатели, так и на его надёжность и ресурс работы. Поэтому одной из актуальнейших задач, стоящей при эксплуатации газотурбинных двигателей как в авиации, так и в других сферах народного хозяйства, является изыскание эффективных способов периодической очистки проточной части.

Из всех применяемых в настоящее время способов в данном исследовании рассматривается способ влажной очистки проточного тракта ГТД как наиболее перспективный с точки зрения его эффективности и возможности выполнения в эксплуатационных условиях. В [1] обоснована обобщенная концептуальная модель системы такой очистки. В основу процесса очистки положено явление гидрогазовой эрозии пленки загрязнений, т.е. разрушение (изнашивание) ее при движении дисперсной системы частиц жидкой среды в воздушно-газовом потоке работающего двигателя.

Следует иметь в виду, что полученная обобщенная модель имеет высокую степень сложности, обусловленную многими факторами: параметрами режима работы двигателя, на котором будет производиться очистка; геометрическими характеристиками проточной части; параметрами и характеристиками устройства для очистки и др. На рис. 1

представлена структурная схема системы влажной очистки проточного тракта ГТД, отражающая физические процессы функционирования устройства для очистки и реализацию процесса очистки в зависимости от указанных параметров.

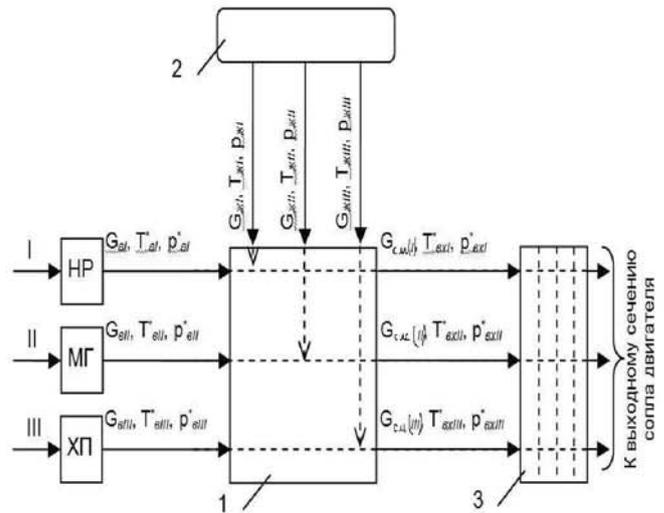


Рис. 1. Структурная схема системы влажной очистки проточного тракта ГТД

В качестве параметров структурной модели процесса функционирования системы влажной очистки (рис. 1) приняты М и Х – механические характеристики и химические свойства пленки загрязнений соответственно; геометрические характеристики L входной части двигателя и пленки загрязнений; параметры рабочего процесса в воздухозаборнике на соответствующем режиме работы двигателя – массовый расход воздуха в единицу времени G_{oi} , его температура T_{oi}^*

и давление p_{ei}^* , где i – условный номер режима работы двигателя: I – номинальный режим (НР), II – режим малого газа (МГ), III – холодные прокрутки двигателя от пусковой турбины (ХП). Переменными процесса очистки являются: подаваемое из встроенного воздухозаборника 1 устройства 2 количество жидкости очистителя $G_{жсi}$, её температура $T_{жсi}$ и давление $p_{жсi}$. Далее воздушно-жидкостная среда поступает в компрессор 3 с параметрами смеси $G_{смi}$, $T_{вxi}^*$, $p_{вxi}^*$ и, перемещаясь в проточной части двигателя, очищает её в результате гидрогазоэрозионного разрушения плёнки загрязнений (см. рис.1).

Представив основной параметр процесса влажной очистки – интенсивность I_h разрушения (изнашивания) пленки загрязнений в виде общей функциональной зависимости от вышеназванных факторов, будем иметь

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \varphi(M, X, L, G_{\Sigma i}, T_{вxi}^*, p_{вxi}^*) \\ G_{смi} &= f_1(G_{vi}, G_{жсi}) \\ T_{вxi}^* &= f_2(T_{vi}^*, T_{жсi}^*, G_{vi}^*, G_{жсi}^*) \\ p_{вxi}^* &= f_3(p_{vi}^*, p_{жсi}^*) \end{aligned} \right\} (1)$$

Таким образом, структура математической модели (1) системы влажной очистки проточного тракта ГТД представляет собой совокупность механических, геометрических, кинематических и ряда других параметров, взаимосвязей между ними и элементами, имеющими определенные характеристики, которые и определяют функционирование системы.

