

Разработка алгоритма по определению коэффициента теплопередачи кузова изотермического транспортного средства на основе результатов анализа происходящих в нем теплообменных процессов

А.А. ГОЛУБИН¹, С.Н. НАУМЕНКО²

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Центр безопасности информации» (ООО «ЦБИ»), Королев, 141090, Россия

² Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. В статье проанализированы теплообменные процессы, происходящие в кузове изотермического транспортного средства при определении коэффициента теплопередачи K методом внутреннего подогрева. Предложен алгоритм определения K , позволяющий вычислить его значение с точностью, не превышающей 5 %, при этом сократив длительность проведения эксперимента не менее чем в 6 раз. Приведены экспериментальные данные и результаты расчетов искомых значений K для кузовов изотермических транспортных средств.

Ключевые слова: определение коэффициента теплопередачи; экспресс-метод определения коэффициента теплопередачи; равновесный и неравновесный методы определения коэффициента теплопередачи; изотермические транспортные средства; теплотехнические испытания

Введение. В последние годы в нашей стране особенно остро встал вопрос экономии топливно-энергетических ресурсов. В связи с этим возросли требования к эффективности строительных материалов и конструкций, позволяющих обеспечить более высокое сопротивление теплопередаче и, соответственно, меньшие затраты на отопление в зданиях и сооружениях.

Применительно к изотермическим транспортным средствам, к которым прежде всего следует отнести кузова пассажирских вагонов, моторвагонного подвижного состава и кабин локомотивов, корпуса рефрижераторных контейнеров и вагонов, необходимо подчеркнуть, что от эффективности используемых в их конструкциях теплоизолированных материалов зависит продолжительность работы обеспечивающих заданный в них температурно-влажностный режим систем отопления и охлаждения воздуха, а следовательно, и величина затрат, приходящаяся на электро- и топливопотребление.

Только при соответствии режимов работы энергетических установок нормативным параметрам теплоограждающих конструкций изотермическое

транспортное средство (ИТС) может быть признано энергоэффективным. Любой дебаланс в этой области в сторону ухудшения нормативных показателей теплоограждающих конструкций приведет в первую очередь к снижению ресурса или преждевременному выходу из строя энергетического оборудования, а в ряде случаев и к невозможности обеспечения в ИТС требуемых параметров микроклимата или заданного для перевозки скоропортящихся грузов с должным качеством температурного режима.

Поэтому нормативные характеристики, присущие теплоограждающим конструкциям ИТС, а также показатели эффективности работы энергетических установок во всем мире подлежат периодическому контролю и регламентируются соответствующими документами [1–4].

Основной нормативной величиной, характеризующей изотермические свойства теплоограждающих конструкций кузовов и корпусов ИТС, является значение коэффициента теплопередачи K (Вт/м²К), описываемое следующим выражением [5]:

$$K = \frac{Q}{H\theta}, \quad (1)$$

где Q — тепловой поток, расходуемый внутри кузова (корпуса), средняя поверхность которого равна H , и необходимый для поддержания при постоянном режиме абсолютной разности θ между средней внутренней температурой и средней наружной температурой, когда средняя наружная температура является постоянной.

Здесь следует пояснить, что в настоящее время в мировой практике применяются два принципиально различных способа для оценки теплотехнических качеств ограждений внутренних помещений кузовов ИТС, имеющих свои преимущества и недостатки.

По первому способу под K подразумевается общий коэффициент теплопередачи, учитывающий суммар-

ный теплообмен внутреннего помещения ИТС с окружающей средой как за счет теплопроводности λ элементов ограждения, так и за счет воздухообмена через неплотности кузова. Указанный способ не позволяет производить сравнительную оценку теплотехнических качеств каждого из отдельных элементов ограждения ИТС. Эта задача решается с помощью второго способа — с использованием тепловизора. В этом случае определяется не общий коэффициент теплопередачи K , а качественно оценивается коэффициент теплопроводности λ тех элементов ограждения, на которые направлена специальная видеокамера тепловизора, в которой интенсивность, а также цвет изображения элементов ограждения показывают, какой из элементов по отношению к другим пропускает больше или меньше тепла. Таким способом достаточно точно определяются дефектные элементы ограждений. Стремления исследователей различными способами применить получаемые результаты наблюдений видеокамерой для определения значений коэффициента λ и через него коэффициента K по целому ряду причин (субъективность цветового восприятия, зависимость цвета от температуры окружающей среды, трудность учета воздухообмена через неплотности кузова ИТС и т. д.) не дали необходимой точности результатов.

