

Программа для ЭВМ по определению коэффициента теплопередачи как инструмент экономии топливно-энергетических ресурсов

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. Описана структура программы для ЭВМ по определению коэффициента теплопередачи «Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств». Показано, что использование программы для ЭВМ практически исключает влияние человеческого фактора на процедуру расчета данного коэффициента. В работе проанализированы основные преимущества использования анонсируемой программы и приведен результат расчета экономической эффективности от ее использования.

Ключевые слова: коэффициент теплопередачи; экспресс-метод определения коэффициента теплопередачи; изотермическое транспортное средство; программа для ЭВМ; экономия топливно-энергетических ресурсов

Введение. В работе [1] опубликованы результаты исследования зависимости коэффициента теплопередачи (K) кузова изотермического транспортного средства (ИТС) от распределения тепла в кузове при внутреннем нагреве воздуха, а также описан алгоритм определения данного коэффициента, позволяющий рассчитать значение K с относительной погрешностью не более 5% и существенно (до 91,5%) сократить продолжительность проведения испытаний по сравнению с традиционным равновесным методом.

Описание программы. Для точного и оперативного определения K указанный выше алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ «Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств» [2]. Разработанная программа является удобным инструментом для расчета K , позволяющим минимизировать человеческий фактор в ходе проведения эксперимента.

Программа написана на языке программирования «Delphi» и выполнена для персонального компьютера (ПК). На основе результатов проведенных ранее испытаний [3–5] доказано, что программа позволяет производить расчет K кузовов (корпусов) ИТС с относительной погрешностью не более 5% — в соответствии с международными требованиями [6].

В качестве примера приведен алгоритм расчета K кузова рефрижераторного вагона, относящегося

к ИТС. В рабочее окно программы вводятся необходимые для расчета K экспериментальные данные, полученные в результате проведенных 5,5-часовых теплотехнических испытаний (рис. 1). Используя введенные пользователем значения, программа автоматически вычисляет K .

На рис. 2 представлены результаты расчета K кузова рефрижераторного вагона, равного 0,44 Вт/м²К.

Как видно из рис. 2, для удобства визуального восприятия введенные значения и полученные результаты отображены и в графическом виде.

В программе обеспечен интеллектуальный подход для определения величины K , позволяющий исключить человеческий фактор при выполнении расчета и минимизировать его в ходе проведения эксперимента для получения исходных данных. Если при вводе данных, полученных в ходе выполнения эксперимента, пользователь программы допустит ошибку, то она уведомит о ней (рис. 3).

Используя возможности программы по сохранению и загрузке результатов произведенных ранее расчетов, не составит труда отследить динамику

Исходные данные для расчета коэффициента теплопередачи
Initial data for calculating the heat transfer coefficient

Номер измерения	Время от начала замера при нагреве τ_n , ч	Перепад температур внутри и снаружи ИТС θ_n , К	Мощность электронагревателей P , кВт	Время достижения теплового баланса τ_0 , ч	Теплопередающая поверхность кузова вагона H , м ²
1	0	3,1	8,93	0,1045	218
2	0,5	8,3			
3	1	13,18			
4	1,5	17,67			
5	2	19,49			
6	2,5	21,11			
7	3	23,22			
8	3,5	25,18			
9	4	26,57			
10	4,5	28,33			
11	5	30			
12	5,5	31,44			

■ E-mail: naumenko.sergey@vniizht.ru (С. Н. Науменко)

Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств

Показатели эксперимента

Номер эксперимента: 1

Геометрическая (среднегеометрическая) поверхность теплопередачи, м²: 218

Мощность нагревателей транспортного средства, кВт: 8,93

Порядковый номер измерения: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Отсчет времени, ч: 0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 5,5

Разность температур внутри (tв) и снаружи (tн) транспортного средства: 3,1 8,3 13,18 17,67 19,49 21,11 23,22 25,18 26,57 28,33 30 31,44

