

УДК 692.232

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕANALYTICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF AIR PERMEABILITY OF
EXTERNAL WALLS OF BUILDINGS ON RAILWAY TRANSPORTАдилходжаев А.И., Шаумаров С.С., Кандаخورов С.И.
Adilhodjaev A.I., Shaumarov S.S., Kandakharov S.I.Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, Узбекистан)
Tashkent institute of railway engineers (Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. Рассмотрен вопрос термического обновления объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Изучено физическое воздействие наружной среды на формирование внутреннего микроклимата помещений. Получено математическое выражение процесса взаимодействия ограждения с параметрами наружного и внутреннего воздуха. Предложен метод оценки остаточных теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: железнодорожные объекты, воздухопроницаемость, математическая модель, термическое обновление.

Дата принятия к публикации: 05.01.2019
Дата публикации: 25.03.2019

Сведения об авторах:

Адилходжаев Анвар Ишанович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, anvar_1950@mail.ru.

Шаумаров Саид Санатович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, shoumarovss@gmail.com.

Кандаخورов Санжар Ишратович – ассистент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, sanjar.kandaxarov@mail.ru.

1. Введение

Железнодорожный транспорт – одна из наиболее энергоемких областей народного хозяйства. В свете тенденций развития современного общества важное значение приобретает решение проблемы снижения уровня энергопотребления как самим подвижным составом, так и всеми объектами инфра-

Abstract. The issue of thermal renewal of railway transport infrastructure facilities was considered. The physical influence of the external environment on the formation of the indoor indoor microclimate was studied. The mathematical expression of the process of interaction of the fence with the parameters of external and internal air is obtained. A method for assessing the residual heat-shielding properties of the enclosing structures of buildings in railway transport is proposed.

Keywords: railroad facilities, air permeability, mathematical model, thermal upgrade.

Date of acceptance for publication: 05.01.2019
Date of publication: 25.03.2019

Authors' information:

Anvar I. Adilkhodjaev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, anvar_1950@mail.ru.

Said S. Shaumarov – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Department “Construction buildings and structures” at Tashkent institute of railway engineers, shoumarovss@gmail.com.

Sanjar I. Kandakhorov – Assistant of the Department "Construction buildings and structures" at Tashkent institute of railway engineers, sanjar.kandaxarov@mail.ru.

структуры железной дороги. Как показывает международный опыт, эксплуатация зданий вокзалов, железнодорожных гостиниц, многочисленных административных и бытовых зданий является достаточно затратной [11, 17, 18]. Большое количество энергии (преимущественно, электрической) расходуется на формирование благоприятного микроклимата помещений системами отопления,

вентиляции и кондиционирования. Добиться сокращения энергозатрат можно не только за счет совершенствования самих систем климатизации, но и путем совершенствования конструкций (повышения уровня тепловой защиты) наружных ограждений зданий – стен, покрытия, оконных и дверных заполнений [10, 16].

Особенно много проблем возникает в панельных зданиях железнодорожного транспорта, отличающихся весьма ненадежной теплоизоляцией наружных стен. Микроклимат в этих зданиях создает тяжелые условия для пребывания людей. Главным вопросом дальнейшей судьбы таких объектов является вопрос о целесообразности их сноса или обновления [8, 19, 20].

Вместе с тем, эти здания построены из долговечных материалов, обустроены всеми необходимыми видами инженерного оборудования. Большинство из них обладает запасами прочности и способны воспринимать нагрузку от надстраиваемых одного-двух этажей без усиления существующих несущих конструкций. В связи с этим, очень важным представляется вопрос о термическом обновлении эксплуатируемых зданий на железнодорожном транспорте за счет применения конструктивных решений дополнительного утепления наружных ограждений [13-15].

2. Оценка воздухопроницаемости наружных ограждений со сквозными дефектами, основанная на математическом моделировании

В решении вопроса о необходимости термического обновления с точки зрения энергетических затрат зданий должен быть использован комплексный подход, включающий обследование наружных ограждающих конструкций, соответствующие расчеты и разработку рациональной системы утепления ограждений [9].

