



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 629.4.048

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-3-240-246

EDN: <https://elibrary.ru/cwxwwz>



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ТЕПЛОВОЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Г. М. Стоякин<sup>1</sup>, А. В. Костин<sup>2</sup>, С. Н. Науменко<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup>Проектное бюро АПЕКС,  
Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)),  
Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),  
Москва, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Задачи повышения энергосбережения в системах отопления пассажирских вагонов тепловозной тяги в настоящее время являются весьма актуальными. В качестве альтернативного источника энергии для этих систем проанализирована возможность использования отведенной теплоты дизельного двигателя тепловоза.

**Материалы и методы.** Произведен анализ источников отходящей теплоты двигателя: охлаждающей воды и выхлопных газов. Разработана принципиальная схема утилизации теплоты выхлопных газов для ее использования в системе отопления пассажирских вагонов. В качестве возможной теплообменной поверхности теплообменника-утилизатора предложены пластинчато-ребристая, змеевиковая и трубная поверхность с продольными турбулизаторами пограничного слоя. Определена требуемая величина этой поверхности для максимальной мощности системы отопления пассажирского поезда.

**Результаты.** Показана возможность использования теплоты выхлопных газов двигателя в системе отопления 15-вагонного пассажирского поезда без привлечения сторонних источников энергии.

**Обсуждение и заключение.** Полученные результаты демонстрируют достаточный потенциал повышения эффективности использования энергии топлива тепловозного двигателя при утилизации его отходящей теплоты для системы отопления пассажирских вагонов. Обоснован подбор теплообменника-утилизатора из расчета производительности в размере 50 % от пиковой нагрузки на систему отопления на средней позиции контроллера.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** выхлопные газы, система отопления вагона, тепловозный двигатель, теплота, утилизатор

**Благодарности:** авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания и советы, способствовавшие улучшению статьи.

**Для цитирования:** Стоякин Г. М., Костин А. В., Науменко С. Н. Использование теплоты отработавших газов тепловозного двигателя для отопления пассажирских вагонов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 3. С. 240–246. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-240-246>.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.4.048

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-3-240-246

EDN: <https://elibrary.ru/cwxwwz>



## USE OF DIESEL ENGINE EXHAUST GAS HEAT FOR HEATING PASSENGER CARS

Grigoriy M. Stoyakin<sup>1</sup>, Alexander V. Kostin<sup>2</sup>, Sergey N. Naumenko<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup>Design Bureau APEX,  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian University of Transport,  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Railway Research Institute,  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The tasks of increasing energy saving in heating systems for passenger cars of diesel trains are currently relevant. As an alternative source of energy for these systems, the possibility of using the waste heat of the diesel locomotive engine is analysed.

**Materials and methods.** The article provides an analysis of the engine waste heat sources, cooling water and exhaust gases. A schematic diagram of exhaust gas heat exchanger for its use in the heating system of passenger cars has been developed. As a possible heat-exchange surface of the waste heat exchanger, plate-ribbed, coiled and tube surfaces with longitudinal boundary layer turbulators are proposed. The required area of this surface for the maximum power of the heating system for a passenger train is determined.

**Results.** The article shows the possibility of using engine exhaust heat in the heating system of a 15-car passenger train without involving third-party energy sources.

**Discussion and conclusion.** The obtained results demonstrate a sufficient potential for increasing the efficiency of using the diesel engine fuel energy when utilising its waste heat for the heating system of passenger cars. The selection of a waste heat exchanger is justified based on a performance of 50% of the peak load on the heating system at the middle position of the controller.

**KEYWORDS:** exhaust gases, car heating system, diesel locomotive engine, heat, heat exchanger

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

**For citation:** Stoyakin G. M., Kostin A. V., Naumenko S. N. Use of diesel engine exhaust gas heat for heating passenger cars. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(3):240-246. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-240-246>.

**Введение.** В настоящее время вопросы экологии и экономичности энергетических систем на железнодорожном транспорте приобретают все большее значение.

