

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ УТЕЧЕК В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛЯТОРЕ ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА ЗА КОМПРЕССОРОМ

В. А. ШУКАЛЮК

Аннотация. Вспомогательные газотурбинные двигатели типа ТА18-200 разработки АО «НПП «Аэросила»» имеют в своей конструкции приводной служебный компрессор для обеспечения систем самолета сжатым воздухом. Служебный компрессор работает совместно с пневматической системой перепуска воздуха, в которую входит струйный регулятор перепуска воздуха, настроенный на поддержание определенного расхода воздуха, и управляемый клапан перепуска воздуха. В струйный регулятор перепуска воздуха заложен закон управления. Потери в системе делятся на потери из-за невозвратного расхода воздуха на питание пневматического регулятора и потери, возникающие в рабочем потоке воздуха из-за сопротивления трубопроводов подвода воздуха. Была разработана методика учета потерь в пневматической системе перепуска воздуха за служебным компрессором. Разработанная методика позволяет производить точную оценку влияния потерь воздуха в системе перепуска воздуха на газодинамическую устойчивость служебного компрессора и корректно задавать закон управления на этапе разработки пневматического регулятора перепуска воздуха. Без проведения расчета потерь в регуляторе перепуска и их учета при синтезе закона управления струйного регулятора перепуска воздуха рабочая точка служебного компрессора будет смещаться к границе помпажа, что может привести к недопустимым последствиям.

Ключевые слова: вспомогательный газотурбинный двигатель; служебный компрессор; центробежный компрессор; струйный регулятор перепуска воздуха; управление.

ВВЕДЕНИЕ

На вспомогательных газотурбинных двигателях типа ТА18-200 разработки АО «НПП «Аэросила»» [1] используется приводной служебный компрессор для обеспечения систем самолета сжатым воздухом. Служебный компрессор оборудован пневматической системой отбора и перепуска воздуха, состоящей из регулятора перепуска воздуха, настроенного на поддержание определенного расхода воздуха и управляемого клапана перепуска воздуха для обеспечения газодинамической устойчивости. Учет потерь на питание системы отбора и перепуска воздуха позволит точнее выполнять проектирование системы для максимизации полезной работы служебного компрессора в соответствии с нормативной базой [2–6].

1 ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕПУСКОМ ВОЗДУХА, РЕАЛИЗУЕМОГО ПНЕВМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Пневматический регулятор воздуха, используемый АО «НПП «Аэросила»», работает совместно с пневматическим клапаном перепуска воздуха, управляя его открытием и закрытием по конструктивно заложенной в регулятор зависимости $\pi(\lambda)_{\text{рпв}} = f(\alpha_{\text{вна}})$ (рис. 1), где $\pi(\lambda)$ – значение газодинамической функции регулятора перепуска рассчитывается как отношение давлений воздуха в широкой и узкой частях расходомерной трубы Вентури, установленной в магистрали отбора воздуха от компрессора; $\alpha_{\text{вна}}$ – угол установки лопаток входного направляющего аппарата компрессора [7–10]. На этапе проектирования в техническом задании на разработку указанного регулятора перепуска воздуха и клапана перепуска воздуха задается фиксированное значение потерь воздуха в магистрали отбора на пневматическое питание упомянутых регулятора и клапана, что является допущением и не отражает полную картину действительности.

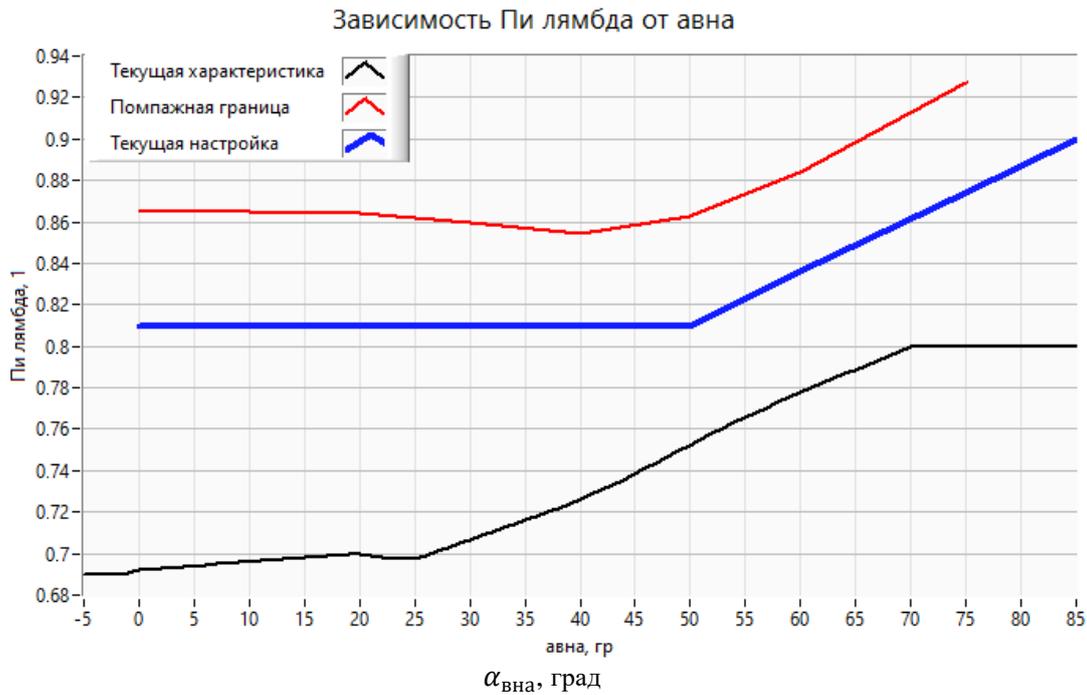


Рис. 1 Характеристика пневматического регулятора перепуска воздуха

В реальности вышеуказанные потери меняются и зависят как от угла установки лопаток входного направляющего аппарата компрессора, так и от текущих параметров атмосферы.

