

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.45.042.5:620.92

В. А. ГАБРИНЕЦ<sup>1\*</sup>, И. В. ТИТАРЕНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта titarenko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-5692-0135

### КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Цель.** В работе необходимо рассмотреть концепцию создания оптимального по энергозатратам пассажирского вагона с использованием нетрадиционных источников энергии и со стенками, имеющими повышенные теплоизоляционные свойства. **Методика.** Анализируются виды тепловых потерь, а также их величина. Для обогрева рассматриваются альтернативные источники энергии. Анализируется их возможный вклад в общий энергобаланс пассажирского вагона. Количественно оцениваются влияние на конструкцию вагона повышенной теплоизоляции стенок, поступления солнечной энергии через прозрачные окна и энерговыделения самих пассажиров. **Результаты.** При максимально возможном использовании всех нетрадиционных источников энергии и рациональных схемных решений систем кондиционирования и обогрева затраты энергии на эти нужды для пассажирского вагона могут быть снижены на 40–50 %. **Научная новизна.** Впервые предложено использовать новые виды энергии для поддержания теплового баланса вагона в зимний период, а также предложены новые схемные решения для системы климатизации вагона как в зимний, так и в летний периоды. **Практическая значимость.** Введение предложенных схемных решений и подходов к обеспечению комфортных условий для пассажиров могут быть реализованы на уже существующем парке пассажирских вагонов и не требуют существенного переоборудования уже установленных систем.

*Ключевые слова:* пассажирский вагон; климатизация; тепловой режим; солнечная энергия; теплообменник

#### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов на транспорте. Это в первую очередь связано с глобальным энергетическим кризисом, вызванным постепенным истощением традиционных энергоресурсов и в связи с быстрорастущими ценами на традиционные источники энергии: газ, нефть, уголь. С другой стороны, важной проблемой является обеспечение

комфортных условий перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте [3, 7, 8]. Это требует затрат энергии на обогрев вагона в холодный период года и его кондиционирование в летний период. К этим затратам добавляются затраты энергии на вентиляцию вагонов [4, 5, 9]. Это в свою очередь требует оценки энергоэффективности систем климатизации [1, 2, 6, 11].

### Цель

В работе предлагаются подходы к созданию оптимального по энергозатратам пассажирского вагона с использованием всех возможных в пассажирском вагоне источников энергии совместно с мероприятиями по их энергоэффективному использованию. С этой целью рассмотрены дополнительные источники энергии, которые включают: солнечную энергию; энергию, выделяемую пассажирами; энергию торможения [10, 12–14], вторичную энергию при вентиляции. Наряду с этими мероприятиями предлагается повышение качества теплоизоляции пассажирского вагона.

### Методика

В этой работе анализируются виды тепловых потерь, а также их величина. Для обогрева рассматриваются альтернативные источники энергии. Анализируется их возможный вклад в общий энергобаланс пассажирского вагона. Оценивается количественно влияние на конструкцию вагона повышенной теплоизоляции стенок, поступления солнечной энергии через прозрачные окна и энерговыделения самих пассажиров.

### Результаты

Известно, что при идеальной теплоизоляции мы будем иметь «адиабатическое помещение», в котором потери тепла будут приближаться к нулю. Естественно, затраты на обогрев будут также минимальными. Однако такой вагон для своего создания потребует значительной теплоизоляции, что резко увеличит стоимость такого вагона.

Сохранение тепла в вагоне в зимнее время года зависит от состояния термоизоляции, качества ее укладки (объективные причины) и соблюдения режима отопления проводником вагона (субъективные причины). Для термоизоляции в ограждающих конструкциях кузовов вагонов, т. е. в крыше, стенах и полу, между наружной и внутренней обшивками, помещается слой теплоизоляционного материала, отличающегося пористым строением и, следовательно, малой плотностью (20...35 кг/м<sup>3</sup>), и низким коэффициентом теплопроводности (0,03...0,04) Вт/м·К.

