

Пути улучшения характеристик климатических систем пассажирского подвижного состава

Г. М. СТОЯКИН¹, А. В. КОСТИН², С. Н. НАУМЕНКО³

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Проектное бюро АПЕКС» (ООО «Проектное бюро АПЕКС»), Москва, 115114, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

³ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Для приведения качества микроклимата в вагоне в соответствие с международными требованиями необходимо увеличить объем поступающего в него свежего воздуха до 20–35 м³/ч на человека. Применение в установке кондиционирования воздуха вагона теплонасосной рекуперации теплоты вытяжного воздуха в сочетании с сохранением его подпора дает возможность без увеличения массы и габаритов оборудования данной установки и подвода значительного количества дополнительной электроэнергии обеспечить подогрев поступающего в вагон свежего воздуха, сохраняя при этом защиту от пыли. Проблема повышенного гидравлического сопротивления установки решается за счет использования в качестве теплообменной поверхности испарителя теплового насоса пучка поперечно обтекаемых труб с продольными турбулизаторами гидравлического пограничного слоя.

Ключевые слова: установка кондиционирования воздуха; пассажирский вагон; рекуперация; рециркуляция; тепловой насос; теплообменник

Введение. Пассажирский подвижной состав эксплуатируется в различных климатических условиях, расчетная температура наружного воздуха составляет от –40 до +40 °С. Параметры микроклимата, допустимые для продолжительного пребывания людей (самый продолжительный маршрут составляет около 6 дней), достигаются за счет установки систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Кроме температуры важнейшее значение для пассажиров и работников поездных бригад имеет состав воздуха в салонах вагонов, содержание вредных веществ в котором снижается за счет подачи наружного воздуха, прошедшего предварительную подготовку в установках кондиционирования воздуха (УКВ). Подготовка воздуха — процесс, требующий значительных энергетических ресурсов. При этом вес и габариты агрегатов, применяемых для обеспечения требуемых параметров микроклимата (установка отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха), и энергетических установок (электрогенератор, котел, электропреобразователи) ограничены массогабаритными характеристиками кузова вагона. Таким образом, важнейшей задачей при разработке климатических

систем становится поиск решений, позволяющих обеспечить максимальное качество воздуха в пассажирских вагонах с минимальными энергетическими затратами на его обработку, соблюдая при этом установленные габариты оборудования.

Оценка качества воздуха в пассажирских вагонах. Для обеспечения комфортных и безопасных для пассажиров и поездных бригад параметров воздуха в салонах и служебных помещениях пассажирских вагонов предусматривается механическая приточная вентиляция.

В соответствии с требованиями, изложенными в санитарных правилах СП 2.5.1198–03, СП 2.5.2647–10 [1, 2] и других нормативных документах, система вентиляции должна быть рассчитана на непрерывную работу для обеспечения подачи наружного воздуха летом не менее 20 м³/ч и зимой не менее 10 м³/ч на каждое место в вагоне. При этом концентрация CO₂ в купе не должна превышать 0,1 об. % (1000 ppm).

Однако расчеты показывают, что при количестве пассажиров, равном пассажироместности вагона, для обеспечения безопасных параметров воздушной среды, соответствующих классу качества воздуха IDA 2 (среднее качество внутреннего воздуха по концентрации CO₂: 400–600 ppm сверх содержания в наружном воздухе [3]), необходимо увеличение притока наружного воздуха в диапазоне 20–35 м³/ч на человека. Согласно стандарту ASHRAE 62-1–2004 [4] такое качество воздуха соответствует 80–85 % пассажиров, удовлетворенных качеством воздуха (расчетное значение для выборки людей, находящихся в состоянии покоя). В табл. 1 представлена общепринятая классификация качества воздуха в помещениях по концентрации CO₂, а также соответствующие различным классам качества объемы подачи наружного воздуха и показатель воспринимаемого качества воздуха [3].

