

А. А. Коева, П. В. Петров, В.А. Целищев

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассматриваются вопросы моделирования и исследования устройств гидроавтоматики (систем автоматического регулирования) с целью их предконструкторского синтеза. Обсуждаются вопросы влияния различных параметров на частоту вращения двигателя как объекта регулирования. Приводятся математические модели систем автоматического регулирования в размерном и безразмерном видах. *Математическое моделирование; численный эксперимент; система автоматического регулирования; обобщенная математическая модель; критерии подобия*

Процесс разработки систем автоматического регулирования (САР) состоит из нескольких этапов. Первый этап заключается в решении задач синтеза всей системы, т. е. совокупности объектов регулирования, регуляторов и вспомогательных устройств, причем исходными данными этого этапа являются технические требования к системе при различных видах движения. Второй этап состоит в предварительном выборе и расчете параметров отдельных устройств системы, в том числе и регуляторов, а исходными данными для этого этапа являются результаты предыдущих расчетов. Далее на следующих этапах осуществляется выбор остальных параметров, опытно-конструкторская проработка, компоновка и рабочее проектирование.

Параметры регуляторов можно разбить на составляющие: основные (базовые), установочные и их производные. Основные параметры определяют конфигурацию регулятора; к ним можно отнести основные размеры дросселирующих устройств, жесткости пружин, мембран, сильфонов, диаметры поршней и т. п. К установочным параметрам относятся характеристики сочленения деталей, параметры, отражающие конструктивные особенности и пр.

В связи с наличием многих требований и постоянным увеличением их количества процесс разработки регуляторов также можно разделить на этапы.

На первом этапе выполняется выбор основных (базовых) параметров в соответствии с приоритетным требованием («завязка» регуля-

тора). Затем эти параметры проверяются на соответствие другим требованиям и в случае отрицательного результата вводятся коррективы.

В основе методологии выбора параметров лежит метод математического моделирования. В общем случае задача выбора сводится к определению по соответствующей модели параметров при условии выполнения поставленных на этом этапе требований и ограничений [1].

Естественно, всякий раз используются различные модели, отличающиеся допущениями, содержанием и уровнем сложности. Вначале используются простейшие стационарные и линейные динамические модели; затем используют разнообразные динамические модели, причем начинают с самых простых и по мере необходимости усложняют, последовательно отменяя ранее принятые допущения. Для углубленного, детального изучения процессов и проверки работоспособности на различных режимах и при наличии внешних возмущений составляется и исследуется имитационная модель.

### 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Разработка современных гидромеханических систем автоматического регулирования с целью повышения энергоэффективности двигателя сопровождается устойчивой тенденцией последних лет к сокращению финансирования. Основную долю затрат при создании гидромеханических систем автоматического регулирования составляют затраты на отработку таких систем в составе с двигательной установкой. С целью сокращения времени и средств на разработку энергоэффективной системы регулирования проектировщик все чаще приходит к мысли о необходимости частичной замены экспериментальной отработки математическим

Контактная информация: 8(347)273-09-44

Работа выполнена в ходе проведения НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

моделированием (или виртуальным экспериментом). В связи с этим задачей первоочередной важности становится все более широкое внедрение и совершенствование методов проведения автоматизированного виртуального (вычислительного) эксперимента на основе математического описания рабочих процессов в системах автоматического регулирования двигателя. Изложенное позволяет считать основной целью работ в рассматриваемой области создание виртуального автоматизированного вычислительного стенда, разработанного на основе взаимного взаимодействия математических моделей, алгоритмов и программ расчета. Только в этом случае появится возможность реализовать идею замены огневых стендовых испытаний автоматизированным вычислительным экспериментом на ЭВМ, что в свою очередь позволит в минимальные сроки и при ограниченно малых финансовых вложениях реализовать (синтезировать) новые системы регулирования двигателей с улучшенными показателями качества работы, такими как точность, устойчивость и управляемость. Качество работы системы регулирования двигателя и ее надежность будет в целом определять и степень энергоэффективности двигателя летательного аппарата [2].

Несмотря на широкое использование гидромеханических регуляторов в авиационной технике, в настоящее время отсутствует комплексное исследование проблем проектирования, разработки и доводки привода. Это связано, прежде всего, со сложным характером физических процессов, протекающих в гидромеханических элементах САР. Решение вопросов улучшения качества проектных работ, сокращения сроков разработки новых САР с характеристиками, удовлетворяющими растущим требованиям со стороны системы управления двигательными установками, сдерживается, так как теория, методы проектирования и расчета современных гидромеханических САР не приобрели еще законченного научного и инженерного уровня.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом исследования в данной работе является САР частоты вращения, где объектом регулирования является реактивный двигатель, с которым регулятор образует замкнутый контур регулирования.