Для корректной диагностики ограждающих конструкций, проверки соответствия их нормируемых параметров действующим в настоящее время нормативным документам необходимо выполнение обстоятельного об-

следования здания с целью выявления степени износа ограждений. Проведение обязательных замеров в процессе обследования – это наиболее трудоемкая и экономически емкая операция, требующая для получения достоверных, репрезентативных данных объективизации процесса измерений [7-8]. Оперативное решение поставленных задач на современном уровне немыслимо без использования вычислительной техники и современных компьютерных технологий. Принимая это во внимание, свое исследование степени износа стеновых ограждающих конструкций, с точки зрения их теплозащитных свойств, мы выполняли с помощью математического моделирования процесса взаимодействия ограждения с параметрами наружного и внутреннего воздуха [2, 20].

Ведущую роль при этом, особенно в свете физического износа зданий, играют вопросы фильтрации и инфильтрации через ограждения, объединенные общим понятием «воздухопроницаемость». Интенсивность фильтрации воздуха через ограждения зависит от градиента давления, вектор которого направлен от внешней стороны конструкции к внутренней, а также от пористости, наличия трещин и отверстий в конструкциях. Известны многочисленные работы, в которых вопросы инфильтрации воздуха через ограждающие конструкции рассматриваются в связи с наличием стыков между конструктивными элементами – стеновыми панелями, стенами и оконными или дверными блоками и т.д. [1]. Однако трещины и прочие сквозные дефекты ограждений в качестве причины их повышенной воздухопроницаемости мало исследованы. В работах [1, 6] интенсивность фильтрации рассчитывалась экспериментально при обследовании ограждающих конструкций путем продувки воздуха через образцы материалов. Также известен и косвенный экспериментальный метод определения интенсивности фильтрации, основанный на термографии. Однако описание результатов такого обследования требует очень высокой квалификации исполнителя [7].

Нами предлагается современный подход к оценке воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций, имеющих

сквозные трещины, основанный на математическом моделировании происходящих физических процессов. Как известно, количественная оценка воздухопроницаемости основана на расчете инфильтрации наружного воздуха. В зависимости от учета конкретных параметров воздушной среды различают несколько методов ее расчета:

- нормативный;
- под действием ветрового давления;
- по воздухообмену;
- метод расчета инфильтрации, обусловленной тепловым потоком.

Проанализировав указанные методы, был сделан вывод, что расчет инфильтрации по кратности воздухообмена оказывается предпочтительнее остальных по наибольшей сходимости результатов с экспериментальными данными и по возможности обойтись без лабораторного оборудования. Он и был положен в основу построения математической модели данного физического процесса.

Рассматривалась трещина в наружной стене, проходящая в произвольном направлении (рис.1). Течение воздуха в щели – следствие наличия градиента давления «внутренняя – наружная поверхность ограждения». Поток близок к ламинарному.

Известно [3], что движение воздуха, уподобленное движению несжимаемой жидкости, описывается уравнением Навье-Стокса, которое записывается в виде двух уравнений:

- обычного условия несжимаемости

$$\operatorname{div} \mathbf{V} = 0, \quad (1)$$

- уравнения движения

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} \equiv \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V}, \nabla) \cdot \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \operatorname{grad} P + \nu \Delta \mathbf{V}, \quad (2)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости; $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа.

Использование уравнения (2) применительно к движению воздуха согласно рис.1 требует в качестве исходных параметров для расчета скорости и расхода воздуха задания геометрических параметров области и ее участков, а также градиента давления. Применительно к плоским струям уравнение (2) после замены кинематической вязкости ν на динамическую вязкость η и уравнение не-

разрывности можно записать в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных:

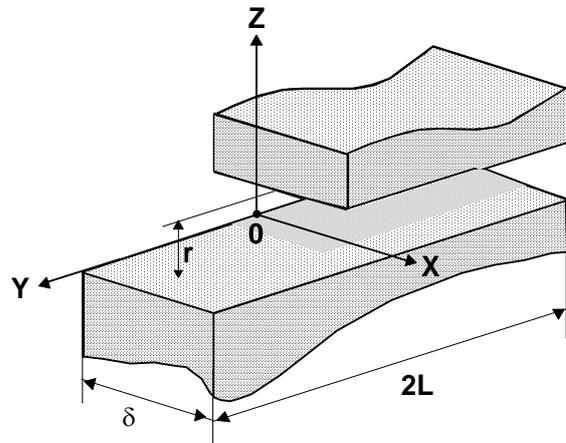


Рис. 1. Координатная привязка сквозной трещины в наружной стене (δ – глубина трещины; L – длина трещины; r – ширина раскрытия трещины)

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial z} - M = 0, \quad (6)$$

где P – перепад давления между внутренней и наружной поверхностями ограждения, Па; u, v, w – проекции скорости воздуха (среды) на оси x, y, z , м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; τ – время, с; M – массовый расход воздуха в единицу времени в единице объема, занимаемого трещиной, кг/(м³·с); η – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м²; r – ширина раскрытия трещины, м.