В частности, просматривается тенденция постепенного отказа от угольного/дровяного отопления пассажирских вагонов локомотивной тяги и от установки комбинированных электроугольных котлов. Некоторые современные модели вагонов производства АО «ТВЗ» электроугольными котлами не оснащаются, а на многочисленных неэлектрифицированных магистралях ОАО «РЖД» активно рассматривается возможность применения тепловозов, оборудованных отопительным трансформатором, позволяющим осуществлять обогрев от подвагонной магистрали 3 кВ.

Электроотопление (прямое или косвенное) на неэлектрифицированных участках непродуктивно и идет в разрез с тенденциями, характерными для промышленности и энергетики, так как выработка электроэнергии с ее дальнейшим преобразованием в теплоту менее эффективна, чем непосредственное сжигание топлива для получения тепловой энергии. Учитывая, что максимальная электрическая мощность системы отопления пассажирского вагона равна 48 кВт [1], для 15-вагонного пассажирского поезда дополнительная электрическая нагрузка на дизель-генераторную установку тепловоза составит 720 кВт.

Значительно более эффективным можно считать использование для отопления вагонов теплоты, отходящей от дизельного двигателя тепловоза. При этом в качестве источников теплоты предлагается рассматривать выхлопные газы и теплоноситель, охлаждающий двигатель.

**Сравнение источников теплоты для применения в системах отопления пассажирских вагонов.** Концепция центрального отопления для пассажирского подвижного состава не нова. При паровой тяге центральное (паровое) отопление вагонов являлось стандартным решением (источником пара был или паровоз, или специальный вагон-котельная). В рефрижераторном подвижном составе также применялось распределение холода от одной установки на несколько вагонов с использованием циркулирующего в системе охлаждения хладоносителя [2].

Использование теплоты воды, охлаждающей двигатель, с нашей точки зрения, менее эффективно, чем утилизация тепла выхлопных газов. При непосредственном применении циркулирующего теплоносителя водяной системы тепловоза в системе отопления вагона (открытая система) потребуется установка сложной балансировочной арматуры, что приведет к значительному снижению надежности обеих систем. При установке теплообменника в каждом вагоне (закрытая система) и регулировании температуры по нагреваемой стороне решаются проблемы с гидрав-

лической увязкой, но при этом потребуется большое количество оборудования, что вызовет существенное удорожание системы. Вместе с тем указанные технологии успешно применяются на объектах стационарной энергетики ОАО «РЖД». Например, теплота воды, охлаждающей компрессоры на горочных комплексах, используется для отопления зданий постов электрической централизации [3].

Использование теплоты отработавших газов традиционно для судовых энергетических установок. В последнее время оно получило значительное распространение на применяемых в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве дизель-генераторных, газотурбинных и газопоршневых установках. Это обусловлено постоянным ростом стоимости топлива, а также возможностью при использовании современных технологий разрабатывать достаточно компактные и эффективные теплообменные аппараты.

Развитие систем рекуперации энергии отработавших газов от двигателей, в том числе тепловозов, как правило, разделяют по следующим направлениям:

1. Преобразование тепловой энергии в механическую энергию: двигатель Стирлинга; машины, работающие по циклу Ренкина (паровому или органическому).
2. Преобразование тепловой энергии отработавших газов в электрическую энергию: применение термоэлектрических генераторов.
3. Преобразование кинетической энергии отработавших газов: применение систем турбонаддува; применение силовых турбин; применение электрических машин в системах турбонаддува; применение электрических турбогенераторов.

На основании проведенного в статье [4] анализа применение электрических турбогенераторов в качестве системы эффективного преобразования энергии отработавших газов в электрическую энергию является наиболее приемлемым вариантом, исходя из стоимости, габаритных размеров, удобства компоновки и эффективности.

Вместе с тем авторами предлагается рассмотреть вариант использования тепловой энергии отработавших газов от двигателей тепловоза непосредственно для обогрева пассажирских вагонов.