Величину тепловых потерь пассажирского вагона  $Q_{\text{пот}}$  можно рассчитать, используя известное выражение:

$$Q_{\text{пот}} = \frac{F \Delta t}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_c} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь внешней поверхности вагона, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – разность температур между наружным воздухом и воздухом внутри вагона, °С;  $\alpha_g$ ,  $\alpha_c$  – коэффициенты теплоотдачи между воздухом и внутренней и внешней поверхностями вагона соответственно, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\delta_i$ ,  $\lambda_i$  – толщины и коэффициенты теплопроводности  $i$ -го слоя обшивки вагона, м и Вт/м·К.

Величина тепловых потерь пассажирского вагона при внутренней температуре 18 °С в зависимости от температуры внешней среды для различных значений теплоизоляции представлена на графике рис. 1.

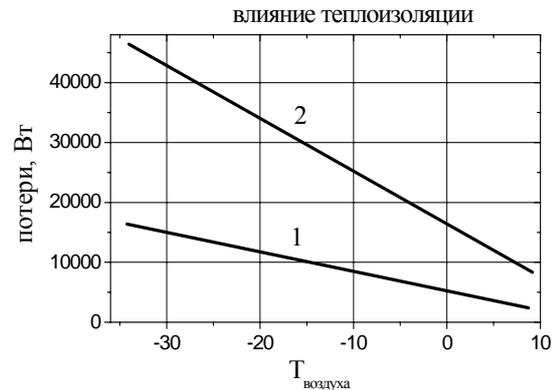


Рис. 1. Величина тепловых потерь стандартного пассажирского вагона в зависимости от температуры внешнего воздуха (1 – 1 Вт/м·К; 2 – 0,2 Вт/м·К)

Fig. 1. Quantity of thermal losses in the standard passenger car depending on the temperature of outside air (1 – 1 W/m·K; 2 – 0.2 W/m·K)

При этом средняя эффективная теплопроводность стенок вагона составляла 1 Вт/м·К град, коэффициенты теплоотдачи внутри и снаружи вагона принимались 5 Вт/м<sup>2</sup>·К и 50 Вт/м<sup>2</sup>·К соответственно. Размеры вагона 23 950×3 058×(4 355–1 070) мм. Если снизить теплопроводность стенок вагона до значения 0,2 Вт/м·К, то величина тепловых потерь уменьшится приблизительно в 3 раза для соот-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ветствующих условий. Таким образом, наиболее эффективным мероприятием по снижению тепловых потерь является улучшение теплоизоляционных свойств стенок вагона.

В идеальном, «адиабатическом» вагоне основными тепловыми потерями будут потери на вентиляцию. Если принять количество воздуха на вентиляцию в соответствии с нормами СНиП (100 м<sup>3</sup>/час и 60 м<sup>3</sup>/час на человека), то для вагона с 36 пассажирами и двумя проводниками при изменении температуры наружного воздуха в пределах (+ 15°С...– 30 °С) потребуются тепловая мощность в пределах 40 000...70 000 Вт. Тепловая мощность, затрачиваемая на вентиляцию, рассчитывалась по соотношению:

$$Q_{\text{вен}} = [V \rho c_p (t_{\text{окр}} - 18) n] / 3600 \quad (2)$$

где  $Q_{\text{вен}}$  – мощность на вентиляцию, Вт;  $V$  – норма расхода воздуха на одного человека, м<sup>3</sup>/час;  $\rho$  – плотность воздуха при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кг;  $c_p$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг·К;  $t_{\text{окр}}$  – температура окружающего воздуха, °С;  $n$  – количество пассажиров в вагоне, чел.

Изменение величины тепловой мощности на вентиляции в зависимости от температуры наружного воздуха представлено на рис. 2.

