

УДК 692.232

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

MODELING OF THE PROCESS OF FORMATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF  
THE OUTER FENCE OF THE BUILDINGS IN RAILWAY TRANSPORT

Шаумаров С.С.  
Shaumarov S.S.

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, Узбекистан)  
Tashkent institute of railway engineers (Tashkent, Uzbekistan)

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос повышения энергоэффективности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Изучены особенности процесса формирования температурного поля на поверхности ограждения зданий железнодорожного транспорта. Получено математическое выражение температурного поля на поверхности ограждающих конструкций зданий как функции их износа. Предложен метод оценки степени снижения теплозащитных свойств наружных стен по характеру температурных полей на внутренней поверхности ограждающих конструкций зданий на железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, железнодорожный транспорт, температурный режим, микроклимат помещений, математическая модель, температурные поля, теплопроводность.

**Дата принятия к публикации:** 25.06.2018  
**Дата публикации:** 25.09.2018

**Сведения об авторе:**

**Шаумаров Саид Санатович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (Узбекистан), [shoumarovss@gmail.com](mailto:shoumarovss@gmail.com)

**Введение.**

На балансе железнодорожной компании «Ўзбекистон темир йўллари» находится значительное количество зданий гражданского и промышленного назначения, расходы энергии которых на создание благоприятного микроклимата помещений существенно превышают нормативные показатели, и, следовательно, снижают эффективность работы отрасли в целом [14, 15]. Решение данной проблемы является достаточно сложным. С одной стороны, необходима реальная оценка ситуации, выявление действительных источ-

**Abstract.** Observed the question of energy efficiency of objects in rail transport infrastructure. Learned the distribution of processes of formation of the temperature field on the surface of the enclosure. Obtained the mathematical expression of the temperature field on the surface of the building envelope as a function of their wear. Suggested a method for evaluating the degree of reduction of heat-shielding properties of external walls of the nature of the temperature fields on the inner surface of the building envelope on the railways.

**Keywords:** energy efficiency, railway transport, temperature, indoor climate, mathematical model, temperature field, thermal conductivity.

**Date of acceptance for publication:** 25.06.2018  
**Date of publication:** 25.09.2018

**Author' information:**

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

ников потерь тепла и его неэффективного расходования. С другой – требуются обоснованное принятие решений по повышению энергоэффективности объектов и разработка целесообразных экономически выгодных энергосберегающих мероприятий. Не стоит забывать и о том, что эти мероприятия необходимо грамотно осуществить технологически и в дальнейшем правильно эксплуатировать [4-5].

Тому, что существующая проблема не находит быстрого разрешения, есть много причин. Это и недостаточная заинтересован-



ность со стороны руководства железнодорожной компании, и желание на местах полностью скопировать мировой опыт решения отдельных задач (пусть даже и очень эффективный), не проведя сравнительного анализа схожести климатических, экономических и прочих условий страны-разработчика и внедряющего региона [11-13].

Для научной обоснованности принятия энергосберегающих решений необходимо строительство пилотных объектов, детальное исследование всех происходящих в них теплофизических процессов, экологическая оценка микроклимата помещений, исследование долговечности и безопасности применяемых материалов. Однако не следует забывать и о том, что проектирование зданий только по методу «проб и ошибок» будет являться «тормозом» для развития строительной науки и проектного дела, не позволит выявить оптимальные энергосберегающие и, одновременно, экологические решения [2, 10, 17].

Проведя ряд обследований наружных стен эксплуатируемых зданий железнодорожного транспорта, нами было установлено наличие многочисленных дефектов в ограждающих конструкциях – от мелких сколов до нарушений сплошности материала ограждений (трещин). Такого рода дефекты снижают теплозащитные свойства наружных стен, а, следовательно, ухудшают параметры внутренней среды помещений и требуют повышенного расхода тепла на поддержание благоприятного микроклимата [6, 7, 16].