Железнодорожный транспорт обладает спецификой, не позволяющей напрямую копировать технические решения из других областей промышленности. Однако оснастить дизельный двигатель тепловоза необходимым теплообменным оборудованием (теплообменником-утилизатором) представляется вполне выполнимой задачей. Так, на рис. 1 приведена принципиальная схема использования теплоты уходящих из двигателя выхлопных газов для отопления пассажирских вагонов.

Для реализации предлагаемой схемы требуется размещение теплообменных поверхностей доста-

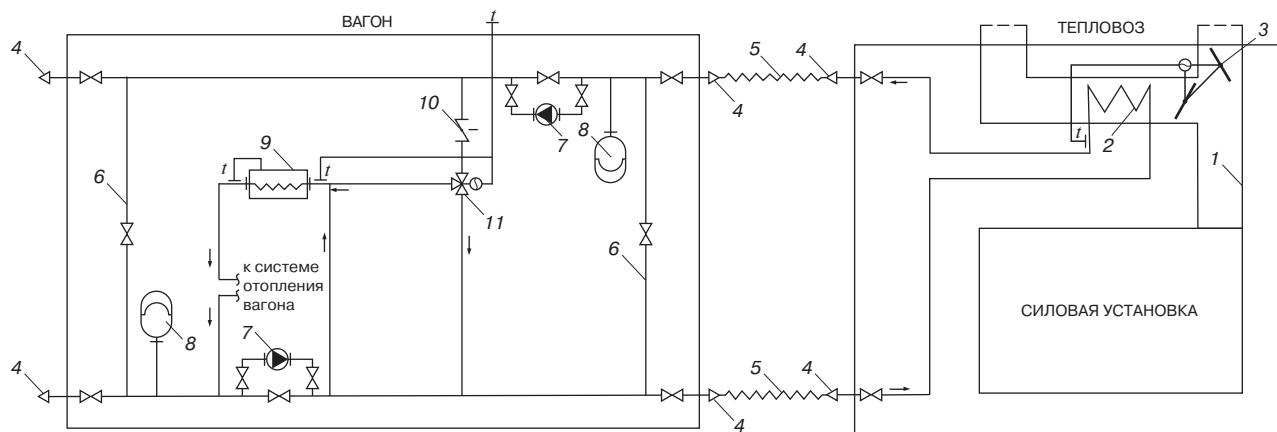


Рис. 1. Принципиальная схема использования теплоты выхлопных газов тепловозного двигателя для отопления пассажирских вагонов:

1 — выхлопной тракт от дизель-генераторной (силовой) установки тепловоза; 2 — теплообменник-утилизатор; 3 — пропорциональные заслонки с сервоприводом в выхлопном тракте; 4 — быстроразъемные соединения с клапаном; 5 — гибкий теплоизолированный трубопровод в защитном рукаве; 6 — аварийный байпас для возможности замкнутой циркуляции при отключении части сети; 7 — циркуляционный насос (с аварийным байпасом); 8 — расширительный бак закрытого типа; 9 — резервный электрический котел; 10 — регулятор расхода прямого действия; 11 — клапан трехходовой с сервоприводом;  $t$  — точка замера температуры (линией указан соответствующий исполнительный механизм)

Fig. 1. Schematic diagram of utilisation of the diesel engine exhaust gases heat for heating passenger cars:

1 — exhaust tract from the diesel generator (power plant) of the diesel locomotive; 2 — waste heat exchanger; 3 — proportional flaps with a servomotor in the exhaust tract; 4 — quickly detachable connections with a valve; 5 — flexible heat-insulated pipeline in a protective sleeve; 6 — emergency bypass for the possibility of closed circulation when part of the network is turned off; 7 — circulation pump (with an emergency bypass); 8 — expansion tank of a closed type; 9 — backup electric boiler; 10 — direct action flow regulator; 11 — three-way valve with a servo drive;  $t$  — temperature measurement point (the line indicates the corresponding executive mechanism)

точной площади в выхлопном тракте двигателя параллельно или последовательно глушителю шума дизеля или непосредственно в глушителе (так называемый шумоглушитель-утилизатор) [5, 6, 7]. Понятно, что выбор наиболее рационального размещения утилизатора требует выполнения опытно-конструкторских работ при разработке новых модификаций локомотивов, оснащенных предлагаемой авторами системой.