Для правильного и эффективного функционирования системы управления летательным аппаратом необходимо осуществлять оптималь-

ный выбор наиболее эффективных параметров САР [3]. Поэтому на предварительном этапе проектирования возникает необходимость математического моделирования, поскольку в этом случае появляется возможность предварительно оценить работу всей системы, ее поведение, а также влияние ее характеристик на эффективность работы всей системы в целом на различных эксплуатационных режимах.

Таким образом, изначально необходимо разработать математическую модель системы регулирования, которая позволит исследовать динамику системы, а соответственно, заранее отследить влияние основных факторов на изменение ее параметров во времени. Исходя из этого, разрабатывается нелинейная математическая модель.

## 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальная схема объекта исследования приведена на рис. 1. Основными элементами регулятора являются чувствительный элемент (центробежный датчик частоты вращения), преобразующий частоту вращения двигателя  $n_{дв}$  в перемещение  $y$ , рычаг, преобразующий это перемещение в перемещение  $x$  (и соответствующее изменение ширины щели плоского клапана типа сопло-заслонка), гидроусилитель, преобразующий изменение щели клапана в пропорциональное изменение положения поршня  $z$ , дозирующая игла, преобразующая перемещение  $z$  в изменение расхода  $G_T$  топлива.

При действии внешних возмущений  $f_b(t)$  на двигатель ( $p_n^*(t)$ ,  $T_n^*$  и нагрузка со стороны летательного аппарата) регулируемая величина  $n(t)$  отклоняется от заданной  $n_0$  так, что появляется рассогласование  $n_z(t) = n_0 - n(t)$ . Задача регулятора в этом случае заключается в скорейшем возвращении регулируемой величины к исходному значению. В действительности регулирование всегда осуществляется за конечное время и неточно (статическая или динамическая погрешность регулирования); более того, система может вообще потерять устойчивость, т. е. в ней могут появиться незатухающие колебания.

При изменении положения ручки управления двигателя к регулятору прикладывается управляющее воздействие  $f_{упр}$  (в данном случае  $n_{01}$ ); регулятор должен перевести двигатель на новый режим, причем это должно произойти как можно быстрее с минимальной статической и динамической погрешностью.

Так как приоритетным требованием является обеспечение требуемых статической и дина-

мической ошибок при заданных внешних воздействиях, то необходимо определить характеристики точности, устойчивости и управляемости. Для этого требуется провести исследование динамики системы при действии различных входных воздействий, а значит, предварительно промоделировать систему, используя математическую модель, состоящую из:

- уравнения динамического равновесия мощностей на турбине и компрессоре:

$$J \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{G_r \cdot R_r \cdot T_r^*}{\chi_r} \left[ 1 - \left( \frac{1}{\pi_T^*} \right)^{\chi_r} \right] \cdot \eta_T^* \cdot \eta_m - \frac{G_b \cdot T_{bx}^* \cdot R}{\chi} \cdot \left[ \pi_k^{\chi} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\eta_k^*},$$

где  $J$  – момент инерции турбины;  $\omega$  – угловая скорость вращения турбины;  $G_r$  – расход воздуха на выходе из компрессора;  $T_r^*$  – температура газа перед турбиной;  $\chi_r$  – степень сухости газа;  $\pi_T^*$  – степень понижения давления в турбине;  $\eta_T^*$  – КПД турбины по параметрам заторможенного потока;  $\eta_T$  – КПД за турбиной;  $G_b$  – расход воздуха на входе в компрессор;  $T_{bx}^*$  – температура на входе в двигатель;  $R$  – газовая постоянная;  $\eta_k^*$  – КПД компрессора по параметрам заторможенного потока;

- уравнения динамического баланса расходов через компрессор и сопловой аппарат турбины (при пренебрежении потерями полного давления в сопловом аппарате до его горла):

$$\frac{V_k}{R \cdot T_k} \cdot \frac{dp_k^*}{dt} = G_b - m_{кр} \cdot \frac{p_r^* \cdot q(\lambda_{ca}) \cdot F_{ca}}{\sqrt{T_r^*}},$$

где  $V_k$  – объем за компрессором;  $T_k$  – температура газа за компрессором;  $p_k^*$  – давление торможения на выходе из компрессора;  $q(\lambda_{ca})$  – производительность соплового аппарата;  $F_{ca}$  – геометрическая площадь соплового аппарата;

