

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА РЕФРИЖЕРАТОРНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

С.М. Васильев

Кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), г.Гомель

А.В. Нагибина

Инженер кафедры Вагоны, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), г.Гомель

Аннотация: *существующий рефрижераторный подвижной состав не претерпел существенных изменений в части теплоизоляционной защиты от внешних теплопритоков. Применение теплоизоляции на новых физических принципах позволит существенно снизить потребную холодопроизводительность, а также потребляемые энергетические ресурсы, что в свою очередь позволит значительно уменьшить затраты на перевозку скоропортящихся грузов при сохранении заданных условий перевозки и улучшить сохранность груза.*

Ключевые слова: *теплоизоляция, рефрижераторный подвижной состав, теплопритоки, холодопроизводительность, хладотранспорт.*

Перевозка скоропортящихся грузов по железной дороге имеет давнюю историю и не теряет своей актуальности. Однако подвижной состав времен СССР уже исчерпал технический ресурс, а выпускаемый в странах СНГ железнодорожные изотермические вагоны не имеют значительных технических совершенствований. Применение новых подходов к разработке рефрижераторного подвижного состава позволят улучшить сохранность груза и снизит эксплуатационные затраты.

Современный автономный рефрижераторный вагон представляет собой кузов, в котором в центральной части расположено грузовое отделение, с установленной теплоизоляцией и с двумя машинными отделениями в торцах вагона. Грузовое помещение вагона охлаждается и отапливается двумя холодильно-отопительными установками. В каждом из машинных отделений находятся компрессорно-конденсаторный агрегат и дизель-генератор. Отдельно остановимся на теплоизоляции и работе системы вентиляции.

Теплоизоляционным материалом в конструкциях кузова вагона служит полистирол, которым начиная с 1965 г., изолировались все вагоны-рефрижераторы. Толщина теплоизоляции в стенах и дверях 200 мм, в крыше – от 200 до 250 мм и в полу 140 мм.

При работе вентиляторов (особенно при включении вентиляторов обеих установок) между крышей вагона и ложным потолком создается несколько повышенное давление, благодаря которому воздух проходит в грузовое помещение через щели в ложном потолке, расположенные поперек него и между ложным потолком и стенами грузового помещения вагона. Поступивший в грузовое

помещение воздух омывает груз, отдавая или воспринимая тепло, и проходит под напольные решетки, откуда по каналам, образуемым торцовыми стенами грузового помещения и установленными перед ними двухстворчатыми щитами 1, вновь засасывается вентиляторами и поступает на испарители холодильных установок или электропечи для охлаждения или обогрева [1]. Схема распределения холодного и теплого воздуха в грузовом помещении автономного рефрижераторного вагона показана на рисунке 1.

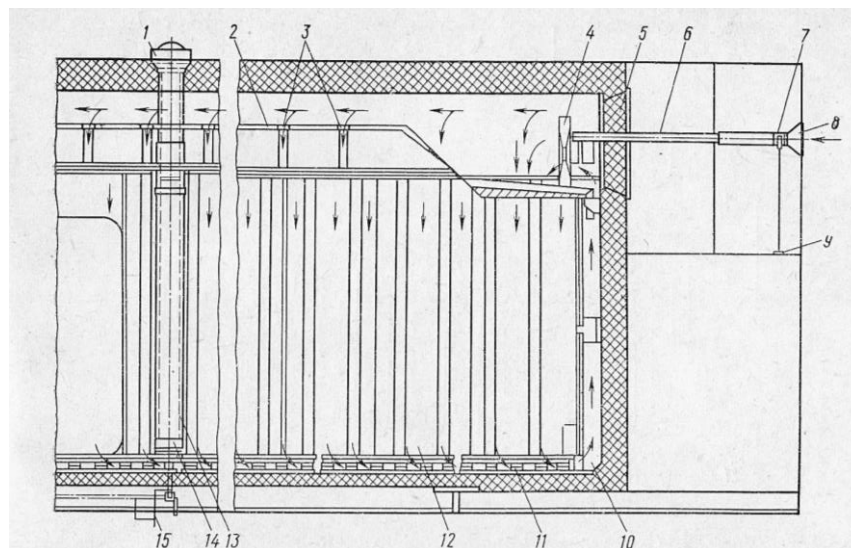


Рисунок 1 – Схема распределения холодного и теплого воздуха и вентиляции автономного рефрижераторного вагона:

1 – дефлектор; 2 – ложный потолок; 3 – щели в ложном потолке; 4 – вентилятор воздухоохладителя; 5 – отверстие, закрытое перегородкой; 6 – канал для прохода свежего воздуха; 7 – заслонка; 8 – отверстие в торцевой стене вагона; 9 – рукоятка заслонки; 10 – канал для прохода воздуха; 11 – напольная решетка; 12 – гофрированная обшивка стен; 13 – канал дефлектора; 14 – заслонка; 15 – рукоятка заслонки

Такая система имеет ряд недостатков:

- в случае выхода из строя вентиляторов испарителя, либо нарушения воздухообмена внутри холодильной камеры по другой причине нарушится температурный режим перевозки продуктов и как следствие возможна порча груза;
- циркулируемый внутри вагона воздух имеет низкую влажность и приводит к значительной усушке (потере веса) перевозимых продуктов, а иногда и к потере товарного вида.

Устранение вышеперечисленных недостатков возможно с применением охлаждения рассольного типа, циркулирующего внутри боковых, торцевых стен и пространства над потолком грузового помещения. Использование такой схемы охлаждения предотвращает воздействие теплопритоков через стены на перевозимый скоропортящийся груз, предотвращаются температурные перепады в грузовом помещении. Отпадает необходимость интенсивной вентиляции груза воздухом, имеющим низкую влажность, что в свою очередь снижает потери груза на усушку.

В летний период в дневное время крыша и боковые станы подвергаются интенсивному облучению солнечной радиацией и как следствие возникает чрезмерный нагрев поверхности этих элементов. Торцевые стены грузового

помещения непосредственно примыкают к машинным отделениям, в которых от работы компрессорно-конденсаторного агрегата и дизель генератора также значительно повышается температура воздуха и создает дополнительный теплоприток внутрь грузового помещения вагона. Для снижения вышеуказанных теплопритоков предлагается установить систему активного поглощения тепла, наружной поверхности грузового помещения. На внутреннюю сторону внешней металлической обшивки вагона предлагается установить трубки с циркулирующей жидкостью, которая будет отводить тепло от поверхности, а затем охлаждаться в радиаторе, расположенном под вагоном, где отсутствует тепловое воздействие солнечной радиации.

Сравнительные теплотехнические расчеты стандартного автономного рефрижераторного вагона в сравнении с вагоном с активной теплоизоляцией производились по формуле 1.

Теплопритоки, возникающие из-за разницы температур воздуха снаружи и внутри вагона, определяются по формуле:

$$Q_0 = k \cdot F_H \cdot \Delta t, \quad (1)$$

- где k_i – коэффициент теплопередачи соответствующего ограждения вагона, Вт/м²·К;
 F_H – площадь наружной поверхности ограждения вагона, м²;
 Δt – разность температур, °С [2].

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле 2 для каждого элемента ограждения вагона, с учетом толщины и теплопроводности каждого слоя как показано на рисунке 2.

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_H} + \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (2)$$

- где δ_j – толщина отдельного однородного слоя составляющих ограждающую конструкцию, м;
 λ_j – коэффициенты теплопередачи j -го слоя конструкции ограждения вагона, Вт/(м·К);
 α_H, α_B – коэффициенты теплоотдачи, из внешней среды к наружной поверхности вагона и от внутренней поверхности ограждения кузова к воздуху внутри вагона, для стен принимают $\alpha_B = 10,0$, крыши кузова вагона $\alpha_B = 9,0$, для пола $\alpha_B = 6,0$ Вт/(м²·К).

Площадь наружной поверхности ограждения вагона также определяется для каждого элемента ограждения отдельно.