**Оценка требуемой теплообменной поверхности утилизатора.** Параметры и конструкция теплообменника-утилизатора должны соответствовать массогабаритным требованиям для конкретного тепловоза; обладать аэродинамическим сопротивлением, допустимым с точки зрения проектных режимов работы дизельного двигателя. В наибольшей степени этим требованиям отвечают пластинчатые теплообменные конструкции, пучки поперечно-обтекаемых трубок с продольным турбулизатором гидродинамического пограничного слоя [8], а в случае утилизатора, встраиваемого в глушитель, — трубные змеевики [9].

Определение требуемой теплообменной поверхности утилизатора ( $m^2$ ) произведем для указанной тепловой мощности системы отопления 15-вагонного пассажирского поезда  $Q = 720$  кВт из известного уравнения теплопередачи [10]:

$$F = \frac{Q \cdot 10^3}{K \eta \Delta t}, \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи, Вт/( $m^2 \cdot K$ );  $\eta = 0,8$  — коэффициент, учитывающий загрязнение теплообменной поверхности;  $\Delta t$  — средний логарифмический напор между теплоносителями,  $^{\circ}C$ .

$$\overline{\Delta t} = \frac{(t'_r - t''_b) - (t''_r - t'_b)}{\ln \frac{(t'_r - t''_b)}{(t''_r - t'_b)}}, \quad (2)$$

где  $t'_r$  и  $t''_r$  — соответственно температура выхлопных газов на входе и выходе из утилизатора,  $K$ ;  $t'_b$  и  $t''_b$  — соответственно температура воды на входе и выходе из утилизатора,  $^{\circ}C$ .

Рассмотрим возможность использования в качестве утилизатора пластинчатого теплообменника типа ТПР несимметричной компоновки с поверхностью одной пластины  $f = 0,3 m^2$  и эквивалентным диаметром канала  $d = 0,008$  м. Пластины изготовлены из нержавеющей стали AISI 316 толщиной 0,5 мм. Ввиду ограниченного гидравлического сопротивления, необходимости минимизации аэродинамических шумов скорость газов в утилизаторе должна составлять 15–20 м/с. При более высоких скоростях существенное влияние может

оказывать сжимаемость газа, при более низких скоростях значительно снижается теплообмен. Скорость воды рекомендуется принимать в диапазоне 1–3 м/с из условия турбулентности режима течения теплоносителя и по экономическим соображениям [11]. В расчете примем скорость газов  $w_r = 20$  м/с и скорость воды  $w_b = 1,0$  м/с.

Температурные графики для теплоносителей в утилизаторе принимаем: по воде системы отопления 90/50 °С, по выхлопным газам 550/150 °С, учитывая рекомендации [12], в соответствии с которыми температура выхлопных газов для дизельных двигателей не должна опускаться ниже 150–180 °С во избежание загрязнения или образования конденсата внутри теплообменника. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по уравнению

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{пл}} + \frac{1}{\alpha_b}}, \quad (3)$$

где  $\delta_{пл}$  — толщина пластины, м;  $\lambda_{пл}$  — коэффициент теплопроводности материала пластины, Вт/(м·К);  $\alpha_r$  и  $\alpha_b$  — соответственно коэффициенты теплоотдачи от газов к поверхности пластины и от поверхности пластины к воде, Вт/(м²·К).