Учитывая, что пневматический регулятор перепуска воздуха разрабатывается совместно с клапаном перепуска воздуха и имеет в своей конструкции пневматический струйный логический блок, на этапе разработки в него закладывается закон управления открытием перепуска для поддержания нужной величины $\pi(\lambda)$ в зависимости от угла установки лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) служебного компрессора $\alpha_{\text{ВНА}}$. Алгоритм реализации данного закона управления можно записать также в виде $\pi(\lambda) = f(\alpha_{\text{ВНА}})$, и при проектировании новых агрегатов или модификации старых выбрать и заложить нужные значения, обеспечивающие как достаточный запас газодинамической устойчивости компрессора, так и поддержание необходимых параметров давления и расхода отбираемого воздуха на нужды самолета. На рис. 2 приведен пример выбранного закона управления.

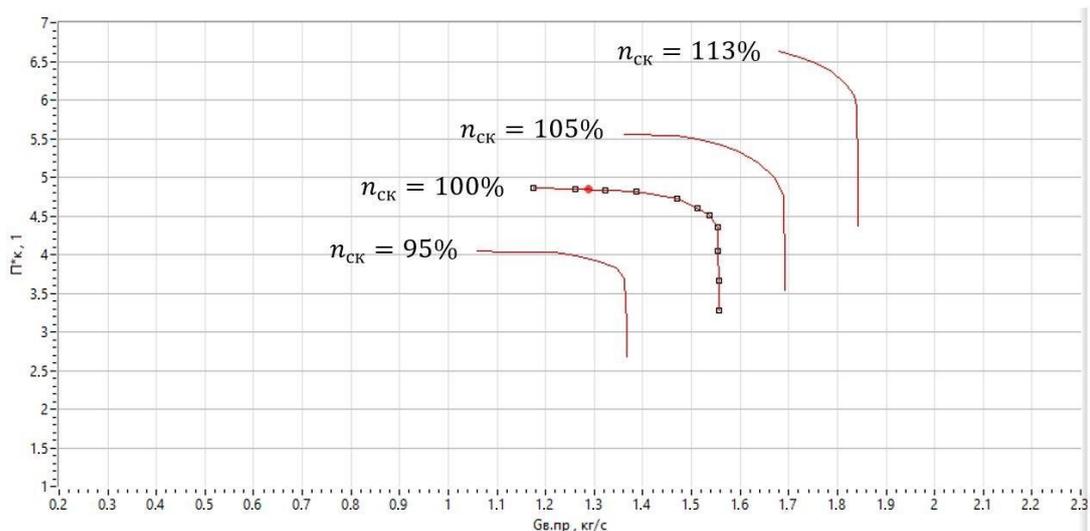


Рис. 2 Рабочая точка, на которую настроен пневматический регулятор для поддержания минимального расхода воздуха через компрессор

Закон обеспечивает запас газодинамической устойчивости компрессора $\Delta K_y = 10\%$ при заданной $\pi(\lambda) = 0.81$ на текущем угле открытия лопаток входного направляющего аппарата $\alpha_{\text{вна}} = 0^\circ$ при заданной частоте вращения ротора служебного компрессора $n_{\text{ск}} = 100\%$ в координатах степени повышения давления в служебном компрессоре P_k^* и приведенном расходе воздуха через служебный компрессор $G_{\text{в.пр}}^*$.

При резком прекращении отбора воздуха на нужды потребителя расход воздуха в трубе отбора падает, из-за чего значение $\pi(\lambda)$ резко повышается. Настроенный на определенное значение $\pi(\lambda) = 0.81$ регулятор перепуска воздуха выдает пневматическую команду на открытие перепуска воздуха в управляющую магистраль клапана перепуска воздуха, не давая тем самым компрессору перейти на режим работы с меньшим коэффициентом газодинамической устойчивости.

2 АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ СЛУЖЕБНЫЙ КОМПРЕССОР С УЧЕТОМ РАБОТЫ КЛАПАНА ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА

Чтобы оценить потери на питание пневматической системы отбора и перепуска воздуха, в первую очередь, необходимо рассчитать рабочую точку служебного компрессора с учетом работы регулятора и клапана перепуска воздуха. Рабочая точка рассчитывается следующим образом – сначала рассчитывается точка, в которой клапан перепуска воздуха будет полностью открыт по заданному в регуляторе перепуска воздуха значению $\pi(\lambda)_{\text{рпв}}$ по заложенной в него характеристике (см. рис. 1). После нахождения расчётной точки по заданному алгоритму проверяется величина заданного пользователем расхода воздуха в магистраль отбора – если он ниже значения расхода воздуха по расчетной точке, то вычисляется разность между указанными значениями расхода – остаток расхода, который будет уходить в перепуск воздуха. Если же заданное значение расхода воздуха в магистраль отбора больше, чем минимальное значение расхода воздуха, то по заданному алгоритму выполняется расчет для нахождения рабочей точки по заданному пользователем расходу воздуха в магистраль отбора (рис. 3).