- уравнения динамического баланса расходов через сопловой аппарат турбины и критическое сечение реактивного сопла:

$$\frac{V_{Tc}}{R_r \cdot T_r^*} \cdot \frac{dp_T^*}{dt} = m_{кр} \cdot \frac{p_r^* \cdot q(\lambda_{ca}) \cdot F_{ca}}{\sqrt{T_r^*}} - m_{кр} \cdot \frac{p_T^* \cdot q(\lambda_{кр}) \cdot F_{кр}}{\sqrt{T_r^*}},$$

где  $V_{Tc}$  – объем между турбиной и реактивным соплом;  $p_T^*$  – давление торможения на выходе из турбины;  $T_r^*$  – температура газа за турбиной;  $F_{кр}$  – геометрическая площадь критического сечения реактивного сопла;  $q(\lambda_{кр})$  – производи-

тельность критического сечения реактивного сопла;

- уравнения нестационарного подвода тепла в случае приращения расхода топлива  $\Delta G_T$ :

$$C_{pэ} \cdot \frac{V_{kc} \cdot p_r^*}{R \cdot T_r^*} \cdot \frac{dT_r^*}{dt} = C_{pэ} \cdot G_b \cdot T_k^* + (G_{T0} \pm \Delta G_T) \cdot H_u \cdot \eta_{kc}^* - C_{pэ} \cdot G_r \cdot T_r^*,$$

где  $C_{pэф}$  – теплоемкость газа при нестационарном подводе тепла;  $V_{kc}$  – объем между входным соплом и турбиной;  $H_u$  – удельная теплота сгорания.

Расход воздуха на расчетном режиме при изменении условий полета рассчитывается по соотношению:

$$G_b = G_{b0} \cdot \sqrt{\frac{288}{T_n}} \cdot \frac{P_n}{0,101 \cdot 10^6}.$$

Результаты интегрирования для случая ступенчатого уменьшения расхода топлива представлены на рис. 2–5.

Несмотря на существенные допущения, принятые при составлении размерной модели, она остается слишком громоздкой. В принципе можно установить определяющие факторы и выполнить численное исследование влияния их на основные характеристики. Но практически сделать это весьма непросто. И особенно сложно выполнить обобщающие выводы. Представление результатов в виде критериальных зависимостей не только упрощает анализ за счет сокращения числа аргументов, но и позволяет делать самые общие заключения.

Преобразование модели к безразмерной форме можно выполнить различным образом, например, в зависимости от выбора масштабов преобразования. Так, в качестве масштаба времени можно положить все три характеристические постоянные времени:  $T_c$ ,  $T_y$ ,  $T_v$ .

Авиационный двигатель характеризуется большой глубиной регулирования и разнообразием внешних условий и режимов работы. Для того чтобы численные значения критериев подобия могли служить основой для общих количественных оценок, необходимо формировать комплексы как средние меры эффективности физических явлений. Другими словами, комплексы должны быть построены из средневзвешенных параметров, соответствующих, например, параметрам исходного стационарного режима и стандартным внешним условиям.