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha$  при движении обоих теплоносителей в каналах, образованных гофрированными пластинами, определяются из критериального уравнения

$$Nu = 0,135 Re^{0,73} Pr^{0,43} (Pr / Pr_{ст})^{0,25}, \quad (4)$$

где  $Nu = \alpha d / \lambda$  — критерий Нуссельта;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности соответствующего теплоносителя, Вт/(м·К);  $Re = wd / \nu$  — критерий

Рейнольдса;  $w$  — скорость движения теплоносителя в канале, м/с;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости теплоносителя, м²/с;  $Pr$  — критерий Прандтля для соответствующего теплоносителя при его средней температуре в теплообменнике;  $Pr_{ст}$  — критерий Прандтля для соответствующего теплоносителя при температуре стенки теплообменника.

Результаты теплового расчета утилизатора представлены в таблице.

Для предлагаемых других конструкций теплообменных поверхностей утилизатора при указанной дополнительной нагрузке на дизель-генераторную установку тепловоза можно ориентироваться на площадь этой поверхности 20–25 м².

Тепловую мощность, которую может отвести утилизатор от выхлопных газов, оценим на примере дизельного двигателя тепловоза ТЭП-70БС. Расчет проведем для номинальной мощности двигателя  $N = 2964$  кВт из соотношения

$$Q_y = N q_r \frac{t'_r - t''_r}{t'_r} = 2964 \cdot 0,35 \cdot \frac{550 - 150}{550} = 754 \text{ кВт}, \quad (5)$$

где  $q_r = 0,35$  — доля теплоты, отведенная с выхлопными газами [13, 14].

Полученная тепловая мощность больше требуемой мощности системы отопления (720 кВт).

Вместе с тем в большинстве регионов страны, как видно из рис. 2 и 3, значительную часть года для поддержания комфортных параметров микроклимата в вагоне необходим обогрев его помещений [15]. При этом эксплуатация подвижного состава предусматривается при температурах до минус 40 °С. Таким образом, система отопления подвижного состава в

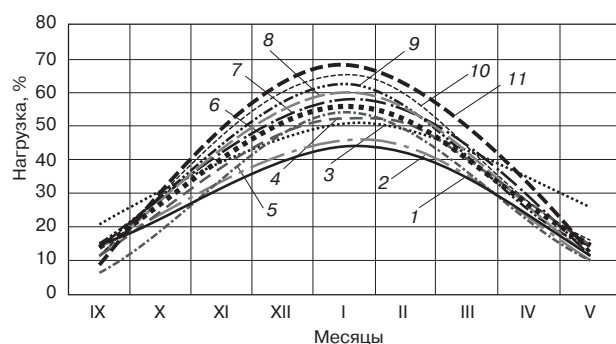


Рис. 2. Распределение средней относительной отопительной нагрузки по месяцам:  
1 — Санкт-Петербург; 2 — Москва; 3 — Мурманск;  
4 — Красноярск; 5 — Омск; 6 — средняя; 7 — Челябинск;  
8 — Казань; 9 — Владивосток; 10 — Иркутск; 11 — Хабаровск

Fig. 2. Distribution of the average relative heating load by months:  
1 — St. Petersburg; 2 — Moscow; 3 — Murmansk;  
4 — Krasnoyarsk; 5 — Omsk; 6 — average; 7 — Chelyabinsk;  
8 — Kazan; 9 — Vladivostok; 10 — Irkutsk; 11 — Khabarovsk

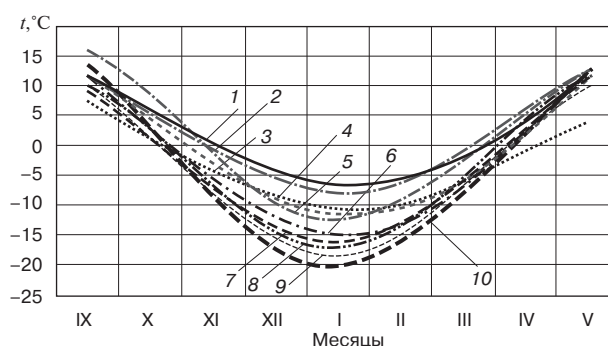


Рис. 3. Распределение средних температур по месяцам:  
1 — Санкт-Петербург; 2 — Москва; 3 — Мурманск;  
4 — Красноярск; 5 — Омск; 6 — Челябинск;  
7 — Казань; 8 — Владивосток; 9 — Иркутск;  
10 — Хабаровск

