

УДК 629.7.048

Математическая модель системы регулирования электрической системы кондиционирования воздуха пассажирского самолета

Паневин Александр Юрьевич^(*)

a.panev99@yandex.ru

SPIN-код: 2704-1814

Гришина Лариса Андреевна

petrolar88@yandex.ru

НИУ МАИ, Москва, Россия

Аннотация. На современном этапе развития авиационных систем кондиционирования воздуха (СКВ) создание энергетически эффективной системы является неотъемлемой задачей. В мировой практике наиболее широкое применение нашли традиционные схемы с отбором воздуха от различных ступеней компрессора высокого давления двигательной установки. Перспективным направлением развития авиационных систем кондиционирования является электрическая система, отличающаяся повышенным уровнем электрификации и реализуемая в концепции «более электрического самолета». В статье рассмотрен процесс проектирования системы регулирования параметров воздуха для электрической системы кондиционирования воздуха (ЭСКВ). Проведено математическое моделирование системы, исследованы термодинамические параметры воздуха по пневматическому тракту системы, дано сравнение значений полученных параметров воздуха со значениями параметров в традиционных схемах.

Ключевые слова: электрическая система кондиционирования воздуха, герметическая кабина, автономный электроприводной компрессор, математическая модель, напорная характеристика

Mathematical model of the electric air conditioning system control system of a passenger aircraft

Panevin Alexander Yurievich^(*)

a.panev99@yandex.ru

SPIN-code: 2704-1814

Grishina Larisa Andreeva

petrolar88@yandex.ru

Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Abstract. At the current stage of development of aviation environmental control systems (ECSs), the creation of an energy-efficient system is an integral task. In global practice, traditional schemes with air extraction from various stages of the high-pressure compressor of the propulsion system are widely used. A promising direction in the development of aviation air conditioning systems is the electric system, which is characterized by a high level of electrification and is implemented in the concept of a "more electric aircraft." This article discusses the process of designing an air parameter control system for an electric environmental control system (EECS). Mathematical modeling of the system was carried out, the thermodynamic parameters of air along the pneumatic path of the system were studied, and the values of the obtained air parameters were compared with the values of parameters in traditional schemes.

Keywords: *electric environmental control system, hermetic cabin, independent electric compressor, mathematical model, pressure characteristic*

Введение. С целью создания в гермокабине самолета потребных параметров воздуха, нормируемых авиационными правилами, в авиационных СКВ нашли применение различные подсистемы регулирования [1]. В статье акцентируется внимание на подсистемах регулирования подачи воздуха и терморегулирования.

На рис. 1 представлена принципиальная схема системы отбора традиционной СКВ. Для подачи отобранного от фланцев двигательной установки рабочего воздуха далее по тракту системы предусмотрено предварительное регулирование параметров воздуха: регуляторы избыточного давления дроссельного действия и стальные предварительные теплообменные аппараты.

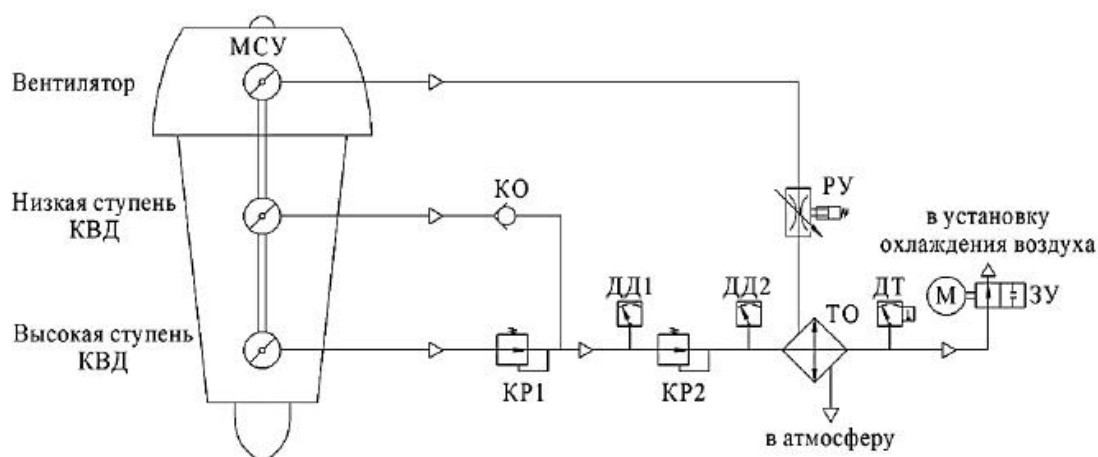


Рис. 1. Схема подсистемы отбора воздуха от МСУ:

КВД — компрессор высокого давления; МСУ — маршевая силовая установка; КО — обратный клапан; КР1, 2 — регулятор давления; ДД1, 2 — датчик давления; РУ — регулятор расхода продувочного воздуха; ТО — теплообменный аппарат; ДТ — датчик температуры; М — электропривод; ЗУ — перекрывной клапан

Далее по тракту перед установкой охлаждения воздуха применяются дроссельные заслонки в качестве исполнительных механизмов регуляторов расхода. Дроссельный принцип регулирования параметров воздуха уменьшает энергетическую эффективность системы.