Поэтому в настоящее время в мировой практике оценка теплотехнического соответствия кузова ИТС осуществляется по первому способу.

Порядок проведения испытаний по определению K состоит в том, что воздух внутри кузова ИТС, помещенного в атмосферу с постоянной температурой, нагревают источником тепла определенной мощности P до такого состояния, при котором температура этого воздуха перестает расти и остается постоянной во времени. Достигнутое таким образом состояние воздуха представляет собой равновесный тепловой режим (равновесный метод). Величина K по равновесному методу определяется из выражения (1). Равновесный метод достаточно точный, максимальная погрешность определения K указанным методом не превышает +5 % [6].

Несмотря на очевидную простоту и мировое признание, опыты по определению K равновесным методом не только трудоемки, но и связаны со значительными простоями испытуемого транспортного средства в специальной теплоизолированной испытательной станции. Только непосредственно эксперимент продолжается не менее 3 сут. На практике, длительность проведения эксперимента равновесным методом не позволяет заводам-изготовителям ИТС проводить повсеместный контроль теплотехнического состояния кузовов. Кроме того, из-за невписывания по времени указанной процедуры в технологические процессы ремонта ИТС, в частности изотермических вагонов, контроль теплотехнических

характеристик кузовов вынужденно осуществляется выборочно [7]. Таким образом, минимизация продолжительности процедуры проведения испытаний ИТС по определению K является достаточно актуальной.

Способы решения. Ранее предпринимались многочисленные попытки определения K без использования специальной испытательной станции [8, 9], или при помощи менее длительных неравновесных методов, основанных на исключении из программы испытаний периода установившегося стационарного режима теплопередачи [10–12]. Но их общими недостатками в сравнении с равновесным методом стали значительная погрешность при определении K и несущественное сокращение длительности испытаний.

Решение. Предлагаемый в настоящей статье алгоритм определения K позволяет определить его с относительной погрешностью не более 5%, при этом значительно — до 11 ч — сократить время проведения испытаний.

Так, известно дифференциальное уравнение теплового баланса нагреваемых тел [13]

$$Wd\theta = (P - KH\theta)d\tau, \quad (2)$$

где W — водяной эквивалент тела, Вт/К; P — мощность нагревателя тела, Вт; K — коэффициент теплопередачи тела, Вт/м²К; H — геометрическая (средне-геометрическая) поверхность тела, м²; θ — перепад температур внутри и снаружи тела, К; τ — текущее время, ч.

Преобразуем его в виде

$$\frac{d\theta}{d\tau} = v_1 = \frac{P}{W} - \frac{KH}{W}\theta, \quad (3)$$

где v_1 — скорость изменения перепада температур тела.

При $v_1 = 0$ обеспечивается равновесный режим.

Обозначим в (3):

$$\frac{P}{W} = a; \quad \frac{KH}{W} = b,$$

тогда выражение запишется как

$$v_1 = a - b\theta. \quad (4)$$

Таким образом, получаем, что v_1 линейно зависит от θ .

Ранее [14] было замечено, что с момента включения нагревателя и до момента, когда выполняются условия уравнения (2), проходит некоторое время, в течение которого перепад температур θ изменяется в соответствии с уравнением

$$\theta = A\tau^B, \quad (5)$$

где τ — текущее время от момента включения нагревателя; A и B — параметры уравнения.

Тогда из (5) находим

$$\tau = \left(\frac{\theta}{A} \right)^{\frac{1}{B}}; d\tau = \frac{1}{A^{\frac{1}{B}}} \frac{1}{B} \theta^{\frac{1}{B}-1} d\theta; \quad (6)$$

$$v_2 = \frac{d\theta}{d\tau} = A^{\frac{1}{B}} B \theta^{\frac{1}{B}-1},$$

где v_2 — скорость изменения перепада температур тела на начальном участке после включения нагревателя.

Таким образом, с момента включения нагревателя до момента, при котором выполняются условия уравнения (2), изменение скорости v_2 происходит по кривой, описываемой степенной функцией уравнения (6). В момент, когда начинают выполняться условия уравнения (2), скорость v_1 начинает изменяться по прямой, описываемой уравнением (4). В этот момент происходит касание криволинейной степенной функции уравнения (6) и прямолинейной функции уравнения (4). При этом $v_2 = v_1$, и далее v_1 изменяется прямолинейно в соответствии с уравнением (4).