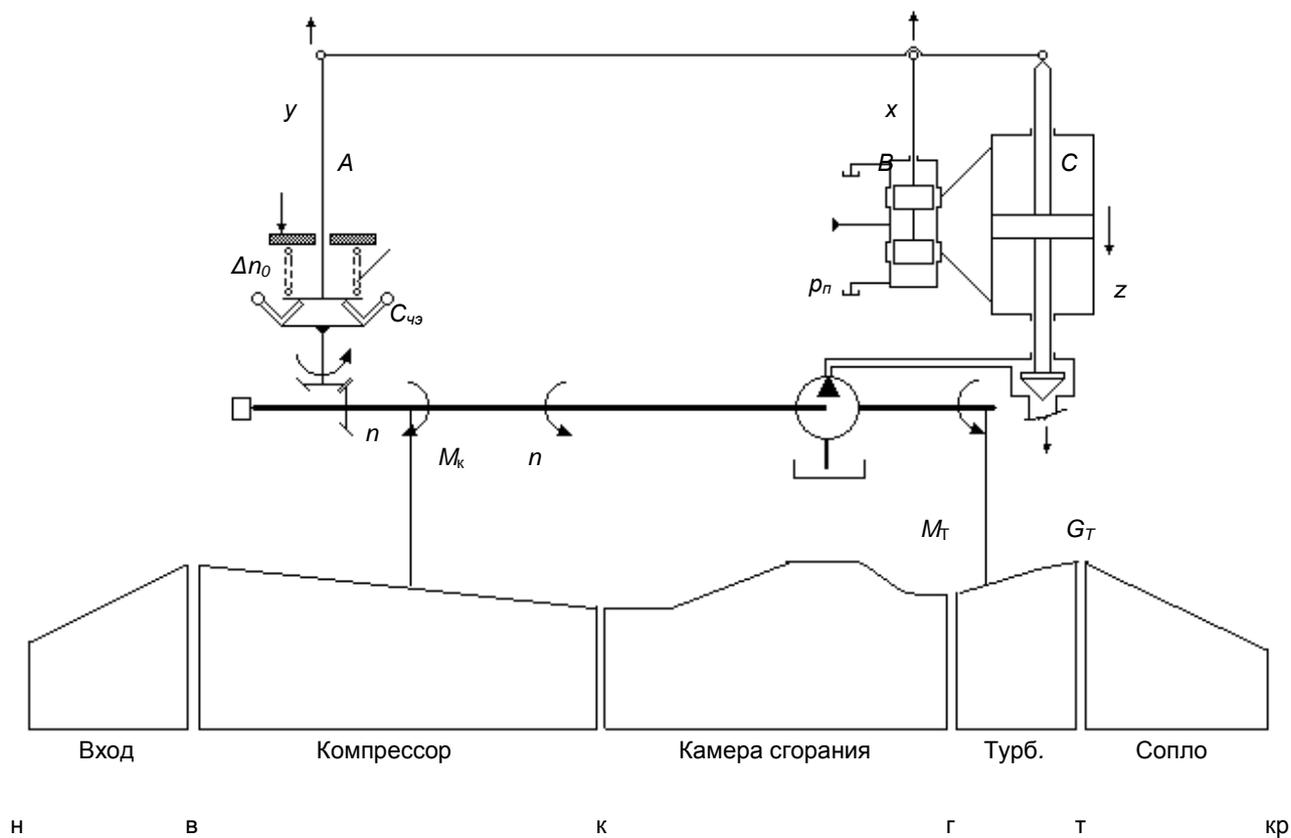


Рис. 1. Принципиальная схема системы регулирования со статическим регулятором

Кроме того, в замкнутых системах, к которым относится рассматриваемая система, имеют место дополнительные особенности формирования комплексов, обусловленные обратными связями.