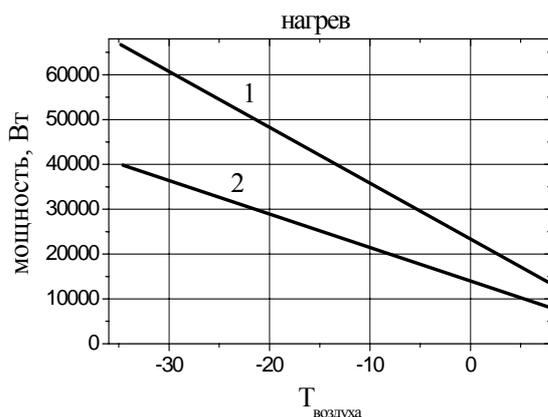


Рис. 2. Изменение величины тепловой мощности, затрачиваемой на вентиляцию в зависимости от температуры наружного воздуха для двух значений норм расхода 100 м<sup>3</sup>/час и 60 м<sup>3</sup>/час на человека

Fig. 2. Change of the thermal power value that is spent for ventilation depending on the outside air temperature for two values of the consumption rates 100 м<sup>3</sup>/hour and 60 м<sup>3</sup>/hour for person

Наружный воздух, подаваемый на вентиляцию, нагревается до температуры 18 °С. Такие значительные мощности, затрачиваемые на нагрев вентиляционного воздуха, могут быть значительно снижены при установке рекуперативного теплообменника, в котором уходящий из вагона воздух обменивается теплом с подаваемым снаружи воздухом. Для реализации этого схемного решения необходимо установить эффективный пластинчато-ребристый теплообменник по тракту подачи-отвода вентилируемого воздуха. Этот теплообменник будет использовать «вторичные» энергоресурсы пассажирского вагона. Так как в таком теплообменнике будет иметь место равенство водяных эквивалентов «горячего» и «холодного» теплоносителей, то эффективность такого теплообменника будет составлять приблизительно 70 %. То есть затраты энергии на вентиляцию могут быть уменьшены на эту величину.

Следующим фактором, который должен быть учтен при рассмотрении теплового баланса пассажирского вагона, является энерго- и влаговыделение самих пассажиров  $Q_{\text{пас}}$ . Влага выделяется в результате испарения со свободной поверхности воды и влажных поверхностей материалов и кожи, в результате дыхания людей. Количество влаги, выделяемое людьми  $w$  (см. табл. 1), г/ч, определяется по формуле:

$$W = n w, \quad (3)$$

где  $n$  – число пассажиров в вагоне, чел.;  $w$  – количество влаги, выделяемое одним человеком, г/ч.

Количество энергии, выделяемое человеком в спокойном состоянии пассажира при 18 °С, будет составлять приблизительно  $q = 100$  Вт. Общее количество тепла, выделяемое пассажирами в вагоне, можно рассчитать по соотношению:

$$Q_{\text{пас}} = n q. \quad (4)$$

36 пассажиров будут выделять 3 600 Вт тепловой мощности. Дополнительным источником энергии является теплота конденсации водяных паров, выдыхаемых человеком. Количество водяных паров выделяемых человеком составляет 100 грамм в час. Количество тепла, получаемое при конденсации паров, выделяемых пассажирами, можно рассчитать по соотношению:

## Количество тепла и влаги, выделяемое человеком

Table 1

## Heat and moisture quantity secreted by a man

Характер выполняемой работы	Тепло, Вт				Влага, г/ч	
	полное		явное		при 10 °С	при 35 °С
	при 10 °С	при 35 °С	при 10 °С	при 35 °С		
Умственная	160	93	140	16	30	115
Физическая						
Легкая	180	145	150	8	40	200
Средняя	215	195	165	8	70	280

$$Q_{\text{кон}} = (w r) / 3\,600, \quad (5)$$

где  $r$  – удельная теплота конденсации водяного пара, равная 2 258 кДж/кг.

Конденсация этих паров позволяет в секунду получить незначительное количество тепла. Однако выделяемая в процессе конденсации влага должна учитываться при проектировании рекуперативного теплообменника из-за ее возможного замерзания в зимних условиях.

