
УДК 629.4.048.7

**ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ
ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

Асп. Э. В. Белошицкий, науч. сотр. С. С. Мямлин (ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна)

**ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ
ВАГОНІВ**

Асп. Е. В. Білошицький, наук. співроб. С. С. Мямлін (ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна)

**WAYS TO IMPROVE SYSTEMS OF WATER HEATING SYSTEMS OF PASSENGER
WAGONS**

Postgraduate E. V. Biloshytskyi, researcher S. S. Myamlin

В статье рассмотрены варианты решения научно-прикладной задачи по усовершенствованию систем отопления пассажирских вагонов с целью повышения их эффективности. Предложены и рассмотрены технические решения по увеличению скорости естественной циркуляции, увеличению теплопередающей поверхности

исследования позволит в целом повысить эксплуатационные характеристики системы отопления пассажирских вагонов.

Ключевые слова: отопление пассажирских вагонов, естественная циркуляция, теплоотдача.

У статті розглянуто варіанти вирішення науково-прикладної задачі щодо вдосконалення систем опалення пасажирських вагонів з метою підвищення їх ефективності. Запропоновано та розглянуто технічні рішення із збільшення швидкості природної циркуляції, збільшення теплопередаючої поверхні обігрівальних труб за рахунок зміни форми їх перетину. Застосування результатів даного дослідження дозволить в цілому підвищити експлуатаційні характеристики системи опалення пасажирських вагонів.

Ключові слова: опалення пасажирських вагонів, природна циркуляція, тепловіддача.

In the article the variants of solving the scientific and applied problem are considered for improvement of carriages heating systems in order to increase their efficiency. Mathematically modeled operation of the heating system on the basis of the received data, developed proposals to improve the efficiency of the heating system. Proposed and discussed technical solutions to increase the rate of natural circulation, this makes it possible to avoid the use of a circulation pump. Increase of the heat transfer surface of the heating pipes by changing the shape of their cross section, allows to refuse the use of finned tubes, taking into account the cost and operating costs of finned pipes, use flat oval tubes economically feasible. The proposed solutions significantly simplify the design of the heating system, as well as its service in the operation of passenger cars.

Applying the results of this study will improve the overall performance of the heating system and the comfort of a passenger car. The proposed technical solutions can be used not only for the construction of new wagons, but also to modernize the heating systems in the cars of the operating park under depot conditions.

Keywords: heating of passenger cars, natural circulation, heat transfer.

Введение. Пассажирские перевозки являются одним из основных видов деятельности железнодорожного транспорта. При этом пассажирский подвижной состав является важной составляющей этого вида услуг, который должен обеспечивать не только безопасность движения, но и такие показатели, как «ездовой комфорт» и «комфортабельность». Ездовой комфорт характеризует динамические качества вагона исходя из условий физиологического воздействия ускорений и частот колебаний пассажирского вагона на организм человека. Проблемам повышения ездового комфорта посвящены научные труды различных исследователей [1]. Комфортабельность пассажирского вагона принято рассматривать как единство конструкции кузова, планировки, дизайна и внутреннего

оборудования, предназначенного для улучшения условий проезда пассажиров. Обеспечение комфортных условий при перевозке пассажиров является необходимым требованием к пассажирскому подвижному составу. Создание параметров микроклимата в пассажирском вагоне, как известно, осуществляется несколькими системами, в том числе и системой отопления, которая должна обеспечивать стабильный подогрев воздуха в вагонах в холодное время года. Но существующие системы отопления обладают некоторыми недостатками, которые снижают эффективность систем отопления. Поэтому совершенствование эффективности систем отопления пассажирских вагонов представляет собой актуальную научно-прикладную задачу для железнодорожного транспорта.

Изучению вопросов обеспечения комфортных условий перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте посвящен целый ряд научных исследований [2-4]. Усовершенствование систем отопления пассажирских вагонов рассмотрено в монографиях и статьях [5-9]. Однако не в полной мере раскрыты резервы улучшения функционирования систем отопления. Поэтому авторами данной работы предлагается несколько иной подход к повышению эффективности систем отопления пассажирских вагонов.

На большинстве выпускаемых и эксплуатируемых пассажирских вагонов в качестве основной используется водяная система отопления. Водяной система называется потому, что теплоносителем служит вода. Наиболее распространённым типом водяной системы отопления является система с верхней разводкой труб, рассчитанная на естественную циркуляцию воды. Главное достоинство такой отопительной системы – ее высокая надежность и простота эксплуатации. Следует отметить, что системы с естественной циркуляцией теплоносителя относятся к саморегулирующимся.