Наиболее перспективным решением на пути к повышению энергоэффективности авиационных СКВ является электрическая СКВ, где источником сжатого воздуха для системы является электроприводной автономный компрессор. Отличительной особенностью ЭСКВ являются меньшие значения параметров воздуха по тракту системы, что, в свою очередь, позволяет отказаться от системы отбора.

Регулирование ЭСКВ играет немаловажную роль. Анализ функциональных подсистем регулирования позволяет выявить изменение термодинамических параметров воздуха, выбрать схемное построение и агрегатный состав системы [2].

Материалы и методы. Математическая модель (ММ) системы регулирования состоит из ММ автономного компрессора (АК), подсистем регулиро-

вания подачи, терморегулирования, динамической модели гермокабины как объекта регулирования [3–5]. ММ АК составляют функции отклика, полученные в результате регрессионного анализа экспериментальных напорных характеристик компрессора [6] методом эллипса.

Регулирование расхода базируется на изменении частоты вращения АК и основано на принципе регулирования по отклонению. В регуляторе расхода подсистемы регулирования подачи и регуляторе температуры подсистемы терморегулирования используется закон пропорционально-интегрального регулирования.

Для регулятора расхода обороты АК:

$$n_k = k_G (G_{\text{зад}} - G_{\text{СКВ}}) \frac{1}{s},$$

где k_G — коэффициент усиления регулятора расхода; $G_{\text{зад}}$, $G_{\text{СКВ}}$ — целевой и фактический массовые расходы воздуха соответственно, кг/с; $1/s$ — интегрирующее звено.

Для регулятора температуры относительное перемещение заслонки:

$$\Delta h = k_t (T_{\text{зад}} - T_{\text{каб}}) \frac{1}{s},$$

где k_t — коэффициент усиления регулятора температуры; $T_{\text{зад}}$, $T_{\text{каб}}$ — целевая и фактическая температуры воздуха в гермокабине, К.

ММ системы охлаждения подсистемы терморегулирования выражается квадратичной зависимостью перепада давления Δp от массового расхода G_B через установку охлаждения воздуха $\Delta p = k G_B^2$.

Результаты. Расчеты произведены на режиме стоянки самолета на земле в очень жаркий безветренный день как на самом нагруженном режиме на охлаждение гермокабины. Исходные данные для исследуемого режима сведены в таблицу.

Исходные данные при стоянке самолета на земле в очень жаркий день

Параметр	Размерность	Значение
<i>Параметры окружающей среды</i>		
Давление	кПа	101,3
Температура	К	328
<i>Параметры воздуха в гермокабине</i>		
Давление	кПа	101,3
Целевая температура	К	298
Начальная температура	К	328
Целевой расход	кг/с	0,18
<i>Параметры гермокабины</i>		
Объем	м ³	50
Коэффициент теплопередачи через стенку фюзеляжа	Вт/(м ² · К)	0,3

В результате моделирования системы регулирования ЭСКВ получены графические зависимости изменения давления (рис. 2), температуры (рис. 3) от времени моделирования.