#### **Моделирование формирования температурного поля на поверхности ограждения с фильтруемой трещиной.**

Для осуществления мониторинга технического состояния эксплуатируемых зданий, с точки зрения их соответствия современным требованиям тепловой защиты, в первую очередь необходим анализ формирования температурного поля наружных ограждающих конструкций, имеющих существенные нарушения сплошности структуры материала – сквозные трещины. Исследование данного процесса в натуральных условиях сопряжено со значительными трудностями в обеспечении «чистоты» проводимого экспери-

мента (изменение интенсивности облучения поверхностей солнечными лучами, суточный ход температуры, изменение направления и скорости ветра и т.п.). В связи с этим, для всестороннего изучения динамики температурного поля ограждения со сквозными трещинами целесообразно использовать математическое моделирование данного физического процесса.

Разработке этой математической модели и результатам выполненных на ее основе исследований посвящена настоящая статья.

В первоначальных исследованиях с использованием метода математического моделирования [9] нами были установлены особенности распределения температуры воздуха в сквозной трещине. Это дало возможность перейти к рассмотрению вопроса формирования температурного поля на поверхности ограждения, имеющего сквозную фильтруемую трещину - щель. При решении были приняты следующие допущения:

- на границах рассматриваемой области поддерживается заданным образом распределение температуры, являющейся функцией времени;

- по материалам ограждения теплота передается кондуктивным переносом;

- охлаждение (нагревание) поверхностей щели осуществляется в результате теплообмена с воздухом щели, температура  $T_{TP}$  которого определяется по выведенному ранее уравнению [9];

- рассматривается двумерная задача в координатной системе  $XU$  с началом координат, помещенным на наружной стороне ограждения (рис.1).

Уравнение, описывающее рассматриваемую задачу, относится к уравнению конвективной диффузии. В соответствии с поставленными условиями запишем его в виде двумерной задачи:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$\tau > 0, \quad 0 \leq x \leq \delta, \quad 0 \leq y < \infty,$$

где  $T = T(x, y, \tau)$  – температура, как функция плоских координат  $x, y$  и времени  $\tau$ .

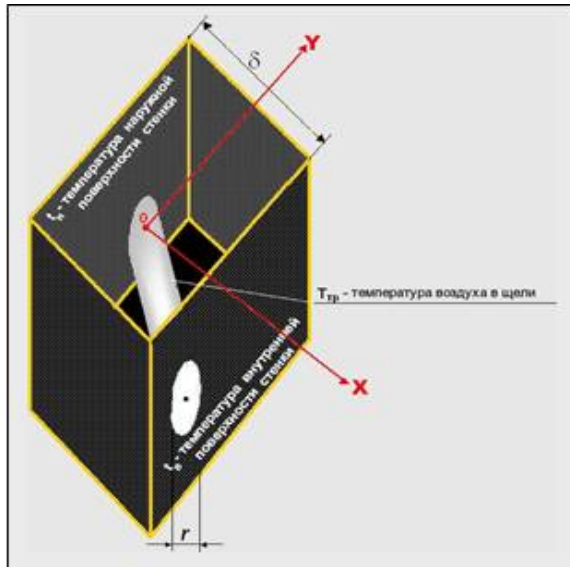


Рис.1. Схема сквозной щели, ее параметры и координатная привязка

По условию постановки задачи в начальный момент времени  $\tau_0$  распределение температуры задано известной функцией

$$T(x, y, 0) = t_n + \xi \Delta t = \Phi, \quad (2)$$

где  $\xi$  – безразмерный коэффициент термического сопротивления, равный отношению термического сопротивления слоя  $R$ ,  $m^2 \cdot K / Вт$ , к термическому сопротивлению ограждения  $R_0$ ,  $m^2 \cdot K / Вт$ ;  $\Delta t = t_e - t_n$ ;  $t_e$  – температура внутреннего воздуха, К;  $t_n$  – температура наружного воздуха, К.

На основании перечисленных выше условий постановки задачи и в соответствии с тремя существующими возможными граничными условиями для диффузионных задач [3] запишем для уравнения (1) граничные условия первого рода в виде:

$$\begin{cases} y = 0 \rightarrow T = T_{тр}; \\ x = 0 \rightarrow T = t_n; \\ x = \delta \rightarrow T = t_e. \end{cases} \quad (3)$$

Для решения данного уравнения нами использован метод интегрального преобразования: Лапласа [3] - по временной координате, Фурье - по пространственной координате  $X$ .