Следующим фактором, который должен приниматься во внимание при рассмотрении теплового баланса пассажирского вагона, является солнечная радиация. Количество солнечной радиации, поступающей извне через стеклянные окна вагона, зависит от времени суток, сезона, облачности. Интенсивность солнечной радиации на границе земной атмосферы является постоянной величиной (солнечная постоянная) и составляет 1,35 кВт/м<sup>2</sup>. Видимый свет занимает узкий интервал длин волн, всего от 0,40 до 0,75 мкм. Однако в этом интервале заключается почти половина всей солнечной лучистой энергии (46 %). Почти столько же (47 %) приходится на инфракрасные лучи, а остальные 7 % – на ультрафиолетовые. Интенсивность солнечной радиации на поверхности Земли зависит от длины пути через атмосферу и определяется географическим положением точки измерения, а также ее высотой над уровнем моря. Эти зависимости представлены на рис. 3 <http://www.geleo.boom.ru/pict01> в виде графиков, построенных по данным [8]. При этом существенное значение имеет состояние атмосферы (облачность, запыленность).

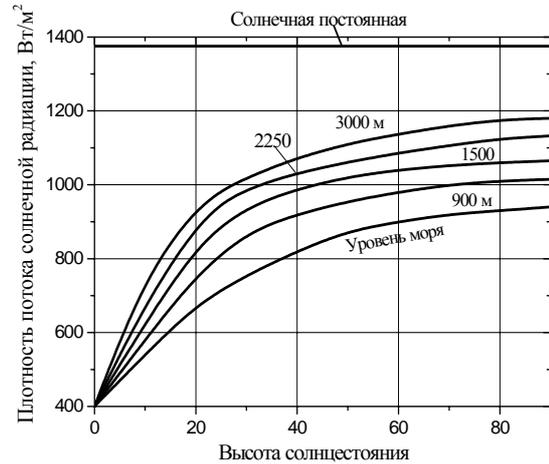


Рис. 3. Графики зависимости плотности потока прямой солнечной радиации от высоты и угла падения

Fig. 3. Dependency diagrams of the current density of direct solar radiation on the height and incidence angle

Солнечная радиация поступает во внутренний объем пассажирского вагона в виде трех составляющих: прямого излучения, рассеянного и отраженного от поверхности Земли

$$Q_{\text{сол}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}} + Q_{\text{от}}. \quad (6)$$

Предполагая равномерное убывание солнечной радиации во времени, мы можем оценить среднесуточное поступление радиации во внутренний объем вагона. Величина прямой солнечной радиации может быть рассчитана по соотношению:

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$Q_{\text{пр}} = I_0 (\tau) F \cos \alpha, \quad (7)$$

где  $I_0$  – интенсивность радиации;  $F$  – площадь окон вагона (21,4 м<sup>2</sup>),  $\cos \alpha$  – косинус угла падения прямого и отраженного солнечного излучения.

Для рассеянного излучения  $Q_{\text{рас}}$  этот угол не имеет значения. Величина его рассчитывается по соотношению (6) только без значения косинуса. В отопительный сезон в октябре, ноябре, марте, апреле средняя интенсивность солнечной радиации, состоящей из прямого солнечного и диффузного излучения, составляет приблизительно 350...450 Вт/м<sup>2</sup>. Предварительные расчеты показывают, что величина солнечной радиации в зависимости от освещаемой площади окон, времени года и угла падения может составлять 6 000...8 000 Вт. Для более полного использования потенциала солнечной радиации требуется соответствующая оптимизация спектральных характеристик стекол окон. Оптимизация предполагает увеличение коэффициента пропускания коротковолнового солнечного излучения и соответствующее уменьшение коэффициента пропускания длинноволнового излучения. Длинноволновое излучение характерно для собственного излучения нагретых поверхностей внутреннего объема вагона. В соответствии с документами температура поверхностей, ограждающих внутренние помещения (за исключением окон), должна быть не ниже 15 °С. Эти поверхности совместно с объемом воздуха, нагретого до температуры не ниже 18 °С, создают длинноволновое излучение, максимум энергии которого приходится на длины волн 10 000...15 000 нм. Именно излучение с такой длиной волны должно блокироваться, спектральными свойствами окон вагона для создания тепличного эффекта.

