

Иванченко В.Т., канд. техн. наук,
Басов Е.В., аспирант
Кубанский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СВОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru

Предложен расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стеновой панели. Сопоставлен теоретический вариант вычисления с практическим. На примере наружной стеновой панели (ПНС) показана схема расчета двухмерными и трехмерными тепловыми полями. Учтено влияние теплопроводных включений. На основе анализа, выведена эффективность использования расчета сопротивления в пространстве.

Ключевые слова: энергоэффективность, тепловые поля, приведенное сопротивление теплопередаче, теплопроводные включения, тепловой мост, тепловизионный снимок.

Одним из важнейших этапов проектирования здания является обеспечение соблюдения требований энергетической эффективности. Создание надежной тепловой защиты обеспечит низкое потребление тепловой энергии на отопление зданий, что в свою очередь позволит сэкономить энергетические ресурсы.

После введения СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02 – 2003 «Тепловая защита зданий», ужесточились тре-

бования, предъявляемые к энергетической эффективности зданий и сооружений. Также изменения коснулись и расчета приведенного сопротивления теплопередаче. В расчете употребляется метод с использованием температурных полей, содержащих плоские, линейные и точечные элементы.

Рассмотрим на примере наружной стеновой панели (ПНС).

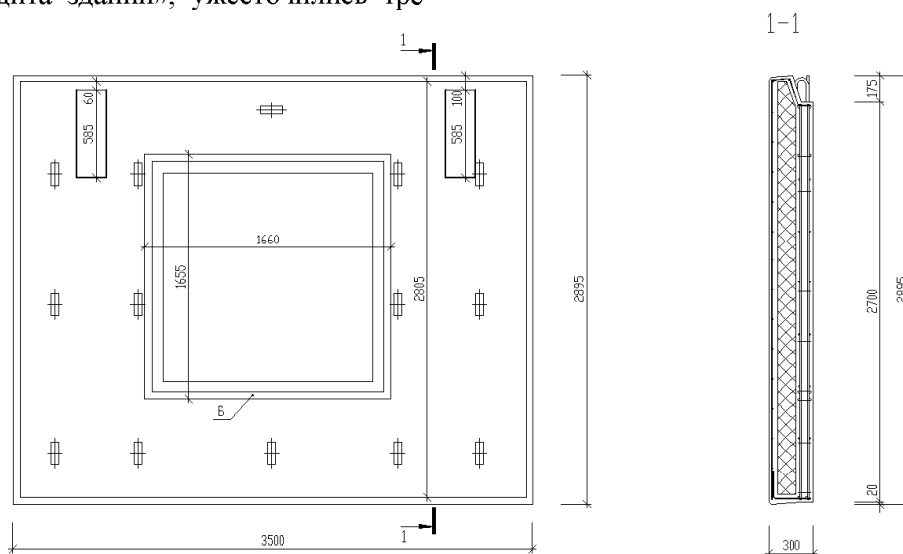


Рис. 1. Панель наружная стеновая

При моделировании тепловой защиты здания особое внимание уделяется наличию тепловых мостов. Тепловой мост – участок наружной ограждающей конструкции с низким термическим сопротивлением, пронизывающий часть ограждающей оболочки с утеплителем [1–4]. Создание двухмерной модели теплового поля покажет плотность теплового потока именно в том сечении, которое принимается в расчет. Но никак не затрагивает влияние теплопроводных включений, находящихся в непосредственной близости от этого сечения. Более подробное действие элементов конструкции с высокой теплопроводностью рассмотрим на примере.

Конструкция представлена в виде модели шириной и высотой 1 м, толщиной 300 мм. В середине участка расположена керамзитобетонная шпонка, которая выполняет функцию жесткой связи между слоями. Конструкция и количество соединений элементов наружных стен рассчитываются на восприятие усилий растяжения и сдвига, возникающих в швах между панелями, а также с элементами перекрытий или каркаса. Шпоночное соединение является необходимым конструктивным элементом и обеспечивает сейсмоустойчивость панели до 8 баллов по шкале MSK-64. Пронизывая конструкцию насквозь, шпонка является участком, состоящим из

сплошного бетона. В расчете приведённого сопротивления теплопередаче, при подготовке

проектной документации, наличие подобных элементов не учитывается.