Вместе с тем в вагонах с отопительной установкой с верхней разводкой труб наблюдается низкая скорость естественной циркуляции воды, что снижает теплоотдачу отопительных приборов. В системах водяного отопления пассажирских вагонов в качестве обогревательных приборов пассажирских помещений применяются гладкие стальные трубы. Периодически применяются оребренные трубы, которые из-за недостаточного качества конструкции и изготовления (размеры высоты и шага ребер, плотность их соединения с трубой и т. п.) не дают ожидаемого эффекта, при сильных морозах отмечается недостаточно устойчивый температурный режим в вагонах.

Анализ последних исследований и публикаций. Системы отопления пассажирских вагонов имеют два принципиаль-

ных недостатка [10]. Первый состоит в практической невозможности автоматизации работы с целью поддержания стабильного температурного режима в вагонах. Этот недостаток обусловлен большой тепловой инерционностью, в системе находится большая масса воды (от 700 до 900 кг), и отключением высоковольтных ТЭНов системы отопления. Причины отключения различны в движении и на стоянках с последующим нагревом, в результате чего возникают переходные режимы отопления, которые вызывают колебание температуры в пассажирских вагонах. Второй заключается в низкой скорости циркуляции воды в трубах отопления, в результате чего снижается теплоотдача отопительных приборов, которая усугубляется третьим недостатком: неравномерной теплоотдачей обогревательных труб. В порядке усовершенствования системы водяного отопления ВНИИ вагоностроения и Калининским (Тверским) вагоностроительным заводом разработана система отопления для увеличения напора и ускорения циркуляции в трубах отопления [10]. В данной системе удалена теплоизоляция с поверхности верхних подающих труб, а для увеличения теплоотдачи нижних из двух параллельных отопительных труб подведена вода к ним по отдельным стоякам. Кроме того, на стояки отопления для дополнительной теплоотдачи надеты конвекционные кожуха. Схема циркуляции воды в этой системе отопления приведена на рис. 1.

Испытания этой системы отопления на вагоне ЦМВО-66 дали положительные результаты: циркуляция воды в трубах отопления увеличилась по сравнению с серийной системой отопления на этих вагонах в 3,5 раза (для справки: скорость циркуляции в вагонах серийной постройки ЦМВО-66 составляла $1,5 \pm 0,6$ м/мин [10]), теплоотдача отопительных приборов на всех сравнимых по температурам воды в котле режимах увеличилась на 20 %.

Дополнительное увеличение теплоотдачи при включении циркуляционного насоса составляет всего 15 %. При всех преимуществах этой системы отопления есть и недостатки, а именно: снята теплоизоляция с разводящих труб, это ведет к дополнительным потерям тепла через крышу, так

как разводящие трубы установлены в потолочном пространстве, установлены конвекционные кожуха, которые будут создавать избыток тепла в малом коридоре и в туалете с некотловой стороны вагона. Система испытана еще в 1974 г., но при постройке вагонов так и не применяется.

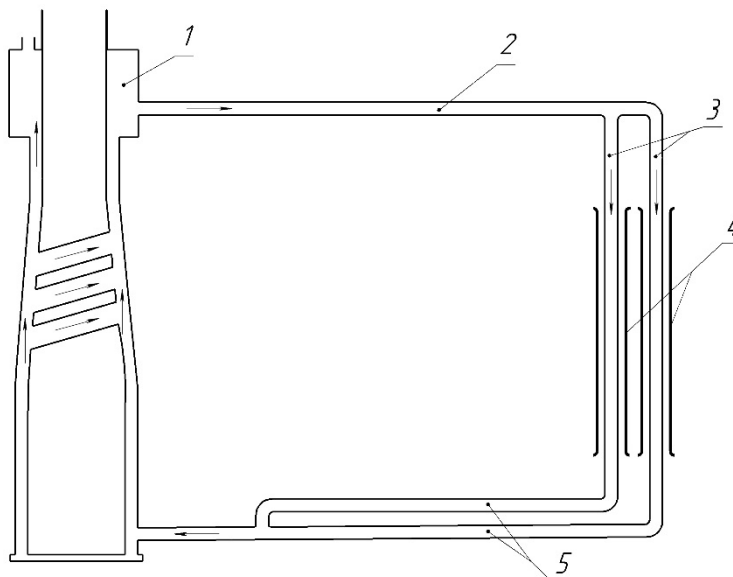


Рис. 1. Схема циркуляции воды в системе отопления:
1 – котел с расширителем; 2 – верхняя разводящая труба; 3 – стояки;
4 – конвекционные кожуха стояков; 5 – обогревательные трубы