Также одной из важных проблем для безопасности воздушной среды на железнодорожном транспорте является высокая запыленность, которая может достигать более 100 мг/м³ [5, 6]. Для уменьшения содержания пыли в атмосфере пассажирских ваго-

■ E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru (С. Н. Науменко)

нов подаваемый в салон наружный воздух проходит предварительную обработку в фильтрах различной конструкции. Дополнительно для борьбы с попаданием пыли через неплотности ограждающих конструкций кузова в пассажирских вагонах локомотивной тяги поддерживается незначительное избыточное давление воздуха (подпор) на уровне 15 Па. Аналогичное решение для защиты от проникновения загрязненного воздуха в помещения реализуется в промышленном и в гражданском строительстве. Превышение указанного значения нежелательно, так как при увеличении избыточного давления неизбежно происходит вытеснение внутреннего воздуха в ограждающие конструкции кузова и последующая конденсация содержащейся в нем влаги.

Минимальный подпор обеспечивается за счет совместной работы приточной (приточно-рециркуляционной) механической и вытяжной естественной вентиляции. Применяемая в пассажирском подвижном составе система приточно-вытяжной механической вентиляции не может обеспечить такой подпор.

Использование теплового насоса для рекуперации теплоты вытяжного воздуха. В настоящее время безопасности и комфорту пассажиров уделяется все большее внимание, и актуальной задачей является создание климатической системы, обеспечивающей соответствие воздушной среды в помещениях пассажирского подвижного состава современным требованиям по всем показателям. Это один из важнейших критериев, влияющих на оценку пассажирами комфортности условий перевозки, а следовательно, на выбор ими типа транспортного средства для осуществления поездок. При этом надо учитывать, что увеличение расхода наружного приточного воздуха и его обработка приводят к повышению затрат электроэнергии (для выполнения требования по содержанию CO_2 необходимо увеличение мощности нагревателей в 1,5–2 раза), а следовательно, и себестоимости перевозок.

Возможными источниками дополнительного нагрева воздуха могут являться подвагонная электрическая магистраль, отопительный теплогенератор вагона, теплота приточного наружного воздуха и воздуха, удаляемого из вагона. Сравнение эффективности применения этих источников приведено в табл. 2.

Как видно из табл. 2 снижение дополнительно расхода электроэнергии, по сравнению с прямым нагревом воздуха, достигается при использовании рекуперации вытяжного воздуха в теплообменниках и при применении УКВ в режиме теплового насоса. Однако все рассмотренные теплообменники обладают значительным сопротивлением и не могут быть установлены в системе вытяжной естественной вентиляции. Наиболее интересным является

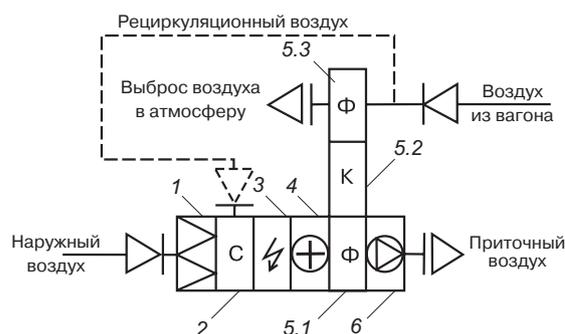
Таблица 1

Классификация качества воздуха

Table 1

Air quality classification

Класс (качество воздуха) [3]	Содержание CO_2 в помещениях сверх содержания в наружном воздухе, ppm [3]		Значение расхода наружного воздуха на человека по косвенной системе классификации, $\text{м}^3/\text{ч}$ [3]	Воспринимаемое качество воздуха PDI
	Типовые пределы	Типовые значения		
IDA 1 (высокое)	< 400	350	72 (>54)	< 15
IDA 2 (среднее)	400–600	500	45 (36–54)	15–20
IDA 3 (допустимое)	600–1000	800	39 (22–36)	20–30
IDA 4 (низкое)	> 1000	1200	18 (< 22)	> 30



