

УДК 644.1+004.9:517.9

Бушер В. В., д-р техн. наук,
Ярмолович В. Я.,
Власов Н. А., канд. техн. наук

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ КУПЕ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

***Аннотация.** Выполнен синтез системы управления кондиционированием воздуха в отдельных купе пассажирских вагонов. Исследования проведены в модели приточно-вытяжной вентиляции многозонных протяженных объектов, основанной на принципе подобия с электрическими цепями с каскадным соединением RL-элементов. Предложенный релейный регулятор электропривода заслонки с зоной нечувствительности обеспечивает инвариантность к внешним возмущающим воздействиям и расположению купе по отношению к центральной системе кондиционирования.*

***Ключевые слова:** приточно-вытяжная вентиляция, принцип подобия, модель, релейный регулятор, пропорционально-интегральный регулятор.*

Бушер В. В., д-р техн. наук,
Ярмолович В. Я.,
Власов М. О., канд. техн. наук

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ КУПЕ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

***Анотація.** Запропоновано модель припливно-витяжної вентиляції багатозонних протяжних об'єктів, яку засновано на принципі подоби з електричними ланцюгами з каскадним з'єднанням RL-елементів. Аналіз диференціальних рівнянь високого порядку, що описують перехідні процеси в повітряній магістралі, показав, що раціональніше використовувати дрібно-диференціальні рівняння, параметри яких визначаються за допомогою генетичних алгоритмів.*

***Ключові слова:** припливно-витяжна вентиляція, модель, дрібно-диференційні регулятори, генетичні алгоритми, ідентифікація параметрів.*

Busher V. V., ScD,
Yarmolovich V. Y.,
Vlasov N. F., PhD

SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS VENTILATION COUPE PASSENGER CARS

***Abstract.** Synthesis of air conditioning control system for the separate compartment carriages are carried out. Studies are conducted in the model of multizone extended objects based on the principle of similarity with electrical circuits and cascade connection RL-elements. The proposed relay control valve actuator with dead band provides is invariance to external perturbations and location of the compartment relative to the central air conditioning system.*

***Keywords.** Force and exhaust ventilation, the principle of similarity, model, relay control, proportional-integral regulator*

Введение. Современные высокотехнологичные транспортные средства предоставляют высокий уровень обслуживания, комфорта, что невозможно без обеспечения должных климатических условий в вагонах скоростных поездов, отдельных купе, салонах самолетов. Системы кондиционирования в них представляют собой сложные электротехнические комплексы, включающие в себя различные исполнительные устройства: вентиляторы с регулируемой скоростью, источ-

ники тепла/холода с регулируемой производительностью, воздушные заслонки с изменяемым сечением, причем регулируемые координаты связаны между собой и влияют как на уровень комфорта, так и на затраты энергии. Основной особенностью этих систем является каскадное соединение обслуживаемых климатических зон между собой при наличии централизованной системы подготовки воздуха [1, 2].

Современный уровень микропроцессорной техники позволяет реализовывать сложные алгоритмы управления технологическими объектами без существенного удорожания систем управления. Это открывает пути для использования более сложных моделей и регуляторов без упрощений, без которых реализация систем в массовом производстве ранее была невозможна.

Поэтому актуальной является задача повышения энергетической эффективности и обеспечения комфортных условий в пассажирских поездах и самолетах за счет совершенствования систем вентиляции и кондиционирования.

Цель работы – синтез локальных регуляторов качества воздуха в отдельных купе системы кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах.

Материалы исследований.

На основании принципа подобия с электрическими цепями [7, 8, 9] для железнодорожного вагона в среде MATLAB/SimPowerSystem разработана модель воздушных потоков в каскадно-соединенных купе с централизованной системой подготовки воздуха, показаны правила определения ее параметров и настроек для получения идентичных воздушных потоков в отдельных купе независимо от их удаленности от центральной системы [10].

