**Практическое занятие 1**

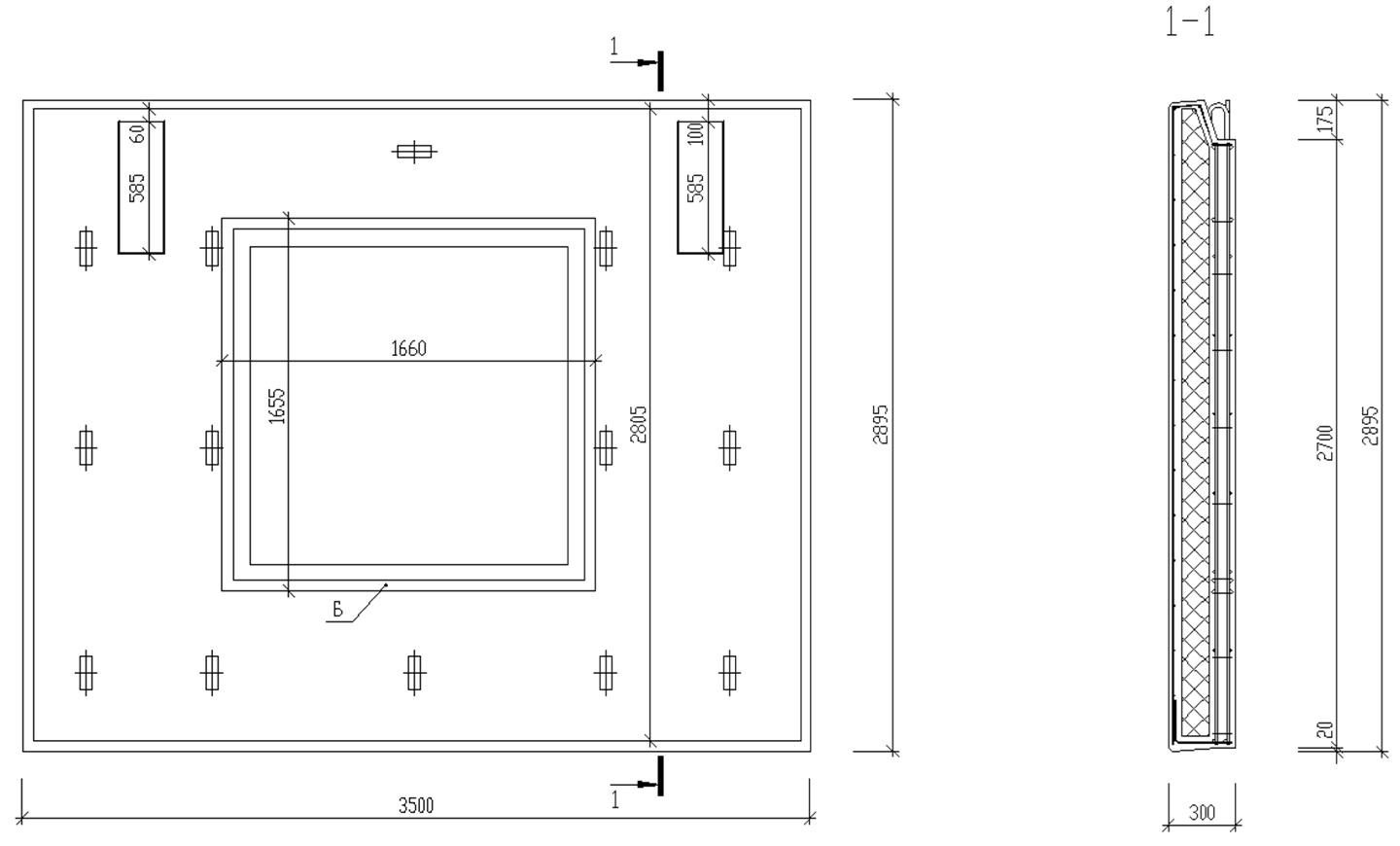
**Анализ влияния теплопроводных включений на обеспечение тепловой защиты наружных ограждающих конструкций**

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.