Время достижения теплового баланса, ч: 0,1045

Кнопки: Новый эксперимент, Сохранить, Загрузить, Печать, Рассчитать

Рис. 1. Рабочее окно программы для ЭВМ «Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств»
 Fig. 1. Working window of the computer program “System of express estimation of the heat transfer coefficient of vehicles”

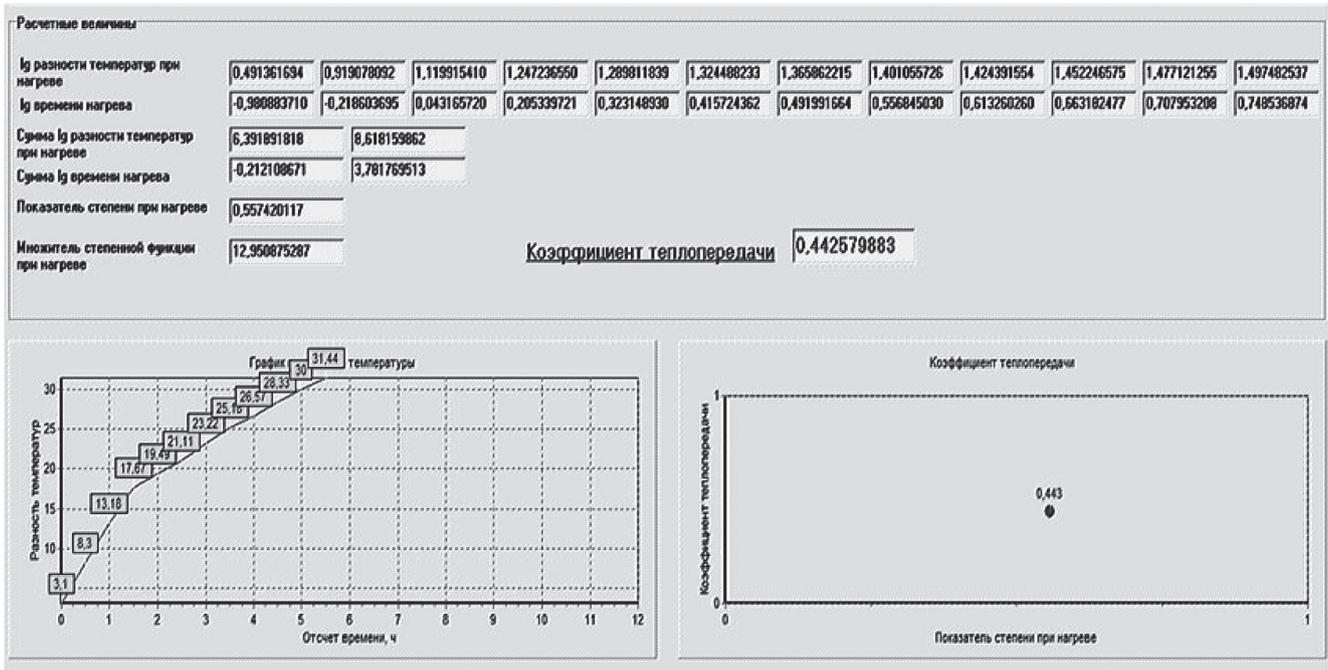


Рис. 2. Результаты расчета K кузова рефрижераторного вагона
 Fig. 2. Calculation results K for the body of a refrigerated car

изменения расчетного K для каждого конкретного транспортного средства, что важно при организации работы по разработке и внедрению теплотехнического паспорта для ИТС.

Алгоритм работы программы приведен в блок-схеме, представленной на рис. 4.

На практике применение программы для ЭВМ «Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств» возможно не только для ИТС, предназначенных для перевозки скоропортящихся пищевых продуктов, но и для пассажирских вагонов, кабин машинистов локомотивов, вагонов-ресторанов, а также фюзеляжей самолетов и пр., но в этих случаях потребуется ее апробация.

Экономическая эффективность. В рыночных условиях программу для ЭВМ можно будет использовать в качестве инструмента для экономии топливно-энергетических ресурсов в процессе эксплуатации

ИТС — при организации контроля теплотехнических свойств кузовов (корпусов).