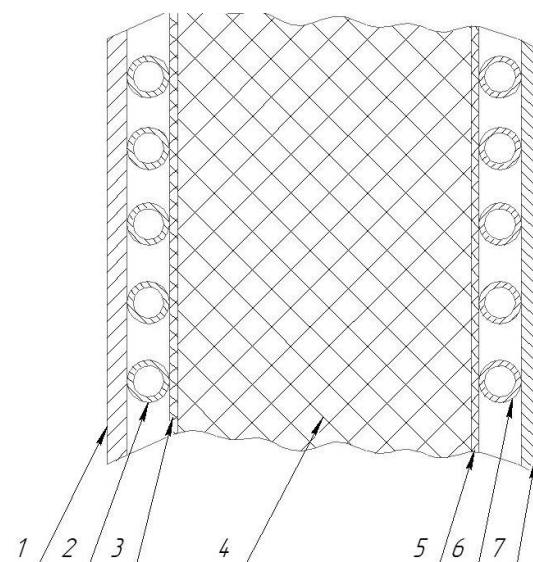


Рисунок 2 – Схема предлагаемого теплоизоляционного ограждения вагона

1 - сталь, $\lambda_1 = 35 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$; $\delta_1 = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; 2 - контур наружного охлаждения; 3,5 - битум, $\lambda_2 = 0,18 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$; $\delta_2 = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; 4 - теплоизоляция (PIR-плита), $\lambda_3 = 0,021 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$; $\delta_3 = 0,15 \text{ м}$; 6 - контур внутреннего охлаждения; 7 - алюминий, $\lambda_4 = 203,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$; $\delta_4 = 2 \cdot 10^{-3}\text{м}$

Разность температур определяется по формуле 3.

$$\Delta t = t_{\text{н}} - t_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{н}}$ – температура окружающей среды, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура внутри грузового помещения вагона, °С.

Из опыта эксплуатации рефрижераторного подвижного состава в летний период известно что при интенсивном солнечном облучении у вагона значительно все нагревается крыша и одна из боковых стен, температура поверхности поднимается до 60°С. Одновременная работа двух холодильных установок в таких условиях не позволяет справиться с возникающими теплопритоками.

Применение активной теплоизоляции с отводом тепла от нагреваемых поверхностей вагона позволяет значительно снизить теплопритоки, поступающие в вагон, что подтверждается результатами расчетов, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов теплопритоков, проходящих в вагон через ограждение с применением современного теплоизоляционного материала

Элемент ограждения:	Теплопритоки стандартного вагона, Вт	Теплопритоки вагона с активной теплоизоляцией, Вт
- крыши	781,9	531,3
- торцевой стены	97,9	66,6
- боковой стены	527,4	358,4
- пола	385,6	385,6
Суммарные теплопритоки	2418,1	1766,9

Сравнительные расчеты показывают, что при использовании активной теплоизоляции суммарные теплопритоки снижаются на 30%.

Потребная холодопроизводительность холодильной машины согласно формуле 4 и прямо пропорциональна суммарным теплопритокам.

$$Q_0^{\text{брутто}} = \beta Q_0, \quad (4)$$

где β – коэффициент перевода, следует принимать 1,1 – 1,2 [3].

Перевод полученной рабочей холодопроизводительности в стандартную производится по формуле 5.

$$Q_{0 \text{ станд}} = \frac{Q_0 q_{vc} \lambda_c}{q_v \lambda_p}, \quad (5)$$

где q_{vc} – теоретическая объёмная холодопроизводительность хладагента в стандартных условиях;

λ_c, λ_p – коэффициенты подачи компрессора в стандартных и рабочих условиях [2].

По рассчитанной холодопроизводительности в стандартных условиях (по справочникам) подбирается необходимое холодильное оборудование.

Очевидно, что снижение суммарных теплопритоков с применением активной теплоизоляции существенно влияет на холодопроизводительность и на мощность потребного холодильного оборудования.

Список использованных источников

1. **Яковлев, И. Н.** Изотермический подвижной состав [Текст] : [учебник для техникумов ж.-д. транспорта] / И. Н. Яковлев, М. М. Шаповаленко. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1977. - 230 с.

2. **Чернин И.Л.** Расчёт, подбор и эксплуатация холодильного оборудования рефрижераторного подвижного состава: Учебное пособие .Ч.1.-Гомель: БелИИЖТ,1984.-44 с.

3. **Вальт Э.Б., Красниченко А.А.** Конструкция, расчет и эксплуатация холодильного оборудования вагонов : метод. указания к выполнению курсового проекта.– Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 48 с.