Функциональная схема обработки воздуха в УКВ с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха:

1 — фильтр; 2 — камера смешения наружного и рециркуляционного воздуха; 3 — электрокалорифер; 4 — жидкостный калорифер; 5.1 — фреоновый теплообменник (испаритель в режиме охлаждения, конденсатор в теплонасосном режиме); 5.2 — оборудование фреонového контура; 5.3 — фреоновый теплообменник (конденсатор в режиме охлаждения, испаритель в теплонасосном режиме); 6 — приточный вентилятор (подает воздух в вагон)

Functional diagram of the air condition in an air conditioning installation (ACI) with the recovery of the heat of the exhaust air:

1 — filter; 2 — chamber for mixing external and recirculated air; 3 — electric heater; 4 — liquid air heater; 5.1 — freon heat exchanger (evaporator in cooling mode, condenser in heat pump mode); 5.2 — equipment of the freon circuit; 5.3 — freon heat exchanger (condenser in cooling mode, evaporator in heat pump mode); 6 — supply fan (supplies air to the car)

вариант с применением УКВ в режиме теплового насоса. Такая установка, созданная специалистами ЗАО «ЛАНТЕП» и АО «ВНИИЖТ», показала достаточно высокую эффективность в эксплуатации. В ней

Таблица 2

Сравнение источников дополнительной энергии для нагрева приточного наружного воздуха*

Table 2

Comparison of sources of additional energy for heating the supply air*

Источник нагрева	Регулирование мощности нагрева	Дополнительное сопротивление в системе нагрева, Па	Минимальная температура работы, °С	Снижение дополнительного расхода электроэнергии по сравнению с прямым нагревом, %	Примечание
Электроснабжение от подвагонной магистрали 3 кВ (прямой нагрев воздуха)	Изменение количества включенных нагревательных элементов	нет	ниже –40	нет	Приводит к увеличению расхода энергии, невозможно автономное теплоснабжение вагона
Отопительный теплогенератор вагона (прямой нагрев воздуха)	Изменение параметров теплоносителя (качественно-количественное)	нет	ниже –40	нет	Приводит к повышению расхода энергии, значительное увеличение массы вагона
Использование теплоты вытяжного воздуха с помощью пластинчатых теплообменников	Байпасирование и применение регулирующих клапанов	100–1000	–21	50–65 зависит от температуры теплоносителей	
Использование теплоты вытяжного воздуха с помощью роторных теплообменников	Байпасирование, применение регулирующих клапанов, изменение скорости вращения ротора	100–300	не ниже –40	65–90 зависит от температуры теплоносителей	Высокие затраты на обслуживание
Использование теплоты вытяжного воздуха с помощью трубчатых теплообменников с промежуточным теплоносителем (антифризом)	Применение трехходового регулирующего клапана или частотное регулирование скорости насоса	150–500	–28,1 (40 % этиленгликоль) –22,2 (40 % пропиленгликоль) –55 (30 % CaCl ₂)	40–70	Возможно размещение теплообменников на удалении друг от друга
Использование теплоты наружного воздуха с применением УКВ в режиме теплового насоса	Частотное регулирование тока питания компрессора	нет	–15	52	Характеристики УКВ ПВ(Т) ЗАО «ЛАНТЕП»

* характеристики приведены по [5, 7, 8, 9, 10, 11] при равенстве расходов приточного и вытяжного воздуха через теплообменник.

для нагрева приточного воздуха используется теплота наружного воздуха, имеется возможность как нагрева, так и охлаждения, не требуется дополнительного оборудования, значительно увеличивающего вес вагона. Однако серьезным недостатком ее работы является отсутствие возможности отказаться от применения рециркуляционного воздуха, ухудшающего микроклимат в вагоне.

В качестве решения данной проблемы предлагается рассмотреть возможность применения в УКВ вагона теплонасосной рекуперации теплоты не наружного, а вытяжного воздуха в сочетании с сохра-

нением его подпора для защиты от попадания пыли в помещения вагона. Такое решение позволит в большинстве режимов работы УКВ полностью отказаться от рециркуляции воздуха.