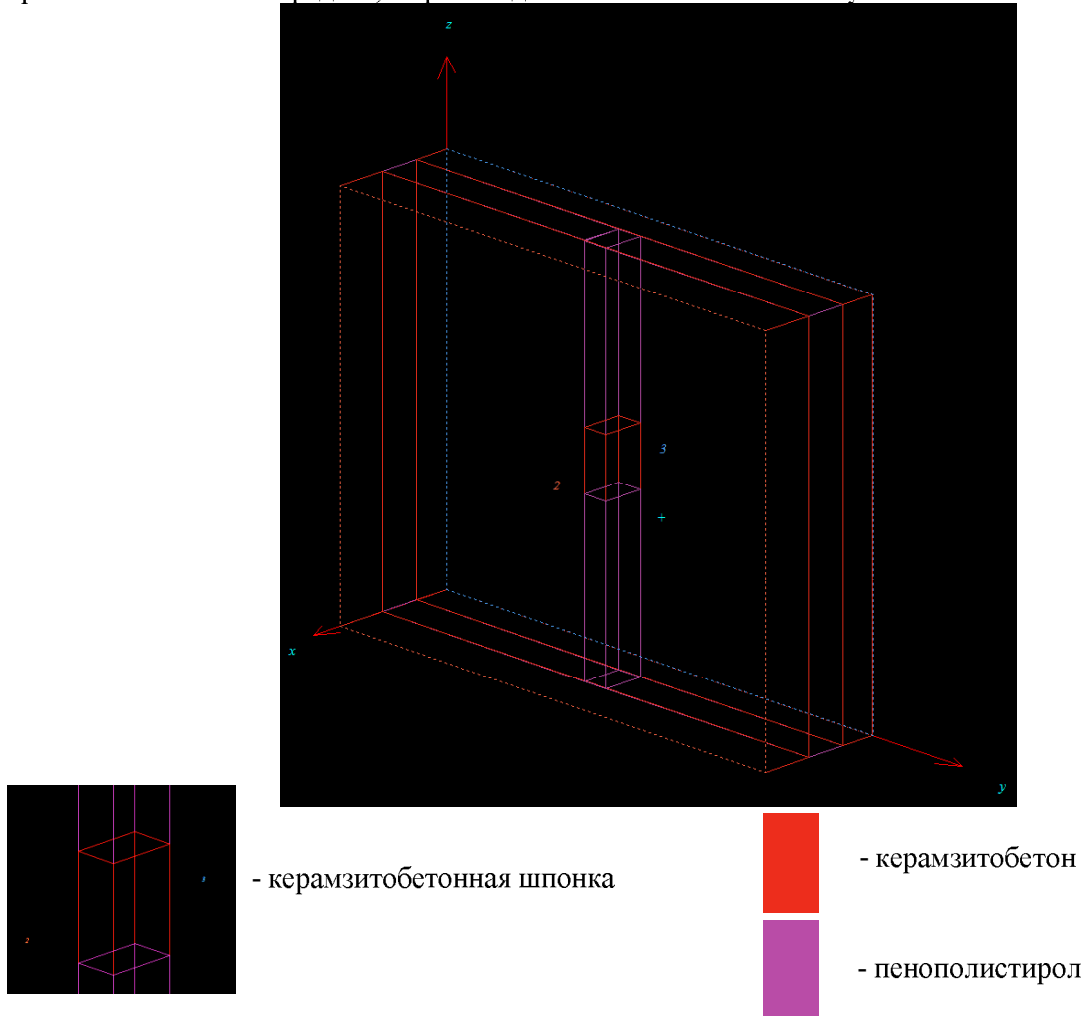


Рис. 2. Участок наружной стеновой панели с теплопроводным включением

Заданы следующие параметры конструкции и среды: внутренний слой – керамзитобетон ($\rho_0=1800 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_a=0,80 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$) – 120 мм; пенополистирол ($\rho_0=38 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_a=0,040 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$) – 120 мм; наружный слой – керамзитобетон ($\rho_0=1800 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_a=0,80 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$) – 60 мм; температура внутреннего воздуха $+20 \text{ °C}$; наружного воздуха -19 °C .

При изучении процесса действия керамзитобетонной шпонки на теплозащитные свойства конструкции сделан вывод о неравномерности распространения теплового потока (рис. 3).