Помимо явных преимуществ автоматизированных расчетов, экономический эффект будет выражен и в повышении производительности работы специализированных испытательных станций. (Главным образом он образуется за счет сокращения времени проведения подобного рода испытаний и снижения трудозатрат на реализацию процесса обработки экспериментальных данных.)

Для большинства размещенных в цехах вагоноремонтных и вагоностроительных заводов испытательных станций, предназначенных для проведения теплотехнических испытаний, экономический эффект в виде экономии трудовых и финансовых ресурсов ожидается от:

- снижения длительности проведения испытаний;
- экономии затрат на потребляемую во время проведения испытаний электроэнергию и трудозатрат

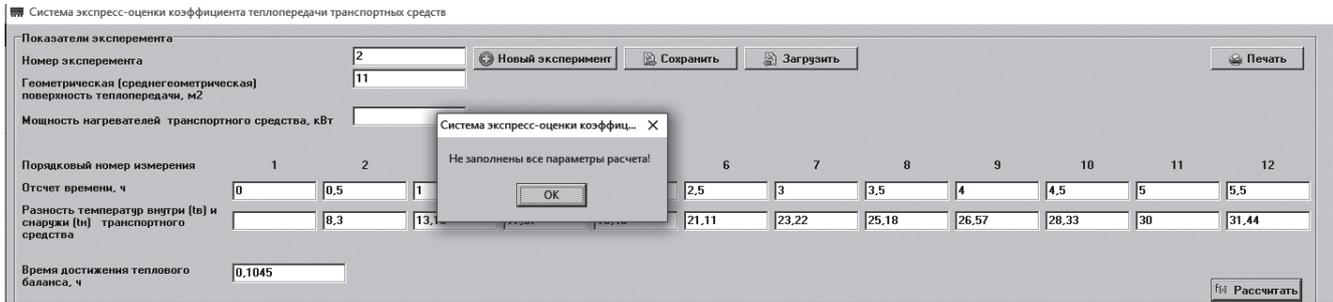


Рис. 3. Уведомление об ошибке при вводе данных
Fig. 3. Error message when entering data

штатного персонала, участвующего в проведении эксперимента.

Так, при использовании указанной программы продолжительность проведения теплотехнических испытаний сокращается на 75–91,5% по сравнению с принятым на практике равновесным методом (с 72 до 6 ч).

На данный момент стоимость проведения подобных видов испытаний, указанная на тендерных площадках ОАО «РЖД», составляет порядка 300,0 тыс. руб., из которой доля затрат, приходящаяся на оборудование ИТС датчиками и снятие показаний составляет 23%, обеспечение теплового режима достигает 43% и 34% — на обработку результатов измерений. В связи с этим стоимость испытаний по экспресс-методу, алгоритм которого положен в программу для ЭВМ, продолжительностью 6 ч может снизиться до 79,3 тыс. руб., т. е. уменьшится в 3,8 раза:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,23C_p + 0,08(0,43C_p) = 79,3 \text{ тыс. руб.},$$



Рис. 4. Блок-схема работы программы для ЭВМ «Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств»

Fig. 4. Block diagram of the computer program “System of express estimation of the heat transfer coefficient of vehicles”

где C — стоимость испытаний по разработанному экспресс-методу продолжительностью 6 ч; C_p — стоимость испытаний по равновесному методу продолжительностью 72 ч; C_1 — стоимость испытаний, связанная с оборудованием ИТС датчиками и снятием показаний, $0,23 C_p$; C_2 — стоимость затрат, связанная с расходом тепловой энергии и электроэнергии при проведении испытаний равновесным методом, $0,43 C_p$; C_3 — стоимость испытаний, связанная с процедурой расчета и оформления результатов, $0,34 C_p$; $0,08$ — понижающий коэффициент, связанный с сокращением длительности проведения испытаний с 72 до 6 ч.

Таким образом, ожидаемый экономический эффект от использования разработанного экспресс-метода при проведении испытаний только одного ИТС составит порядка 221,0 тыс. руб.