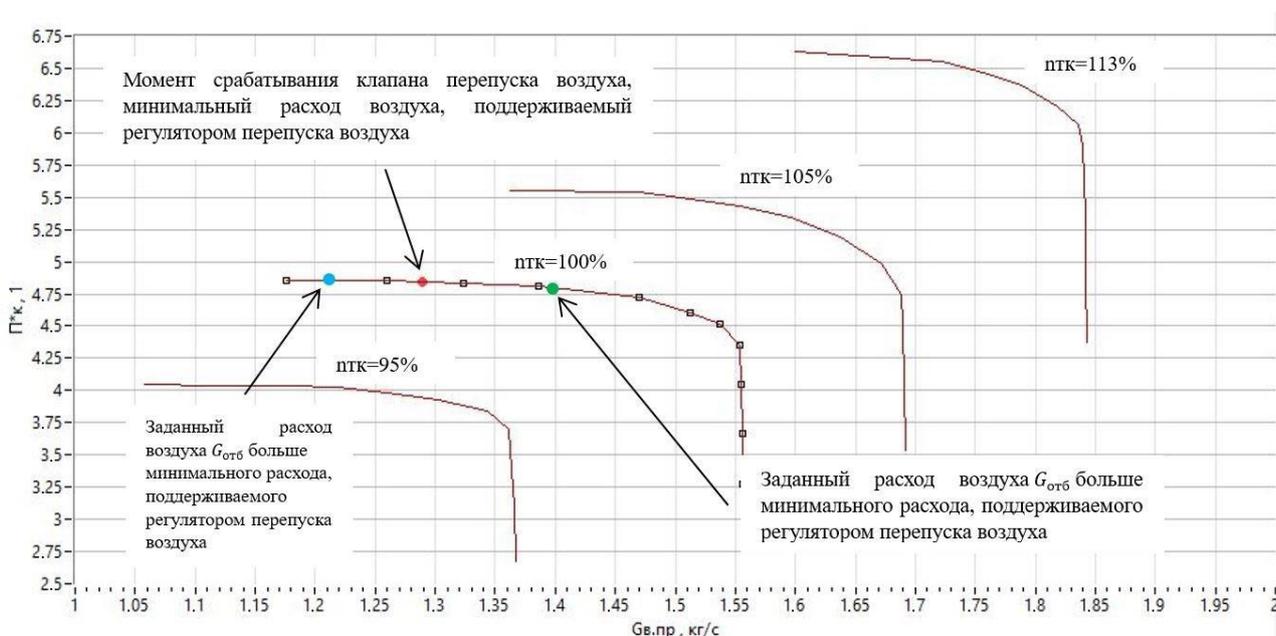


Рис. 3 Алгоритм работы пневматического регулятора перепуска воздуха

На основе алгоритма расчета воздуха через служебный компрессор с учетом работы клапана перепуска воздуха была разработана программа для расчета основных параметров работы СК в различных высотно-скоростных и климатических условиях в зависимости от угла установки поворотных лопаток ВНА. Расчет в разработанной программе проходит в несколько

этапов – в первую очередь вычисляется максимальный и минимальный расход воздуха через служебный компрессор по известной характеристике в координатах Π_k^* и $G_{впр}^*$, затем вычисляется первоначальный расход воздуха как половина суммы определенных максимального и минимального расхода воздуха. После этого по алгоритму, представленному на рис. 4, рассчитывается величина $\pi(\lambda)$ по первоначальному значению расхода воздуха. Полученная по расчету величина $\pi(\lambda)$ сравнивается с величиной $\pi(\lambda)_{рв}$, заданной в пневматическом регуляторе воздуха законом управления $\pi(\lambda) = f(\alpha_{вна})$. В случае если $\pi(\lambda)$ расчетная меньше $\pi(\lambda)_{рв}$, то по алгоритму нахождения расхода воздуха на рис. 5 необходимо уменьшить подбираемый расход воздуха путем уменьшения максимального расхода воздуха ($G_{отб max} = G_{отб}$). Иначе, если $\pi(\lambda)$ расчетная больше $\pi(\lambda)_{рв}$, то по алгоритму на рис. 5 необходимо увеличить подбираемый расход путем увеличения минимального расхода воздуха ($G_{отб min} = G_{отб}$). Расчет считается завершенным, когда погрешность расчета величины $\pi(\lambda)$ станет допустимой.

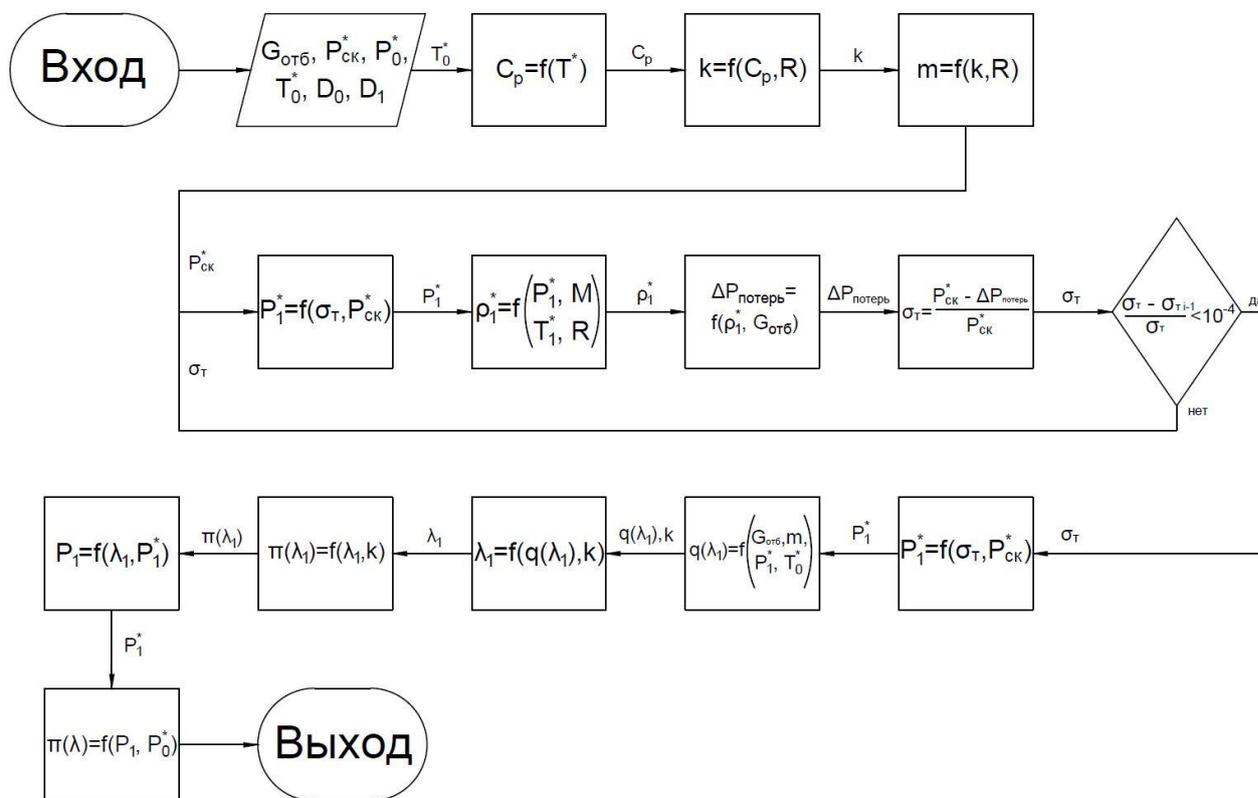


Рис. 4 Функциональная блок-схема расчета величины $\pi(\lambda)$ по известному значению отбора расхода воздуха $G_{отб}$

Значение $\pi(\lambda)$ в программе (см. рис. 4, 5) по текущим параметрам потока рассчитывается по формуле (1):

$$\pi(\lambda) = \frac{P_1}{P_0^*}, \tag{1}$$

где $\pi(\lambda)$ – значение газодинамической функции, ед.; P_1 – статическое давление движущегося потока воздуха, Па; P_0^* – давление изоэнтропически заторможенного потока воздуха, Па. Индексы параметров в формуле соответствуют сечениям (0 – широкое сечение, 1 – узкое сечение), которые указаны на рис. 6.