Граничные условия для системы уравнений (3) - (6) запишем в виде:

при $z = 0$ и $z = r$

$$u = v = w = 0. \quad (7)$$

Значения скоростей воздуха u, v вдоль осей X и Y определим в результате интегрирования по z уравнений (3) и (4) вычислением констант интегрирования и с учетом граничного условия (7):

$$u = -\frac{1}{2\eta} (r-z)z \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (8)$$

$$v = -\frac{1}{2\eta} (r-z)z \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (9)$$

Далее представим уравнение неразрывности (6) в интегральной форме:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = -C, \quad (10)$$

$$\text{где } C = \frac{12M\eta}{r^2\rho}.$$

Уравнение (10) относится к классу диффузионных задач, описываемых уравнением Пуассона [5]. Его удобнее рассматривать в форме безразмерных величин. Для этого достаточно подобрать соответствующий масштаб путем ввода относительных переменных x' и y' . Выполним замену переменных, положив:

$$x' = \frac{x}{AL}, \quad y' = \frac{y}{L}, \quad (11)$$

где $A = \delta/L$; δ - глубина трещины; L - длина трещины.

Таким образом, ниже рассматривается относительная система координат $Ox'y'$, в которой массовый расход воздуха M [кг/(м³·с)], занимаемый трещиной, заменим объемным расходом воздуха Q [м³/с], поступающего в щель в единицу времени, по формуле:

$$Q = \frac{MAL^2r}{\rho}. \quad (12)$$

Введем обозначения

$$\mathfrak{R} = \frac{r^3L^2A}{12Q\eta}, \quad P\mathfrak{R} = P'. \quad (13)$$

Тогда уравнение Пуассона (10) с учетом (13) для P' в относительной системе координат будет иметь вид:

$$\frac{\partial^2 P'}{\partial (x' \cdot A)^2} + \frac{\partial^2 P'}{\partial y'^2} = -1. \quad (14)$$

Для дальнейшего удобства записи положим $x'A = X'$. Тогда уравнение (10) окончательно запишется как

$$\frac{\partial^2 P'}{\partial X'^2} + \frac{\partial^2 P'}{\partial y'^2} = -1. \quad (15)$$

Полученное уравнение (15) было решено при помощи метода Галёркина [4]. Затем путем обратных преобразований – перехода от относительных координат к исходным – была получена зависимость расхода воздуха Q через трещину от ее размеров $\{r, L, \delta\}$ и перепада давления P с наружной и внутренней сторон ограждения:

$$Q = \frac{Pr^3}{12\eta L\delta\xi}, \quad (16)$$

где

$$\xi = \frac{64}{\pi^4} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \frac{(-1)^{\binom{k+l}{2}-1} (-1)^{\binom{k+1}{2}-1} (-1)^{\binom{l+1}{2}-1}}{k^3l + l^3k}.$$

эмпирический коэффициент, зависящий от количества учтенных при решении уравнения (15) членов тригонометрического ряда базисных функций.

По результатам численных расчетов была построена зависимость изменения расхода воздуха от перепада давления ΔP на внутренней и внешней поверхностях ограждения в диапазоне от 0 до 100 Па и величины раскрытия трещины r от 0 до 10 мм (рис.2).

Анализ представленной поверхности Q показывает, что при ширине раскрытия трещины $r < 1$ мм расход воздуха через щель не имеет существенного значения для формирования микроклимата помещений. Здесь часть поверхности параллельна основанию, а величина воздухообмена соизмерима с таковой для пор материала ограждения. При дальнейшем увеличении ширины раскрытия трещины r расход воздуха резко возрастает, что проявляется в форме поверхности, принимающей параболический характер ($1 \text{ мм} < r \leq 3 \text{ мм}$). При $r > 3$ мм начинается повышенная инфильтрация воздуха.

Для численной реализации математических моделей была разработана расчётная программа [12] на базовой платформе WINDOWS XP, задействован пакет «Microsoft Developer Studio» с оболочкой «Microsoft Fortran PowerStation version 4.0». Графическая поддержка - GOLDEN SOFTWARE: Surfer Version 7.0, которая позволяет значительно упростить оценку остаточных теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий на железнодорожном транспорте.