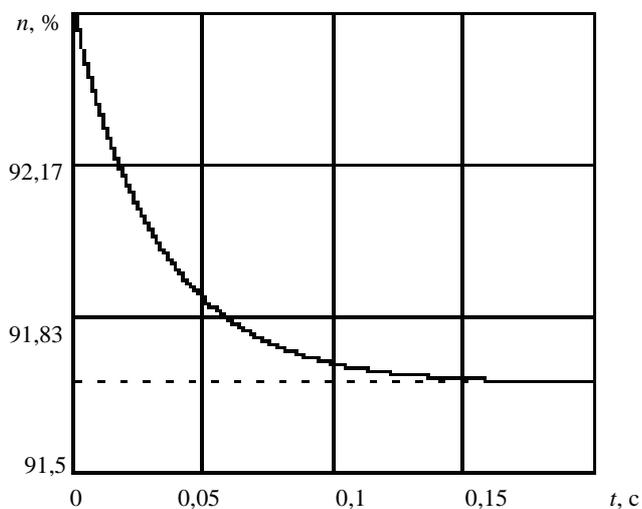


Рис. 2. Частота вращения

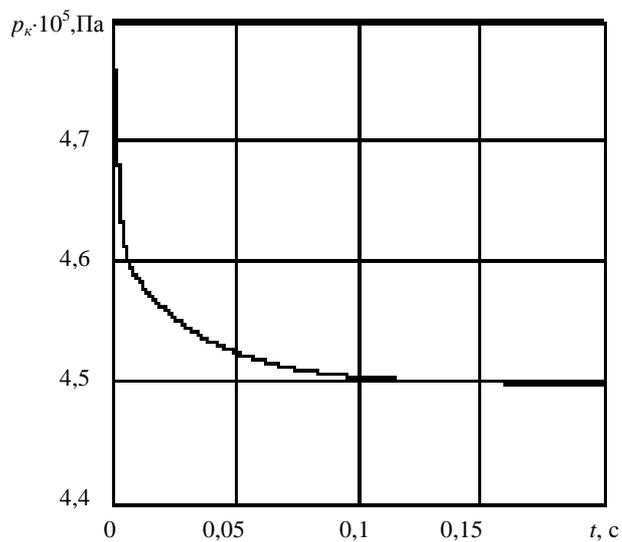


Рис. 3. Давление за компрессором

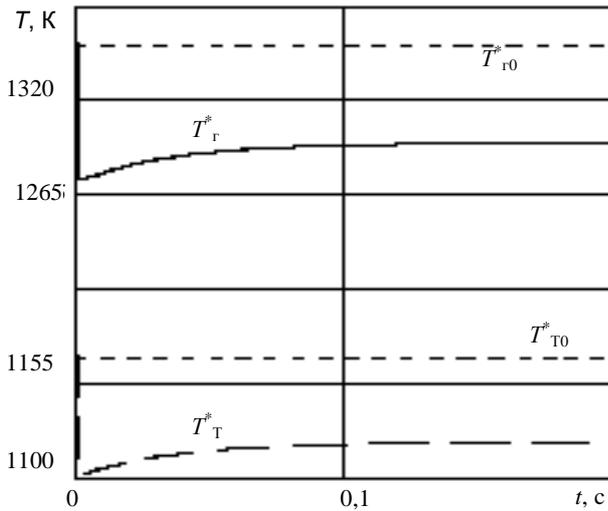


Рис. 4. Температура на входе и выходе турбины

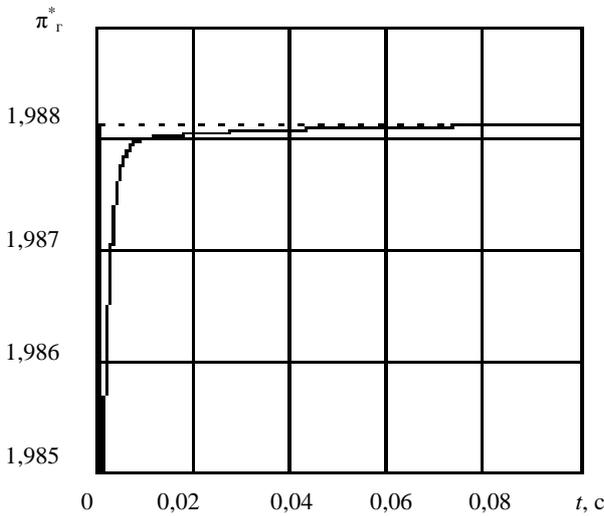


Рис. 5. Отношение давлений на турбине

Обобщенная математическая модель двигателя после преобразований и выделения комплексов будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{1}{\tau_n \cdot \frac{n_{np}}{n_0}} \cdot \left( \frac{1 - 0,042 \cdot (1 - \frac{n_{np}}{n_0}) \cdot (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^2 + q_{T0} + \frac{\Delta G_T}{G_{B0}}}{\frac{T_{r0}}{T_{bx}} \cdot \chi_{\Gamma} \cdot (1 - (\frac{p_{T0}}{p_{k0} \cdot \sigma_{kc0}})^{\chi_{\Gamma}})} \right) \times \left( \frac{(\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^{\chi} - 1}{\chi \cdot \eta_{k0}} \right) \times \eta_{T0} \cdot \eta_M$$

$$\times \frac{(1 - 0,042 \cdot (1 - \frac{n_{np}}{n_0}) \cdot (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^2)}{\chi \cdot \eta_{k0}} = \frac{\dot{n}_{np}}{\dot{n}_0},$$

где  $\tau_n = \frac{(2 \cdot \pi)^2 \cdot J \cdot n_0^2}{G_{B0} \cdot R \cdot T_{bx}}$  – безразмерный параметрический комплекс;

$$\frac{1}{\tau_{pk}} \cdot \left( \frac{(\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^{\chi} - 1}{\eta_{k0}} + 1 \right) \times \left( \frac{1 - 0,042 \cdot (1 - \frac{n_{np}}{n_0}) \cdot (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^2}{G_{ca} \cdot \frac{p_{k0}}{p_{bx}}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{T_{r0}}{T_{bx}} \cdot \text{sign}(\frac{T_{r0}}{T_{bx}})}} = \frac{\dot{p}_{k0}}{\dot{p}_{bx}},$$

где  $\tau_{pk} = \frac{V_{kc} \cdot p_{bx}}{R \cdot T_{bx} \cdot G_{B0}}$ ,  $G_{ca} = \frac{m_{kpr} \cdot F_{ca} \cdot p_{bx} \cdot \sigma_{kc0}}{G_{B0} \cdot \sqrt{T_{bx}}}$  –