Давлением изоэнтропически заторможенного потока воздуха P_0^* является известное давление воздуха на входе в улитку, полученное путем учета потерь в улитке компрессора в давлении воздуха на выходе из компрессора.

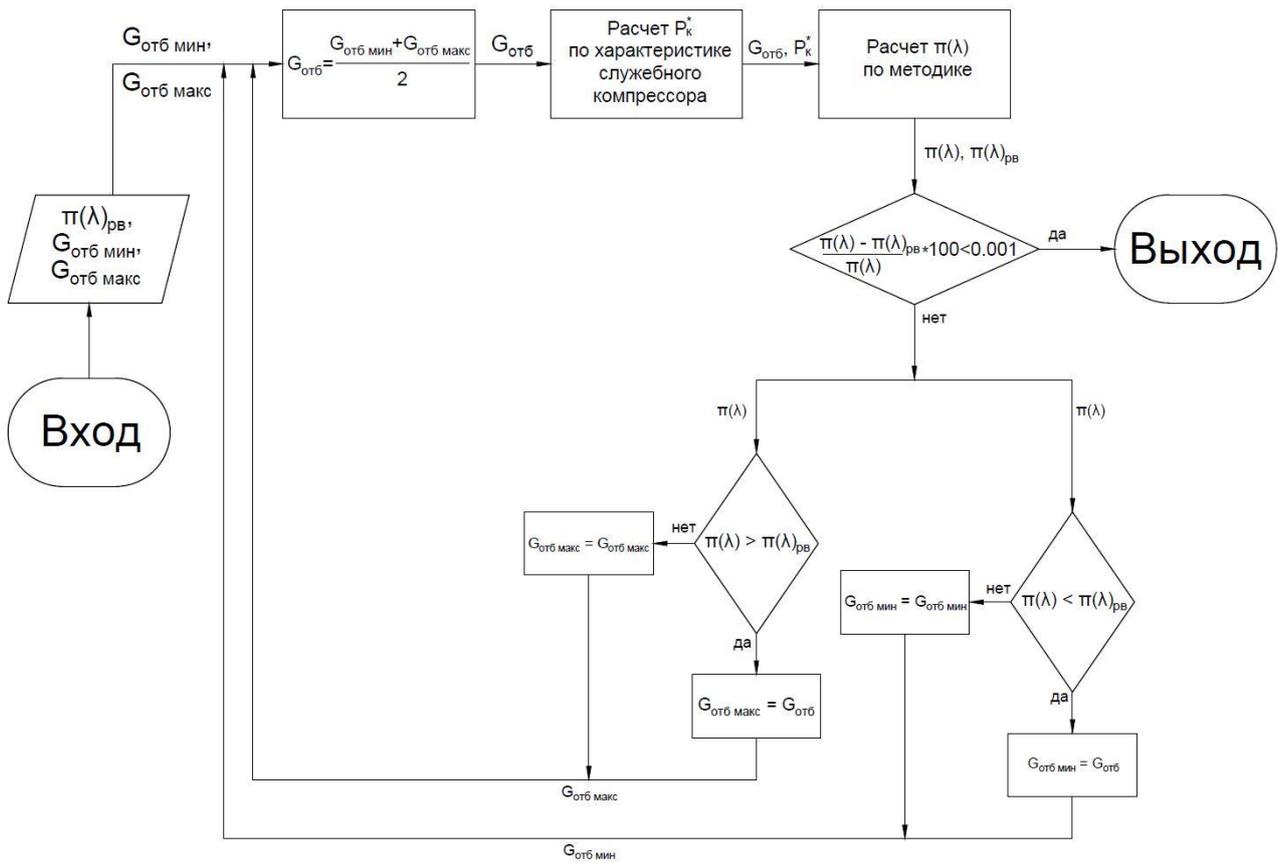


Рис. 5 Функциональная блок-схема расчета значения отбора расхода воздуха $G_{отб}$

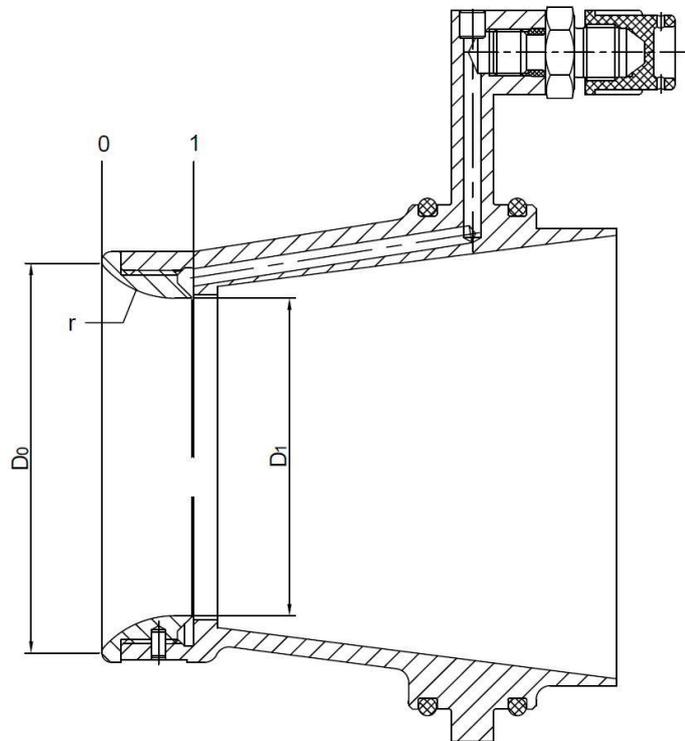


Рис. 6 Сечения в расходомерной трубе

Статическое давление движущегося потока воздуха P_1 в узком сечении рассчитывается по формуле:

$$P_1 = \pi(\lambda_1)P_1^*, \quad (2)$$

где P_1 – значение статического давления воздуха в узком сечении расходомерной трубы Вентури, Па; $\pi(\lambda_1)$ – значение газодинамической функции в узком сечении расходомерной трубы Вентури, 1; P_1^* – давление изоэнтропически заторможенного потока воздуха, движущегося в узком сечении расходомерной трубы Вентури, Па.