Fig. 3. Distribution of average temperatures by months:  
1 — St. Petersburg; 2 — Moscow; 3 — Murmansk;  
4 — Krasnoyarsk; 5 — Omsk; 6 — Chelyabinsk;  
7 — Kazan; 8 — Vladivostok; 9 — Irkutsk;  
10 — Khabarovsk



Таблица

## Результаты теплового расчета пластинчатого теплообменника-утилизатора

Table

## The results of the thermal calculation of the plate waste heat exchanger

| Параметры  | Выхлопные газы | Вода   |
|--|----------------|--------|
| Средняя температура, °С  | 350            | 70     |
| Средний логарифмический температурный напор $\overline{\Delta t}$ , °С | 240            |        |
| Критерий Рейнольдса Re   | 2885           | 19 280 |
| Критерий Нуссельта Nu  | 38,3           | 299    |
| Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)              | 235            | 24 910 |
| Коэффициент теплопередачи K, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)                    | 232            |        |
| Теплообменная поверхность, м <sup>2</sup>                              | 16,2           |        |

большинстве регионов эксплуатации поезда значительную часть времени нагружена в среднем не более чем на 56 %. В качестве характерного показателя авто-рами выбрана нагрузка при усредненной температуре окружающей среды, так как она лучше отражает тенденции расхода теплоты, чем нагрузка при температуре по параметрам Б, принимаемой в качестве расчетной из условия гарантированного поддержания параметров системы отопления.

**Обсуждение и заключение.** Проведенные расчеты показали, что утилизатор позволяет отвести от выхлопных газов тепловую мощность, достаточную для нагрева воды в системе отопления 15-вагонного пассажирского поезда. Следует отметить, что расчеты проводились для максимальной мощности системы отопления поезда.

Поскольку целью инноваций является сокращение расхода энергоресурсов и нагрузки на экологию, а сам предлагаемый вариант теплообменника-утилизатора интегрируется в существующие схемные решения системы отопления, рассчитывать его на предельные нагрузки нецелесообразно. С учетом изложенного авторы считают обоснованным подбор теплообменника-утилизатора из расчета производительности в размере 50 % от пиковой нагрузки на систему отопления на средней позиции контроллера. Более точные значения могут быть приняты на основании технико-экономического расчета в рамках реализации опытно-конструкторской работы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жариков В. А. Климатические системы пассажирских вагонов. М.: Трансинформ, 2006. 135 с.
2. Хладотранспорт и основы теплотехники: монография / Ю. И. Матяш [и др.]. М., 2019. 360 с. EDN: <https://elibrary.ru/ntvner>.
3. Перспективы использования тепловых насосов на горочных комплексах железных дорог / С. Н. Наumenko [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2012. № 4. С. 25–29. EDN: <https://elibrary.ru/pbeuln>.
4. Хрипач Н. А., Татарников А. П. Анализ систем преобразования энергии отработавших газов для когенерационных уста-

новок [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10134> (дата обращения: 01.07.2022).

5. Системы утилизации тепла [Электронный ресурс] // ООО «ТМ МАШ»: [сайт]. URL: <https://tmmash.ru/oborudovanie/sistemy-utilizacii-tepla> (дата обращения: 01.07.2022).

6. Патент № 123905 Российская Федерация, МПК F22B 1/18. Котел-утилизатор тепла выхлопных газов: № 2012131678/06: заявл. 24.07.12: опубл. 10.01.13 / Годик И. Л.; заявитель и патенто-обладатель ЗАО «Ролт Инжиниринг». 15 с.