безразмерные параметрические комплексы;

$$\frac{\sqrt{\frac{T_{r0}}{T_{bx}} \cdot \text{sign}(\frac{T_{r0}}{T_{bx}})}}{\tau_{pT}} \times \left( \frac{\frac{p_{k0}}{p_{bx}} \cdot \overline{F_{ca}} - \frac{p_{T0}}{p_{bx}}}{\sqrt{1 - \eta_{T0} \cdot (1 - (\frac{p_{T0}}{p_{k0} \cdot \sigma_{kc0}})^{\chi_{\Gamma}})}}} \times \frac{1}{\sqrt{\text{sign}(1 - \eta_{T0} \cdot (1 - (\frac{p_{T0}}{p_{k0} \cdot \sigma_{kc0}})^{\chi_{\Gamma}}))}} \right) = \frac{\dot{p}_{T0}}{\dot{p}_{bx}},$$

где  $\tau_{pT} = \frac{V_{Tц}}{R \cdot \sqrt{T_{bx}} \cdot F_{крц} \cdot m_{кпр}}$ ,  $\overline{F_{ca}} = \frac{F_{ca} \cdot \sigma_{kc0}}{F_{крц} \cdot \sigma_{c0}}$  –

безразмерные параметрические комплексы;

$$\frac{1}{\tau_{Tr}} \cdot \frac{T_{r0} \cdot p_{bx}}{T_{bx} \cdot p_{T0}} \cdot \left( \begin{aligned} & (1 - 0,042 \cdot (1 - \frac{n_{np}}{n_0}) \times \\ & \quad (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^x - 1 \\ & \times (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^2) \cdot (\frac{p_{bx}}{\eta_{k0}} + \\ & \quad + 1) + \overline{\Theta}_{T0} \cdot (1 + \Delta G_T) - \\ & - (1 - 0,042 \cdot (1 - \frac{n_{np}}{n_0}) \times \\ & \quad \times (\frac{p_{k0}}{p_{bx}})^2) \cdot \frac{T_{r0}}{T_{bx}} \end{aligned} \right) = \frac{\dot{T}_{r0}}{\dot{T}_{bx}}$$

где  $\overline{\tau}_{Tr} = \frac{V_{кг} \cdot p_{bx}}{R \cdot T_{bx} \cdot G_{в0}}$ ,  $\overline{\Theta}_{T0} = \frac{G_{T0} \cdot H_u \cdot \eta_{к0}}{C_{рэф} \cdot T_{bx} \cdot G_{в0}}$  – без-

размерные параметрические комплексы.

Таким образом, можно проводить системное исследование, основанное на построении обобщенных характеристик [4].

Критерии подобия показывают роль той или иной переменной в том или ином процессе. Причем безразмерные функции становятся зависимыми от безразмерного времени, независимых безразмерных переменных и комплексов переменных. Введение в математическую модель безразмерных переменных позволяет существенно сократить число аргументов модели, сделать ее более обозримой и информативной, вскрыть причинно-следственные связи и, самое главное, обобщить результаты численного решения. В результате, в исследуемом диапазоне изменения параметров численные методы приобретают силу аналитических выражений.

Далее проводим анализ влияния различных параметров на основные переменные, выполненный по модели собственно двигателя (без регулятора) (рис. 6–9).