На рис. 3,а показано равномерное распространение тепловых полей в конструкции. Поток движется от внутреннего теплого участка (справа) к наружному холодному (слева), проходя теплоизоляционный слой из пенополистирола. В этом случае, плотность теплового потока равна $Q_1=11,158 \text{ Вт/м}^2$. При расчете приведённого сопротивления теплопередачи [5], применяется формула:

$$R = \frac{\Delta T}{Q}; \quad (1)$$

где ΔT – разность температур по краям конструкционного элемента, °C ; Q – величина плотности теплового потока проходящего сквозь него, Вт/м^2 .

$$R_1 = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{39}{11,158} = 3,495 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

На рис. 3,б наблюдается искривление изотерм в месте нахождения шпонки (толщина 50 мм).

$$R_2 = \frac{39}{17,146} = 2,275 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

На рис. 3,в тепловой поток направлен наружу с еще большей мощностью, так как физические размеры керамзитобетонной шпонки больше. Ее высота составляет 150 мм. В итоге, приведенное сопротивление теплопередаче, на разрезе по вертикальной оси и в виде спереди $R_3=1,59 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

$$R_3 = \frac{39}{24,411} = 1,59 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

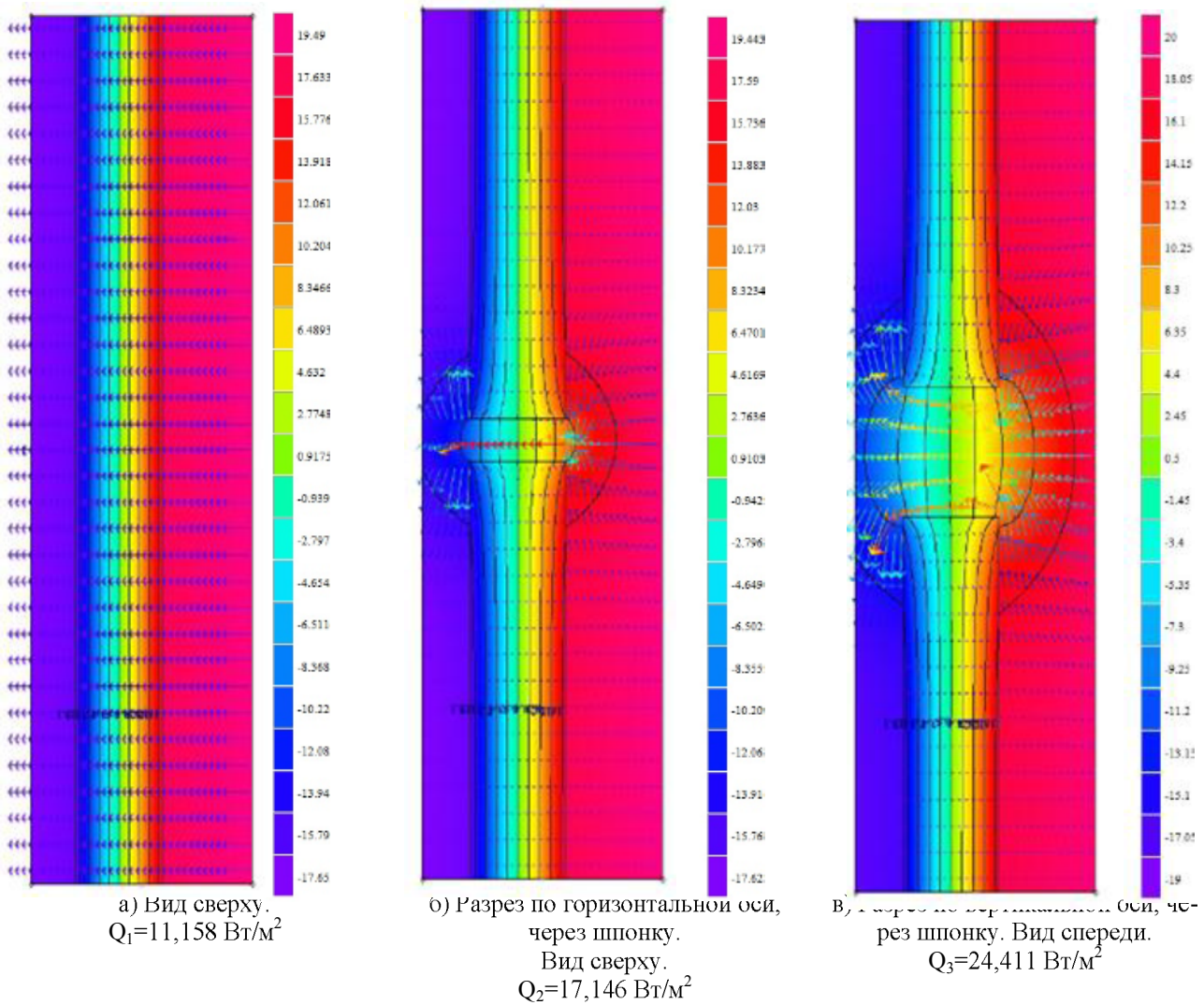


Рис. 3. Распределение температур по трем разным сечениям конструкции

Расчет проводился при помощи программного комплекса HEAT2 - это компьютерная программа для двухмерного моделирования стационарного и нестационарного процессов теплопередачи.

