

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь

Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие
по строительству "Институт БелНИИС"
(РУП "Институт БелНИИС")

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Зам. генерального директора
РУП "Институт БелНИИС"
В.В. Коньков
2016 г.



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

***Расчеты объемного распределения температур
двух угловых сопряжений наружной стены
из ячеистого бетона плотностью D350
производства филиал №5 «Гродненский КСМ»
ОАО «Красносельскстройматериалы» с диском
междуэтажного перекрытия и балконной плитой***

Договор № 62/1п-16

Зав. лабораторией теплофизиче-
ских исследований и испытаний



А.Б. Крутилин

Зав. отделом ограждающих
конструкций, руководитель НИР



Ю.А. Рыхленок

Минск 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зав. отделом ограждающих конструкций



Ю.А. Рыхленок
(Введение, заключение)

Ответственный исполнитель, зав. лабораторией теплофизических исследований и испытаний



А.Б. Крутилин
(введение, все разделы, заключение)

Нормоконтролер



И.О. Колесникова
(нормоконтроль)

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 19 стр., 7 рис, 2 таблицы.

Ключевые слова: ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ, ТЕМПЕРАТУРА НА ПОВЕРХНОСТИ, ТЕМПЕРАТУРА ТОЧКИ РОСЫ, ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ.

Выполнены расчеты узлов сопряжений наружных стен, выполненных кладкой из ячеистобетонных блоков плотностью 350 кг/м^3 производства филиала №5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы» с диском междуэтажного перекрытия при наличии или отсутствии перфорации с утеплением плитами пенополистирольными. Определены минимальные температуры на поверхностях стен и выполнено их сопоставление с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006* [1].

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Методика определения теплового режима узлов сопряжения наружных стен и диска междуэтажного перекрытия	7
2 Результаты расчетов	10
2.1 Расчетные коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости	10
2.2 Влажностный режим наружных стен жилого здания	10
2.3 Тепловой режим узлов сопряжений наружной стены с диском перекрытия	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	19

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследований являются узлы наружных стен здания с поэтажно опертыми стенами, выполненными кладкой из блоков из ячеистого бетона ($\delta = 400$ мм, $\rho = 350$ кг/м³) производства филиал №5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы» на клеевом растворе.

Для увеличения уровня теплозащиты стен кладка снаружи укрыта теплоизоляционной штукатуркой толщиной слоя $\delta = 20$ мм. При этом обеспечивается некоторый запас в уровне теплозащиты наружных стен по "глади" ($R_T \approx 4,2$ м²·°С/Вт) с целью обеспечения нормативной величины приведенного сопротивления теплопередаче ($R_{Т.н.} = 3,2$ м²·°С/Вт) по ТКП 45-2.04-43-2006* [1].

Изнутри стены оштукатурены цементным раствором толщиной слоя $\delta = 10$ мм.

На участках примыканий с железобетонными стенами (диафрагмами жесткости) толщиной $\delta = 200$ мм выполнена их дополнительная теплоизоляция плитами минераловатными ($\delta = 180$ мм, $\rho \geq 135$ кг/м³), по которым устроена штукатурка полимерцементным раствором.

Междуэтажные перекрытия выполнены в виде монолитных железобетонных дисков. С наружной стороны торцы плит перекрытия утеплены минераловатными плитами толщиной $\delta = 100$ мм с устройством по ним штукатурного слоя.

Междуэтажные перекрытия в пределах лоджий дополнительно теплоизолируются: плитами из экструзионного пенополистирола ($\delta = 30$ мм, $\rho \geq 35$ кг/м³) в конструкции пола лоджий и легкой штукатурной системой с утеплителем из минераловатных плит ($\delta = 50$ мм, $\rho \geq 135$ кг/м³) по потолочным поверхностям.

Междуэтажные перекрытия в пределах лоджий для выполнения расчетов предлагается выполнять в двух вариантах — с перфорацией диска пенополистирольными вкладышами (толщина 100 мм, ширина 350 мм) с образованием железобетонных участков шириной 200 мм и без перфорации (со сплошным слоем железобетона).

Фрагмент плана типового этажа жилого дома с указанием расчетного узла (обведен красным кругом) приведен на рисунке 1.

Целью работы является определение теплового режима узлов сопряжений наружных стен из блоков из ячеистого бетона ($\delta = 400$ мм, $\rho = 350$ кг/м³) производства филиал №5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы» на клеевом растворе с диском междуэтажного перекрытия жилого дома.