Для замены независимой переменной  $x$  введем переменную  $z$ , определенную на промежутке  $[0, \pi]$ :

$$z = \frac{\pi x}{\delta}, \quad z = \overline{0, \pi}. \quad (4)$$

Прямое и обратное Фурье синус-преобразования записываются, соответственно, в виде [3]:

- прямое преобразование

$$F_s(n) = \int_0^{\pi} f(z) \sin(nz) dz, \quad (5)$$

- обратное преобразование

$$f(z) = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sin(nz) F_s(n). \quad (6)$$

Запишем выражение (1) с учетом выражения (4):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left( \frac{\pi}{\delta} \right)^2 \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (7)$$

$$\tau > 0, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad 0 \leq y < \infty.$$

К выражению (7) применим прямое преобразование (5) и получим:

$$F_s \left[ \frac{\partial T}{\partial \tau} \right] = F_s \left[ a \left( \frac{\pi}{\delta} \right)^2 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + F_s \left[ a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right]. \quad (8)$$

Раскроем уравнение (8), выполнив соответствующие подстановки со взятием интегралов:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_s}{\partial \tau} = & -nk \cos(nz) \cdot T \Big|_{z=0}^{z=\pi} + nk \sin(nz) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0}^{z=\pi} - \\ & - \int_0^{\pi} n^2 \cdot \kappa \sin(nz) \cdot T dz + a \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2}, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\kappa = a \left( \frac{\pi}{\delta} \right)^2$ .

С учетом граничных условий ( $z=0 \rightarrow T = t_n$  и  $z = \pi \rightarrow T = t_e$ ), подставив пределы интегрирования в (9), получим:

$$\frac{\partial T_s}{\partial \tau} = -nk(t_e - t_n) - n^2 \kappa T_s + a \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2}. \quad (10)$$

Теперь к выражению (10) применим преобразование Лапласа, разрешив его относительно  $T_s$ . Предварительно обозначим выражение преобразования Лапласа символом "L" - обозначение прямого преобразования Лапласа, а символ "L<sup>-1</sup>" - обратного преобразования Лапласа. Тогда

$$L\left[\frac{\partial T}{\partial \tau}\right] = ST_L - T_0. \quad (11)$$

Выражение (11) следует читать так: «искомая производная равна произведению изображения  $T_L$  на оператор  $S$  минус значение функции в начальный момент времени  $\tau_0$ », т.е.  $T_0 = \Phi$ . Тогда

$$L\left[\frac{\partial T}{\partial \tau}\right] = L\left[-n\kappa(t_g - t_n) - n^2\kappa T + a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right] \quad (12)$$

и с учетом выражения (11) получим

$$\frac{d^2 T_L}{dy^2} = \left[\frac{S}{a} + \frac{\kappa n^2}{a}\right] T_L - \frac{\Phi}{a} + \frac{n\kappa}{a}(t_g - t_n). \quad (13)$$

Как можно видеть, преобразование Лапласа для оригинала функции  $T$  переводит дифференциальное уравнение в частных производных (10) в обыкновенное дифференциальное уравнение (13) для изображения  $T_L$ . Очевидно, что обыкновенное дифференциальное уравнение получено вследствие того, что изображение  $T_L$  уже не зависит от времени  $\tau$ . Задача значительно упростилась, ибо мы теперь сразу можем записать общее решение уравнения (13) для изображения  $T_L$ , полученное, например, в [3]:

$$T_L(y, S) - \frac{\Phi - n\kappa(t_g - t_n)}{S + n^2\kappa} = \mathfrak{R}_1 \exp\left[\sqrt{\frac{S + n^2\kappa}{a}} y\right] + \mathfrak{R}_2 \exp\left[-\sqrt{\frac{S + n^2\kappa}{a}} y\right]. \quad (14)$$

Выполним анализ полученного решения (14) на границах заданной области. Для этого применим преобразование Лапласа к граничным условиям:

$$L\left[\frac{\partial T(\infty, \tau)}{\partial y}\right] = 0, \quad T_L(\infty, S) = 0, \quad (15)$$

$$L[T(0, \tau)] = L[T_{\text{тр}}], \quad T_L(0, S) = \frac{T_{\text{тр}}}{S + n^2 \cdot \kappa}. \quad (16)$$

Из условия (15) следует, что  $\mathfrak{R}_1 = 0$ , так как в (14) член при  $\mathfrak{R}_1$  неограниченно возрастает при  $y \rightarrow \infty$ .