Каждый участок приточного воздушного канала между заслонками, купе и участки вытяжного канала представлены как активно-индуктивные элементы $R_F - L_F$, $R_C - L_C$ и $R_R - L_R$ соответственно. Заслонка для потока воздуха представляет собой сопротивление с параметром R_V . Воздушная магистраль, начиная с приточного вентилятора, представлена как последовательно соединенные секции, причем давление на i -ых заслонке и купе R_{Vi} и $R_{Ci} - L_{Ci}$ создают давление для следующей секции вагона. Модель вагона состоит из 9 пассажирских купе и купе проводника (рис. 1). В номинальном режиме работы напряжение и ток источника равны. Тогда при правильно подобранных R_{Vi} и примерно одинаковых параметрах теплопритоков в купе (одинаковое количество пассажиров и условия теплообмена с окружающей средой) воздушный поток от цен-

трального кондиционера будет равномерно распределен между всеми купе.

Для получения качественных показателей объекта управления в модель были внесены относительные значения сопротивлений и индуктивностей, определяющие аэродинамическую инерционность каналов и купе. Из-за различий параметров каждое купе характеризуется своей постоянной времени (рис. 2).

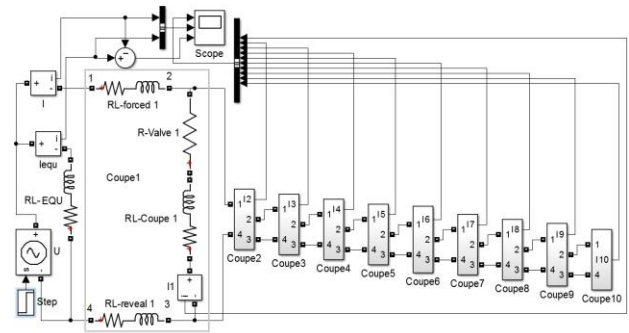


Рис. 1. Модель системы приточно-вытяжной вентиляции купейного вагона

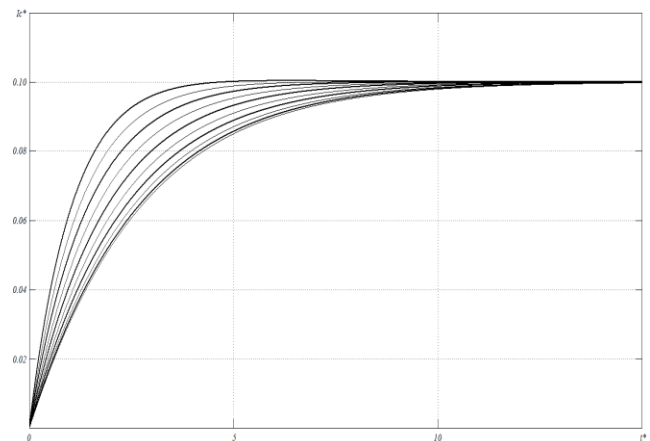


Рис.2. Графики переходных процессов токов в системе вентиляции с фиксированными положениями заслонок

Воздушный поток центрального кондиционера с учетом его параметров (температура, влажность, концентрация примесей) является управляемым источником воздуха заданного качества. Людей, теплообмен через окна и стенки можно рассматривать в качестве возмущающих воздействий. Дополним модель отдельного купе таким источником, амплитуда и длительность воздействия которого в общем случае различны в разных купе. Он показан на рис. 3, а, как источник напряжения, приложенный к RL -цепочке.

Тогда поведение системы, очевидно, будет отличаться от расчетного идеального случая.

Пусть приток воздуха в купе осуществляется управляемая заслонка. В модели это соответствует R_{Vi} с большим сопротивлением, шунтируемым идеальным ключом. Сквозность определяет величину текущего сопротивления, эквивалентного положению заслонки.

Синтезируем регулятор положения по отклонению качества воздуха в купе от заданного значения. Рассмотрим три модели регуляторов.

Релейный регулятор с петлей гистерезиса, ширина которой соответствует допустимой ошибке регулирования (рис. 3, а), обеспечивает поддержание заданного параметра независимо от номера купе и возмущающих воздействий (рис. 4, а). Однако, физически осуществить подобную работу заслонки невозможно (ее невозможно мгновенно закрывать или открывать).