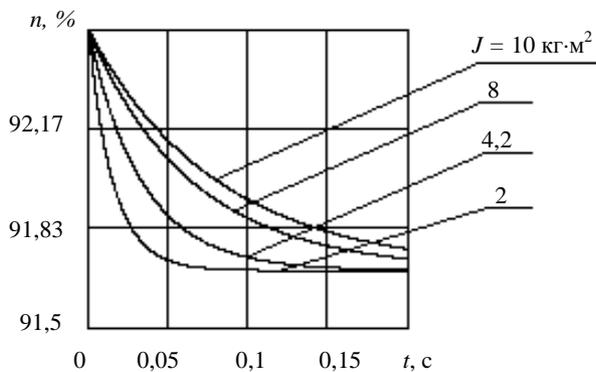


Рис. 6. Влияние момента инерции

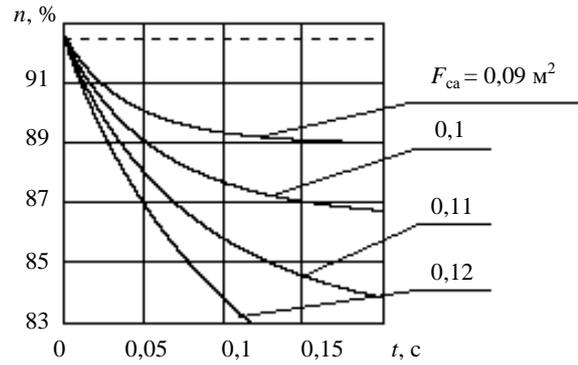


Рис. 7. Влияние площади соплового аппарата

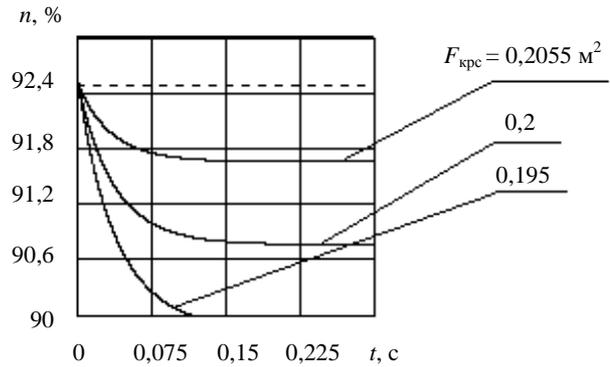


Рис. 8. Влияние площади реактивного сопла

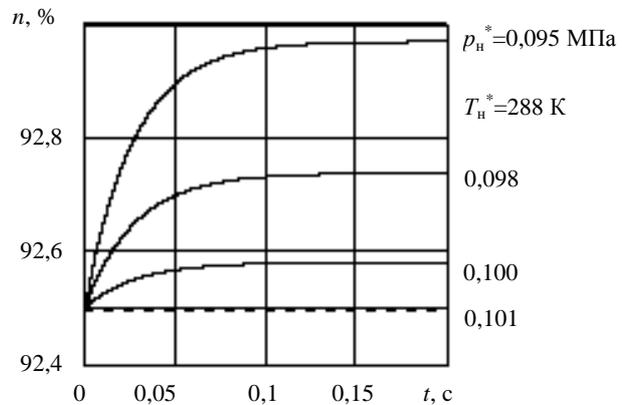


Рис. 9. Влияние внешних условий

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обратим внимание на переходный процесс по температуре газа (рис. 4). Считается, что этот параметр является квазистационарным, т. е. реагирует на изменение топлива мгновенно. Действительно, в первый момент при ступенчатом уменьшении расхода топлива температура газа за камерой сгорания (и турбиной) практически мгновенно уменьшается, однако затем начинает медленно нарастать с темпом уменьшения расхода воздуха. В переходных характеристиках, представленных на рис. 2–5, можно отметить,

что система регулирования за 0,15 секунды точно устраняет внешнее воздействие.

На рис. 6 приведены переходные процессы, протекающие в двигателе в случае ступенчатого уменьшения расхода топлива для различных значений момента инерции ротора. Как и следовало ожидать, с ростом момента инерции увеличивается время выхода двигателя на новое положение равновесия.

Увеличение площади проходного сечения соплового аппарата (рис. 7) и уменьшение площади проходного сечения реактивного сопла (рис. 8) приводят как к росту времени переходного процесса, так и к увеличению приращения частоты вращения.

На рис. 9 показано влияние внешних условий при ступенчатом изменении внешнего давления. Как видно из графиков система регулирования медленно, но точно устраняет внешнее воздействие.

Из полученных данных можно установить, что разработанная математическая модель соответствует необходимому уровню точности для определения динамических характеристик с целью предконструкторского синтеза САР частоты вращения.

## 5. ПРИЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Авиационный двигатель и его система регулирования представляют собой динамические системы со многими степенями свободы и содержат не только постоянные, но и переменные, нелинейные и распределенные параметры. Кроме этого, технические средства системы регулирования авиационного двигателя являются многофункциональными и обладают существенно перестраиваемой структурой. Вместе с этим гидромеханическая система характеризуется относительно большим числом величин, которые принято делить на параметры состояния, т. е. переменные, зависящие от времени, и параметры, характеризующие физические свойства и условия работы. Таким образом, разработанная математическая модель для САР позволяет решить задачу исследования работы как составной части для одного из гидромеханических элементов сложной системы авиационного двигателя.

Полученные теоретические материалы представят интерес для всех организаций, занимающихся проблематикой транспортных авиационных систем. Математические модели системы автоматического регулирования, результаты численного моделирования представляют

практическую ценность при проектировании как САР в частности, так и в составе систем общего и специального машиностроения, дорожной техники, робототехнических комплексов.