Обозначим параметры v , θ и τ точки касания соответственно через v_k , θ_k и τ_k .

Тогда

$$v_{2k} = A^{\frac{1}{B}} B \theta_k^{\frac{1}{B}-1} = v_{1k} = a - b\theta_k. \quad (7)$$

При известных параметрах точки касания можно уравнение касательной прямой выразить через параметры касаемого криволинейного уравнения исходя из равенства

$$v_2 - v_{2k} = v'_{2k} (\theta - \theta_k), \quad (8)$$

где v_2 и θ — текущие значения параметров; v_{2k} , v'_{2k} и θ_k — известные значения параметров в точке касания.

Отсюда

$$v_2 = v_{2k} - v'_{2k} (\theta - \theta_k). \quad (9)$$

Дальнейшие преобразования с учетом (4–6) позволяют получить выражение для K

$$K = (1-B) \frac{P}{A H \tau_k^B}. \quad (10)$$

Следует, однако, иметь в виду, что во время включения нагревательных элементов, начальная разность температур может не равняться нулю, а быть несколько выше нуля. В этом случае выражения (5) и (10) запишутся соответственно в виде

$$\theta = A(\tau_0 + \tau)^B; \quad (11)$$

$$K = (1-B) \frac{P}{A H (\tau_0 + \tau_k)^B}, \quad (12)$$

где τ_0 — время, соответствующее начальному значению разности температур θ_0 на момент включения нагревательных элементов: $\theta_0 = A\tau_0^B$.

Из выражения (12) видно, что значение K зависит от параметра B , который входит как в числитель, так и в знаменатель.

Известно [12], что при нагреве функция (5) является выпуклой. Это возможно только при значениях $B < 1$, т. к. при значениях $B = 1$ функция превращается в линейную типа $\theta = A\tau$, а при значениях $B > 1$ — в вогнутую функцию.

Таким образом, параметр B изменяется в пределах от 0 до 1.

При $B = 0$ значение разности температур $\theta = A\tau^0$ перестает зависеть от времени τ . Это означает, что перепад температур остается постоянным во времени и процесс нагрева не происходит.

Исследование зависимости параметра P/A [15] в уравнении (12) от параметра B , выполненное по результатам проведенных сравнительных экспериментов по определению K равновесным и экспресс-методом продолжительностью не более 11 ч (см. таблицу, п. 1–4, 7 и рисунок, поз. 1), показало его линейную зависимость вида

$$P/A = 1,237 B. \quad (13)$$

Обозначим

$$P/1,237 B = A_\alpha, \quad (14)$$

а значения τ_0 , соответствующее значению A_α , через $\tau_{0\alpha}$ и предположим, что среднее за эксперимент значение перепада температур θ_{cp} должно оставаться неизменным как при значениях τ_0 , так и при значениях $\tau_{0\alpha}$:

$$\begin{aligned} \theta_{cp} &= \sqrt{A(\tau_0)^B A(\tau_0 + \tau_n)^B} = \theta_{cp} = \\ &= \sqrt{A_\alpha (\tau_{0\alpha})^B A_\alpha (\tau_{0\alpha} + \tau_n)^B}, \end{aligned} \quad (15)$$

где τ_n — время окончания эксперимента.

Отсюда

$$\tau_{0\alpha} = -\tau_n \pm \sqrt{\tau_n^2 + 4(A/A_\alpha)^{\frac{2}{B}} (\tau_0^2 + \tau_0 \tau_n)}. \quad (16)$$

Данные о величинах τ_0 и $\tau_{0\alpha}$ приведены в таблице, п. 8 и 9. Из сравнения этих данных видно, что τ_0 и $\tau_{0\alpha}$ отличаются друг от друга на величину $\pm 0,2–0,3$ ч, что соответствует 4–5 % от величины τ_n и не превосходит принятую величину относительной погрешности.

В то же время известно, что K может меняться в пределах от нуля, когда теплообмен тела с окружающей средой отсутствует, до 1, когда вся мощность нагревательных элементов беспрепятственно уходит в окружающую среду через ограждающую поверхность тела.