Для определения  $\mathfrak{R}_2$  воспользуемся условием (16):

$$\frac{T_{\text{тр}}}{S + n^2\kappa} - \frac{\Phi - n\kappa(t_g - t_n)}{S + n^2 \cdot \kappa} = \mathfrak{R}_2 \exp\left[-\sqrt{\frac{S + n^2\kappa}{a}} \cdot y\right],$$

но с учетом того, что при  $y \rightarrow \infty$  член

$$\exp\left[-\sqrt{\frac{S + n^2\kappa}{a}} \cdot y\right] = 1,$$

получим

$$\mathfrak{R}_2 = \frac{T_{\text{тр}}}{S + n^2\kappa} - \frac{\Phi - n\kappa(t_g - t_n)}{S + n^2\kappa}. \quad (17)$$

Следующий шаг – это переход от полученного для изображения решения (14) к оригиналу. Для этого воспользуемся таблицей изображений функций [3]:

$$L^{-1}\left\{\frac{1}{S + \kappa n^2}\right\} = \exp(-\kappa n^2 \tau) \quad (18)$$

и

$$L^{-1}\left\{\frac{1}{S + \kappa n^2} \exp\left(-\sqrt{\frac{S + n^2\kappa}{a}} y\right)\right\} = 1 - \operatorname{erf} \frac{y}{2\sqrt{a\tau}} = \operatorname{erfc} \frac{y}{2\sqrt{a\tau}}, \quad (19)$$

где  $\operatorname{erf}(Z)$  (в нашем случае  $Z = \frac{y}{\sqrt{a\tau}}$ ) – интеграл вероятностей [1]

$$\operatorname{erf}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\xi^2} d\xi, \quad (20)$$

а функция  $\operatorname{erfc}(Z) = 1 - \operatorname{erf}(Z)$  – дополнительная к интегралу вероятностей [1]

$$\operatorname{erfc}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty e^{-\xi^2} d\xi. \quad (21)$$

Таким образом, решение уравнения (9) запишется в виде:

$$T_s = (\Phi - n\kappa(t_g - t_n)) \exp(-n^2\kappa\tau) + (T_{\text{тр}} - \Phi + n\kappa(t_g - t_n)) \operatorname{erfc} \frac{y}{2\sqrt{a\tau}}, \quad (22)$$

И, наконец, подставляя исходные (первоначальные) переменные, получаем окончательно решение задачи в виде:

$$T = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left[\frac{n\pi x}{\delta}\right] \cdot \left(\Phi - na \frac{\pi^2}{\delta^2} (t_g - t_n)\right) \times \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{ar}{\delta^2}\right) + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left[\frac{n\pi x}{\delta}\right] \cdot \left(T_{тр} - \Phi + na \frac{\pi^2}{\delta^2} (t_g - t_n)\right) \times \operatorname{erfc} \frac{y}{2\sqrt{a\tau}}. \quad (23)$$

На основании выполненных исследований нами был разработан методологический подход к проблеме термообновления наружных стен эксплуатируемых зданий [14], основанный на получении объективных данных об остаточных теплозащитных свойствах ограждений, а также предложена методика оценки степени снижения теплозащитных свойств стеновых панелей по характеру температурных полей на внутренней поверхности ограждающих конструкций. Итогом явилась разработанная система комплексного мониторинга технического состояния наружных ограждений [7], позволяющая планомерно и корректно осуществлять контроль за изменением теплотехнических свойств ограждающих конструкций и управление технической эксплуатацией объектов железнодорожного транспорта.

Для автоматизации указанных расчетов была разработана расчётная программа [8] на базе пакета «Microsoft Developer Studio» на универсальном языке программирования «Fortran for Scientists and Engineers», которая позволяет значительно упростить оценку остаточных теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий на железнодорожном транспорте.