Таким образом, сопротивление теплопередаче существенно изменяется в различных сечениях участка, и невозможно с высокой точностью оценить параметр в двухмерной тепловой

модели [6], так как размеры теплопроводных включений (тепловых мостов) всегда различны. Для точного определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, включая тепловые мосты, однородные участки, стеклопакеты, вентиляционные отверстия и т.д., необходимо использовать теоретическую модель трехмерного теплового поля [2].

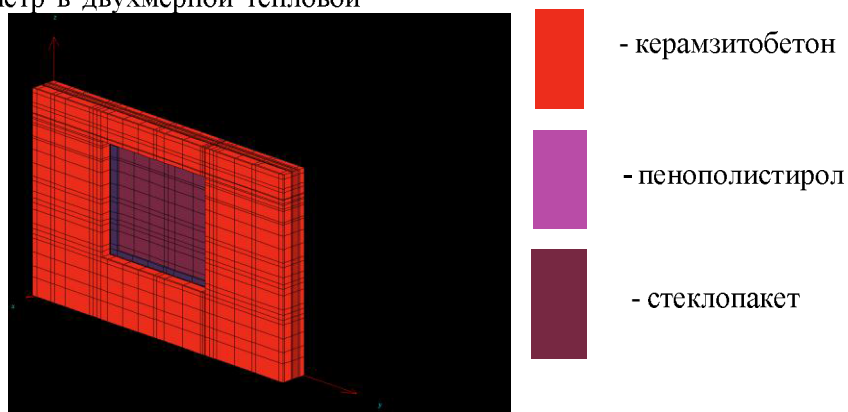
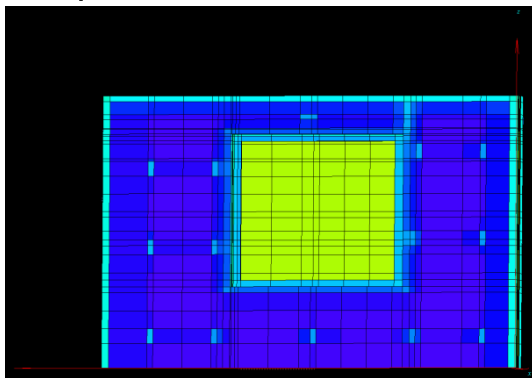


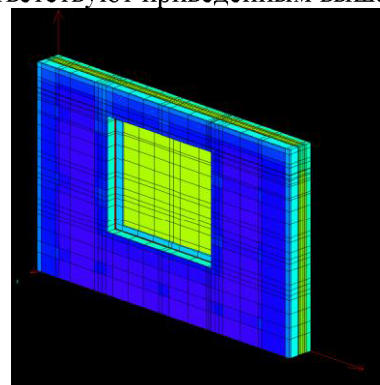
Рис. 5. Базовая модель наружной стеновой панели

При вводе аналогичных параметров (характеристики материалов, температуры окружающей среды) в программу для моделирования трехмерного температурного поля HEAT3 для той же конструкции, получены данные величины плотности теплового потока, проходящего через всю конструкцию $Q=17,348 \text{ Вт/м}^2$. Соответственно, приведенное сопротивление теплопередачи всего участка, согласно комплексному расчету $R_{\text{пр}}=2,248 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Было учтено влия-

ние действия керамзитобетонной шпонки, установленной посередине конструкции. Напомним, при отсутствии шпонки, величины плотности теплового потока и сопротивлению теплопередачи, соответственно равны $Q_1=11,158 \text{ Вт/м}^2$ и $R_1=3,495 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. На рис. 5 показана трехмерная базовая модель ПНС с соответствующим проекту стеклопакетом перед расчетом. Размеры панели $3500 \times 2895 \text{ мм}$. параметры конструкции и среды соответствуют приведенным выше.