Сравнение параметров B и K показывает, что при $B = 0$, когда разность температур остается неизменной, K равен 1, т. к. вся мощность нагревателей уходит в окружающую среду. Вместе с тем при $B = 1$ перепад

Составляющие уравнения теплового баланса при внутреннем нагреве ИТС
The components of the heat balance equation for internal heating of the ITS

№ п/п	Показатель	№ опыта											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	P , кВт	4,20	6,90	7,55	4,24	3,38	2,74	5,03	8,93	5,07	5,35	15,20	6,73
2	B	0,33	0,43	0,47	0,51	0,52	0,52	0,54	0,56	0,57	0,68	0,69	0,70
3	A	9,18	13,07	13,29	7,39	5,12	5,19	7,91	12,16	7,62	6,93	15,23	6,32
4	P/A	0,46	0,53	0,57	0,57	0,66	0,53	0,64	0,73	0,67	0,77	0,97	1,00
5	P/A_α	0,41	0,54	0,58	0,63	0,65	0,65	0,67	0,69	0,71	0,84	0,85	0,87
6	A_α	10,15	12,73	12,99	6,72	5,23	4,23	7,49	12,96	7,15	6,35	17,95	7,74
7	τ_n , ч	5,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	5,5	11,0	7,0	5,5	11,0
8	τ_0 , ч	0,43	1,68	1,45	0,90	0,20	0,19	1,09	0,10	0,17	0,03	0,40	0,14
9	$\tau_{0\alpha}$, ч	0,24	1,86	1,57	1,29	0,19	0,39	1,29	0,08	0,13	0,04	0,26	0,08
10	$(1/1,237 B)/10$	2,41	1,85	1,72	1,59	1,55	1,54	1,49	1,45	1,41	1,19	1,18	1,15
11	$(\tau_0 + \tau_k)/10$	6,80	7,99	8,06	8,03	8,01	8,00	7,94	7,89	7,83	7,28	7,26	7,16
12	K_α , Вт/м ² К	0,67	0,56	0,53	0,49	0,48	0,48	0,46	0,44	0,43	0,32	0,32	0,29
13	K_p , Вт/м ² К	0,34	0,59	0,55	0,43	0,41	0,55	0,44	0,41	0,37	0,34	0,46	0,46
14	$(K_p - K_\alpha)/K_\alpha$, %	-0,49	-0,01	0,04	-0,13	-0,14	0,16	-0,04	-0,07	-0,12	0,06	0,47	0,56

температур прямо пропорционален времени нагрева. Это возможно только при отсутствии теплообмена с окружающей средой, когда $K = 0$.

Отсюда следует, что коэффициент теплопередачи K и параметр B взаимнопротивоположны, т. е.

$$K = 1 - B. \quad (17)$$

Как видно из выражения (12), в его правую часть входят комплексы $(1 - B)$, P/A и $1/H(\tau_0 + \tau_k)^B$.

Ранее (13) было показано, что комплекс $P/A = 1,237 B$. Очевидно, что для равенства K и $(1 - B)$ в выражении (12), произведение комплекса P/A и комплекса $1/H(\tau_0 + \tau_k)^B$ должно быть всегда равно 1.

Отсюда

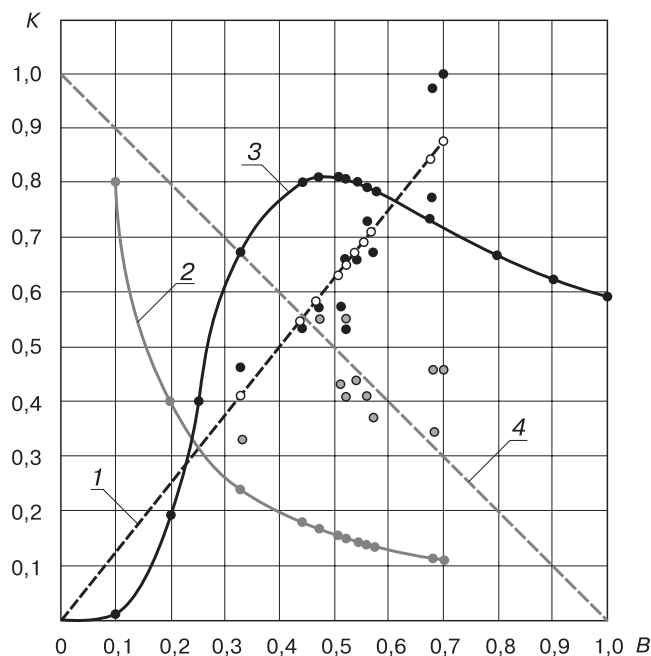
$$1/1,237 B = 1/H(\tau_0 + \tau_k)^B; \quad (18)$$

$$\tau_0 + \tau_k = \left(\frac{1,237 B}{H} \right)^{\frac{1}{B}}. \quad (19)$$

В таблице (п. 10 и 11) приведены значения параметров, рассчитанных по выражениям (18) и (19). Предлагаемый метод поясняется графическим изображением. На рисунке (поз. 2 и 3) приведены их графические изображения.