Газодинамическая функция в узком сечении трубы Вентури $\pi(\lambda_1)$ рассчитывается по формуле [11, с. 234, формула (102)]:

$$\pi(\lambda_1) = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda_1^2\right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3)$$

где $\pi(\lambda_1)$ – значение газодинамической функции в узком сечении расходомерной трубы Вентури, ед.; k – показатель адиабаты воздуха, ед.; λ_1 – значение приведенной скорости потока в узком сечении расходомерной трубы Вентури, ед.

Приведенная скорость потока λ_1 в узком сечении расходомерной трубы Вентури вычисляется путем метода последовательного приближения значения λ_1 по формуле (4) по известному значению приведенной плотности потока массы $q(\lambda_1)$ по формуле [11, с. 237, формула (107)]:

$$q(\lambda_1) = \lambda_1 \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_1^2\right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (4)$$

где $q(\lambda_1)$ – приведенная плотность потока массы в узком сечении трубы Вентури, ед.

Допуская, что $T_0^* = T_1^*$, приведенное значение плотности потока массы $q(\lambda_1)$ в узком сечении определяется по формуле [11, с. 238, формула (109)]:

$$q(\lambda_1) = \frac{G_{отб} \sqrt{T_0^*}}{m P_1^* F_1}, \quad (5)$$

где $q(\lambda_1)$ – приведенная плотность потока массы, ед.; k – показатель адиабаты воздуха, ед.; m – коэффициент, ед., вычисляется по формуле:

$$m = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \sqrt{\frac{1}{R}}}; \quad (6)$$

$G_{отб}$ – расход воздуха через мерное устройство, кг/с; $F_1 = 0.00188575$ – площадь сечения мерного устройства на выходе, м²; P_1^* – давление изоэнтропически заторможенного потока воздуха, движущегося в узком сечении расходомерной трубы Вентури, Па; m – коэффициент, ед.; k – показатель адиабаты воздуха, ед.; $R = 287,05$ – газовая постоянная, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

На основе того факта, что давлением воздуха на входе в регулятор перепуска воздуха является давление воздуха, создаваемое служебным компрессором вспомогательного двигателя в магистрали отбора, а давлением воздуха на выходе является текущее атмосферное давление, то выход можно представить как дроссель круглого сечения, используя упрощенный расчет местного гидравлического сопротивления круглого дросселя [12]. Диаметр проходного сечения дросселя можно определить из заданного значения эффективной площади, которая зависит от угла установки лопаток входного направляющего аппарата. Зависимость эффективной площади жиклера от угла установки лопаток входного направляющего аппарата представлена разработчиком регулятора перепуска воздуха и изображена на рис. 7.

На рис. 8 представлен алгоритм подбора расхода воздуха через пневматический регулятор расхода воздуха. Расход через регулятор перепуска воздуха вычисляется циклически методом половинного деления, условием выхода из цикла считается соответствие давления воздуха на выходе из упомянутого жиклера атмосферному давлению.

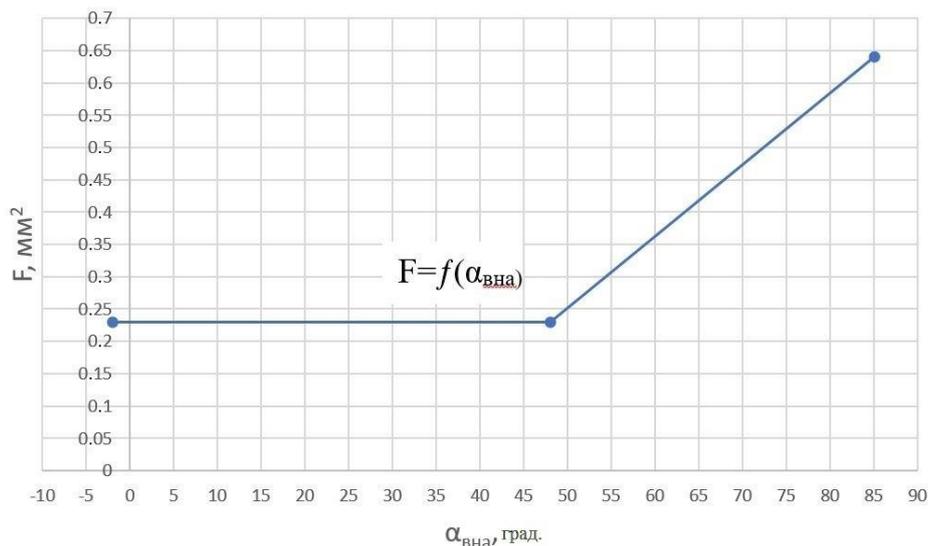


Рис. 7 Зависимость потерь воздуха через регулятор перепуска в зависимости от угла установки лопаток $\alpha_{\text{внa}}$ входного направляющего аппарата