#### Расчет температурных полей на внутренней поверхности ограждения с фильтруемой трещиной.

При помощи расчётной программы [8] был выполнен комплекс расчётов стеновых панелей с фильтруемой трещиной. В качестве исходных данных были приняты следующие интервалы варьирования толщин стеновых панелей, геометрических размеров трещин и климатических параметров:

- толщина стеновой панели  $\delta = (300...400)$  мм;
- ширина трещины  $r = (0,001...0,0032)$  мм, длина трещины  $L = (0,20...0,80)$  м, угол наклона  $\varphi = (0-90)^\circ$ ;
- температура наружного воздуха  $t_n = -(10-19)^\circ\text{C}$ , температура внутреннего воздуха  $t_B = +(18-22)^\circ\text{C}$ , скорость ветра  $v = (2...5)$  м/с.

Схема расположения исследуемых точек, в которых выполнялись расчеты, приведена на рис. 2.

На рис. 3 представлены полученные в результате расчетов температурные поля и поля воздушных течений на внутренних поверхностях стеновых панелей. При этом в качестве исходных данных были приняты:

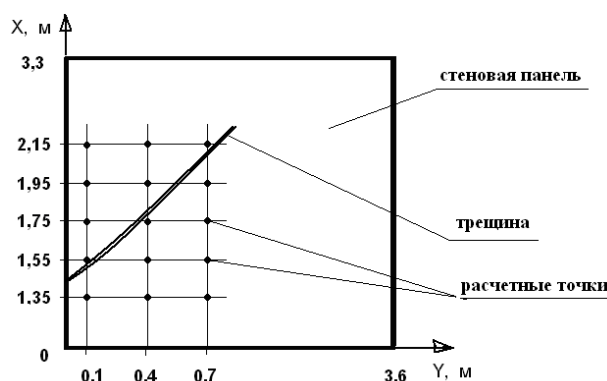


Рис.2. Расположение расчетных точек при определении температуры на внутренних поверхностях исследуемых панелей

- температура наружного воздуха  $t_n = -14^\circ\text{C}$ ;
- температура внутреннего воздуха  $t_B = +18^\circ\text{C}$ ;
- скорость ветра  $v = 4$  м/с.

Геометрические размеры фильтруемых трещин были приняты:

- для панели №1: ширина раскрытия трещины  $r = 0,0024$  м; длина трещины  $L = 0,63$  м; угол наклона трещины  $\varphi = 23^\circ$ ;
- для панели №2:  $r = 0,0027$  м;  $L = 0,86$  м;  $\varphi = 68^\circ$ ;
- для панели №3:  $r = 0,0031$  м;  $L = 0,58$  м;  $\varphi = 42^\circ$ .