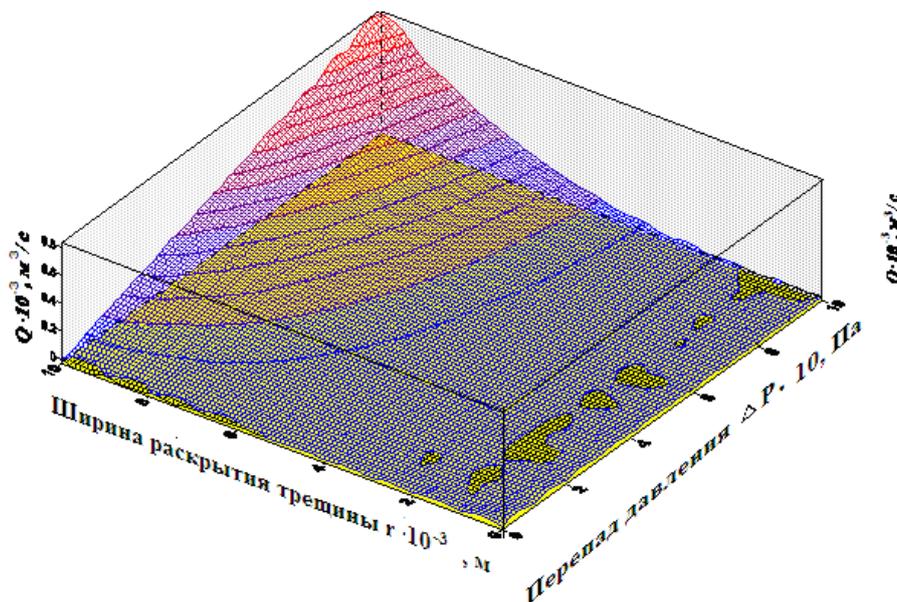


Рис.2. Поверхность объемного расхода воздуха как функция перепада давления на наружной и внутренней поверхности ограждения и величины раскрытия трещины (локальные максимумы в зоне минимальных значений величины Q – погрешности процедуры интерполяции и ошибок округления)



Рис.3. Сквозные трещины в стеновых панелях эксплуатируемых жилых зданий

3. Экспериментальные исследования определения воздухопроницаемости наружных ограждений со сквозными дефектами

Для оценки адекватности математических моделей были проведены натурные эксперименты по определению воздухопроницаемости двух стеновых панелей из керамзитобетона эксплуатируемых зданий (рис.3).

До начала проведения экспериментов путем визуального обследования были выявлены панели со сквозными трещинами. Их характеристики определялись путем замеров при помощи стальной рулетки (длина трещины), микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,02 мм (ширина раскрытия трещины) и транспортира (угол наклона трещины). Результаты экспериментов, обработанные методами математической статистики, представлены в табл. 1.

При помощи компьютерной программы [12] был произведен расчет воздухопроницаемости по разработанной математической

модели (1-16). Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний по определению воздухопроницаемости ограждающих конструкций с трещиной

Толщина стеновой панели, м	Ширина трещины r , м	Длина трещины L , м	Угол наклона трещины, град	Перепад давления ΔP , Па	Объёмный расход воздуха Q , м ³ /ч	
					эксперимент	расчёт
0,350	0,0015	0,86	58	5	0,00267	0,00252
				10	0,00539	0,00504
				20	0,00908	0,00936
				30	0,01497	0,0144
				40	0,01946	0,01908
				50	0,0219	0,02412
				70	0,0314	0,03384
				100	0,0515	0,0477
0,350	0,0019	0,53	39	5	0,00378	0,0036
				10	0,00563	0,00612
				20	0,0125	0,01188
				30	0,0187	0,0180
				40	0,0231	0,0244
				50	0,0327	0,0306
				70	0,0451	0,04176
				100	0,0641	0,06156

Анализ сравнения результатов экспериментальных и теоретических исследований показал: расхождение между полученными значениями воздухопроницаемости составляет ~6...7%, что подтверждает адекватность разработанных математических моделей.

Таким образом, полученные математические зависимости для определения воздухопроницаемости наружных ограждений могут быть использованы для оценки остаточных теплозащитных свойств стеновых панелей со сквозными трещинами и научного обоснования способов их термообновления, при этом значительно упрощая сам процесс исследования.