Исследования необходимой теплопроизводительности отопительных систем [5] свидетельствуют о том, что гладкие обогревательные трубы водяной системы отопления вагонов не обеспечивают необходимой теплопроизводительности при низких температурах воздуха. Теплопроизводительность отопительных труб повышают увеличением теплопередающей поверхности отопительных труб за счёт их оребрения, важным моментом которого является обеспечение плотного контакта оребрения с трубой, если они выполнены не из одного монолита [6].

Оребрение отопительных труб должно быть рассчитано на эффективное повышение теплоотдачи при условии

равномерного распределения теплоступлений по вагону [7].

Как видно из графика на рис. 2, применение оребренных отопительных труб увеличивает общую теплоотдачу обогревательных труб, но в исследовании автор приводит расчетные графики. Развитие теплопередающей поверхности оребрением однозначно не приводит к пропорциональному увеличению теплового потока, так как добавление ребер снижает среднее значение температуры и следовательно, уменьшает разность температур. К недостаткам данного метода стоит отнести стоимость изготовления оребренных труб и трудности очистки ребер от осевшей пыли в процессе эксплуатации.

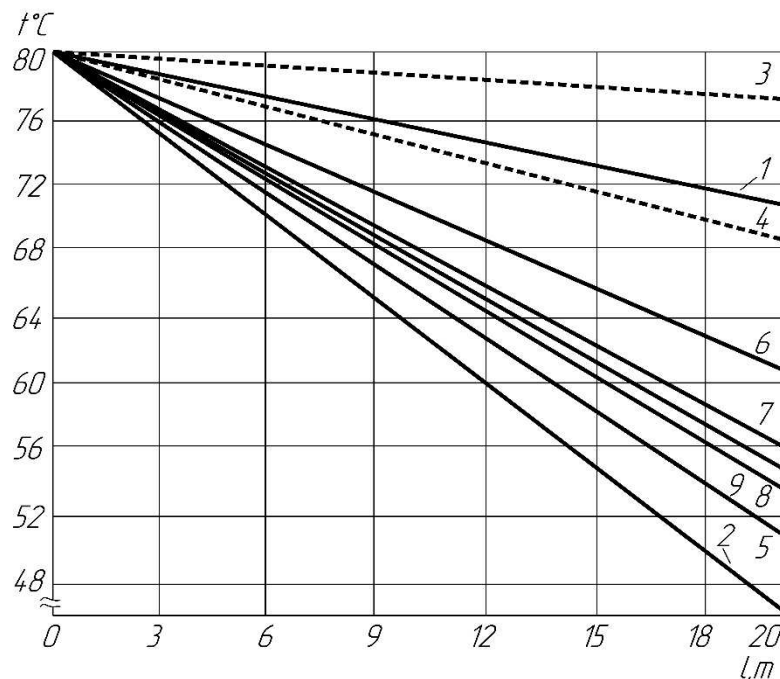


Рис. 2. Графіки змінення температури води в опалювальних трубах в залежності від їх оребрення і швидкості циркуляції теплоносія:

1 і 2 – температура води в гладкій і оребренній трубі ($K_p = 4,7$) при естеств. циркуляції; 3 і 4 – температура води в гладкій і оребренній трубі ($K_p = 4,7$) при включеному циркуляційному насосі ($W = 6$ м/мін); 5, 6, 7, 8, 9 – температура води в трубах з різним коефіцієнтом оребрення, відповідно: 3,8 (75 %); 2,1 (38 %); 2,9 (52,5 %); 3,35 (63,8 %) і 3,15 (58,1 %) при естеств. циркуляції

Для збільшення теплопередаючої поверхності також встановлюють накладні алюмінієві радіатори, які представляють собою литу конструкцію, що складається з двох половинок, скріплених між собою. Це розповсюджений спосіб збільшення теплопередаючої поверхності опалювальних труб, в основному застосовується на експлуатуємих вагонах. К недолікам цього способу можна віднести забезпечення щільного контакту радіатора з трубою, що не дозволяє досягти потрібного результату.