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

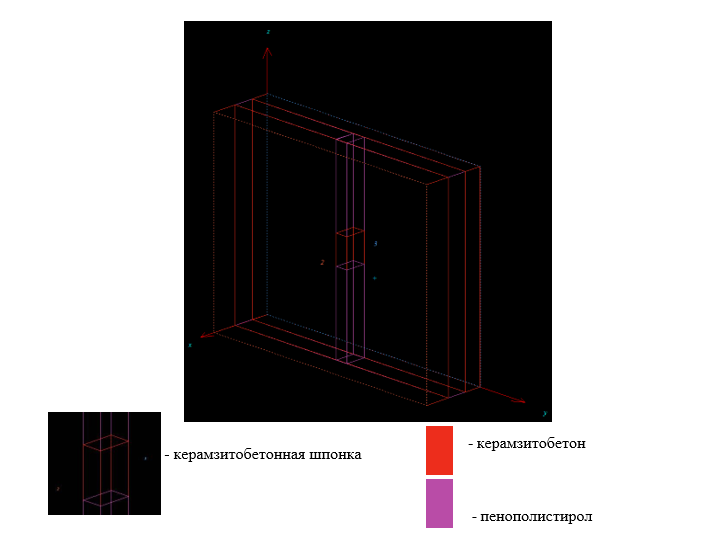
Рассмотрим на примере наружной стеновой панели (ПНС).



*Рис. 1.1. 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 МSК-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. 1.2. Участок наружной стеновой панели с теплопроводным включением*

Заданы следующие параметры конструкции и среды:

- внутренний слой – керамзитобетон (ρ0=1800 кг/м3; λа=0,80 Вт/(м2·°С) –120 мм; пенополистирол (ρ0=38 кг/м3; λа=0,040 Вт/(м2·°С) - 120 мм;

- наружный слой - керамзитобетон (ρ0=1800 кг/м3; λа=0,80 Вт/(м2·°С) – 60 мм;

- температура внутреннего воздуха +20 °С;

- наружного воздуха –19 °С.

При изучении процесса действия керамзитобетонной шпонки на теплозащитные свойства конструкции сделан вывод о неравномерности распространения теплового потока (рис. 1.3.).

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 пенолистирола. В этом случае, плотность теплового потока равна Q1=11,158 Вт/м2. При расчете приведённого сопротивления теплопередачи, применяется формула:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 1 |

где ∆T – разность температур по краям конструкционного элемента, °С;

Q – величина плотность теплового потока проходящего сквозь него, Вт/м2.

На рис. 1.3.,б наблюдается искривление изотерм в месте нахождения шпонки (толщина 50 мм).

На рис. 1.3,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 виде спереди R3=1,59 м2·°С/Вт.

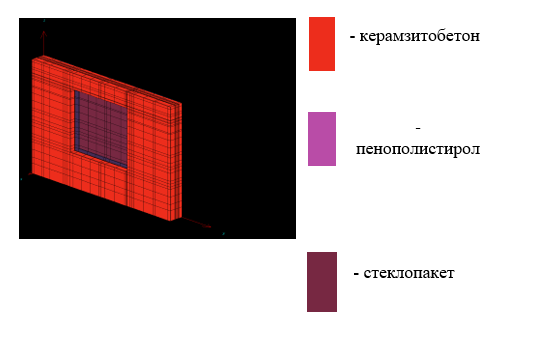
Изображение выглядит как текст, письменная принадлежность

Автоматически созданное описание

*Рис. 1.3. Распределение температур по трем разным сечениям конструкции*

Расчет проводился при помощи программного комплекса HEAT2 - это компьютерная про- грамма для двухмерного моделирования стационарного и нестационарного процессов тепло- передачи.

Таким образом, сопротивление теплопередаче существенно изменяется в различных сечениях участка, и невозможно с высокой точностью оценить параметр в двухмерной тепловой модели, так как размеры теплопроводных включений (тепловых мостов) всегда различны. Для точного определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, включая тепловые мосты, однородные участки, стекло- пакеты, вентиляционные отверстия и т.д., необходимо использовать теоретическую модель трехмерного теплового поля.