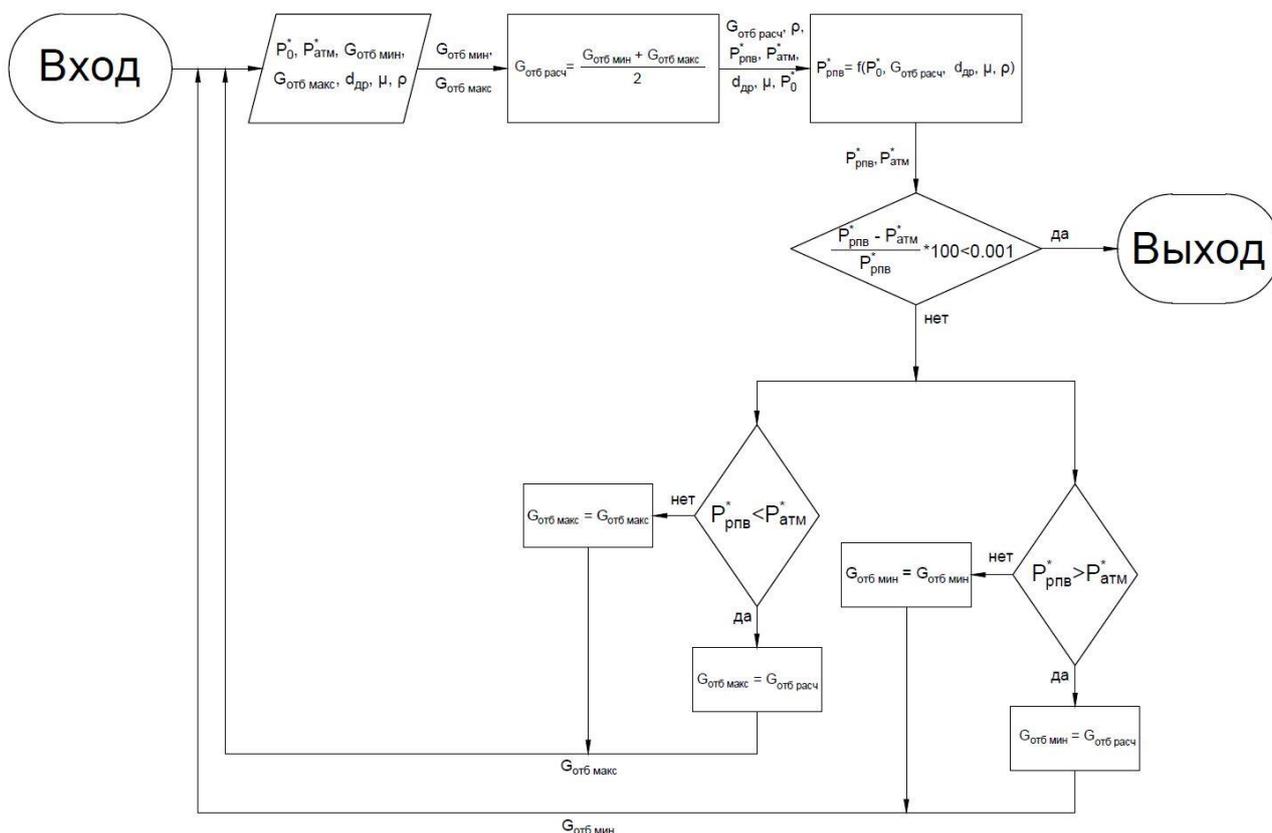


Рис. 8 Функциональная блок-схема подбора расхода воздуха через регулятор перепуска воздуха

Найденный расход воздуха, который уходит на питание регулятора перепуска, вычитается из общего расхода, создаваемого компрессором, и разделяется в определенном соотношении для прохождения через два трубопровода, которые подводят давления P_0^* и P_1 к регулятору перепуска воздуха. В указанных трубопроводах рассчитываются потери давления согласно справочнику [13] (рис. 9). Общий расход воздуха разделяется в соотношении, представленном разработчиком регулятора, и зависит от угла установки лопаток входного направляющего аппарата.

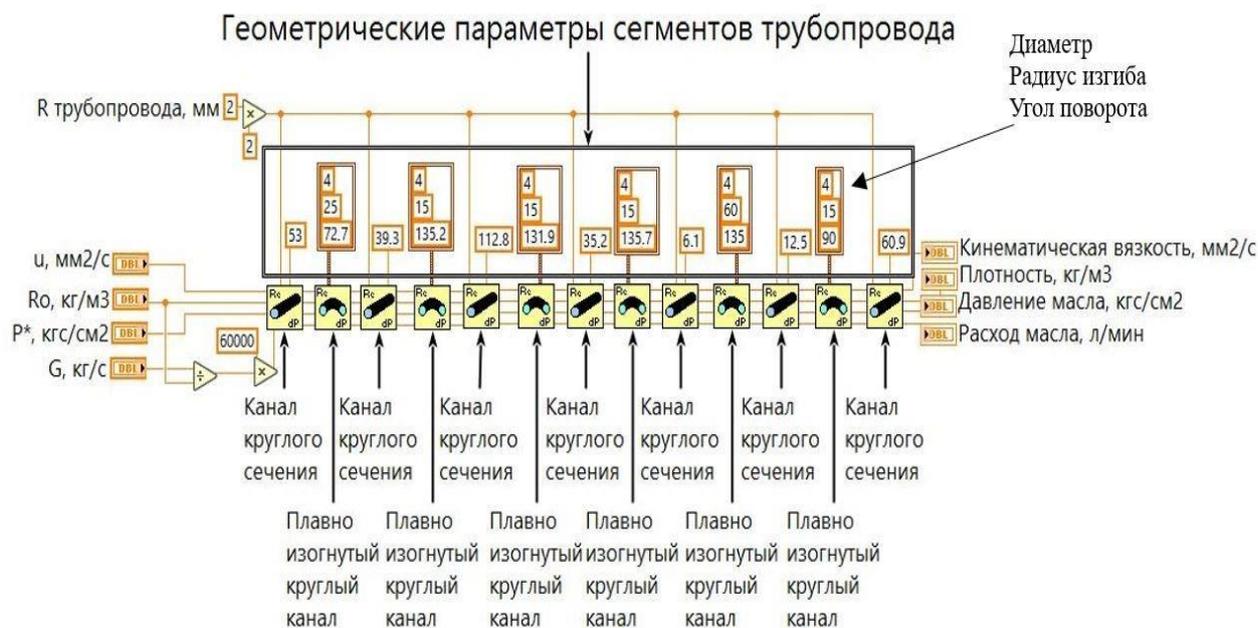


Рис. 9 Функциональная блок-схема подбора расхода воздуха через регулятор перепуска воздуха

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная программа позволяет производить оценку влияния газодинамической устойчивости на закон управления $\pi(\lambda)_{рпв} = f(\alpha_{вна})$, закладываемый на этапе разработки пневматического регулятора перепуска воздуха и дает возможность точнее выбирать рабочую точку открытия клапана перепуска при разработке новых служебных компрессоров для вспомогательных газотурбинных двигателей или модернизации уже имеющихся.