Визначення цілей і завдань дослідження. Метою цього дослідження є рішення науко-

прикладної задачі по підвищенню швидкості естеств. циркуляції теплоносія в системі опалення і збільшенню теплопередаючої поверхності опалювальних труб без застосування оребрення. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз формування напора в системі опалення пасажирського вагона;
- провести аналіз швидкості циркуляції теплоносія з двома стояками і стояком з збільшеною площею поперечного сечення;
- провести аналіз швидкості циркуляції теплоносія з опалювальними трубами зміненої форми сечення.

Основная часть исследования.

Скорость естественной циркуляции воды в системе отопления определяется из условия равенства гидравлического сопротивления S гидравлическому напору H , возникающему вследствие неравенства плотности воды в различных частях системы из-за нагревания и охлаждения теплоносителя [11]. Нагревание и охлаждение воды создает неоднородное распределение ее плотности. Постепенное охлаждение воды в разводящих трубах и стояках сменяется быстрым охлаждением в обогревательных трубах. В расчетах принято рассчитывать общее давление как сумму двух величин: давления Δp_n , образующегося вследствие охлаждения воды в отопительных

приборах, и давления Δp_{mp} , вызываемого охлаждением воды в трубах:

$$\Delta p_e = \Delta p_n + \Delta p_{mp}. \quad (1)$$

В расчетах используют среднюю величину температур, для этого вводится такое понятие как «центр охлаждения теплоносителя» и «центр нагрева теплоносителя». По разнице между этими точками и определяют гидравлический напор H . Поскольку интенсивность охлаждения зависит от скорости циркуляции, для определения этой скорости применяют метод последовательных приближений.

Рассмотрим образование напора H в системе отопления пассажирского вагона, расчетная схема которого представлена на рис 3.

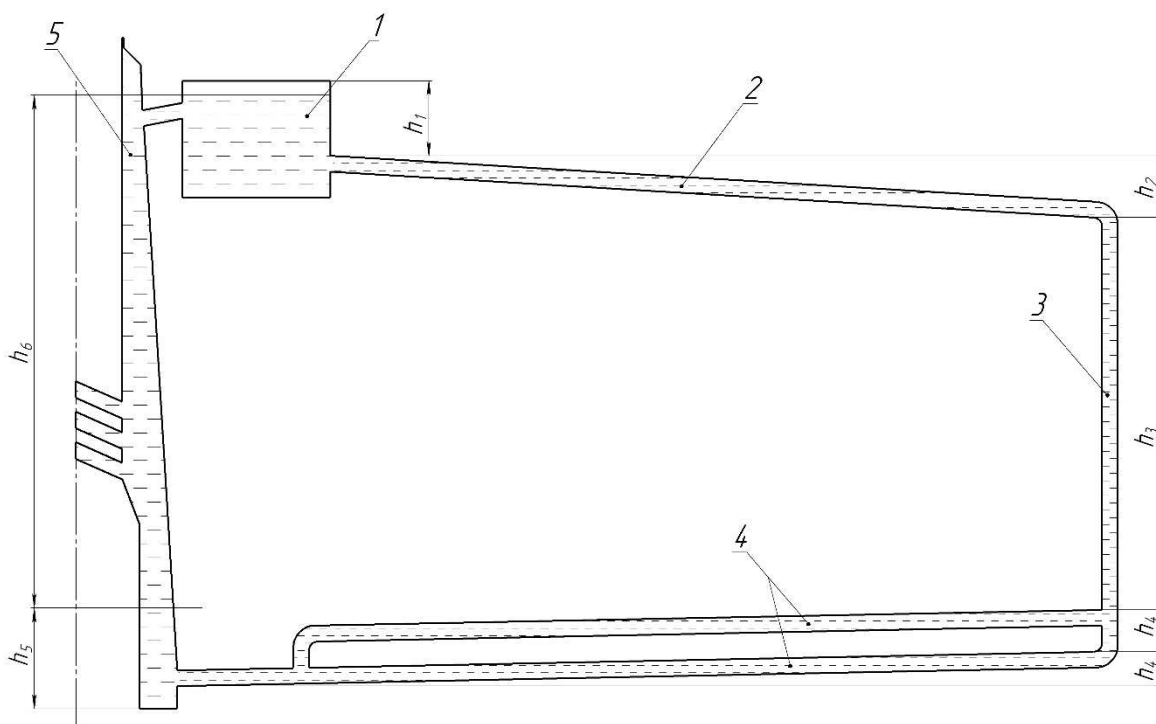


Рис. 3. Расчетная схема для определения скорости циркуляции теплоносителя в отопительной ветви системы отопления пассажирского вагона: 1 – расширительный бак; 2 – разводящая труба; 3 – стояк; 4 – обогревательные трубы; 5 – котел

Гидравлический напор в какой-либо ветви системы отопления определяется [10] так:

$$H = \sum_{i=1}^r \frac{\rho_i + \rho_i + 1}{2} h_i - \rho_0 h' - \frac{\rho_0 + \rho_k}{2} h'' , \quad (2)$$

где h' и h'' – высота столба воды в котле соответственно от центра нагрева до входа в расширитель и от входной трубы отопительного кольца до центра нагрева;

h_i – вертикальные проекции отдельных труб;

ρ_i – плотность воды.