а) ПНС
Вид спереди



б) ПНС
Вид сзади

Рис. 6. Результаты компьютерного моделирования температурного поля в трехмерном приближении наружной стеновой панели: а – вид спереди; б – вид сзади

На рис. 6 более светлые участки показывают площадки с высокой мощностью потока. Именно в этих местах потеря теплоты наиболее выражена. Расчет был произведен с помощью программного комплекса HEAT 3, и выведено значение плотности теплового потока $Q=21,081 \text{ Вт/м}^2$, соответственно приведенное сопротивление теплопередачи $R_{\text{пр}}=1,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. На практике [7] произведена тепловизионная съемка, замеры плотности теплового потока, температур на внутренней и наружной поверхностях аналогичной стеновой панели в отопительный период, чтобы сопоставить теоретические показатели с реальными, полученными при натуральных испытаниях.

На рис. 7 показаны три этажа жилого дома. Тепловизионная съемка производилась ночью, чтобы исключить прямой или отраженный солнечный свет. Температура воздуха снаружи -2 °C , температура воздуха внутри помещения $+22 \text{ °C}$. Точкой «С» отмечен участок на поверхности наружной стеновой панели с однородным наполнением (керамзитобетон-утеплитель-керамзитобетон). Точками «А» и «В» показана температура на участке с теплопроводным включением (на шпонке). Разница температур между точками «А», «В» и точкой «С» составляет $2,6 \text{ °C}$ и 4 °C соответственно.

Красным цветом отмечены участки с высокими теплопотерями, которые возникают в местах слабой теплоизоляции. На первом этаже

отмечена область «1» в обрамлении оконного блока, в местах стыка панелей между собой, а также в местах устройства железобетонных шпонок, где выявлена потеря теплового потока. Сравнивая с участком «2», отмеченным на панели с однородным составом конструкции, обнаружена разница температур от $2,1 \text{ °C}$ до $3,7 \text{ °C}$.

Тепловизионный контроль качества теплоизоляции ограждающих конструкций проводился в натуральных условиях в период с 23.02.2012г. (обзорное крупномасштабное термографирование с целью определения реперных участков для расстановки самописцев) по 27.02.2012г. (детальное и обзорное термографирование и снятие показаний с самописцев).

Погодные условия удовлетворяли требованиям проведения тепловизионного контроля согласно ГОСТ Р 54852-2011 и методики диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций тепловизионным бесконтактным методом. Контактные измерения проводились в трех реперных зонах.

На основании данных обзорного крупномасштабного термографирования согласно ГОСТ Р 54852-2011, также были выбраны базовые участки на поверхности наружных ограждающих конструкций здания. Использовался измеритель плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03/Х(У) "Поток". На основании полученных данных, было высчитано приведенное со-

противления теплопередаче панели $R_{пр}=1,77$ $м^2 \cdot °C/Вт$.

Обработка тепловизионных снимков выполнялась в программном комплексе *GORATEC Thermography Studio*.