7. Авторское свидетельство СССР № 1739064. Котел-утилизатор тепла выхлопных газов: № 4832593/06: заявл. 30.05.90: опубл. 07.06.92 / Скоп Е. А. [и др.].

8. 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.

9. Теплообменные аппараты: учеб. пособие / Б. Е. Байгалиев [и др.]. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 180 с.

10. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергия, 1975. 488 с.

11. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. М.: Химия, 1973. 750 с.

12. Что представляет собой теплообменник отходящих газов [Электронный ресурс] // BOWMAN: [сайт]. URL: <https://ej-bowman.com/ru> (дата обращения: 30.06.2022).

13. Развитие локомотивной тяги / Н. А. Фуфрянский [и др.]; под ред. Н. А. Фуфрянского, А. Н. Бевзенко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1988. 343 с.

14. Болдырев О. Н. Судовые энергетические установки. Дизельные и газотурбинные установки. Северодвинск: Севмашвтуз, 2003. 171 с.

15. СП 131.13330.2020. Строительная климатология (актуализированная версия СНиП 23-01-99\*) [Электронный ресурс]: введен в действие 25 июня 2021 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 30.06.2022).

## REFERENCES

1. Zhariikov V. A. Klimaticheskie sistemy passazhirskikh vagonov [Climatic systems of passenger cars]. Moscow: Transinform Publ.; 2006. 135 p. (In Russ.).
2. Matyash Yu. I., Klyuka V. P., Voron O. A., Naumenko S. N. Khladotransport i osnovy teplotekhniki [Refrigerator transport and fundamentals of heat engineering]. Moscow; 2019. EDN: <https://elibrary.ru/ntvner>. (In Russ.).
3. Naumenko S. N., Minaev B. N., Filippov M. D., Kostin N. M. Perspektivy ispol'zovaniya teplovykh nasosov na gorochnykh kompleksakh

zheleznykh dorog [Prospects for the use of heat pumps at railway hump complexes]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Science*. 2012;(4):25-29. EDN: <https://elibrary.ru/pbeuln>. (In Russ.).

4. Khripach N. A., Tatarnikov A. P. Analiz sistem preobrazovaniya energii otrabotavshikh gazov dlya kogeneratsionnykh ustanovok [Analysis of exhaust gas energy conversion systems for cogeneration plants]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2013;(5). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10134> (access date: 01.07.2022). (In Russ.).

5. Sistemy utilizatsii tepla [Heat recovery systems]. TM MASH: [website]. URL: <https://tmmash.ru/oborudovanie/sistemy-utilizatsii-tepla> (access date: 01.07.2022). (In Russ.).

6. Godik I. L. Patent No. 123905 Russian Federation, MPK F22B 1/18. Kotel-utilizator tepla vykhlopnykh gazov [Exhaust heat recovery boiler]: No. 2012131678/06: appl. 24.07.12: publ. 10.01.13. 15 p. (In Russ.).

7. Skop E. A., Terekhov A. L., Red'ko A. F., Yutina A. S. USSR author's certificate No. 1739064. Kotel-utilizator tepla vykhlopnykh gazov [Exhaust heat recovery boiler]: No. 4832593/06: appl. 30.05.90: publ. 07.06.92. (In Russ.).

8. Minaev B. N., Kostin A. V., Stoyakin G. M. O vliyaniy iskusstvennoy turbulentsii pogranichnogo sloya na gidravlicheskie soprotivleniya puchki kruglykh trub, omyvaemykh poperechnym potokom vyazkoy sredy [On the effect of artificial turbulence of the boundary layer on the hydraulic resistance of a bundle of round pipes washed by a transverse flow of a viscous medium]. *Nauka i tekhnika transporta = Science and Technology in Transport*. 2012;(2):47-52. (In Russ.).