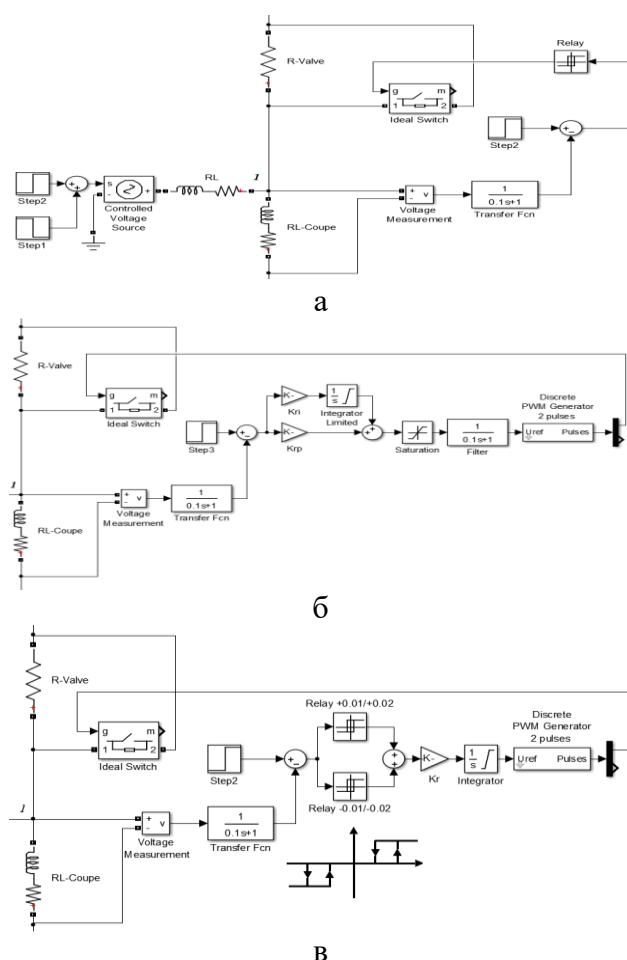
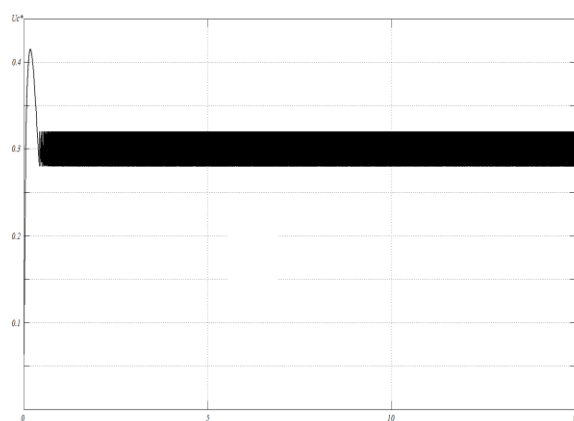
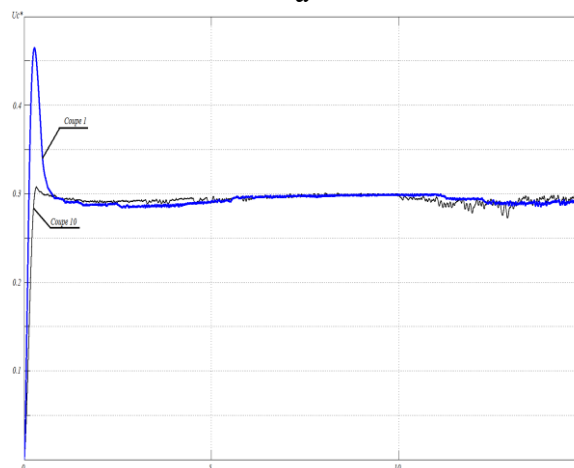