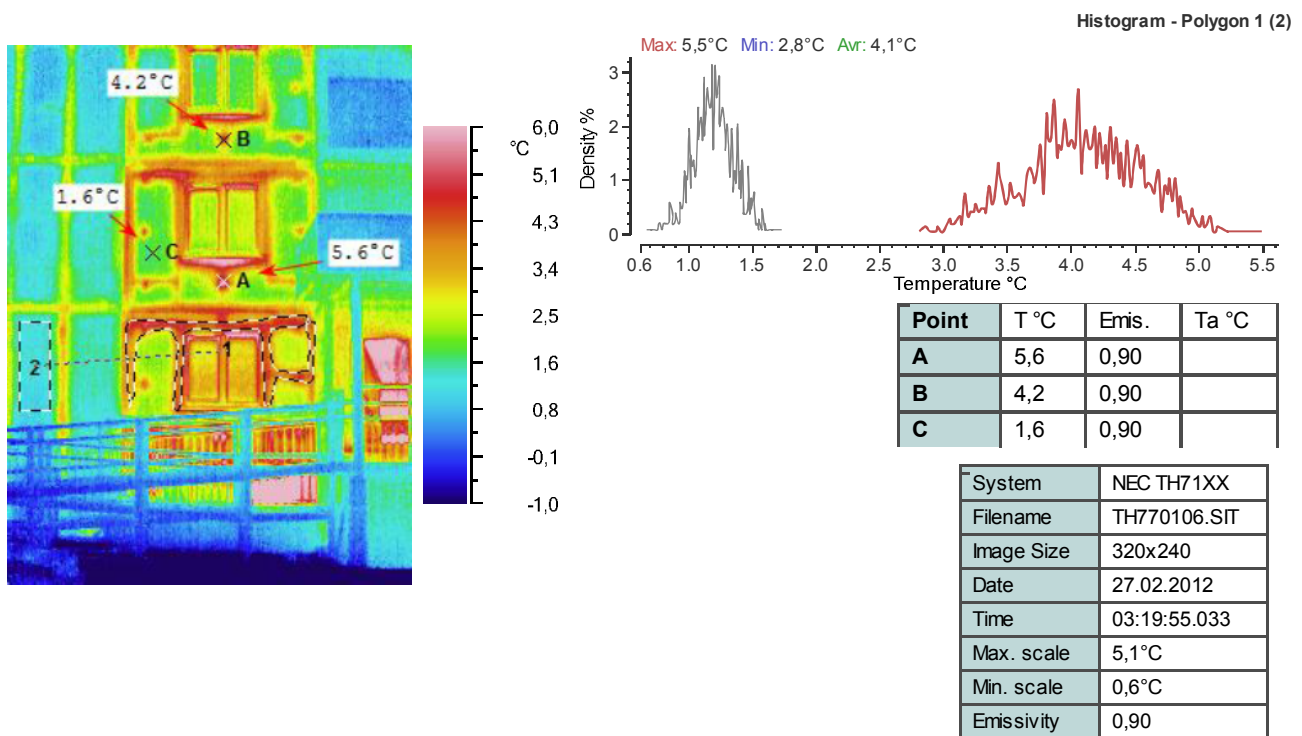


Рис. 7. Тепловизионный снимок существующей панели

Выводы

Обязательной мерой обеспечения жесткости панели является использование шпоночных соединений между внутренним и наружным слоями конструкции. [1, 2] На стадии проектирования здания, расчет термического сопротивления производился по участку с наилучшими теплозащитными характеристиками (керамзитобетон-утеплитель-керамзитобетон), что не гарантирует корректных результатов [8-10]. Компьютерное моделирование температурного поля в трехмерном приближении обеспечивает показатель сопротивления теплопередаче с погрешностью до 5 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеина С.Г., Миненко А.Н. Анализ и расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1(22).С. 131.
2. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая архитектура и тепловые мосты в ограждениях здания // Вестник Кыргызского государственного

университета строительства, транспорта и архитектуры. 2013. № 4(42). С.130–136.

3. Егорова Т.С., Черкас В.Е. Повышение энергоэффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 421-428.

4. Чертищев В.В., Чертищев В.В. Расчет полей температур и тепловых потоков в неподвижной среде методом конечных элементов // Известия Алтайского государственного университета. 2011. № 1-2. С.176-180.

5. Бородин А.И., Чапанов З.Б. Учет влияния влажности среды при расчете термического сопротивления ограждающей конструкции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 7. С.40-43.

6. Луговой А.Н. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 32-33.

7. Опарина Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» // Жилищное строительство. 2010. № 8. С. 2-4.

8. Савин В.К. Строительная физика. Энергоэкономика. М.: Лазурь, 2011. 418 с.

9. Гусев Н.М. Основы строительной физики. М.: Стройиздат, 1975. 230 с.

10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1970. 417 с.

Ivanchenko V.T., Basov E.V.

EFFECT OF HEAT-CONDUCTING INCLUSIONS ON THE PROPERTIES OF WALLING

The article deals with the question of calculating the reduced resistance to heat transfer design. Comparing the theoretical calculation with the practical option. For example, the exterior wall panel (MSP), a diagram showing the calculation of two and three dimensional thermal fields. Taken into account the effect of heat-conducting inclusions. Based on the analysis, calculation efficiency derived resistance in space.

Key words: *energy efficiency, thermal field, given the resistance of heat transfer, heat-conducting inclusions, thermal bridge, thermal picture.*

Иванченко Владимир Тихонович, канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий и сооружений

Кубанский государственный технологический университет

Адрес: Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2.

E-mail: vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru

Басов Евгений Витальевич, аспирант кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий и сооружений

Кубанский государственный технологический университет

Адрес: Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2.

E-mail: 4263375@mail.ru