Функциональная схема обработки воздуха в предлагаемой УКВ приведена на рисунке. Испаритель теплового насоса (конденсатор кондиционера) устанавливается в вытяжном канале вагона. Решить проблему повышенного гидравлического сопротивления установки можно разными путями, например посредством изменения геометрии поверхности испарителя, как это предложено в [12] для

использования теплового насоса в вентиляционных шахтах метрополитена. Но наиболее рациональным решением является использование в качестве теплообменной поверхности испарителя пучка поперечно обтекаемых труб с продольными турбулизаторами гидравлического пограничного слоя. Как показано в [13, 14, 15], установка таких труб способствует значительному снижению гидравлического сопротивления пучка (по сравнению с гладкотрубной поверхностью и тем более с поверхностью из оребренных труб) без снижения теплообмена, что позволит разработать теплообменник с минимальным сопротивлением. Тем самым нет необходимости использования принудительной тяги, достаточно ограничиться минимальным подпором — 15 Па. На рисунке пунктиром показана рециркуляция воздуха, возможная в режиме его охлаждения в летний период. При работе в зимний период по предлагаемой схеме нет необходимости в рециркуляции воздуха, так как его теплота утилизируется в теплообменнике 5.3 (см. рисунок) и передается воздуху, подаваемому в вагон.

Заключение. Для приведения качества микроклимата в вагоне в соответствие с международными требованиями необходимо увеличить объем поступающего в него свежего воздуха до 20–35 м³/ч на человека, и при этом концентрация СО₂ будет на уровне 1000 ppm. Применение в УКВ вагона теплонасосной рекуперации теплоты вытяжного воздуха в сочетании с сохранением его подпора дает возможность без увеличения массы и габаритов оборудования УКВ и подвода значительного количества дополнительной электроэнергии обеспечить подогрев поступающего в вагон свежего воздуха, сохраняя при этом защиту от пыли.

Проблему повышенного гидравлического сопротивления УКВ возможно решить за счет использования в качестве теплообменной поверхности испарителя теплового насоса пучка поперечно обтекаемых труб с продольными турбулизаторами гидравлического пограничного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 2.5.1198–03. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]: утв. главным государственным санитарным врачом РФ от 3 марта 2003 года; дата введения 3 июня 2003 года; зарегистрировано в Минюсте РФ 1 апр. 2003 г., регистрац. № 4348: (с изменениями на 10 июня 2016 г.). URL: <http://doc.rzd.ru>. (дата обращения: 05.09.2019).
2. СП 2.5.2647–10. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Изменения и дополнения № 2 к СП 2.5.1198–03 [Электронный ресурс]: утв. по-

становлением главного государственного санитарного врача РФ от 16 июня 2010 г. № 68; дата введения 12 июля 2010 г.: зарегистрировано в Минюсте РФ 7 июля 2010 г., регистрац. № 17750. URL: <https://rg.ru/2010/07/16/sanpravila-dok.html> (дата обращения: 05.09.2019).