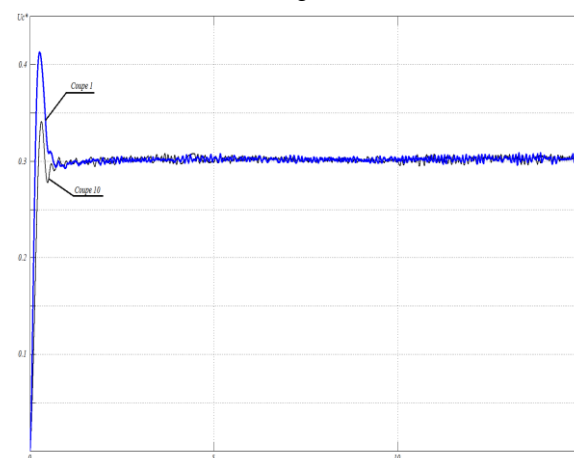
Рис.3. Модели регуляторов: релейного (а), пропорционально-интегрального (б) и релейного с интегратором (в)



а



б



в

Рис.4. Графики изменения стабилизируемого параметра в модели с релейным (а), ПИ-регулятором (б) и релейным регулятором с интегратором (в)

ПИ-регулятор (рис. 3, б) позволяет поддерживать заданное качество воздуха, однако для каждого купе необходимы индивидуальные настройки (рис. 4, б).

Релейный регулятор с двумя петлями гистерезиса и зоной нечувствительности (рис. 3, в) включает/отключает электродвигатель перемещения заслонки. Интегратор в модели описывает изменение положения заслонки. Регулятор обеспечивает инвариантность к номеру купе, отклонение регулируемого параметра не превышает допустимое значение, не считая начального кратковременного перерегулирования (рис. 4, в), а зона нечувствительности обеспечивает паузы в работе электродвигателя. По совокупности характеристик предпочтение следует отдать именно этому регулятору.

Важно отметить, что при использовании регулируемых заслонок токи в отдельных купе изменяются практически одинаково (рис. 5) в отличие от системы с фиксированными положениями заслонок (см. рис. 2).

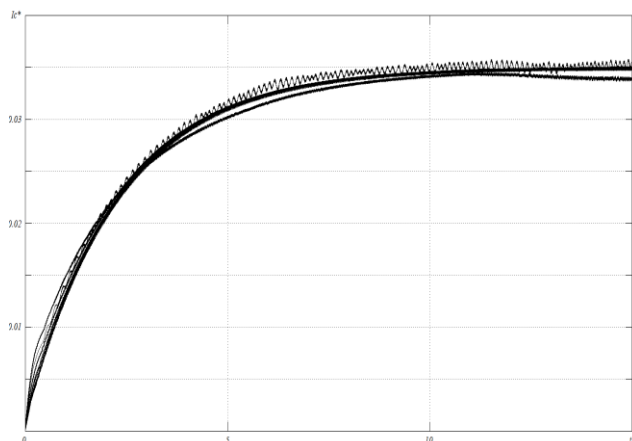


Рис.5. Графики переходных процессов в отдельных купе

Выводы.

Разработана модель системы вентиляции купейных вагонов или салонов самолетов, построенная по принципу подобия с электрическими цепями с каскадным соединением, с учетом случайных возмущающих воздействий и регуляторов микроклимата в отдельных купе.

Обоснован выбор релейного регулятора микроклимата в купе, управляющего приводом заслонки, инвариантного к расположению купе по отношению к центральной системе кондиционирования воздуха и возмущающим факторам.

Информация о положении каждой из заслонок может быть использована для оптимизации управления центральным конди-

ционером. Синтез этой части общей системы управления является предметом дальнейших исследований.

Список использованной литературы

1. Бушер, В. В. Модель електротехнічних елементів припливної вентиляції як об'єктів з розподіленими параметрами [Текст] / В. В. Бушер, П. Є. Христо // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – 2008. – № 30. – С. 505–506.
2. Бондарь, Е. С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: учеб. пос. / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. – К: «Аванпост–Прим», 2005. – 560 с.
3. Petras, I. Analogue realization of Fractional Order Controllers [Text] / I. Petras, I. Podlubny, P. O'Leary. – FBERG, Tech. University of Kosice, 2002. – 84 p.
4. Busher, V. Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential [Text] / V. Busher, V. Yarmolovich // Electrotechnical and Computer Systems. – 2014. – Vol. 15, Issue 91. – P. 52–56.
5. Pipes, L. Computation of the Impedance of Nonuniform Lines by a direct method [Text] / L. Pipes // Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics. – 1956. – Vol. 75, Issue 5. – P. 551–554. doi: 10.1109/tce.1956.6372426
6. Бушер, В. В. Синтез регуляторов для систем управления климатическими установками [Текст] / В. В. Бушер // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 05(81). – С. 125–130.
7. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики [Электронный ресурс] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – Режим доступа: <http://pskgu.ru/ebooks/tihonov.html>
8. Коган, И. Ш. Физические аналогии – не аналогии, а закон природы [Электронный ресурс] / И. Ш. Коган. – Технион – Израильский технологический институт, Хайфа. – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/1362.pdf>
9. Богданов, С. Н. Холодильная техника. Кондиционирование воздух. Свойства

