

ровой трансформации транспортной системы заключаются в повышении эффективности перевозок за счет мультимодальности, планирования состыковки транспорта в режиме реального времени, сокращения ожидания, ускорения процессов, сокращения ошибок и более оптимального распределения задач, увеличения пропускной способности транспортной инфраструктуры, что, в свою очередь, дает положительную динамику развития показателей работы как отдельного транспортного предприятия, так и транспортной системы государства в целом.

Список литературы

- 1 **Мясникова, О. В.** Трансформация производственно-логистической системы в умную сеть поставок: теоретико-методологические аспекты / О. В. Мясникова // *Новости науки и технологий.* – 2021. – № 2 (57) – С. 53–62.
- 2 Экономический механизм развития транспортно-логистической деятельности на предприятиях / Р. Б. Ивуть [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 240 с.
- 3 *Транспортная логистика в Беларуси: состояние, перспективы : [монография] / М. М. Ковалев, А. А. Королева, А. А. Дутина.* – Минск : Изд. центр БГУ, 2017. – 327 с.
- 4 **Бегун, А. В.** Цифровая трансформация рынка транспортных услуг / А. В. Бегун // *Социально-экономические предпосылки и результаты развития новых технологий в современной экономике : материалы IV Междунар. науч. конф.* – Н. Новгород, 2022. – С. 12–16.

УДК: 629.3.018

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

С. Н. НАУМЕНКО, А. А. КРЫЛОВ, П. О. МУСЕРСКИЙ

*Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(АО «ВНИИЖТ»), г. Москва, Российская Федерация*

Вопрос энергоэффективности транспортного сектора и экономия топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших мировых проблем. В 1970 году ведущими странами мира подписано Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (далее – СПС), ратифицированного к настоящему моменту 50 странами, включая Республику Беларусь. Данный документ должен содействовать улучшению условий сохранения качества скоропортящихся пищевых продуктов во время их перевозки, в частности, в рамках международной торговли, считая, что улучшение условий сохранности этих продуктов может

способствовать развитию торговли ими. С этой целью периодически проводятся теплотехнические испытания, в результате которых определяется комплексный параметр кузова транспортного средства – общий коэффициент теплопередачи – K ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$). Испытания по определению K не только трудоемки, но и связаны со значительными затратами времени и энергии, а именно более 72 часов нахождения в испытательной станции с поддержкой стабильной температуры. Для ускорения испытательного процесса предлагается использовать экспресс-метод, основанный на расчете значения K по экспериментальным данным, полученным за первые 10 часов проведения испытаний.

В мировой практике существуют различные методы по определению общего коэффициента теплопередачи. В большинстве случаев используют метод внутреннего обогрева [1–4]. Он характеризуется достижением устойчивой во времени разницы средних температур воздуха внутри и снаружи теплоизолированного корпуса транспортного средства при стабильной мощности электронагревателей, установленных внутри этого корпуса. Испытания должны проводиться в специализированных боксах на территориях аккредитованных испытательных станций, но как показано на рисунке 1, зачастую такие испытания могут проводиться в обычном складском помещении или гараже.



Рисунок 1 – Бокс для проведения теплотехнических испытаний

В основе подхода – определение величины общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства – K ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$) и ее изменение при прогнозировании маршрута перевозки.

Величина общего коэффициента теплопередачи – K ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$) рассчитывается по результатам проведения теплотехнических испытаний по формуле

$$K = \frac{W}{S\theta}, \quad (1)$$

где W – тепловой поток, расходуемый внутри кузова, средняя поверхность которого равна S , и необходимый для поддержания при постоянном режиме

абсолютной разности θ между средней внутренней температурой и средней наружной температурой воздуха, когда средняя наружная температура является постоянной.