Решение системы уравнений (1), отражающей концептуальную (обобщенную) модель системы влажной очистки проточного тракта ГТД, представляется весьма сложным и в настоящее время оно не получено. В этой связи было предложено идти по пути разбиения декомпозиции обобщенной модели на блоки-модели второго уровня.

Одна из них, полученная в [2], представляет собой геометрокинематическую модель устройства для очистки. Решение этой модели обеспечивает получение гео-

метрических характеристик и рабочих параметров устройства, встраиваемого в воздухозаборник двигателя. Конструкция и функционирование устройства согласованы с геометрическими характеристиками входной части двигателя и рабочими параметрами воздушного потока (рис. 2).

К основным характеристикам и рабочим параметрам устройства относится (см. рис. 2) α_v – угол, определяющий положение оси форсунки 2 относительно образующей воздухозаборника 4; d_{ϕ} – диаметр форсунки 2; $p_{жс}$ – давление жидкости в коллекторе 1 и Δp_{ϕ} – перепад давления на форсунке 2.

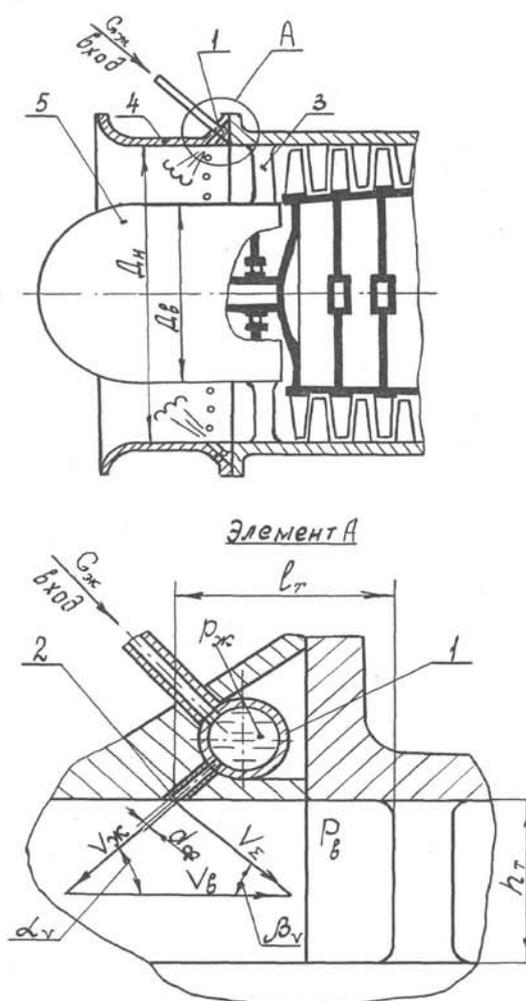


Рис.2. Конструктивная схема устройства для влажной очистки проточной части ГТД

Устройство, его характеристики и рабочие параметры обеспечивают равномерное распределение по поперечному сечению проточного тракта ГТД жидкостной промывочной среды в воздушно-газовом потоке,

что исключает недоочищение отдельных участков.

Вторая модель, представленная в [3], описывает процесс разрушения (изнашивания) пленки загрязнений на деталях проточной части двигателя (рис. 3), устанавливает длительность данного процесса и суммарный расход жидкости-очистителя.

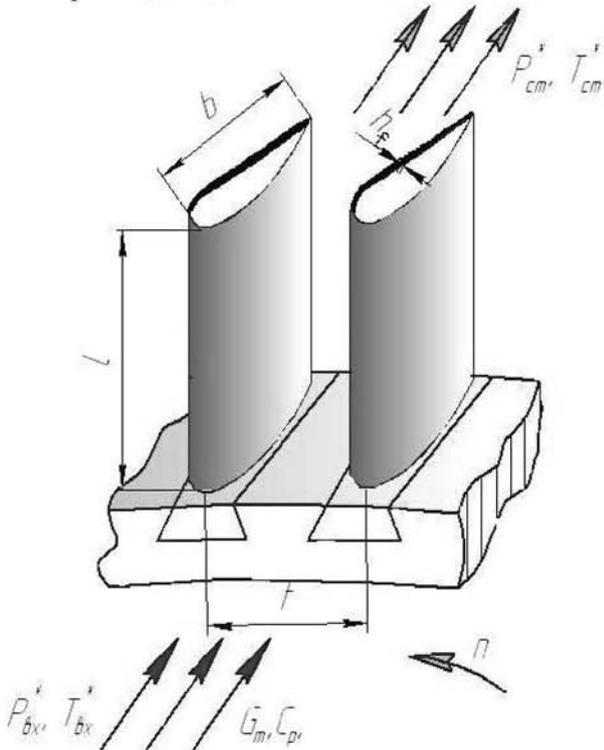


Рис.3. Схема процесса влажной очистки проточного тракта ГТД

Основными характеристиками и параметрами процесса являются интенсивность разрушения (изнашивания) I_h пленки загрязнений, время реализации процесса очистки τ , суммарный расход жидкости-очистителя $Q_{жс}$, температура перед ступенью компрессора $T_{вх}^*$ и за ступенью $T_{см}^*$.