4. Заключение

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований было сделано:

- разработан методологический подход к проблеме термического обновления объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта для климатических условий Республики Узбекистан, основанный на получении объективных данных об остаточных теплозащитных свойствах ограждений;

- получена методика оценки фактического расчетного сопротивления ограждения с трещиной, можно повысить точность определения расхода тепловой энергии на отопление здания и сооружений железнодорожного транспорта при проведении его энергетического аудита.

Список литературы

1. Беляев, В.С. Теплопередача в узлах ограждающих конструкций при двухмерной фильтрации наружного воздуха / В.С. Беляев. - М.: НИИСФ, 1985. - 170 с.
2. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. - М.: Стройиздат, 1979. - 248 с.
3. Лаврентьев, М.А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. - М.: Наука, 1977. - 407 с.
4. Ректорис, К. Вариационные методы в математической физике и технике / К. Ректорис. - М.: Мир, 1985. - 589 с.
5. Фарлоу, С. Уравнения с частными производными. Для научных работников и инженеров / С. Фарлоу. - М.: Мир, 1985. - 383 с.
6. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. - М.: Стройиздат, 1973. - 287 с.
7. Шишкин, А.В. Инспекция теплозащитных свойств оболочек зданий / А.В. Шишкин // Жилищное строительство. - 2004. - № 9. - С. 17-32.
8. Шаумаров, С.С. Комплексный подход к проблеме термообновления стен панельных зданий / С.С. Шаумаров, Ю.А. Щипачева // Труды VII Междунар. науч.-практич. конф. «TRANS-MECH-ART-CHEM». - М.: МИИТ, 2010. - С. 239-241.
9. Шаумаров, С.С. Информационно-техническая диагностика технического состояния эксплуатируемых зданий / С.С. Шаумаров // Материалы II Междунар. научно-практ. конф. «Экономика и право: становление, развитие, трансформация». - Ростов-на-Дону, 2017. - С. 204-208.
10. Шаумаров, С.С. Перспективы дальнейшей эксплуатации панельных жилых зданий / С.С. Шаумаров, Е.В. Щипачева, Р.Х. Пирматов // Материалы 12-й Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы развития строительных технологий». - Днепропетровск, 2018. - С. 165-169.
11. Щипачева, Е.В. К вопросу повышения энергоэффективности зданий на железнодорожном транспорте / Е.В.

References

1. Belyaev V.S. Heat transfer in knots of protecting designs at a two-dimensional filtration of external air. Moscow, NIISF, 1985. 170 p. (In Russian).
2. Bogoslovskiy V.N. Thermal mode of buildings. Moscow, Stroyizdat, 1979. 248 p. (In Russian).
3. Lavrentiev M.A., Shabat B.V. Problems of hydrodynamics and their mathematical models. Moscow, Nauka, 1977. 407 p. (In Russian).
4. Rektoris K. Variation methods in the mathematical physics and the technician. Moscow, Mir, 1985. 589 p. (In Russian).
5. Farlou S. The equations with private derivatives. For science officers and engineers. Moscow, Mir, 1985. 383 p. (In Russian).
6. Fokin K.F. Building the heating engineer of protecting parts of buildings. Moscow, Stroyizdat, 1973. 287 p. (In Russian).
7. Shishkin A.V. Inspection of heat-shielding properties of covers of buildings. *Zhilishchnoe stroitelstvo*, 2004, No. 9, pp. 17-32. (In Russian).
8. Shaumarov S.S., Shchipacheva E.A. Complex approach to the problem of walls of panel buildings. Proc. VII Int. theoretical and practical conf. "TRANS-MECH-ART-CHEM". Moscow, MIIT, 2010. P. 239-241. (In Russian).
9. Shaumarov S.S. Information and technical diagnostics of technical condition of operated buildings. Proc. II Int. scientific and practical conf. "Economics and Law: Formation, Development, Transformation". Rostov-on-Don, 2017. P. 204-208. (In Russian).
10. Shaumarov S.S., Shchipacheva E.V., Pirmatov R.Kh. Prospects for further operation of panel residential buildings. Proc. 12th Int. scientific and practical conf. "Prospects for the Development of Construction Technologies". Dnepropetrovsk, 2018. P. 165-169. (In Russian).
11. Shipacheva E.V., Shamarov S.S. To the issue of increasing the energy efficiency of buildings in railway transport. Proc. Int. scientific and practical conf. "Transport-2013". Rostov-on-Don, RGUPS, 2013. P. 35-37. (In Russian).
12. Shipacheva E.V., Shaumarov S.S. Cal-

Щипачева, С.С. Шаумаров // Труды Междунар. научно-практ. конф. «Транспорт-2013». – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2013. – С. 35-37.