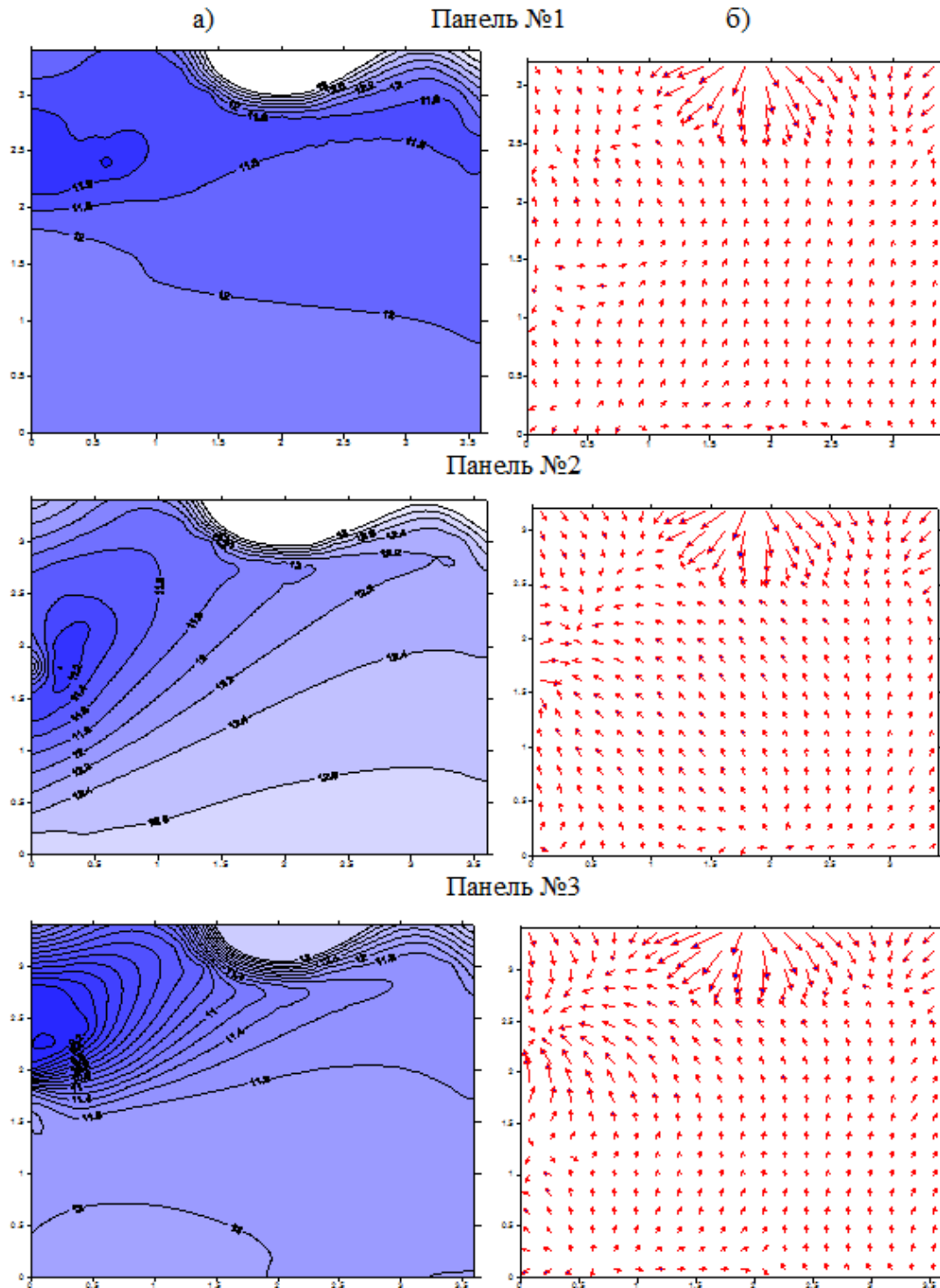


Рис.3. Температурные поля (а) и поля воздушных течений (б) для стеновых панелей с фильтруемой трещиной

Используя полученные в результате расчета температурные поля на внутренних поверхностях ограждений, можно определить:

а) зоны распространения пониженных температур на внутренней поверхности панели;

б) минимальную температуру на внутренней поверхности ограждения  $t_{в\ min}$ , °С;

в) величину максимального температурного перепада между температурой внутренней

него воздуха и внутренней поверхности ограждения  $\Delta t_{\max}$ , °C, по формуле (24):

$$\Delta t_{\max} = t_b - \tau_{b \min}; \quad (24)$$

г) фактическое сопротивление теплопередаче однослойной стеновой панели с фильтруемой трещиной  $R_\phi$ , (м<sup>2</sup> · °C)/Вт, по формуле (25):

$$R_\phi = \frac{t_e - t_n}{\alpha_b (t_e - t_{e \min})}, \quad (25)$$

где  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup> · °C) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения;  $\tau_{b \min}$  – минимальная температура на внутренней поверхности ограждения, принимаемая по температурному полю, °C.

По величине  $\Delta t_{\max}$  производят оценку соответствия теплозащитных свойств стеновой панели санитарно-гигиеническим и теплозащитным требованиям.

Снижение теплозащитных свойств панелей в % определяют как

$$\frac{R_0 - R_\phi}{R_0} \cdot 100\%,$$

где  $R_0$  – термическое сопротивление теплопередаче конструкции стеновой панели, (м<sup>2</sup> · °C)/Вт.