3. ГОСТ Р ЕН 13779–2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. М.: Стандартинформ, 2008. 49 с.
4. ASHRAE Standart 62-1–2004. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality / American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329. ISBN 1-931862-80-X.
5. Жариков В. А. Климатические системы пассажирских вагонов. М.: Трансинформ, 2006. 135 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов ж.-д. транспорта: в 2 ч. Ч. 1. Безопасность на железнодорожном транспорте / под ред. К. Б. Кузнецова. М.: Маршрут, 2005. 576 с.
7. Губина И. А., Горшков А. С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209–219.
8. Каратаева Е. С., Казанцева Н. С. Исследование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 23. С. 320–321.
9. Вишневецкий Е. П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 4. С. 90–101.
10. Беккер А. Системы вентиляции. М.: Техносфера: Евроклимат, 2005. 232 с. (Библиотека климатехника).
11. Белова Е. М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. М.: Евроклимат, 2006. 400 с.
12. Система использования сбросного тепла метрополитена: пат. № 120753 Рос. Федерация: МПК F24F 12/00(2006.01), F24D 15/04(2006.01) / А. Б. Косарев [и др.]. № 2012117888/07; заявл. 02.05.2012; опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27.
13. Стоякин Г. М. Снижение гидравлического сопротивления трубных теплообменных аппаратов с продольными турбулизаторами пограничного слоя // Информация и космос. 2011. № 2. С. 47–49.
14. Минаев Б. Н., Костин А. В., Стоякин Г. М. О влиянии искусственной турбулизации пограничного слоя на гидравлическое сопротивление пучка круглых труб, омываемых поперечным потоком вязкой среды // Наука и техника транспорта. 2012. № 2. С. 47–52.
15. Стоякин Г. М. Турбулизация улучшает теплообмен // Мир транспорта. 2012. № 3. С. 70–73.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СТОЯКИН Григорий Михайлович, ведущий инженер по отоплению, вентиляции и кондиционированию, ООО «Проектное бюро АПЕКС»

КОСТИН Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта», ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

НАУМЕНКО Сергей Николаевич, д-р техн. наук, начальник отдела Центра электрификации и теплоэнергетики, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 07.06.2019 г., актуализирована 28.09.2019 г., принята к публикации 19.10.2019 г.

Для цитирования: Стоякин Г. М., Костин А. В., Науменко С. Н. Пути улучшения характеристик климатических систем пассажирского подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 1. С. 34–38. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-34-38>.

Ways to improve characteristics of the climate systems of passenger rolling stock

G. M. STOYAKIN¹, A. V. KOSTIN², S. N. NAUMENKO³

¹Limited Liability Company "APEX Design Bureau" (LLC "APEX Design Bureau"), Moscow, 115114, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University Transport" (FGAOU VO RUT (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

³Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Passenger rolling stock is operated in various climatic conditions, calculated outside temperature can vary from –40 to +40 °C. The microclimate parameters permissible for a long stay of people (the longest route is about 6 days) are achieved by installing ventilation, air conditioning and heating systems. Currently, more and more attention is being paid to the safety and comfort of passengers, and the urgent task is to create a climate system that ensures that the air environment in the premises of passenger rolling stock is up to date with all requirements. To ensure safe parameters of the car air environment, it is necessary to increase the influx of outdoor air to 20–35 m³/h per person, which allows achieving a CO₂ content of 1000 ppm. It should be taken into account that an increase in the flow of external air and its conditioning leads to an increase in the cost of electricity (in order to fulfill the requirement for the content of CO₂, an increase in the power of the heaters by 1.5–2 times is required), and therefore, the cost of transportation. Comparison of sources of additional energy, the use of which can increase the flow of external air into the car with minimal additional loads on the power supply system, showed the greatest efficiency of the installation with a heat pump that uses the heat of the exhaust air to heat the supply air in combination with maintaining air back-up for protection against dust. Proposed technical solution allows to increase the level of comfort in passenger cars with minimal energy costs for air processing and equipment dimensions. The problem of increased hydraulic resistance of the installation is solved by using a beam of transversely streamlined pipes with longitudinal turbulators of a hydraulic boundary layer as the heat exchange surface of the evaporator of the heat pump. This surface will allow to develop a heat exchanger with minimal resistance and thereby get away from the need for forced traction, limiting to a minimum back pressure of 15 Pa.