#### Научная новизна и практическая значимость

Таким образом, суммарный тепловой баланс пассажирского вагона может быть описан уравнением:

$$Q_{\text{пот}} + Q_{\text{вен}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{пас}} + Q_{\text{сол}}. \quad (8)$$

Соотношение (8) позволяет рассчитать затраты энергии на обогрев и вентиляцию пассажирского вагона с учетом действия только двух

энерговлияющих факторов: тепла пассажиров и энергии солнечного излучения. Влияние схемного решения проявится через уменьшения затрат энергии на вентиляцию. Впервые предложено использовать нетрадиционные источники энергии для поддержания требуемого температурного режима пассажирского вагона. Впервые предлагаются новые схемные решения как для организации вентиляции и кондиционирования, так и для обеспечения теплового режима вагона.

#### Выводы

Существующие в настоящее время на «Укрзалізнице» удельные затраты энергии на поддержание теплового режима пассажирского вагона зимой и кондиционирование его летом, являются существенно завышенными в свете требований сегодняшнего дня. Это ведет к существенному расходу топливно-энергетических ресурсов для парка пассажирских вагонов Украины в количестве 8 800 вагонов. Использование предлагаемых в работе мероприятий и схемных решений позволит снизить от 60 до 70 процентов эти затраты.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бартош, Е. Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1985. – 280 с.
2. Битюцкий, А. А. Анализ эффективности систем раздельного торможения для грузовых вагонов в России / А. А. Битюцкий, Д. Е. Клушанцев. – Наука и техн. трансп. – 2011. – № 2. – С. 8–15.
3. Буравой, С. Е. Тепловой режим пассажирского вагона на различных этапах эксплуатации / С. Е. Буравой, Е. С. Платунов, В. В. Царь // Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассаж. вагонах : сб. докл. науч. практ. семинара. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2001. – С. 58–71.
4. Габринец, В. А. Использование гидравлического тормоза в качестве источника тепловой энергии / В. А. Габринец // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 48–54.
5. Габрінець, В. О. Шляхи підвищення ефективності енергетичних підрозділів залізничного транспорту / В. О. Габрінець, Є. В. Христьян, І. В. Титаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 187–190.
6. Емельянов, А. Л. Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона [Электронный ресурс] / А. Л. Емельянов, С. Е. Буравой, Е. С. Платунов // Холодил. техника и кондиционирование. – 2007. – № 1. – Режим доступа: [www.refrigeration.openmechanics.com](http://www.refrigeration.openmechanics.com). – Загл. с экрана.
  7. Жариков, В. А. Климатические системы пассажирских вагонов / В. А. Жариков. – М. : ТРАНСИНФО, 2006. – 135 с.
  8. Китаев, Б. Н. Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов / Б. Н. Китаев. – М. : Транспорт, 1984. – 184 с.
  9. Матяш, Ю. И. Системы кондиционирования и водоснабжения пассажирских вагонов / Ю. И. Матяш, В. П. Ключа. – М. : ГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. – 286 с.
  10. Пигарев, В. Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха / В. Е. Пигарев, П. Е. Архипов. – М. : Маршрут, 2003. – 424 с.
  11. Скорик, Т. А. Оценочные критерии энергоэффективности систем акклиматизации / Т. А. Скорик, Е. К. Глазунова, Н. П. Воронцова // Трансп. – 2011 : тр. Всеросс. научно-практ. конф. – Ростов н/Д., 2011. – С. 336–338.
  12. Фаерштейн, Ю. О. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах / Ю. О. Фаерштейн, Б. Н. Китаев. – М. : Транспорт, 1984. – 272 с.
  13. Application in rail vehicles braking energy / Yany Jian, Li Fa Iany, Sony Rui-yany, Fany Yu. Tiedao Xuebao // J. China. Railway Soc. – 2011. – № 33 (2). – P. 26–33.
  14. Cordini, P. Performance characteristics of high-speed rail trains Pendolino. Das Projekt New Pendolino / Pino Cordini // ZEVrail Glas. Ann. – 2012. 136. – № 4. – P. 116–120.