Из представленной ниже таблицы можно сделать однозначный вывод об уменьшении газодинамической устойчивости выбранного режима работы служебного компрессора при увеличении потерь через пневматические агрегаты системы отбора и перепуска воздуха.

Таблица

Зависимость потерь воздуха от площади жиклера

$F_{\text{жиклера потерь, мм}^2}$	0.23	0.64	5.72	19.625	28.2744
$G_{\text{потерь, г/с}}$	0.22985	0.639632	5.71609	19.6218	28.2526
$\pi(\lambda)$, ед.	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
ΔK_y , %	9.86484	9.8633	9.86252	9.32824	9.06005

БЛАГОДАРНОСТИ И ПОДДЕРЖКА

Автор посвящает эту работу памяти научного руководителя заслуженного деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф. *Геннадия Григорьевича Куликова* (1948–2024). Следует также отметить работы по смежной тематике [14–21], которые оказали влияние на данное исследование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- [1] Вспомогательный двигатель ТА18-200 производства АО «НПП «Аэросила»». URL <https://aerosila.ru/products/vgtd-ta18-200klass-ekvivalentnoj-moshhnosti-350-kvt> [[Auxiliary Engine TA18-200 Manufactured by JSC NPP Aerosila. (In Russian).]]
- [2] ГОСТ 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 1. Принцип метода измерений и общие требования. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200047566> [[GOST 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2003). Measurement of Flow and Quantity of Liquids and Gases using Standard Orifice Devices. Part 1. Principle of the Measuring Method and General Requirements. (In Russian).]]
- [3] ГОСТ 8.586.2-2005 (ISO 5167-2:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 2. Диафрагмы. Технические требования. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200047567> [[GOST 8.586.2-2005 (ISO 5167-2:2003). Measurement of Flow and Quantity of Liquids and Gases using Standard Orifice Devices. Part 2. Orifice Plates. Specifications. (In Russian).]]
- [4] ГОСТ 8.586.3-2005 (ISO 5167-3:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 3. Сопла и сопла Вентури. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200047568> [[GOST 8.586.3-2005 (ISO 5167-3:2003). Measurement of Flow and Quantity of Liquids and Gases using Standard Orifice Devices. Part 3. Nozzles and Venturi Nozzles. (In Russian).]]
- [5] ГОСТ 8.586.4-2005 (ISO 5167-4:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 4. Трубы Вентури. Технические требования. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200047569> [[GOST 8.586.4-2005 (ISO 5167-4:2003). Measurement of Flow and Quantity of Liquids and Gases using Standard Orifice Devices. Part 4. Venturi Tubes. Technical Requirements. (In Russian).]]
- [6] ГОСТ 8.586.5-2005 (ISO 5167-5:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 5. Методика выполнения измерений. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200047570> [[GOST 8.586.5-2005 (ISO 5167-5:2003). Measurement of Flow and Quantity of Liquids and Gases using Standard Orifice Devices. Part 5. Measurement Procedures. (In Russian).]]
- [7] Иноземцев А. А., Нихамкин М. А., Сандрацкий В. Л. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 5. М.: Машиностроение, 2008. 187 с. [[Inozemtsev A. A., Nikhamkin M. A., Sandratsky V. L. Automation and Control of Aircraft Engines and Power Plants. Vol. 5. Moscow: Mechanical Engineering, 2008. (In Russian).]]
- [8] Горячкин Е. С., Кудряшов И. А., Щербань А. И., Новикова Ю. Д. Анализ влияния клапана перепуска воздуха на характеристики осевого компрессора // Решетневские чтения: Мат-лы XXVI Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 2022 г. Part. 1. Красноярск: Сибирск. гос. ун-т науки и технологий, 2022. С. 158–160. EDN [LTLPGP](#). [[Goryachkin E. S., Kudryashov I. A., Shcherban A. I., Novikova Yu. D. "Analysis of the influence of the air bypass valve on the characteristics of an axial compressor" // Reshetnevskie Readings. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology, 2022, pp. 158–160. EDN [LTLPGP](#). (In Russian).]]
- [9] Горячев М. А. Газодинамическая устойчивость и способы увеличения ее запаса для турбовентиляторного двигателя // Теоретические и практические вопросы фундаментальных и прикладных научных исследований: Сб. науч. ст. по матер. I Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 31 марта 2023 г. Уфа: Вестник науки, 2023. С. 65–71. EDN [DXEGZC](#). [[Goryachev M. A. "Gas-dynamic stability and methods for increasing its margin for a turbofan engine" // Theoretical and Practical Issues of Fundamental and Applied Scientific Research. Ufa: Bulletin of Science, 2023, pp. 65–71. EDN [DXEGZC](#). (In Russian).]]
- [10] Куликов Г. Г., Черкасов Б. А. Математические модели, используемые в САПР двигателя и систем управления // Автоматика и регулирование реактивных двигателей. Т. 5. М.: Машиностроение, 2008. 187 с. [[Kulikov G. G., Cherkasov B. A. "Mathematical models used in CAD of engines and control systems" // Automation and Control of Jet Engines. Vol. 5. Moscow: Mechanical Engineering, 2008. (In Russian).]]
- [11] Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976. 888 с. [[Abramovich G. N. Applied Gas Dynamics. Moscow: Nauka, 1976. (In Russian).]]
- [12] Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1971. 664 с. [[Bashta T. M. Mechanical Engineering Hydraulics. Reference manual. M: Mechanical engineering, 1971. (In Russian).]]
- [13] Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с. [[Idelchik I. E. Handbook of Hydraulic Resistance. Moscow: Mechanical Engineering, 1992. (In Russian).]]
- [14] Куликов Г. Г., Горюнов И. М., Шукалюк В. А., Афанасьева Е. В. Расчетно-аналитический метод идентификации структуры и параметров квадратичной динамической модели компрессора ГТД как подобъекта управления, контроля и диагностики // Вестник УГАТУ. 2024. Т. 28. № 1(103). С. 99–108. EDN [XRKOYR](#). [[Kulikov G. G., Goryunov I. M., Shukalyuk V. A., Afanasyeva E. V. "Calculation and analytical method for identifying the structure and parameters of a quadratic dynamic model of a gas turbine engine compressor as a sub-object of control, monitoring and diagnostics" // Vestnik UGATU. 2024. Vol. 28, No. 1(103), pp. 99–108. EDN [XRKOYR](#). (In Russian).]]
- [15] Иванов А. В., Данилихин А. М., Афанасьева А. В., Шукалюк В. А. Защита от отрицательной тяги в полете, создаваемой турбовинтовым двигателем с воздушным винтом изменяемого шага // Вестник УГАТУ. 2024. Т. 28. № 2(104). С. 66–76. EDN [LZNTYF](#). [[Ivanov A. V., Danilikhin A. M., Afanasyeva A. V., Shukalyuk V. A. "Protection against negative thrust in flight created by a turboprop engine with a variable-pitch propeller" // Vestnik UGATU. 2024. Vol. 28, No. 2(104), pp. 66–76. EDN [LZNTYF](#). (In Russian).]]
- [16] Иванов А. В., Афанасьева А. В., Шукалюк В. А. Управление запуском вспомогательного газотурбинного двигателя на больших высотах полета // Вестник УГАТУ. 2023. Т. 27. № 1(99). С. 31–37. EDN [VTCUUF](#). [[Ivanov A. V., Afanasyeva A. V., Shukalyuk V. A. "Control of starting an auxiliary gas-turbine engine at high flight altitudes" // Vestnik UGATU. 2023. Vol. 27, No. 1(99), pp. 31-37. EDN [VTCUUF](#). (In Russian).]]
- [17] Куликов Г. Г., Ризванов К. А., Шукалюк В. А., Иванов А. В. Проектирование семантических формальных моделей объектов исследуемой предметной области на основе категорий диалектики и теоретико-множественных методов // Вестник