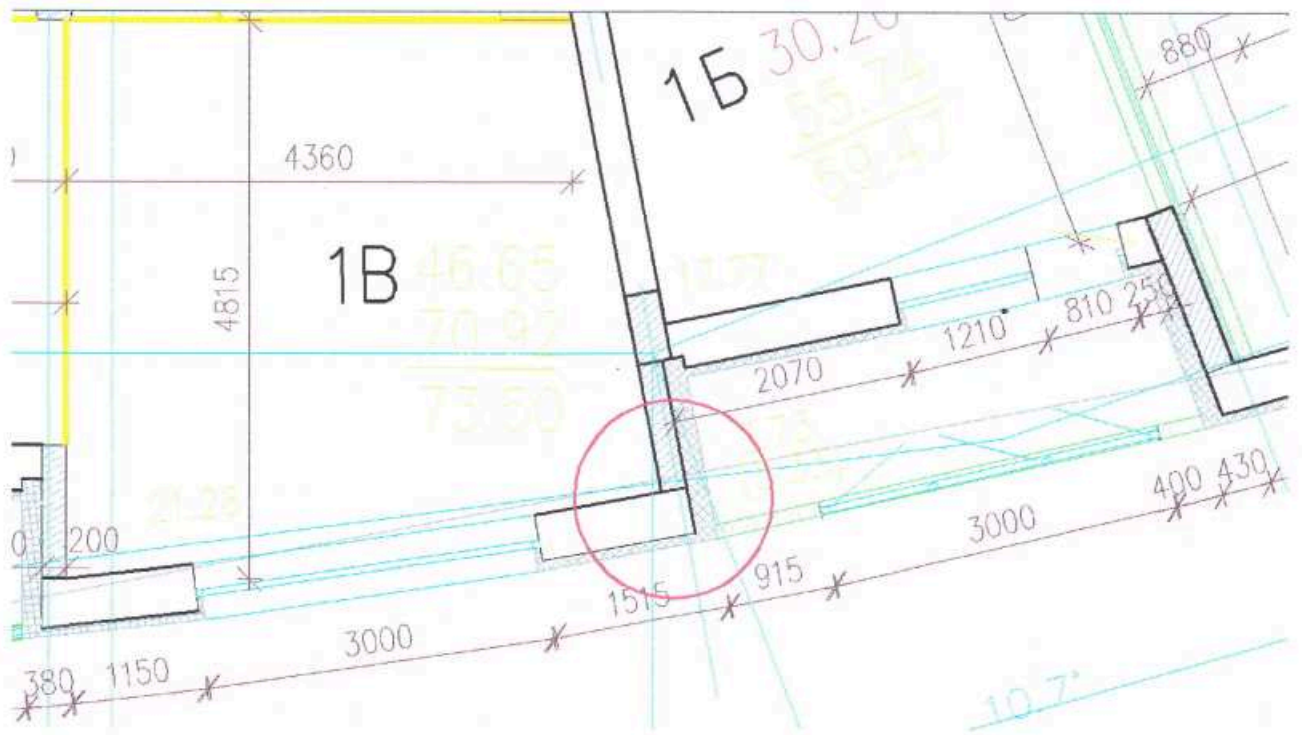


Рисунок 1 – Фрагмент плана типового этажа жилого дома с расчетным узлом сопряжения наружных стен и диска перекрытия

1 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН И ДИСКА МЕЖДУЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

1.1 Расчеты по определению теплового режима узлов сопряжений наружных стен включали:

- оценку распределений относительной влажности воздуха в порах материалов ограждения решением стационарной одномерной задачи теплопроводности и паропроницаемости; анализ полученных результатов с определением средних массовых влажностей материалов и их расчетных коэффициентов теплопроводности;
- составление геометрических расчетных моделей для определения температурных полей расчетных фрагментов узлов сопряжений наружных стен;
- расчет температурных полей и объемных распределений температур фрагментов сопряжений наружных стен с перекрытием и др. решением стационарной двухмерной и трехмерной задач теплопроводности;
- определение теплового режима узлов сопряжений наружных стен.

1.2 Распределение температуры по толще одномерного сечения наружной стены определяли по формуле (1):

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{n=1}^{i-1} R_n \right), \quad (1)$$

где t_e, t_n — расчетные температуры, соответственно, внутреннего и наружного воздуха, °С;

R_T — сопротивление теплопередаче расчетного сечения ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$;

R_n — термическое сопротивление n -го элементарного слоя разбиения сечения ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$;

α_e — коэффициент тепловосприятости внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$.