В таблице (п. 12 и 13) приведены значения коэффициента теплопередачи, определенные из выражения (12) — K_α , и методом равновесных режимов — K_p соответственно, а на рисунке (поз. 4) представлено графическое изображение K_α .

В таблице (п. 14) приведены значения величины $(K_p - K_\alpha)/K_\alpha$, из которых следует, что среднее отклонение K_p от K_α не превышает 2,4%.



Зависимость составляющих уравнения (12), определяющих величину коэффициента теплопередачи K : 1 — зависимость $P/A_\alpha = 1,237 B$; 2, 3 — кривые, описанные выражениями 18 и 19 соответственно; 4 — прямая, характеризуемая уравнением $K_\alpha = 1 - B$

The dependence of the components of equation (12), which determine the value of the heat transfer coefficient K : 1 — dependence $P/A_\alpha = 1,237 B$; 2, 3 — the curves described by expressions 18 and 19 respectively; 4 — straight line characterized by the equation $K_\alpha = 1 - B$

Таким образом, для определения коэффициента теплопередачи K необходимо определить параметр B и затем вычислить его по выражению (17).

Выводы. Использование алгоритма расчета по определению коэффициента теплопередачи изотермического транспортного средства позволит:

- значительно сократить длительность проведения испытаний;
- увеличить производительность испытательных станций;
- перейти от практикуемого в настоящее время выборочного контроля изготавливаемых или ремонтируемых изотермических транспортных средств к их сплошному контролю.

Применение экспресс-метода по определению K открывает возможности для эксплуатирующих компаний к организации электронного паспорта теплотехнического состояния для каждого кузова изотермического транспортного средства, контроль над которым дает возможность обеспечения энергооптимальных режимов работы энергетического оборудования, а следовательно, и увеличения его ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55182–2012. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.
2. СТ ССФЖТ ЦТ–ЦП129–2002. Локомотивы, моторвагонный и специальный подвижной состав железных дорог. Кабины, салоны, служебные и бытовые помещения. Методики испытаний по показателям систем обеспечения микроклимата. М., 2002. 56 с.
3. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС) / ООН. Нью-Йорк; Женева, 2015. 86 с.
4. Типовая методика по установлению температурных режимов и предельных сроков перевозки ОАО «РЖД» новых видов скоропортящихся грузов в изотермических транспортных средствах, кроме изотермических цистерн и контейнеров-цистерн, на особых условиях: утв. вице-президентом ОАО «РЖД» 04.12.2012 № 355.
5. Ибраев К. А., Дынга И. Г., Кондратьев А. В. Контроль и освидетельствование изотермических транспортных средств // Автотранспортное предприятие. 2006. № 9. С. 20–24.
6. Теймуразов Н. С., Науменко С. Н. Ускоренные методы оценки коэффициента теплопередачи кузовов изотермических транспортных средств // Вестник ВНИИЖТ. 2009. № 5. С. 18–21.