В. О. ГАБРИНЕЦЬ<sup>1\*</sup>, І. В. ТИТАРЕНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта [gabrin62@mail.ru](mailto:gabrin62@mail.ru), ORCID 0000-0002-6115-7162

<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта [titarenko.igor@gmail.com](mailto:titarenko.igor@gmail.com), ORCID 0000-0002-5692-0135

## КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ЕНЕРГОВИТРАТАМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

**Мета.** У роботі необхідно розглянути концепцію створення оптимального за енерговитратами пасажирського вагона з використанням нетрадиційних джерел енергії та зі стінками, що мають підвищені теплоізоляційні властивості. **Методика.** Аналізуються види теплових втрат, а також їх розмір. Для обігріву розглядаються альтернативні джерела енергії, аналізується їх можливий внесок у загальний енергобаланс пасажирського вагона. Кількісно оцінюються вплив на конструкцію вагона підвищеної теплоізоляції стінок, надходження сонячної енергії через прозорі вікна та енерговиділення самих пасажирів. **Результати.** При максимально можливому використанні нетрадиційних джерел енергії та раціональних схемних рішень систем кондиціонування й обігріву витрати енергії на ці потреби для пасажирського вагона можуть бути знижені на 40-50%. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використання нових видів енергії для підтримки теплового балансу вагона в зимовий період, а також запропоновано нові схемні рішення для системи кліматизації вагона як в зимовий, так і в літній період. **Практична значимість.** Введення запропонованих схемних рішень і підходів до забезпечення комфортних умов для пасажирів можуть бути реалізовані на існуючому парку пасажирських вагонів і не вимагають істотного переобладнання вже встановлених систем.

*Ключові слова:* пасажирський вагон; кліматизація; тепловий режим; сонячна енергія; теплообмінник

V. A. GABRINETS<sup>1\*</sup>, I. V. TYTARENKO<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Heating Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

<sup>2\*</sup>Dep. «Heating Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail titarenko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-5692-0135

## CONCEPT OF THE MINIMUM ENERGY PASSENGER CAR WITH USE OF UNCONVENTIONAL ENERGY SOURCES

**Purpose.** The paper is aimed to consider the concept of creation of the minimum energy passenger car with use of nonconventional energy sources and the walls that have enhanced thermal insulation properties. **Methodology.** The types of heat losses, as well as their value were analyzed. The alternative sources of energy are considered for heating. Their potential contribution to the overall energy balance of the passenger car is analyzed. Impact on the car design of the enhanced wall thermal insulation, solar energy inflow through the transparent windows and energy release of passengers are quantitatively evaluated. **Findings.** With the maximum possible use of all unconventional energy sources and the rational scheme solutions of conditioning and heating systems energy the costs for these needs for a passenger car can be reduced by 40-50%. **Originality.** New types of energy to maintain the heat balance of the car in the winter period is proposed to use firstly. New schematics solutions for environmental control system of the car both in winter and in summer periods were offered. **Practical value.** Introduction of the proposed scheme solutions and approaches to ensure the comfortable conditions for passengers may be implemented on an existing park of passenger cars and do not require a major re-equipment of systems that have already been installed.