## ВЫВОДЫ

Математические модели, используемые при расчете статических и динамических характеристик рассматриваемой системы, могут и должны быть различной степени сложности. Для исследования качественных свойств системы в целом используются простые модели, для выявления же каких-то особенностей поведения должны применяться более сложные.

В устройствах гидроавтоматики возникают различные гидравлические процессы и явления, связанные с движением реальной рабочей жидкости в сложных каналах и отверстиях. Поэтому для адекватного математического описания необходимо привлекать в процесс моделирования экспериментально полученные значения таких параметров как коэффициент расхода и гидравлические проводимости отверстий и каналов, модуль объемной упругости жидкости, сила трения, насыщение и др.

Одним из перспективных путей повышения эффективности проектирования устройств и систем гидроавтоматики была и есть необходимость использования методов автоматизированного проектирования на базе средств вычислительной техники. А для обоснованного выбора параметров необходимо иметь комплекс моделей в виде многоуровневой иерархической структуры.

Комплекс прикладных программ, позволяющий автоматизировать процесс разработки систем и содержащий в своей структуре комплекс моделей различного уровня, обеспечит с достаточной достоверностью расчет характеристик и проектирование САР двигателей летательных аппаратов, оснащенных системами автоматического регулирования с учетом конструктивных особенностей. Методика проведения вычислительного эксперимента позволит исследовать точность, устойчивость и управляемость сложных гидромеханических устройств с учетом нелинейных явлений. Комплекс прикладных программ обеспечит на качественно новом уровне выполнение трудоемких расчетов характеристик гидромеханических устройств и обобщенный анализ в автоматизированном режиме, что существенно усилит результаты численного моделирования и осуществит анализ сложных

гидромеханических устройств с заданными техническими требованиями.

Применение вычислительной техники позволяет значительно расширить круг инженерных исследований при проектировании, к тому же сокращается объем экспериментальных работ по доводке на испытательном стенде. Это достигается не просто использованием компьютера в качестве некоего «суперкалькулятора» для быстрого выполнения большого числа расчетов, но и использованием «банка моделей» – математических моделей устройств с различной степенью точности, описывающих реальные процессы.

Такое проектирование ни в коем случае не предусматривает передачу компьютеру права принятия решения по тому или иному ключевому вопросу. Автоматизированное проектирование предусматривает диалог проектировщика с компьютером, оптимальное распределение функций между человеком и машиной, при котором наиболее полно должен использоваться человеческий опыт и техническая интуиция.

Целесообразно, чтобы в процессе поиска наилучшего варианта конструктор выполнял лишь неформальные процедуры, носящие творческий характер, такие как оценка состояния и принятие решения, изменение направления поиска решения и т. п., а на компьютер возложить проведение рутинных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сунарчин Р. А.** Выбор параметров гидромеханических регуляторов авиационных двигателей. Численные методы исследования: учеб. пособие для вузов. Уфа: УГАТУ, 2005. 120 с.

2. **Аксельрод С. Е.** Основы регулирования авиационных двигателей: учеб. пособие. Уфа: УАИ, 1981. 89 с.

3. **Попов Д. П., Ермаков С. А., Лобода И. Н.** Инженерные исследования гидроприводов летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978. 142 с.

4. **Коева А. А., Петров П. В., Целищев В. А.** Автоматизация численного моделирования гидромеханических регуляторов двигателей летательных аппаратов // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 4(44). С. 143–148.

#### ОБ АВТОРАХ

**Коева Анна Александровна**, асп. каф. прикл. гидромеханики. Дипл. магистр техники и технологии по гидравлическ., вакуумн. и компрессорн. технике (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. моделирования и диагностики устройств гидроавтоматики.

**Петров Павел Валерьевич**, ст. преп. той же каф. Дипл. магистр техники и технологии по гидравлическ., вакуумн. и компрессорн. технике (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по гидравлическ. машинам и гидропневмоагрегам (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. гидромеханическ. систем автоматизируемых летательн. аппаратов и двигательных установок.

**Целищев Владимир Александрович**, проф., зав. той же каф. Дипл. инженер-механик по гидравлическ. машинам, гидроприводам и гидропневмоавтоматике (УГАТУ, 1982). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. систем автоматизируемых летательн. аппаратов и двигательных установок; проектирования струйных электрогидравлическ. рулевых приводов для систем управления летательн. аппаратами.