12. Щипачева, Е.В., Шаумаров С.С. Расчёт воздухопроницаемости и температурных полей ограждений с фильтруемой трещиной. Авторское свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 03151 / Е.В. Щипачева, С.С. Шаумаров. 2016.

13. Шаумаров, С.С. К исследованию вопроса повышения энергоэффективности зданий на железнодорожном транспорте / С.С. Шаумаров, А.И. Адилходжаев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2018. – Т. 8. – № 1. – С. 4-11.

14. Шаумаров, С.С. Моделирование процесса формирования температурного поля наружного ограждения зданий на железнодорожном транспорте / С.С. Шаумаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 3. – С. 338-346.

15. Adylhodzayev, A.I. The issue of thermal renovation of infrastructure of railway transport is evaluated / A.I. Adylhodzayev, S.S. Shaumarov // Proc. X Int. Scientific Conf. “Transport Problems-2018”. - Wisla, Katowice. - 2018. - P. 13-18.

16. Shaumarov, S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport / S.S. Shaumarov // Proc. VIII Int. Conf. “Transport Problems-2016”. Katowice, Poland. - P. 522-532.

17. Shaumarov, S.S. On the method of estimation of thermal protective properties of external walls of operating residential buildings / S.S. Shaumarov, A.I. Adilhodzhaev, S.I. Kandakharov // Int. Conf. «Student science: research works», Part II, San Francisco, Ca, USA, March 30, 2018. - San Francisco: B & M Publishing, pp. 103-106.

18. Shaumarov, S.S. On peculiarities of formation of the thermal mode in operating panel buildings / S.S. Shaumarov, A.I. Adilhodzhaev, F.F. Karimova // Int. Conf. “Science and practice: a new level of integration in the modern world”. - London, 2018. - P. 365-368.

culuation of air permeability and temperature fields of fences with a filtered crack. Author's certificate of official registration of the program for electronic computers received from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan. DGU 03151. 2016. (In Russian).

13. Shaumarov S.S., Adilkhodzhaev A.I. The issue of improving the energy efficiency of buildings in railway transport. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*, 2018, Vol. 8, No. 1, pp. 4-11. (In Russian).

14. Shaumarov S.S. Modeling the process of formation of the temperature field of the external fencing of buildings on the railway transport. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No. 3, pp. 338-346. (In Russian).

15. Adylhodzayev A.I., Shaumarov S.S. The issue of thermal renovation of infrastructure of railway transport is evaluated. Proc. X Int. Scientific Conf. “Transport Problems-2018”. Wisla, Katowice, 2018, pp. 13-18.

16. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport. Proc. VIII Int. Conf. “Transport Problems-2016”. Katowice, Poland, 2016, pp. 522-532.

17. Shaumarov S.S., Adilhodzhaev A.I., Kandakharov S.I. On the method of estimation of thermal protective properties of external walls of operating residential buildings. Proc. Int. Conf. “Student science: research works”, Part II. San Francisco, Ca, USA, March 30, 2018. B & M Publishing, pp. 103-106.

18. Shaumarov S.S., Adilhodzhaev A.I., Karimova F.F. On peculiarities of formation of the thermal mode in operating panel buildings. Proc. Int. Conf. “Science and practice: a new level of integration in the modern world”. London, 2018, pp. 365-368.

19. Shaumarov S.S., Adilhodzhaev A.I., Shipacheva E.V., Kandakharov S.I. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2019, Vol. 6, Iss. 1, pp. 71-77.

20. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance

19. Shaumarov, S.S. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings / S.S. Shaumarov, A.I. Adilhodzhaev, E.A. Shipacheva, S.I. Kandahorov // Int. Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2019. - Vol. 6. - Iss. 1. – P. 71-77.
20. Tenpieric, M. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure / M. Tenpieric, W. Van der Spoel, H. Cauberg // Journal of Building Physics. - 2008. - Vol. 31. - P. 361-387.