Расчеты температуры теплоносителя в различных точках вдоль трубы производятся по формуле

$$t = t_n + (t_0 - t_n)e^{-\alpha l}, \quad (3)$$

где t – температура воды, °C;

t_n – температура воздуха около трубы, °C;

t_0 – температура воды в начале трубы, °C;

α – коэффициент теплоотдачи Вт/м²;

l – длина трубы, м.

Исходя из произвольно заданной температуры воды в трубе, примыкающей к расширителю, по формуле (3) находим температуру на выходе из этой трубы. Зная температуры на входе и выходе из трубы, по таблицам находим ее плотность. Аналогичные расчеты производят для других труб отопительного кольца. Если эти трубы разветвляются или имеют другой диаметр, то скорость циркуляции в них определяется в соответствии с данными размерами из условия непрерывности потока несжимаемой жидкости.

Определить гидравлическое сопротивление в ветви отопления можно по следующему выражению [12]

$$P = \Delta P_m + P_p, \quad (5)$$

где P_m – потери давления в местных сопротивлениях;

P_p – потери напора на трение.

Из приведенного выше следует, что на участке высот h_4 центр охлаждения обогревательных труб ниже h_5 центра нагревания котла, следовательно, на этом участке напор образовываться не будет. На участках h_1 и h_2 разница температур теплоносителя незначительна, так как верхние разводящие трубы закрыты

теплоизоляцией, образовавшийся напор на этих участках очень незначителен. Основной напор образовывается на участке h_3 , а именно в стояке.

Малая разница температур теплоносителя в стояке и котле создает напор, который разделяется на две присоединенные к нему отопительные трубы, и его недостаточно для создания (образования) скорости теплоносителя для обеспечения равномерной теплоотдачи обогревательных труб. Конструкция вагона не позволяет установить котел ниже или поднять выше обогревательные трубы, чтобы центр нагрева теплоносителя был ниже центра охлаждения обогревательных труб.

Поскольку основной напор образовывается в стояке, рассмотрим систему отопления с двумя стояками (рис. 1), которая ранее рассмотрена в работе [10]. При этом разводящие трубы будут с теплоизоляцией, а стояки – без конвекционных кожухов. Также можно предложить увеличить массу воды в стояке путем увеличения площади поперечного сечения стояка. Таким образом, напор и скорость теплоносителя в стояке остаются такими же, как и при меньшем сечении, с учетом закона Бернулли следует, что при уменьшении сечения потока возрастает скорость, то есть динамическое давление, статическое давление уменьшается.

Увеличение теплопередающей поверхности обогревательных труб за счет увеличения их диаметра повлечет снижение скорости циркуляции теплоносителя. Увеличить теплопередающую площадь обогревательных труб можно за счет изменения формы сечения с круглого на плоско-овальное (рис. 4).

При одинаковой площади проходного сечения плоско-овальная труба имеет большую длину периметра, соответственно ее площадь больше. Таким образом, меняя форму сечения, можно увеличить теплопередающую поверхность, при этом площадь проходного сечения не изменится. Но вместе с увеличением площади трубы и скорости теплоносителя увеличится гидравлическое сопротивление.