9. Baygaliev B. E., Shchelchikov A. V., Yakovlev A. B., Gortyshev P. Yu. Teploobmennye apparaty (ucheb. posobiye) [Heat exchangers (textbook)]. Kazan: Kazan. St. Eng. Univ. Publ.; 2012. 180 p. (In Russ.).

10. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Teploperedacha [Heat Transfer]. Moscow: Energiya Publ.; 1975. 488 p. (In Russ.).

11. Kasatkin A. G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. 9th ed. Moscow: Khimiya Publ.; 1973. 750 p. (In Russ.).

12. Chto predstavlyayet soboy teploobmennik otkhodyashchikh gazov [What is an exhaust gas heat exchanger]. BOWMAN: [website]. URL: <https://ej-bowman.com/ru> (access date: 30.06.2022). (In Russ.).

13. Fufryanskiy N. A., Dolganov A. N., Nestrakhov A. S., et al. Razvitiye lokomotivnoy tyagi [Development of locomotive traction]. 2nd ed. Moscow: Transport Publ.; 1988. 343 p. (In Russ.).

14. Boldyrev O. N. Sudovye energeticheskie ustanovki. Dizel'nye i gazoturbinnnye ustanovki [Ship power plants. Diesel and gas turbine plants]. Severodvinsk: Sevmashvuz Publ.; 2003. 171 p. (In Russ.).

15. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya (aktualizirovannaya versiya SNIp 23-01-99\*) [Building climatology (updated version of SNIp 23-01-99\*)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (access date: 30.06.2022). (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Григорий Михайлович СТОЯКИН,

ведущий инженер по отоплению, вентиляции и кондиционированию, Проектное бюро АПЕКС (115114, г. Москва, бизнес-квартал «Новоспаский», Дербеневская наб., д. 7, стр. 9), Author ID: 1107437, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2315>

### Александр Владимирович КОСТИН,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта», Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ), 127994, г. Москва, ул. Образцова д. 9, стр. 9), Author ID: 692501, <https://orcid.org/0000-0001-8965-9343>

### Сергей Николаевич НАУМЕНКО,

д-р техн. наук, ученый секретарь, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626,

г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### Grigoriy M. STOYAKIN,

Leading Engineer for Heating, Ventilation and Air Conditioning, Design Bureau APEX (115114, Moscow, 7, bldg. 9, Dербеневская naberezhnaya, Novospassky business quarter), Author ID: 1107437, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2315>

### Alexander V. KOSTIN,

Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Thermal Power Engineering of Railway Transport, Russian University of Transport (127994, Moscow, 9, bldg. 9, Obratsova St.), Author ID: 692501, <https://orcid.org/0000-0001-8965-9343>

### Sergey N. NAUMENKO,

Dr. of Sci. (Engineering), Scientific Secretary, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Григорий Михайлович СТОЯКИН.** Обзор основных направлений исследования. Разработка принципиальной схемы системы отопления пассажирского вагона, формирование выводов и предложений (40%).

**Александр Владимирович КОСТИН.** Обоснование и структурирование методики расчета утилизатора. Сбор и структурирование материалов, патентный поиск. Обработка результатов расчета (30%).

**Сергей Николаевич НАУМЕНКО.** Формирование направлений исследования, формулировка цели и задач (30%).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Grigoriy M. STOYAKIN.** Review of the main directions of research. Development of a schematic diagram of the heating system for a passenger car, drawing of conclusions and suggesting proposals (40%).

**Alexander V. KOSTIN.** Substantiation and structuring of the methodology for calculating the heat recovery unit. Collection and structuring of materials, patent search. Processing of calculation results (30%).

**Sergey N. NAUMENKO.** Formation of the direction of research, formulation of goals and objectives (30%).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

**Financial transparency:** the authors have no financial interest in the presented materials and methods. There is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 04.07.2022, первая рецензия получена 06.07.2022, вторая рецензия получена 08.07.2022, принята к публикации 29.08.2022.

The article was submitted 04.07.2022, first review received 06.07.2022, second review received 08.07.2022, accepted for publication 29.08.2022.