Разработанные модельные представления о конструктивной схеме устройства для очистки и процессе разрушения пленки загрязнений за счет гидрогазовой эрозии позволили предложить концепцию метода расчета и проектирования системы влажной очистки проточного тракта ГТД. На рис.4 приведена блок-схема алгоритма выполнения расчетно-экспериментальных работ.

В соответствии с краевыми условиями задачи, как это следует из схемы, представ-

ленной на рис. 4, сначала оценивается из конструктивных соображений место и координаты расположения коллектора 1 устройства (рис. 2), затем рассчитывается угол α_v , определяющий положение оси форсунки 2 и обеспечивающий равномерность распыла жидкости-очистителя по очищаемой площади, оцениваются диаметр форсунки d_ϕ и их количество i . После этого определяются режимные параметры устройства, т.е. давление жидкости $p_{жс}$ в коллекторе и перепад давления Δp_ϕ на форсунках для заданного режима работы двигателя.

Далее оцениваются параметры процесса влажной очистки: температура воздушно-жидкостной среды на входе в ступень $T_{вх}^*$ и на выходе из нее $T_{см}^*$, интенсивность разрушения I_h пленки загрязнений на деталях проточного тракта двигателя, время τ проведения очистки и общий расход $Q_{жс}$ жидкости-очистителя.

В рамках поставленной задачи на основании анализа расчётной схемы и оценки достаточности исходной информации можно видеть, что структура расчета (система уравнений (1) и рис. 4) не учитывает непосредственного влияния химического взаимодействия воздушно-жидкостной среды и пленки загрязнений при её разрушении. Указанное влияние учитывается путём расчетно-экспериментального определения коэффициента пропорциональности K_s и показателя степени a_s функции I_h при единичном модельном эксперименте или при опытно-промышленном испытании двигателя.

Таким образом, представленная структурная схема расчёта и проектирования системы влажной очистки проточного тракта ГТД позволит обоснованно определять характеристики и параметры устройства для очистки и проводить сам процесс очистки при оптимальных параметрах, обеспечивающих необходимое качество при минимальных затратах времени и расходе жидкости-очистителя.