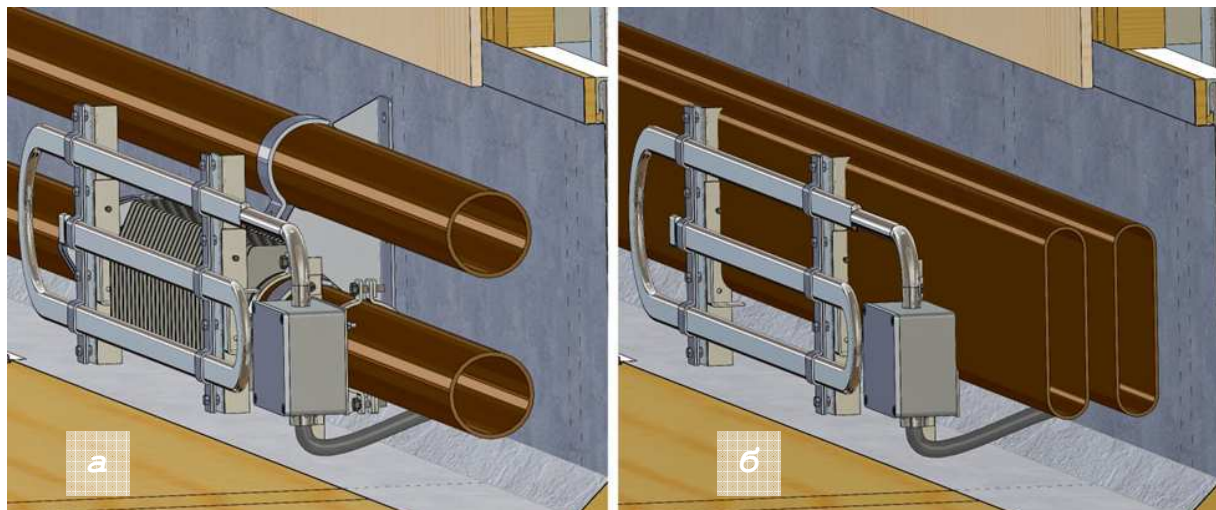


Рис. 4. Пример замены обогревательных труб:
 а – трубы с круглым сечением; б – трубы с плоско-овальным сечением

Для сравнения предложенных методов усовершенствования математически смоделирована работа отопительных ветвей системы отопления с учетом предложенных изменений. Смоделирована работа систем отопления в трех технических исполнениях:

вар. 1 – в системе все трубы разводящие, стояки и обогревательные трубы одинакового диаметра 76 мм;

вар. 2 – в системе разводящие трубы и стояки диаметром 76 мм, обогревательные трубы плоско-овального сечения;

вар. 3 – в системе разводящие трубы диаметром 76 мм, стояки диаметром 100 мм, обогревательные трубы плоско-овального сечения.

Длины труб по вариантам исполнения представлены в таблице. При моделировании были использованы следующие данные: температура воздуха в вагоне $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура теплоносителя в расширительном баке $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$;

высота участков, м: $h_1 = 0,36$; $h_2 = 0,2$; $h_3 = 2,1$; $h_4 = 0,2$; $h_5 = 0,68$; $h_6 = 2,11$ м.

Полученные результаты представлены на гистограмме рис. 5.

Таблица

Исходные данные параметров труб систем отопления, технических исполнений:
 вар. 1, вар. 2, вар. 3

		Диаметр, мм	Площадь проходного сечения, м ²	Длина трубы, м	Площадь трубы, м ²
Разводящие трубы	Вар.1	76	0,00385	22	5,3
	Вар.2	тоже	тоже	тоже	Тоже
	Вар.3	–/–	–/–	–/–	–/–
Стояк	Вар.1	76	0,00385	2,1	0,5
	Вар.2	76x2	0,00385x2	2,1x2	0,5x2
	Вар.3	100	0,00785	2,1	0,66
Обогревательные трубы	Вар.1	76	0,00385	20x2	9,5
	Вар.2	160x32	0,00390x2	20x2	14,4
	Вар.3	160x32	0,00390x2	20x2	14,4