Авторами были выполнены исследования, которые позволили установить, что процессу нагрева системы воздух – ограждение кузова транспортного средства присущи два принципиально различных режима, условно названные нерегулярным и регулярным [5]. В нерегулярном режиме в начальном периоде нагрева теплоемкость ограждения кузова транспортного средства меняется от некоторой максимальной величины до меньшего постоянного значения за счет первоначального аккумуляирования тепла. В некоторый момент времени нерегулярный режим плавно переходит в регулярный. В дальнейшем – в регулярном режиме – теплоемкость ограждения остается постоянной.

В нерегулярном режиме скорость изменения перепада температур происходит в соответствии с уравнением

$$\frac{d\theta}{d\tau} = v = \frac{1}{AB} \theta^{1-B}, \quad (2)$$

где θ – перепад температур воздуха внутри и снаружи кузова транспортного средства; τ – время; v – скорость изменения перепада температур; A и B – постоянные коэффициенты.

Переход от нерегулярного режима к регулярному происходит в точке касания, после чего скорость изменения перепада температур определяется известным уравнением теплового баланса [6]

$$\frac{d\theta}{d\tau} = V = \frac{P}{W} - \frac{KH}{W} \theta, \quad (3)$$

где P – мощность источника тепла; W – водяной эквивалент кузова транспортного средства; K – общий коэффициент теплопередачи кузова транспортного средства; H – площадь теплопередающей поверхности кузова транспортного средства.

Совместное решение уравнений после ряда преобразований приводит к выражению, позволяющему рассчитать значение общего коэффициента теплопередачи:

$$KH = P_1 = \left[\frac{A_1 \left(\frac{B_1 - 1}{B_1} \right)^{B_1 - 1}}{A_2 \left(\frac{B_2 - 1}{B_2} \right)^{B_2 - 1}} \right]^{\frac{1}{B_1 - B_2}}, \quad (4)$$

где $A_{1,2}$, $B_{1,2}$ – коэффициенты аппроксимации.

Отклонение значений K , полученных при помощи экспресс-метода от значений, полученных по равновесному методу, не превышает 0,3 % [7].

Используя полученные результаты исследований и несколько усовершенствовав их в части требований СПС [8], был разработан расчетно-программный комплекс «Олимп» (далее – РПК Олимп) [9], применение которого дает возможность автоматизировать расчет значения K по экспериментальным данным, полученным за первые десять часов проведения теплотехнических испытаний в соответствии с методом внутреннего обогрева, изложенным в СПС.

Расчетно-программный комплекс предназначен для испытательных центров, аккредитованных на проведение теплотехнических испытаний кузовов транспортных средств. Программное обеспечение содержит нормативную и методическую базу по проведению теплотехнических испытаний и автоматически способно создавать стандартные формы выходных протоколов.

Для расчета значения K экспериментальные данные импортируются из ПО испытательных станций в РПК или могут передаваться по другим каналам связи.

К ним относятся:

S – площадь внешней поверхности кузова транспортного средства, m^2 ;

W – мощность нагревательных элементов, располагаемых в кузове транспортного средства, кВт;

T_e – температура воздуха в испытательной станции при проведении испытаний, $^{\circ}C$;

$\Delta = T_i - T_e$ – среднеарифметическая разница температур воздуха в кузове транспортного средства и в испытательной станции при проведении испытаний.

После получения экспериментальных данных автоматически производится расчет значения K , которое, как показано на рисунке 2, визуализируется в нижней части диалогового окна справа.

Здесь следует отметить, что в первой ячейке указывается значение K с точностью 4 разряда, полученное при задаваемой и поддерживаемой в испытательной станции температуре воздуха T_e . Во второй ячейке приводится значение рекомендованной в СПС допустимой величины относительной погрешности $\Delta (\pm 0,5 \%)$.

В третьей ячейке – значение K с точностью 4 разряда, приведенное в соответствии с требованиями СПС к средней температуре стенки транспортного средства, равной $20^{\circ}C$, с указанным значением допустимой величины относительной погрешности $\Delta (\pm 0,5 \%)$.