7. Коковихин А., Науменко С., Теймуразов Н. Перевозки продовольствия — нужны действия // РЖД — Партнер. 2006. № 2. С. 50–51.
8. Науменко С. Н., Теймуразов Н. С., Голубин А. А. Оценка точности определения в деполевских условиях коэффициента теплопередачи кузова изотермического вагона // Энергосбережение и защита окружающей среды на теплоэнергетических объектах железнодорожного транспорта, промышленности и жилищно-коммунального хозяйства: сб. докладов участников объединенной научной сессии советов РАН по проблемам «Тепловые режимы машин и аппаратов», «Теплофизика и теплоэнергетика», «Химико-физические проблемы энергетики». М.: МИИТ, 2008. С. 189–192.
9. Науменко С. Н., Теймуразов Н. С., Голубин А. А. Точность определения коэффициента теплопередачи // Железнодорожный транспорт на современном этапе. Задачи и пути их решения: сб. тр. молодых ученых и аспирантов по результатам работы конф. / под ред. А. Е. Семечкина. М.: ОАО «ВНИИЖТ», 2008. С. 76–78.
10. Иванов К. В., Лукшин А. Е. Оценка влияния тепловой инерции кузова рефрижераторного вагона при нестационарном подогреве // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1972. Вып. 456. С. 80–87.
11. Бартош Е. Т., Иванов К. В. Метод неравновесных режимов для оценки инфильтрации кузова вагона // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1972. Вып. 456. С. 100–109.
12. Бартош Е. Т. Энергетика изотермического подвижного состава. М.: Транспорт, 1976. 304 с.
13. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 343 с.
14. Способ определения среднего коэффициента теплопередачи кузова транспортного средства: а.с. № 1730572 СССР / И. П. Екимовский, А. В. Коковихин, Н. С. Теймуразов и др. Опубл. 30.04.1992. Бюл. № 16. 11 с.
15. Голубин А. А. Анализ методов экспериментального определения коэффициента теплопередачи // Вопросы развития железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики: сб. статей молодых ученых и аспирантов / ВНИИЖТ; под ред. к.т.н. Ю. М. Черкашина и д.т.н. Г. В. Гогричиани. М.: Интекст, 2007. С. 99–107.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ГОЛУБИН Алексей Александрович, инженер-испытатель отдела испытаний программных средств испытательной лаборатории, ООО «ЦБИ»

НАУМЕНКО Сергей Николаевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 02.06.2017 г., принята к публикации 10.08.2017 г.

Development of an algorithm for determining the heat transfer coefficient of the body of an isothermal vehicle based on the results of analysis of the heat exchange processes occurring in it

A. A. GOLUBIN¹, S. N. NAUMENKO²

¹ Limited Liability Company "Information Security Center" (LLC "CBI"), Korolev, 141090, Russia

² Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The article analyzes the heat exchange processes occurring in the body of an isothermal vehicle when determining the heat transfer coefficient K by the internal heating method. The differences are shown in the values of the heat transfer coefficients obtained by the equilibrium internal heating method and

the thermal imaging method using a thermal imaging device. An algorithm for determining the heat transfer coefficient is proposed, which makes it possible to calculate its value with an accuracy not exceeding 5 %, which is regulated by a number of international normative documents, while reducing the duration of the experi-

ment by at least 6 times. The study gives comparative experimental data and results of calculating the unknown values of K for bodies of isothermal vehicles obtained by the equilibrium method and an express method based on the algorithm described in the article. It is shown that the use of the algorithm for calculating the heat transfer coefficient of the body of an isothermal vehicle will not only increase the productivity of testing stations, but will also lead to the organization of an electronic passport for the thermo-technical state for each body of an isothermal vehicle, the control of which will enable timely diagnosing the thermo-technical condition of the bodies of isothermal vehicles, providing energy-optimal operating modes of energy equipment and, hence, increasing its resource.

Keywords: determination of the heat transfer coefficient; express method for determining the heat transfer coefficient; equilibrium and non-equilibrium methods for determining the heat transfer coefficient; isothermal vehicles; heat engineering tests