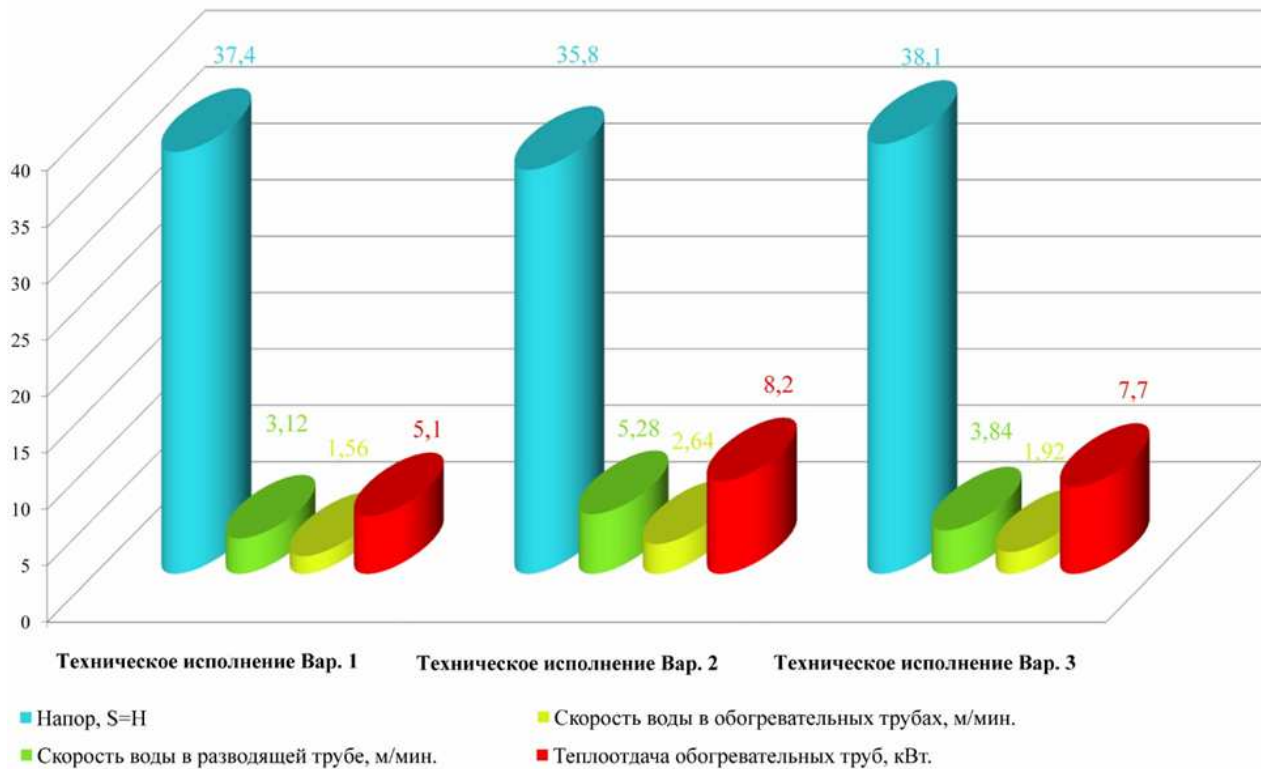


Рис. 5. Результаты математического моделирования

Как видно из результатов, приведенных на гистограмме рис. 5, подвод теплоносителя в обогревательные трубы по двум стоякам без снятия теплоизоляции с разводящей трубы и без применения конвекционных кожухов позволил увеличить скорость циркуляции в 1,7 раза (70 %) по сравнению с первым вариантом исполнения. Увеличение проходного сечения (вар. 3) стояка менее эффективно, скорость циркуляции увеличилась в 1,25 раза (25 %). Изменение формы сечения с круглого на плоско-овальное позволило увеличить площадь теплопередающей поверхности в 1,5 раза (50 %) по сравнению с трубами круглого сечения диаметром 76 мм. Теплоотдача увеличилась с 5,1 до 8,2 кВт. С увеличением скорости циркуляции на сравнимых температурных режимах вар. 2, вар. 3 она увеличилась с 7,7 до 8,2 кВт, или на (7 %).

Выводы. В работе рассмотрены варианты решения научно-прикладной задачи по усовершенствованию систем

отопления пассажирских вагонов с целью повышения их эффективности. Установлено, что в настоящее время для увеличения площади теплопередающих поверхностей применяют оребрение обогревательных труб. Для увеличения скорости циркуляции теплоносителя разработана и испытана система отопления с двумя стояками с применением конвекционных кожухов, используют принудительную циркуляцию воды электрическим насосом.

В работе предложены и проанализированы технические решения по увеличению скорости циркуляции. Подвод теплоносителя в обогревательные трубы по двум стоякам без снятия теплоизоляции с разводящей трубы и без применения конвекционных кожухов позволил увеличить скорость циркуляции в 1,7 раза (70 %), увеличение проходного сечения стояка менее эффективно, скорость циркуляции увеличилась в 1,25 раза (25 %).

Предложены технические решения по увеличению теплопередающей поверхности отопительных труб за счет изменения формы сечения с круглого на плоскооовальное, что позволило увеличить площадь теплопередающей поверхности в 1,5 раза (50 %). Теплоотдача увеличилась с 5,1 до 8,2 кВт. Стоит отметить, что теплоотдача отопительных труб с увеличением скорости циркуляции на сравнимых температурных режимах вар. 2, вар. 3 увеличилась с 7,7 до 8,2 кВт (7 %).