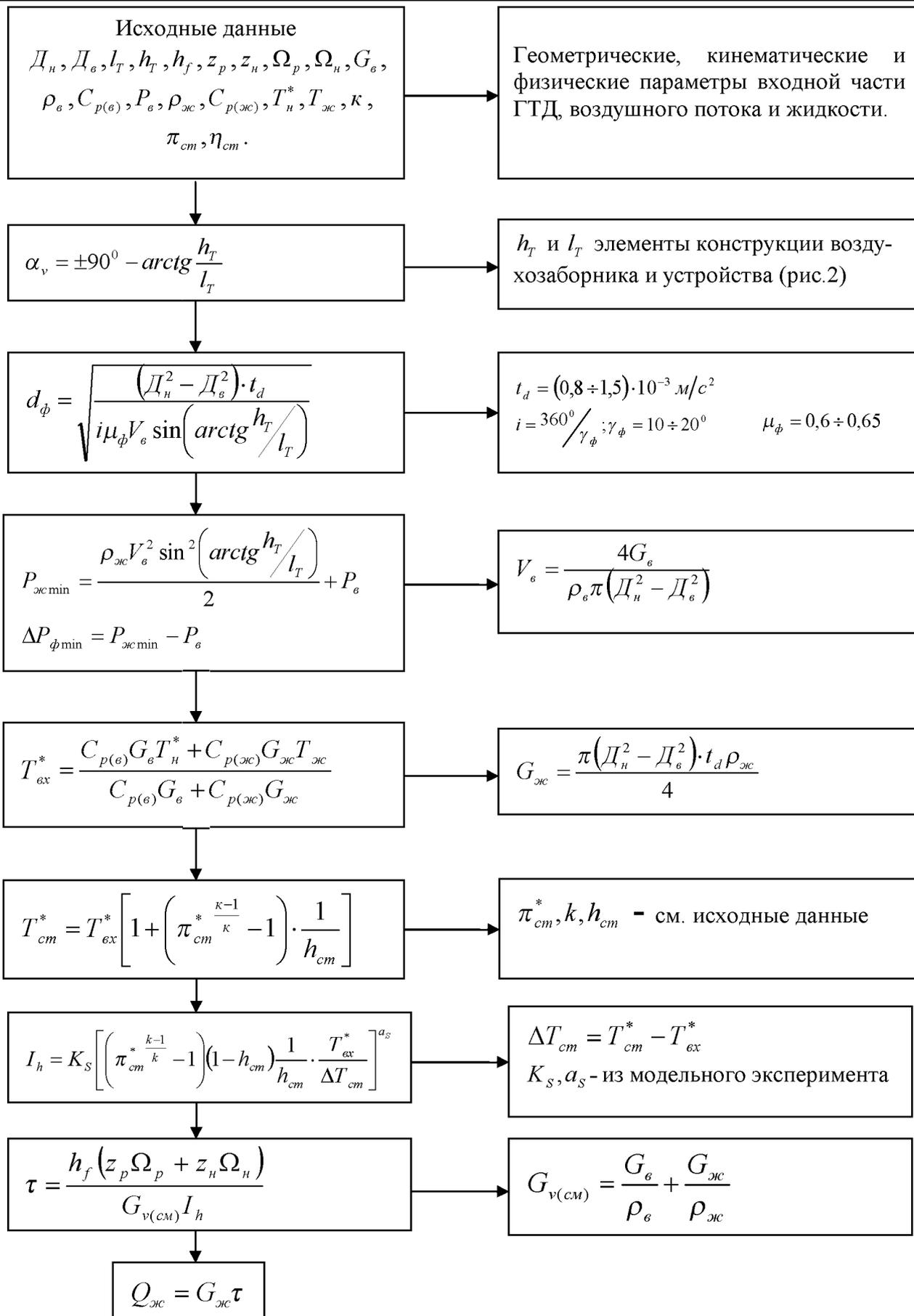


Рис.4. Структурная схема обобщённого метода расчёта и проектирования системы влажной очистки проточного тракта ГТД

Библиографический список

1. Силаев, Б.М. Архитектура концептуальной модели системы влажной очистки проточной части ГТД [Текст] / Б.М. Силаев, Е.Н. Мальцев // Сборник тезисов докладов III международной научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI век» - М.: ЦИАМ, 2010. – С. 1264-1267.

2. Силаев, Б.М. Теоретическое обоснование конструктивной схемы устройства для

промывки газоздушного тракта ГТД [Текст] / Б.М. Силаев, Е.Н. Мальцев // Вестн. СГАУ, - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. №3(19), -Ч.2 - С. 167-171.

3. Силаев, Б.М. К вопросу об оценке параметров системы влажной очистки проточного тракта ГТД [Текст] / Б.М. Силаев, Е.Н. Мальцев // Газотурбинные технологии, 2011. №2. – С. 32-34.

THE CONCEPT OF GENERALIZED METHOD OF CALCULATION AND DESIGN OF WET CLEANING duct GTD

© 2011 B. M. Silaev¹, E. N. Malcev²

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Koroljov
(National Research University)

²JSC «KUZNETSOV», Samara

Calculated dependences allowing to determine the optimal features and parameters of wet cleaning duct of gas turbine engine (GTE). The possibilities of algorithmic analysis and design of the system.

The system of wet cleaning duct GTD, mathematical model of a system block diagram of the system generalized method of calculation and design.

Информация об авторах

Силаев Борис Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Основы конструирования машин», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). г. Самара, Московское шоссе, 34, корпус 5. Тел.: (846) 267-46-09, (846) 263-67-22. Область научных интересов: двигатели летательных аппаратов; трение и изнашивание деталей машин.

Мальцев Евгений Николаевич, ведущий инженер инженерного центра ОАО «КУЗНЕЦОВ». Тел.: (846) 227-36-94. E-mail: Malcev_e@rambler.ru. Область научных интересов: испытания ГТД.

Silaev Boris Mihailovich, Doctor of Engineering Science, Professor of the principal machine construction Faculty, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Koroljov (National Research University). Phone: (846) 267-46-09, (846) 263-67-22. Area of research: friction and strain ageing of the machine elements.

Malcev Evgenij Nikolaevich, principal engineer of JSC «KUZNETSOV». Phone: (846) 227-36-94. E-mail: Malcev_e@rambler.ru. Area of research: testing of gas turbine engine.