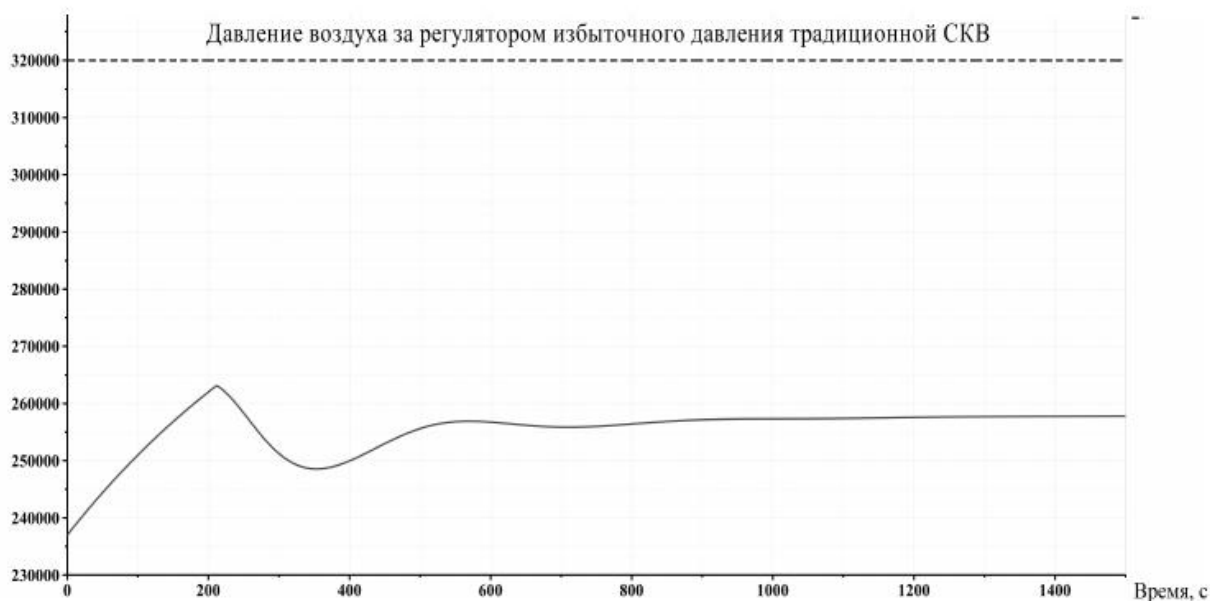


Рис. 2. Изменение давления воздуха за АК

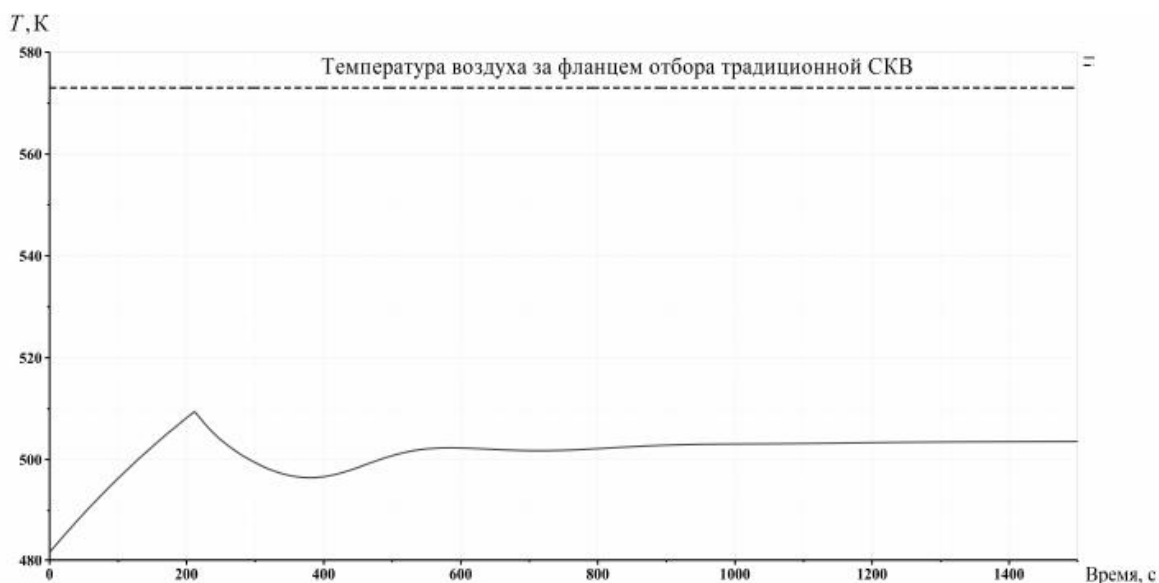


Рис. 3. Изменение температуры воздуха за АК

Обсуждение полученных результатов. Из анализа ММ функциональных подсистем регулирования можно сделать вывод, что ЭСКВ имеет пониженные термодинамические параметры воздуха по тракту системы. Сравнивая с традиционными архитектурными построениями СКВ, где давление воздуха в точке отбора перед регуляторами избыточного давления более 320 кПа и температура более 300 °С, в электрических системах давление и температура на выходе АК порядка 260 кПа и 230 °С соответственно.

Заключение. Разработана ММ системы регулирования ЭСКВ пассажирского самолета, анализ которой позволили сделать следующие выводы:

– термодинамические параметры рабочего воздуха в электрических СКВ имеют меньшие значения, чем в традиционных системах, следовательно, отсутствует необходимость в применении регуляторов избыточного давления и узлов предварительного охлаждения;

– повышается энергетическая эффективность электрической системы вследствие сокращения затрат энергии на сжатие и охлаждение воздуха.

Список источников

- [1] Шустров Ю.М. *Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха*. Москва, Машиностроение, 2006, 384 с.
- [2] Гришина Л.А., Паневин А.Ю. Разработка функциональных подсистем регулирования электрической системы кондиционирования воздуха пассажирского самолета. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 12, с. 88–95.
- [3] Щербаков А.В. *Автоматическое регулирование авиационных систем кондиционирования воздуха*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 290 с.
- [4] Быков Л.Т., Ивлентиев В.С., Кузнецов В.И. *Высотное оборудование пассажирских самолетов*. Москва, Машиностроение, 1972, 332 с.
- [5] Волков А.А. Нестационарные режимы работы системы терморегулирования гермокабины. *Вестник Московского авиационного института*, 2011, т. 18, № 3, с. 5–9.
- [6] Тищенко И.В., Чижиков В.Е., Царьков И.А. и др. Разработка воздушного электрокомпрессора для безотборной системы кондиционирования воздуха перспективного регионального самолета. *Холодильная техника*, 2022, т. 111, № 2, с. 115–122.