#### Заключение.

Анализ результатов расчета показал, что требования к температурному перепаду между температурой внутренней поверхности стеновой панели и температурой внутреннего воздуха не выполняются при следующих размерах трещины:

- если длина трещины  $L_{\text{тр}} = 80$  см, то при любой ширине ее раскрытия;
- если  $L_{\text{тр}} = 20$  см, то при ширине раскрытия  $r > 1,4$  мм;
- если  $L_{\text{тр}} = 10$  см, то при ширине раскрытия  $r > 1,6$  мм.

#### Список литературы

1. Абрамович, М. Справочник по специальным функциям / М. Абрамович, И. Стиган. - М.: Наука, 1979. - С. 120-129.
2. Табунщиков, Ю.А. Выученные и невыученные уроки энергосбережения / Ю.А. Табунщиков // Энергосбережение. - 2009. - №1. - С. 15-24.

Также было установлено, что чем толще стеновая панель, тем существеннее влияние трещины на снижение теплозащитных свойств ограждения. Так при толщине панели 300 мм и трещине длиной 0,2 м с шириной раскрытия 3,2 мм требуется увеличение толщины наружного утеплителя из минеральной ваты на 19%, а при этих же размерах трещины, но толщине стеновой панели 400 мм - на 34,3%, то есть влияние возрастает в 1,8 раза. При этом происходит снижение термического сопротивления несущего слоя керамзитобетонной панели в 1,3 раза [9].

Выполненные исследования показали, что наличие трещин с шириной раскрытия свыше 1 мм свидетельствуют о необходимости их учета при проектировании термообновления стеновых панелей зданий на железнодорожном транспорте, так как в противном случае рассчитанная толщина утеплителя для обеспечения III уровня теплозащиты может оказаться заниженной на 5...34% и более в зависимости от толщины ограждения и размера трещины.

Таким образом, при помощи полученных математических зависимостей и разработанной расчетной программы: «Расчет воздухопроницаемости и температурных полей ограждений с фильтруемой трещиной» для конкретного здания можно путем замера лишь геометрических размеров фильтруемых трещин выделить наружные стеновые панели с высокой степенью физического износа, имеющие наиболее низкие теплозащитные свойства и нуждающиеся при термообновлении зданий на железнодорожном транспорте в наиболее значительных утепляющих, а подчас, и в предварительных восстановительных мероприятиях.

#### References

1. Abramovich M., Stigan I. Guidebook on special functions. Moscow, Nauka, 1979, pp. 120-129. (In Russian)
2. Tabunshnikov Y.A. Learned and unlearned lessons of Energy Saving. *Energosberezhenie*, 2009, No.1, pp. 15-24. (In Russian)