После проведения расчета K при необходимости осуществляется формализация полученных расчетных данных в диалоговом окне. При этом на экране монитора отражается стандартизированная форма протокола (часть 1) СПС в виде таблицы с исходными данными заказчика и представленного для проведения теплотехнических испытаний ТС. На рисунке 3 приведен пример заполненной формы части 1 протокола.



Рисунок 2 – Визуализация расчетных значений К

Станция, уполномоченная проводить испытания	
Название (фамилия)	Рефрижираторное вагонное депо "Троицк" – филиал АО "Рефсервис"
Адрес	Челябинская обл., г. Троицк, ул. Им. Т.Д. Дерибаса, д.30
Тип транспортного средства	
Изотермический вагон (вагон-термос), модернизированный с продлением срока службы в соответствии с проектом ТУ 3182-041-01124336-2016	
Заводская марка	16-6950
Регистрационный номер	90822073
Сервизный номер	Введите номер...
Дата начала эксплуатации	Введите дату...
Тара, кг	31600 (выписка из книги перевозки грузов)
Грузоподъемность, кг (указать источник информации)	54000 (технический паспорт вагона)
Кузов	Введите текст...
Марка и тип	Теплоизолированный, термос
Опознавательный номер	9082073
Изготовлен (кем)	Рефрижираторное вагонное депо "Троицк" – филиал АО "Рефсервис"
Принадлежит (кому) или эксплуатируется (кем)	АО "Рефсервис"
Представлен (кем)	АО "Рефсервис"
Дата изготовления	20.01.2018 г.
Спецификация стенок кузова	
Крыша	Металл оцинкованный 1,00 мм, плита пенополистирольная 250,00 мм, металл 1,50 мм
Пол	Резина 4 мм, доска 45 мм, плита пенополистирольная 120,00 мм, металл 2,00 мм
Боковые стенки	Металл оцинкованный 1,50 мм, плита пенополистирольная 200,00 мм, металл 1,50 мм
Торцевые стенки	Металл оцинкованный 1,50 мм, плита пенополистирольная 200,00 мм, металл 1,50 мм
Конструктивные особенности кузова: количество, положение и размеры	
Дверей	Две (2200x2000 мм); расположены по обеим сторонам боковых стен
Вентиляционных отверстий	Нет
Отверстий для загрузки льда	Нет (не предусмотрены проектом ТУ-3182-041-01124336-2016)
Дополнительные приспособления	Введите текст...
Коэффициент К – Вт/м²·К	0,5022 Вт/м²·К

Рисунок 3 – Пример заполненной формы части 1 протокола СПС

После заполнения исходных данных о заказчике и представленном для проведения теплотехнических испытаний типе транспортного средства значение K , полученное в результате расчета и приведенное к средней температуре стенки транспортного средства, автоматически отражается в форме нижней части 1 протокола (см. рисунок 3).

С целью формализации результатов расчета K и представления полученных значений в компетентном органе аналогично заполняется часть 2 формы протокола СПС (рисунки 4, 5).

Приложение 2

Часть 2

Измерение общего коэффициента теплопередачи транспортных средств, не являющихся цистернами, предназначенными для перевозки жидких пищевых продуктов, в соответствии с подразделом 2.1 добавления 2 к приложению 1 к СПС

Метод, использованный для испытания		Внутренний обогрев			
Дата и время закрытия дверей и других отверстий транспортного средства		22.05.2019 10:00:00			
Средние величины, полученные за	6 Часов функционирования в постоянном режиме с	24.05.2019 03:20:00	до	24.05.2019 09:20:00	часов
а) средняя наружная температура кузова T_e -		18,37	°C	0,21	К
б) средняя внутренняя температура кузова T_i -		44,64	°C	0,31	К
с) полученная средняя разница температур T -		44,64			К
Максимальная разность температур:					
Снаружи кузова		1,20			К
Внутри кузова		3,77			К
Средняя температура стенок кузова $\frac{T_e+T_i}{2}$		31,32			°C
Рабочая температура теплообменника		Введите текст...			°C
Точка росы воздуха снаружи кузова во время функционирования в постоянном режиме		-	°C	-	К
Общая продолжительность испытания		49,25			Ч
Продолжительность постоянного режима		12,00			Ч
Мощность, затраченная в теплообменниках: $W1$		4578,33			Вт
Мощность, затраченная в теплообменниках: $W2$		0			Вт
Общий коэффициент теплопередачи, определенный по формуле:					