веществ: Справ. [Текст] / С. Н. Богданов, С. И. Бурцев, О. П. Иванов, А. В. Куприянова; под ред. С. Н. Богданова; 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1999. – 320 с.

10. Бушер В. В. Разработка модели приточно-вытяжной вентиляции пассажирских вагонов [Текст] / В. В. Бушер, В. Я. Ярмолевич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Энерго-сберегающие технологии и оборудование. – Харьков: Технологический центр, 2016. – № 1/8(79), 2016. – С. 40–46.

Получено 30.04.2016

References

1. Busher, V. V., Khristo, P. Ie. (2008). Model elektrotekhnichnykh elementiv pryplyvnoi ventilyatsii yak ob'ektiv z rozpodilenyi parametramy [Model of ventilator's electrical elements as objects with distributed parameters]. Visnyk Natsionalnogo tekhnicheskogo universitetatu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut» Problemy avtomatyzovanoho elektropryvodu. Teoriia y praktyka, 30, 505–506. (In Ukraine).

3. Petras, I., Podlubny, I., O'Leary, P. (2002). Analogue realization of Fractional Order Controllers. FBERG, Tech. University of Kosice, 84. (In English).

4. Busher, V., Yarmolovich, V. (2014). Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential, Electrotechnical and Computer Systems, 15 (91), 52–56. (In English).

5. Pipes, L. A. (1956). Computation of the impedances of nonuniform lines by a direct method. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics, 75 (5), 551–554. doi: 10.1109/tce.1956.6372426. (In English).

6. Busher, V. V. (2012). Syntez rehuliatorov dlia system upravleniya klymatycheskymy ustanovkamy [Synthesis of controllers for air conditioning control systems]. Elektrotekhnichni ta komp'iuterni systemy, 05 (81), 125–130. (In Russian).

7. Tykhonov, A. N., Samarskyi, A. A. Uravneniia matematycheskoi fyzyky. [Partial Differential Equations]. Available at: <http://pskgu.ru/ebooks/tihonov.html>. (In Russian).

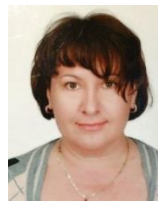
8. Kohan, Y. Sh. Fyzycheskye analohyy – ne analohyy, a zakon pryrodi [Physical analogy – no analogy, and the law of nature]. Available at: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/1362.pdf>. (In Russian).

9. Bohdanov, S. N., Burtsev, S. Y., Yvanov, O. P., Kupryianova, A. V. (1999). Kholodylnaia tekhnika. Kondytsyonyrovanye vozdukh. Svoistva veshchestv. [Refrigeration. Air conditioning. The properties of substances], 320. (In Russian).

10. Busher, V., Yarmolovich, V. (2016). Development of the model of forced-exhaust ventilation for passenger carriages, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729–3774. Energy-saving technologies and equipment, 1/8 (79), 40–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59444. (In Russian).



Бушер
Виктор Владимирович,
д.т.н, проф. каф. ЭМСКУ
Одесского нац. политехн. ун-та,
т.+38(050)3908809
victor.v.bousher@gmail.com



Ярмолевич
Виктория Ярославовна
ст. преп. каф. ТООЭ Одесского
нац. политехн. ун-та,
т.+38(050)5140064
vyy0147@gmail.com



Власов
Николай Алексеевич
доц. каф. ЭМСКУ Одесского
нац. политехн. ун-та,
т.+38(050)9219291
ka_ri_@mail.ru