Учитывая, что по состоянию на 01.06.2017 г. [7] количество изотермического подвижного состава, находящегося в эксплуатации, составляет порядка 7,6 тыс. вагонов, пассажирских вагонов локомотивной тяги и пригородных поездов — 35,3 тыс., грузовых магистральных и пассажирских локомотивов, а также маневровых тепловозов — в общей сложности 20,8 тыс. [8], совокупный экономический эффект при проведении теплотехнических испытаний по экспресс-методу составит не менее 14,0 млрд руб.

Заключение. 1. Результат использования программы для ЭВМ показал возможность значительного сокращения длительности проведения испытаний и исключения влияния человеческого фактора на процедуру расчета K для ИТС.

2. Накопление базы данных с результатами расчета величин K , получаемыми с использованием данной программы, позволяет анализировать не только динамику его изменения в процессе эксплуатации ИТС, но и с достаточной точностью прогнозировать время достижения критических значений по этому показателю, после достижения которых энергетические установки ИТС будут работать с перерасходом потребляемых топливно-энергетических ресурсов.

3. По результатам приведенных расчетов экономическая эффективность при использовании предлагаемой программы для ИТС, пассажирских вагонов локомотивной тяги, пригородных поездов, грузовых магистральных и пассажирских локомотивов, маневровых тепловозов составит свыше 14,0 млрд руб.

4. В процессе расчета экономической эффективности также необходимо учитывать эффект от внедрения. Так, в случае использования испытательными станциями и вагоноремонтными заводами предлагаемой программы уменьшатся затраты на организацию документооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубин А.А., Науменко С.Н. Исследование и выбор алгоритма для определения коэффициента теплопередачи кузова изотермического транспортного средства // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 5. С. 306–311. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311>.

2. Голубин А.А., Науменко С.Н. Система экспресс-оценки коэффициента теплопередачи транспортных средств. Программа для ЭВМ. Свидетельство о гос. регистрации в Роспатенте № 2017618464 от 01.08.2017 г.

3. Науменко С.Н., Теймуразов Н.С., Голубин А.А. Оценка точности определения в депокских 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.

4. 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.: Интекст, 2008. С. 76–78.

5. Голубин А.А. Анализ методов экспериментального определения коэффициента теплопередачи // Вопросы развития железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики: сб. статей молодых ученых и аспирантов / под ред. Ю.М. Черкашина и Г.В. Гогричани. М.: Интекст, 2007. С. 108–113.

6. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС). Женева, 1970.

7. Аналитическая база собственников и операторов подвижного состава [Электронный ресурс]. URL: <http://infoline.spb.ru/> (дата обращения: 01.06.2017 г.).

8. ОАО «Российские железные дороги» [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <http://www.rzd.ru/> (дата обращения: 20.06.2017 г.).

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 12.07.2017 г., принята к публикации 28.09.2017 г.

The computer program for determining the heat transfer coefficient as a tool for saving fuel and energy resources

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 shows the structure of the computer program "Express estimation system of the heat transfer coefficient for the vehicle".

The performance sequence of the automated calculation for determining the heat transfer coefficient (K) is described on the example of the refrigerator car body with the use of the data obtained during the accelerated thermal engineering tests.

The advantages of the announced program are shown, consisting in a substantial reduction in the duration of testing, excluding the influence of the human factor when performing calculations and reducing the costs of organizing documentation flow.

It was noted that for the operators of isothermal vehicles (ITV) the formation of an automated database with the calculated values results of K allows not only to monitor the dynamics of their changes during the ITV operations, but also with sufficient accuracy to predict the time of reaching the critical values of K , after which the regular energy installations will work with a significant expenditure of fuel and energy resources.

The results of the expected economic efficiency in determining K by the accelerated method are presented; its value for the main

types of ITV operating in the JSC "RZD" will be at least 14.0 billion rubles.