Рисунок 4 – Пример заполненной формы части 2 протокола СПС

Испытание на внутренний обогрев $K = \frac{W1 - W2}{S \cdot \Delta T}$	
$K =$	0,5473789 Вт/м ² ·К
Максимальная погрешность измерения при проведенном испытании	0,02736895 %
Значение общего коэффициента теплопередачи, приведенное к температуре стенок кузова +20, составляет	0,5022702 Вт/м ² ·К с учетом погрешности 0,02511351
Замечания: Вт/м ² ·К, что составляет не более 0,5273837 Вт/м ² ·К	
(Заполняется только для транспортного средства, не имеющего термического оборудования) Исходя из приведенных выше результатов испытания, транспортное средство может признаваться пригодным на основании свидетельства, выданного в соответствии с добавлением 3 к приложению 1, к СПС, действительного в течении не более шести лет, транспортное средство имеет опознавательное буквенное обозначение IN. Однако использование настоящего протокола испытания в качестве свидетельства официального утверждения транспортного средства в соответствии с пунктом 6	
а) добавление 1 к приложению 1 к СПС возможно только в течении не более шести лет, т.е. до	
Составлен в	Введите текст... Ответственный за испытание Князев А.А.
Дата	24.05.2019

Рисунок 5 – Пример формализованной формы части 2 протокола СПС

Для удобства и проведения расчета в соответствии с требованиями СПС в диалоговом окне РПК «ОЛИМП» приведены необходимые справочные данные, которые предоставляются пользователю путем активации соответствующего диалогового окна: «СПС Схема расстановки датчиков температуры», «Основные требования проведения испытаний по СПС», «Метод испытаний по СПС».

Сегодня институтом ведется работа по апробации РПК «Олимп» в испытательных станциях.

Список литературы

1 ГОСТ Р 53828-2010. Автомобильные транспортные средства. Система обеспечения микроклимата. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2010-09-15. – М. : Стандартинформ, 2010. – 19 с.

2 ГОСТ Р 50697-94 (ИСО 1496-2-88). Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Ч. 2. Контейнеры изотермические. – Введ. 2010-09-15. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 72 с.

3 ГОСТ Р 50992-2019. Автомобильные транспортные средства. Климатическая безопасность. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2021-05-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 28 с.

4 ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования. – Введ. 2001-07-01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 9 с.

5 **Теймуразов, Н. С.** Ускоренные методы оценки коэффициента теплопередачи кузовов изотермических транспортных средств / Н. С. Теймуразов, С. Н. Науменко // Вестник ВНИИЖТ. – 2009. – № 5. – С. 18–21.

6 **Бартош, Е. Т.** Энергетика изотермического подвижного состава / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1976. – 304 с.

7 **Голубин, А. А.** Экспресс-оценка величины коэффициента теплопередачи изотермического вагона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / А. А. Голубин ; Науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. – М., 2018. – 24 с.

8 Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://unece.org/sites/default/files/2022-09/2201321R_pdf_web%20with%20corrections.pdf. – Дата доступа : 15.02.2022.

9 Расчётно-программный комплекс по определению общего коэффициента теплопередачи кузова изотермического транспортного средства «Олимп» : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022617514, 21.04.2022 / М. И. Мехедов [и др.]. – № 2022616303 от 08.04.2022.

УДК 656

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОПИЛОТА НА ДОРОГАХ

С. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, Н. А. ГЕРАСИМЁНОК, В. Д. ВЛАДЫМЦЕВ
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Рост потребности в перевозках товаров и в услугах является естественным следствием экономического развития и увеличения населения. Однако