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311>

REFERENCES

1. GOST P 55182–2012. *Passenger cars of locomotive traction. General technical requirements*. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 24 p. (in Russ.).
2. ST SSFZHT TsT–TsP129–2002. *Locomotives, motorized and special rolling stock of railways. Cabins, salons, service and household premises. Test methods for indicators of microclimate maintenance systems*. Moscow, 2002, 56 p. (in Russ.).
3. *Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for such Carriage (ATP)*. UN, New York and Geneva, 2015, 86 p.
4. *Typical methodology for establishing temperature regimes and the time limits for the transportation of new types of perishable goods by Russian Railways in isothermal vehicles, in addition to insulated tanks and tank-containers, under special conditions*. Approved by Vice-President of JSC “Russian Railways” on 04.12.2012 no. 355 (in Russ.).
5. Ibraev K. A., Dynga I. G., Kondrat'ev A. V. *Kontrol' i osvidetel'stvovanie izotermicheskikh transportnykh sredstv* [Inspection and inspection of insulated vehicles]. *Avtotransportnoye predpriyatiye*, 2006, no. 9, pp. 20–24.
6. Teymurazov N. S., Naumenko S. N. *Uskorennyye metody otsenki koeffitsienta teploperedachi kuzovov izotermicheskikh transportnykh sredstv* [Accelerated methods for estimating the coefficient of heat transfer of bodies of isothermal vehicles]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2009, no. 9, pp. 18–21.
7. Kokovikhin A. N., Naumenko S. N., Teymurazov N. S. *Perevozki prodovol'stviya – nuzhny deystviya* [Transportation of food – need action]. *RZD Partner*, 2006, no. 2, pp. 50–51.
8. Naumenko S. N., Teymurazov N. S., Golubin A. A. *Otsenka tochnosti opredeleniya v depovskikh usloviyakh koeffitsienta teploperedachi kuzova izotermicheskogo vagona* [Accuracy evaluation of determination in depot conditions of the heat transfer coefficient of the body of an isothermal car]. *Energoberezhenie i zashchita okruzhayushchey sredy na teploenergeticheskikh ob'ektakh zheleznodorozhnogo transporta, promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva*. Sb. dokladov uchastnikov ob"edinennoy nauchnoy sessii sovetov RAN po problemam “Teplovye rezhimy mashin i apparatov”, “Teplofizika i teploenergetika”, “Khimiko-fizicheskie problemy energetiki” [Energy saving and environmental protection at heat power facilities of railway transport, industry and housing and communal services. Coll. reports of the participants of the joint scientific session of the Councils of the Russian Academy of Sciences on the problems “Thermal regimes of machines and apparatuses”, “Thermophysics and heat power engineering”, “Chemical-physical problems of power engineering”]. Moscow, MIIT Publ., 2008, pp. 189–192.
9. Naumenko S. N., Teymurazov N. S., Golubin A. A. *Tochnost' opredeleniya koeffitsienta teploperedachi* [Accuracy of determination of heat transfer coefficient]. *Zheleznodorozhnyy transport na sovremennom etape. Zadachi i puti ikh resheniya* Sb. trudov molodykh uchennykh i aspirantov po rezul'tatam raboty konferentsii pod redaktsiei A. E. Semechkina [Railway transport at the present stage. Tasks and ways of their solution. Collection of works of young scientists and graduate students on the results of the conference, edited by A. E. Semechkin]. Moscow, JSC “VNIIZhT” Publ., 2008, pp. 76–78.
10. Ivanov K. V., Lukshin A. E., Bartosh E. T. *Otsenka vliyaniya teplovoi inertsii kuzova refrizheratornogo vagona pri nestatsionarnom podogreve*. *Trudy TsNII MPS*, vyp. 456. [Evaluation of the influence of thermal inertia of the body of a refrigerator car under non-stationary heating. Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways, no. 456]. Moscow, Transport Publ., 1972, pp. 80–87.
11. Bartosh E. T., Ivanov K. V. *Metod neravnovesnykh rezhimov dlya otsenki infil'tratsii kuzova vagona*. *Trudy TsNII MPS*, vyp. 456. [The method of nonequilibrium modes for evaluating the infiltration of the car body. Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways, no. 456]. Moscow, Transport Publ., 1972, pp. 100–109.
12. Bartosh E. T. *Energetika izotermicheskogo podvizhnogo sostava* [Energy of isothermal rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1976, 304 p.
13. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Fundamentals of Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1977, 343 p.
14. Ekimovskiy I. P., Kokovikhin A. V., Krylov A. A., Kulikov S. K., Teymurazov N. S. *Sposob opredeleniya srednego koeffitsienta teploperedachi kuzova transportnogo sredstva*. A.s. no. 1730572 SSSR, published 30.04.1992, Bul. no. 16, 11 p. (in Russ.).
15. Golubin A. A. *Analiz metodov eksperimental'nogo opredeleniya koeffitsienta teploperedachi* [Analysis of methods for the experimental determination of the heat transfer coefficient]. *Voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh rynochnoy ekonomiki*. Sb. statei molodykh uchennykh i aspirantov [Issues of the development of rail transport in a market economy. Coll. of articles by young scientists and graduate students]. Moscow, Intext Publ., 2007, pp. 99–107.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey A. GOLUBIN,

Test Engineer of the software testing department of the Test Laboratory of the Information Security Center, LLC “CBI”

Sergey N. NAUMENKO,

Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, JSC “VNIIZhT”

Received 02.06.2017

Accepted 10.08.2017

■ E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru (S. N. Naumenko)