Keywords: air conditioning installation; car; recuperation; recirculating; heat pump; heat exchanger

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-34-38>

REFERENCES

1. SP 2.5.1198–03. *Sanitary rules for the organization of passenger transportation in railway transport*. Approved by Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of March 3, 2003, reg. No. 4348 (in Russ.). URL: <http://doc.rzd.ru> (retrieved on 05.09.2019).
2. SP 2.5.2647–10. *Sanitary rules for the organization of passenger transport by rail. Changes and additions No. 2 to SP 2.5.1198–03*. Approved by Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 68 of June 16, 2010, reg. No. 17750 (in Russ.). URL: <https://rg.ru/2010/07/16/sanpravila-dok.html> (retrieved on 05.09.2019).
3. GOST R EN 13779–2007. *Ventilation in non-residential buildings. Technical requirements for ventilation and air conditioning systems*. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 49 p.
4. ASHRAE Standard 62-1–2004. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329. ISBN 1-931862-80-X.
5. Zharikov V. A. *Climatic systems of passenger cars*. Moscow, Transinform Publ., 2006, 135 p.

■ E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru (S. N. Naumenko)

6. Kuznetsova K. B. *Life safety: reference book for universities of railway transport in 2 parts. Part 1. Safety in railway transport*. Moscow, Marshrut Publ., 2005, 576 p.

7. Gubina I. A., Gorshkov A. S. *Energy conservation in buildings during heat recovery of exhaust air*. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy, 2015, no. 4 (31), pp. 209–219.

8. Karataeva E. S., Kazantseva N. S. *Research of the supply and exhaust ventilation system with recovery of thermal energy*. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2014, no. 23, pp. 320–321.

9. Vishnevskiy E. P. *Rekuperatsiya teplovoy energii v sistemakh ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Recovery of thermal energy in ventilation and air conditioning systems]. Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie [Plumbing, heating, air conditioning], 2011, no. 4, pp. 90–101.

10. Bekker A. *Sistemy ventilyatsii* [Ventilation systems]. Moscow, Tekhnosfera: Evroklimat Publ., 2005, 232 p.

11. Belova E. M. *Tsentral'nye sistemy konditsionirovaniya vozdukh* v zdaniyakh [Central air conditioning systems in buildings]. Moscow, Evroklimat Publ., 2006, 400 p.

12. Kosarev A. B. System of using waste heat from the subway. Patent No. 120753; publ. 27.09.2012, Bull. No. 27 (in Russ.).

13. Stoyakin G. M. *Snizhenie gidravlicheskogo soprotivleniya trubnykh teploobmennyykh apparatov s prodol'nymi turbulizatorami pogranichnogo sloya* [Decrease in hydraulic resistance of pipe heat exchangers with longitudinal turbulators of the boundary layer]. Informatsiya i kosmos [Information and Space], 2011, no. 2, pp. 47–49.

14. Minaev B. N., Kostin A. V., Stoyakin G. M. *O vliyaniy iskusstvennoy turbulizatsii pogranichnogo sloya na gidravlicheskie soprotivlenie puchka kruglykh trub, omyvaemykh poperechnym potokom vyazkoy sredy* [Effect of artificial turbulence in the boundary layer in the flow resistance of the beam round tubes, washed by cross-flow of a viscous medium]. Nauka i tekhnika transporta [Science and technology for the transport], 2012, no. 2, pp. 47–52.

15. Stoyakin G. M. *Turbulizatsiya uluchshaet teploobmen* [Turbulization improves heat transfer]. Mir transporta [World of Transport and Transportation], 2012, no. 3, pp. 70–73.

ABOUT THE AUTHORS

Grigoriy M. STOYAKIN,

Leading Engineer on Heating, Ventilation and Air Conditioning, LLC "APEX Design Bureau"

Aleksander V. KOSTIN,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Railway power engineering", FGAOU VO RUT (MIIT)

Sergey N. NAUMENKO,

Dr. Sci. (Eng.), Head of Department of the Center for Electrification and heat power engineering, JSC "VNIIZhT"

Received 07.06.2019

Revised 28.09.2019

Accepted 19.10.2019

For citation: Stoyakin G. M., Kostin A. V., Naumenko S. N. Ways to improve characteristics of the climate systems of passenger rolling stock. Vestnik of the Railway Research Institute. 2020. 79 (1): 34–38 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-34-38>.