Keywords: heat transfer coefficient; express method for determining the heat transfer coefficient; isothermal vehicle; computer program; economy of fuel and energy resources

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-44-48>

REFERENCES

1. Golubin A. A., Naumenko S. N. *Issledovanie i vybor algoritma dlya opredeleniya koeffitsienta teploperedachi kuzova izotermicheskogo transportnogo sredstva* [Investigation and selection of an algorithm for determining the coefficient of heat transfer of an isothermal vehicle body]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2017, Vol. 76, no. 5, pp. 306–311. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311>.

2. Golubin A. A., Naumenko S. N. *Express estimation system of the heat transfer coefficient for the vehicle. The computer program*. Certificate of state registration in Rospatent no. 2017618464 of August 1, 2017 (in Russ.).

3. Naumenko S. N., Teymurazov N. S., Golubin A. A. *Otsenka tochnosti opredeleniya v depovskikh usloviyakh koeffitsienta teploperedachi kuzova izotermicheskogo vagona* [Estimation of accurate determination in depot conditions of the heat transfer coefficient of an isothermal car body]. *Energoberezhenie i zashchita okruzhayushchey sredy na teploenergeticheskikh ob"ektakh zheleznodorozhnogo transporta, promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva. Sb. докладov 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. of reports of the joint scientific session participants of the RAS councils on the problem "Thermal regimes of machines and devices", "Thermophysics and heat power engineering", "Chemical and physical problems of power engineering"]. Moscow, MIIT Publ., 2008, pp. 189–192.

4. 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. tr. molodykh uchenykh i aspirantov po rezul'tatam raboty konf. pod red. A. E. Semekhina* [Railway transport at the present stage. Tasks and solutions. Coll. of works by young scientists and graduate students on the results of the conference, edited by A. E. Semechkin]. Moscow, Intext Publ., 2008, pp. 76–78.

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

5. 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. st. molodykh uchenykh i aspirantov; pod red. Yu. M. Cherkashina i G. V. Gogrichiani* [Issues of the development of rail transport in a market economy. Coll. of articles by young scientists and post-graduate students; edited by Yu. M. Cherkashin and G. V. Gogrichiani]. Moscow, Intext Publ., 2007, pp. 108–113.

6. *Agreement on the international carriage of perishable foodstuffs and on the special equipment to be used for such carriage (ATP)*. Geneva, 1970.

7. *Analytical base of owners and operators of rolling stock* [Electronic resource]. URL: <http://infoline.spb.ru/> (retrieved on 01.06.2017).

8. *JCS "Russian railways"* [Electronic resource]. URL: <http://www.rzd.ru/> (retrieved on 20.06.2017).

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey A. GOLUBIN,

Test Engineer, Software Testing Department, Testing Laboratory, LLC "CBI"

Sergey N. NAUMENKO,

Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 12.07.2017

Accepted 28.09.2017

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / под ред. Б. М. Лapidуса и С. Б. Нестерова. М.: РАС, 2017. 192 с.

В коллективной монографии членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», объединяющего ведущих представителей отраслевой и фундаментальной российской науки, отражены результаты фундаментальных научных исследований в области магнито-левитационных и вакуумно-левитационных технологий, выполненных по инициативе Объединенного ученого совета при непосредственном участии членов Совета и сотрудничающих с Советом ученых и научных коллективов.

В контексте общемировых тенденций развития транспортных систем в монографии описаны научные решения в области вакуумной левитации, раскрыты проблемы обеспечения безопасности инновационных транспортных систем на основе учета рисков при их разработке и эксплуатации, описана методология оценки эффективности вакуумно-левитационных транспортных систем, раскрыты региональные аспекты развития транспортных систем в Российской Федерации, что имеет большое значение для принятия решений в будущем о реализации конкретных транспортных проектов, основанных на использовании вакуумно-левитационных технологий в нашей стране.

Монография предназначена для руководителей и сотрудников ОАО «РЖД» и соответствующих отделений РАН, руководителей и сотрудников научно-исследовательских, конструкторских, технологических организаций, преподавателей, докторантов, аспирантов и студентов университетов путей сообщения и других высших учебных заведений.



По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.