3. Фарлоу, С. Уравнения с частными производными. Для научных работников и инженеров / С. Фарлоу. – М.: Мир, 1985. – 383 с.
  4. Шаумаров, С.С. Перспективы дальнейшей эксплуатации панельных жилых зданий / С.С. Шаумаров, Е.В. Щипачева, Р.Х. Пирматов // Материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы развития строительных технологий». - Днепропетровск, 2018. - С. 165-169.
  5. Шаумаров, С.С. Комплексный подход к проблеме термообновления стен панельных зданий / С.С. Шаумаров, Ю.А. Щипачева // VII Междунар. науч.-практич. конф. «TRANS-MECH-ART-CHEM». – М.: МИИТ, 2010. - С. 239-241.
  6. Шаумаров, С.С. Совершенствование тепловой защиты панельных стен эксплуатируемых жилых зданий: дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 2011. – 184 с.
  7. Шаумаров, С.С. Информационно-техническая диагностика технического состояния эксплуатируемых зданий / С.С. Шаумаров // II Междунар. науч.-практ. конф. «Экономика и право: становление, развитие, трансформация». - Ростов, 2017. - С. 204-208.
  8. Авторское свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 03151. Расчёт воздухопроницаемости и температурных полей ограждений с фильтруемой трещиной // Щипачева Е.В., Шаумаров С.С. - 2016.
  9. Щипачева, Е.В. Динамика температуры воздуха в сквозной трещине наружного ограждения здания / Е.В. Щипачева, С.С. Шаумаров // Ресурсосберегающие технологии в строительстве: Межвуз. сб. научн. тр. – Ташкент, 2009. С. 21-26.
  10. Becker, R. Air permeability and thermal performance of concrete block wall specimen / R. Becker // Journal of Building Physics. - 2010. - № 34 (2). P. 164-177.
  11. Borodinecs, A. Renovation need for apartment buildings in Latvia / A. Borodinecs; J. Zemitis, J. Sorokins // Civil and Environmental Engineering Reports. - 2011. - Vol. 22. - P. 81-91.
  12. Cheng, Y. Thermal comfort models: A
3. Farlou S. Partial differential equations. Moscow, Mir, 1985. 383 p. (In Russian)
  4. Shaumarov S.S. Prospects for further operation of panel residential buildings. *Materialy 12-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivy razvitiya stroitelnykh tekhnologiy* [Proceedings of the 12th Int. Scientific and Practical Conf. "Prospects for the Development of Construction Technologies"]. Dnepropetrovsk, 2018, pp. 165-169. (In Russian).
  5. Shaumarov S.S. Complex approach to the problem of walls of panel buildings. *VII Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. «TRANS-MECH-ART-CHEM»* [VII Int. theoretical and practical Conf. «TRANS-MECH-ART-CHEM»]. Moscow, MIIT, 2010, pp. 239-241. (In Russian).
  6. Shaumarov S.S. Improvement of thermal protection of panel walls of operated residential buildings. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Tashkent. 2011. 184 p. (In Russian).
  7. Shaumarov S.S. Information and technical diagnostics of technical condition of operated buildings. *II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Ekonomika i pravo: stanovlenie, razvitie, transformaciya»* [II Int. Scientific and Practical Conf. "Economics and Law: formation, development, transformation"]. Rostov, 2017, pp. 204-208. (In Russian).
  8. Shchipacheva E.V., Shaumarov S.S. Calculation of air permeability and temperature fields of fences with a filtered crack. The Certificate on official registration of the computer program No. DGU 03151. 2016. (In Russian).
  9. Shchipacheva, E.V., Shaumarov S.S. The dynamics of air temperature through the crack of the building cladding. *Resursosberegayuzhie tekhnologii v stroitelstve: v Mezhvuzovskom sbornike nauchnykh trudov* ["Resource saving technologies in construction" collected volume of scientific papers]. 2009, pp. 21-26. (In Russian).
  10. Becker R. Air permeability and thermal performance of concrete block wall specimen. *Journal of Building Physics*, 2010, №34 (2), pp. 164 -177.
  11. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J. Renovation need for apartment buildings in





review and numerical investigation / Y. Cheng, J. Nin, N. Gao // *Building and Environment*. - 2012. - Vol. 47. - P. 13-22.

13. Imbabi, M.S. Evaluation of thermal conductivity in air permeable concrete for dynamic breathing wall construction / M.S. Imbabi, J.M. Wong, F.P. Glasser // *Cement and Concrete Composites*. - 2007. - Vol. 29. - P. 647-655.

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

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

16. Shaumarov, S.S. On the method of estimation of thermal protective properties of external walls of operating residential buildings / S.S. Shaumarov, A.I. Adilhodzhayev, S.I. Kandakharov // Int. Conf. «Student science: research works». San Francisco, California, USA. Part II. «B & M Publishing». - 1980. - P. 103-106.

17. 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.

Latvia. *Civil And Environmental Engineering Reports*, 2011, Vol. 22, pp. 81-91.

12. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*, 2012, Vol. 47, pp. 13-22.

13. Imbabi M.S., Wong J.M., Glasser F.P. Evaluation of thermal conductivity in air permeable concrete for dynamic breathing wall construction. *Cement and Concrete Composites*, 2007, Vol. 29, pp. 647-655.

14. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport. *VIII International Conference "Transport Problems - 2016"*. Katowice, Poland, pp. 522-532.

15. Shaumarov S.S. On peculiarities of formation of the thermal mode in operating panel buildings. *International conference "Science and practice: a new level of integration in the modern world"*. London, 2018, pp. 365-368.

16. Shaumarov S.S. On the method of estimation of thermal protective properties of external walls of operating residential buildings. *International conference "Student science: research works"*. San Francisco, California, USA. Part II. «B & M Publishing», 2018, pp. 103-106.

17. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure. *Journal of Building Physics*, 2008, Vol. 31, pp. 361-387.