Применение двух стояков позволяет отказаться от применения циркуляционного насоса, по результатам математического моделирования, при скорости циркуляции теплоносителя 6 м/мин (скорость циркуляционного насоса) увеличение

теплоотдачи обогревательных труб составляет 11 %.

Использование труб с плоскооовальным сечением позволяет отказаться от применения оребренных труб, стоимость которых, на сегодняшний день, выше на 70 %. С учетом эксплуатационных затрат на оребренные трубы, а именно: покраска при плановых видах ремонтов, очистка ребер от осевшей пыли, применение плоскооовальных труб экономически целесообразнее.

Результаты исследований можно использовать не только при постройке новых вагонов, но и проводить модернизацию отопительных установок в вагонах эксплуатационного парка в условиях депо.

Список использованных источников

1. Мямлин, С. В. Новые технологии в проектировании дизель-поездов [Текст] / С. В. Мямлин, А. В. Кивишева // Локомотив-информ. – 2013. – №11. – С. 4-5.
2. Попередні випробування систем життєзабезпечення пасажирського плацкартного вагона, дообладнаного системою кондиціонування [Текст] / О. Г. Дуганов, В. Т. Вислогузов, Ю. В. Кебал [та ін.] // Интеграция Украины в международную транспортную систему (21.05-22.05.2009) : тез. І Междунар. науч.-практ. конф. / Мин-во транспорта и связи Украины, Днепрпетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепрпетровск: ДНУЖТ, 2009. – С. 22-23.
3. Кукса, Ю. Я. Перспективы модернизации пассажирских вагонов при проведении капитально-восстановительного ремонта [Текст] / Ю. Я. Кукса, П. М. Мустафа, И. Ю. Хоменко // Железнодорожный транспорт Украины. – 2010. – № 2. – С. 28-30.
4. Khomenko, I. Yu. Mathematical modeling of unsteady heat exchange in a passenger car [Text] / I. Yu. Khomenko // Наука і прогрес транспорту: вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 6 (48). – С. 147-155.
5. Гудыма, Е. В. Повышение эффективности вентиляционных систем пассажирских вагонов [Текст] / Е. В. Гудыма // Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – № 7. – С. 42-46.
6. Жариков, В. А. Климатические системы пассажирских вагонов [Текст] / В. А. Жариков. – М. : Трансинфо, 2006. – 135 с.
7. Жариков, В. А. Повышение теплоотдачи отопительных труб пассажирского вагона путем оребрения [Текст] / В. А. Жариков, Б. Н. Китаев, Е. В. Гудыма // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. – № 4. – С. 32-34.
8. Sweeney E. Modification of Luas heating and ventilation systems to reduce energy consumption – conference papers [Электронный ресурс] / E. Sweeney, J. Brunton // Dublin Institute of Technology. – 2013. – 5-6th September. – Режим доступа: <http://arrow.dit.ie/engschmecon/> – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.11.2017.
9. Vetterli N. Energy efficiency of railway vehicles [Text] / [N. Vetterli, U.-P. Menti, F. Sidler, E. Thaler, G. Zweife] // CISBAT 2015 : International Scientific Conference (9.09-11.09.2015) / Lausanne, Switzerland 2015. – P. 955–960.

10. Зворыкин, М. Л. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах [Текст] / М. Л. Зворыкин, В. М. Чекрыз. – М. : Транспорт, 1977. – 286 с.

11. Дмитриевская, Т. Ю. Система отопления – естественная циркуляция теплоносителя [Электронный ресурс] / Т. Ю. Дмитриевская // СОК – 2010. – № 1. – Режим доступа: <http://www.c-o-k.ru/articles/sistema-otopleniya-estestvennaya-cirkulyaciya-teplonositelya>.

12. Китаев, Б. Н. Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов [Текст] / Б. Н. Китаев. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.

Білошицький Едуард Васильович, аспірант, інженер-конструктор «Проектно-конструкторського технологічного бюро» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. +38 (056) 371 51 12. E-mail: e.beloshickiy@gmail.com.

Мямлін Сергій Сергійович, науковий співробітник «Проектно-конструкторського технологічного бюро» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. +38 (056) 371 51 12. E-mail: sergeymyamlin91@gmail.com.

Biloshytskyi Eduard engineering designer «Project design and technological bureau», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel. +38 (056) 371 51 12. E-mail: e.beloshickiy@gmail.com.

Sergiy S. Myamlin, researcher «Project design and technological bureau», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel. +38 (056) 371 51 12. E-mail: sergeymyamlin91@gmail.com.

Стаття прийнята 18.12.2017 р.