*Keywords:* passenger car; climatization; thermal regime; solar energy; heat exchanger

### REFERENCES

1. Bartosh Ye.T. *Teplovyye nasosy v energetike zheleznodorozhnogo transporta* [Heat pumps in the energy sector of railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1985. 280 p.
2. Batyutskiy A.A., Klushantsev D.Ye. Analiz effektivnosti sistem razdelnogo tormozheniya dlya gruzovykh vagonov v Rossii [Effectiveness analysis of separate braking systems for freight cars in Russia]. *Nauka i tekhnika transporta – Science and Transport Technology*, 2011, no. 2, pp. 8-15.
3. Buravoy S.Ye., Platonov Ye.S., Tsar V.V. Teplovoy rezhim passazhirskogo vagona na razlichnykh etapakh ekspluatatsii [Thermal regime of a passenger car in various stages of operation]. *Sbornik dokladov nauchno-prakticheskogo seminaru «Sistemy ventilyatsii, konditsionirovaniya i otopleniya v passazhirskikh vagonakh»* [Proc. of Theoretical and Practical Workshop «Ventilation, air conditioning and heating systems in the passenger cars»]. Saint Petersburg, 2001, pp. 58-71.
4. Gabrinets V.A. Ispolzovaniye gidravlicheskogo tormoza v kachestve istochnika teplovoy energii [A hydraulic brake as a thermal energy source]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 48-54.
5. Habrinets V.O., Khrystian Ye.V., Tytarenko I.V. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti enerhetychnykh pidrozdiliv zaliznychnoho transportu [Ways to improve the efficiency of power units of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 187-190.
6. Yemelyanov A.L., Buravoy S.Ye., Platonov Ye.S. Sistemy individualnogo regulirovaniya temperatury vozdukh v kupe passazhirskogo vagona (Systems of individual air temperature control in the compartment of a passenger car). *Kholodilnaya tekhnika i konditsionirovaniye – Refrigerating Engineering and Conditioning*, 2007, no. 1. Available at: [www.refrigeration.openmechanics.com](http://www.refrigeration.openmechanics.com) (Accessed 16 April 2014).
7. Zharikov V.A. *Klimaticheskiye sistemy passazhirskikh vagonov* [Climate systems of the passenger cars]. Moscow, TRANSINFO Publ., 2006. 135 p.
8. Kitayev B.N. *Teploobmennyye protsessy pri ekspluatatsii vagonov* [Heat exchange processes in the operation of cars]. Moscow, Transport Publ., 1984. 184 p.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

9. Matyash Yu.I., Klyuka V. P. *Sistemy konditsionirovaniya i vodosnabzheniya passazhirskikh vagonov* [Air conditioning and water supply of the passenger cars]. Moscow, GOU «Uchebno-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d transporte» Publ., 2008. 286 p.
10. Pigarev V.Ye., Arkhipov P.Ye. *Kholodilnyye mashiny i ustanovki konditsionirovaniya vozdukha* [Mechanical refrigerating machines and air hadling units]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 424 p.
11. Skorik T.A., Glazunova Ye.K., Vorontsova N.P. Otsenochnyye kriterii energoeffektivnosti sistem akklimatizatsii [Evaluation criteria of energy efficiency systems of acclimatization]. *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transport -2011»* [Proc. of the All-Russian Theoretical and Practical Conf. «Transport -2011»]. Rostov on Don, 2011, pp. 336-338.
12. Faershteyn Yu.O., Kitayev B. N. *Konditsionirovaniye vozdukha v passazhirskikh vagonakh* [Air conditioning in the passenger cars]. Moscow, Transport Publ., 1984. 272 p.
13. Yany Jian, Li Fa Iany, Sony Rui-yany, Fany Yu. Tiedao Xuebao Application in rail vehicles braking energy. *J. China. Railway Soc.*, 2011, no. 33 (2), pp. 26-33.
14. Cordini Pino. Performance characteristics of high-speed rail trains Pendolino. *Das Projekt New Pendolino. ZEVrail Glas. Ann.*, 2012. 136, no. 4, pp. 116-120.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. М. В. Губинским (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)*

Поступила в редколлегию: 21.03.2014

Принята к печати: 09.06.2014