*Рис. 1.4. Базовая модель наружной стеновой панели*

При вводе аналогичных параметров (характеристики материалов, температуры окружаю- щей 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 Вт/м2. Соответственно, приведенное сопротивление тепло- передачи всего участка, согласно комплексному расчету Rпр=2,248 м2·°С/Вт. Было учтено влияние действия керамзитобетонной шпонки, установленной посередине конструкции. Напомним, при отсутствии шпонки, величины плотности теплового потока и сопротивлению теплопередаче, соответственно равны Q1=11,158 Вт/м2 и R1=3,495 м2·°С/Вт. На рис. 5 показана трехмерная базовая модель ПНС с соответствующим проекту стеклопакетом перед расчетом. Размеры панели 3500×2895 мм. параметры конструкции и среды соответствуют приведенным выше.

Изображение выглядит как текст, монитор, часы, дисплей

Автоматически созданное описание

*Рис. 1.5. Результаты компьютерного моделирования температурного поля в трехмерном приближении наружной стеновой панели: а – вид спереди; б – вид сзади*

На рис. 1.5. 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 Вт/м2, соответственно приведенное сопротивление теплопередачи Rпр=1,85 м2·°С/Вт. На практике 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 натурных испытаниях.

На рис. 1.6. показаны три этажа жилого дома. Тепловизионная съемка производилась ночью, чтобы исключить прямой или отраженный солнечный свет. Температура воздуха снаружи - 2°С, температура воздуха внутри помещения

+22°С. 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°С и 4°С соответственно.

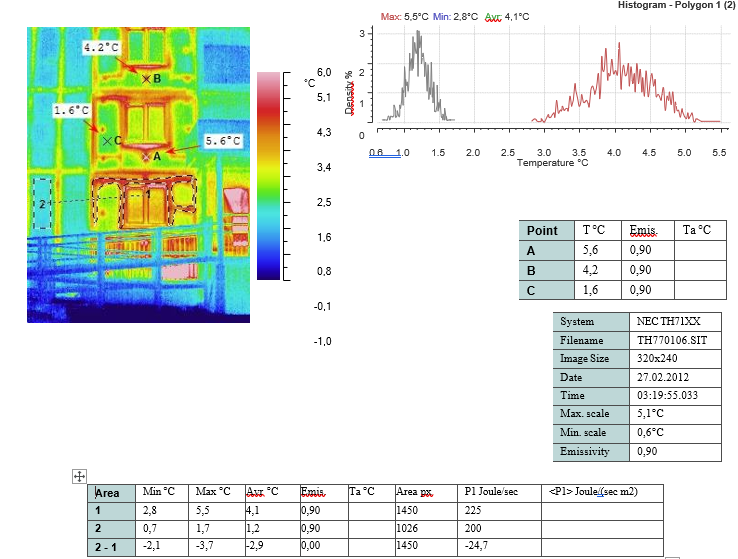
Красным цветом отмечены участки с высокими теплопотерями, которые возникают в местах слабой теплоизоляции. На первом этаже отмечена область «1» в обрамлении оконного блока, в местах стыка панелей между собой, а также в местах устройства железобетонных шпонок, где выявлена потеря теплового потока. Сравнивая с участком «2», отмеченным на пане- ли с однородным составом конструкции, обнаружена разница температур от 2,1°С до 3,7°С.

Тепловизионный контроль качества тепло- изоляции ограждающих конструкций проводился в натурных условиях в период с 23.02.2012г. (обзорное крупномасштабное термографирование с целью определения реперных участков для расстановки самописцев) по 27.02.2012г. (де- тальное и обзорное термографирование и снятие показаний с самописцев).

Погодные условия удовлетворяли требованиям проведения тепловизионного контроля со- гласно 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/X(Y) "Поток". На основании полученных данных, было высчитано приведенное сопротивления теплопередаче панели Rпр=1,77 м2·°С/Вт.

Обработка тепловизионных снимков выполнялась в программном комплексе GORATEC Thermography Studio.



*Рис. 1.6. Тепловизионный снимок существующей панели*

# Выводы

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