- УГАТУ. 2023. Т. 27. № 3(101). С. 82–98. EDN [LINSTX](#). [[Kulikov G. G., Rizvanov K. A., Shukalyuk V. A., Ivanov A. V. "Design of semantic formal models of objects of the studied subject area based on the categories of dialectics and set-theoretic methods" // Vestnik UGATU. 2023. Vol. 27, No. 3(101), pp. 82–98. EDN [LINSTX](#). (In Russian).]]
- [18] Куликов Г. Г., Горюнов И. М., Шукалюк В. А., Афанасьева А. В. Расчетно-аналитический метод идентификации структуры и параметров системы волновых уравнений ГТД как объекта управления, контроля и диагностики // Вестник УГАТУ. 2023. Т. 27. № 4(102). С. 77–85. EDN [ZWPMQS](#). [[Kulikov G. G., Goryunov I. M., Shukalyuk V. A., Afanasyeva A. V. "Calculation and analytical method for identifying the structure and parameters of the system of wave equations of a gas turbine engine as an object of control, monitoring and diagnostics" // Vestnik UGATU. 2023. Vol. 27, No. 4(102). P. 77–85. EDN [ZWPMQS](#). (In Russian).]]
- [19] Куликов Г. Г., Ризванов К. А., Иванов А. В., Шукалюк В. А. Трансформация автоматизированной информационно-управляющей системы построения системных математических моделей ГТД в форму цифровых двойников // Труды МАИ. 2023. № 133. EDN [IJRSMD](#). [[Kulikov G. G., Rizvanov K. A., Ivanov A. V., Shukalyuk V. A. "Transformation of the automated information and control system for constructing systemic mathematical models of gas turbine engines into the form of digital twins" // Proceedings of MAI. 2023. No. 133. EDN [IJRSMD](#). (In Russian).]]
- [20] Ильясов Б. Г., Сaitова Г. А. Физико-математический подход к теории многосвязных систем управления // СИИТ. 2024. Т. 6. № 4(19). С. 3–13. EDN [KLMKCW](#). [[Ilyasov B. G., Saitova G. A. "Physical and mathematical approach to the theory of multivariate control systems" // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 4(19), pp. 3–13. EDN [KLMKCW](#). (In Russian).]]
- [21] Кишалов А. Е., Липатов В. Д. Экспертная система поддержки принятия решения при моделировании входных устройств на ранних этапах проектирования авиационных ГТД // СИИТ. 2020. Т. 2. № 2(4). С. 73–79. EDN [EZZEAN](#). [[Kishalov A. E., Lipatov V. D. "Expert system for decision support in modeling input devices at early stages of aircraft gas turbine engine design" // SIIT. 2020. Vol. 2, No. 2(4), pp. 73–79. (In Russian).]]

Поступила в редакцию 18 декабря 2024 г.

МЕТАДАННЫЕ / METADATA

Title: Methodology for assessing the impact of leaks in a pneumatic air bypass regulator of a compressor.

Abstract: Auxiliary gas turbine engines TA18-200 developed by JSC SPE «AEROSILA» have an auxiliary compressor that generates pneumatic energy for the airplane needs. Auxiliary compressors work with pneumatic air bypass system, which contains pneumatic air bypass regulator and a controlled air bypass valve. The air bypass regulator operates according to the control law embedded in it. Losses in the air system are divided into losses due to air power system supply and losses due to pipeline aerodynamic resistance. A method for accounting for losses in the pneumatic air bypass system behind the auxiliary compressor was developed. The developed method allows for an accurate assessment of the impact of air losses on the gas-dynamic stability of the auxiliary compressor and the correct setting of the control law of the pneumatic air regulator. Without calculating losses in the air bypass system and taking them into account when creating a control law in the regulator, the operating point of the auxiliary compressor will shift to the surge limit, which can lead to a disaster.

Key words: auxiliary gas turbine engine; auxiliary compressor; centrifugal compressor; pneumatic air bypass regulator; control law.

Язык статьи / Language: Русский / Russian.

Об авторе / About the author:

ШУКАЛЮК Вадим Андреевич

НПП «Аэросила», Россия.

Инженер-конструктор. Дипл. магистр по информатике и выч. технике (Моск. авиац. ин-т, 2019). Иссл. в обл. мат. моделирования вспомогательных газотурбинных двигателей.

E-mail: shukaliuk.vadim@yandex.ru

URL: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1271913

SHUKALYUK Vadim Andreevich

Scientific and Production Enterprise "Aerosila", Russia.

Design engineer. Master's degree in computer science and computing (Moscow Aviation Institute, 2019). Research in the field of mathematical modeling of auxiliary gas turbine engines.

E-mail: shukaliuk.vadim@yandex.ru

URL: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1271913