1.3 Распределение парциальных давлений по толще одномерного сечения наружной стены определяли по формуле (2):

$$e_n = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{\Pi}} \cdot \left(R_{\Pi, \text{Вн.}} + \sum_{n=1}^{i-1} R_{\Pi, n} \right), \quad (2)$$

где e_e, e_n — парциальные давления, соответственно, внутреннего и наружного воздуха, °С;

R_{Π} — сопротивление паропроницанию расчетного сечения ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$;

$R_{\Gamma.n}$ —сопротивление паропрооницанию n-го элементарного слоя разбиения сечения ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

$R_{\Gamma.вн.}$ — сопротивление паропрооницанию внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

1.4 Средние относительные влажности воздуха в порах материалов по толще слоев рассматриваемого сечения наружной стены рассчитывали по формуле (3):

$$\varphi_{cp_i} = \frac{\sum_{n=k}^m e_n}{\sum_{n=k}^m E_n}, \quad (3)$$

где индексы k, m — номера первого и последнего элементарного слоя однородного материала расчетного сечения конструкции.

1.5 С учетом полученных средних массовых влажностей материалов ограждающих конструкций по ТКП 45-2.04-43-2006* [1] принимали расчетные величины коэффициентов теплопроводности материалов по условиям:

$$\lambda_{\text{мат}} = \lambda_A \text{ при } W_{\text{мат}}^{\text{ср}} \leq W_A; \quad \lambda_{\text{мат}} = \lambda_B \text{ при } W_B \geq W_{\text{мат}}^{\text{ср}} > W_A.$$

1.6 Определение объемного распределения температур для трехмерных областей расчетных фрагментов конструкций выполняли на основании решения дифференциального уравнения теплопроводности вида:

$$c \cdot \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(y) \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(z) \frac{\partial t}{\partial z} \right), \quad (4)$$

где c — теплоемкость единицы массы материала, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$;

ρ — плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

λ — коэффициент теплопроводности материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Определение плоского температурного поля расчетных фрагментов сопряжений наружных стен выполняли на основании решения дифференциального уравнения теплопроводности (5):

$$c \cdot \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(y) \frac{\partial t}{\partial y} \right). \quad (5)$$

На расчетные фрагменты ограждающих конструкций накладывалась сетка, в узлах которой определяли температуры, используя результаты решения дискретных аналогов уравнений (4) и (5).

Для расчетов температурных полей фрагментов наружных приняты следующие параметры: температура наружного воздуха $t_n = -26$ °С; расчетная температура расчетная температура воздуха в пределах лоджии $t_{лод} = -20$ °С; расчетная температура внутреннего воздуха $t_e = +18,0$ °С; коэффициенты теплоотдачи и тепловосприятия — в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1]. Граничные условия — III рода.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

2.1 Расчетные коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости

Принятые расчетные коэффициенты паропроницаемости и теплопроводности материалов ограждающих конструкций при их расчетных показателях массовой влажности приведены в таблице 1.

Для материалов ограждений, не приведенных в таблице 1, расчетные показатели принимали по ТКП 45-2.04-43-2006* [1].

Таблица 1

Наименование материала	Расчетный коэффициент паропроницаемости материала μ , мг/(м·ч·Па)	Расчетный коэффициент теплопроводности материала λ_A , Вт/(м·°С)	Расчетный коэффициент теплопроводности материала λ_B , Вт/(м·°С)
Плиты минераловатные на основе базальтового волокна ($\rho=135$ кг/м ³)	0,482	0,0428	0,0436
Кладка из ячеистобетонных блоков ($\rho=350$ кг/м ³) производства филиала №5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы»	0,236	0,108	0,119
Плиты пенополистирольные ($\rho = 35$ кг/м ³)	0,0127	0,0386	0,0389
Цементный штукатурный раствор ($\rho=1600$ кг/м ³)	0,12	0,70	0,81
Клеевой кладочный раствор	не менее 0,02	0,70	0,87
Наружный теплоизоляционный штукатурный слой	не менее 0,15	—	не более 0,07

2.2 Влажностный режим наружных стен жилого здания

Расчеты выполняем для наружной стены с целью проверки в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1] на отсутствие конденсации водяного пара в толще и принятия расчетных коэффициентов теплопроводности материалов.

Для расчетов влажностного режима наружных стен здания принимаем следующие параметры: температуру внутреннего воздуха $t_b = + 18$ °С; относительную влажность внутреннего воздуха $\varphi_b = 55$ %; температуру наружного воздуха $t_n = - 1,6$ °С; относительную влажность наружного воздуха $\varphi = 85$ %.

Распределения парциального и максимального парциального давления воздуха в порах материалов по сечению наружной стены показаны на рисунке 2. Видно, что линии не пересекаются, что свидетельствует об отсутствии конденсации водяного пара в толще конструкции. Влажностный режим наружной стены в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1] следует считать удовлетворительным.

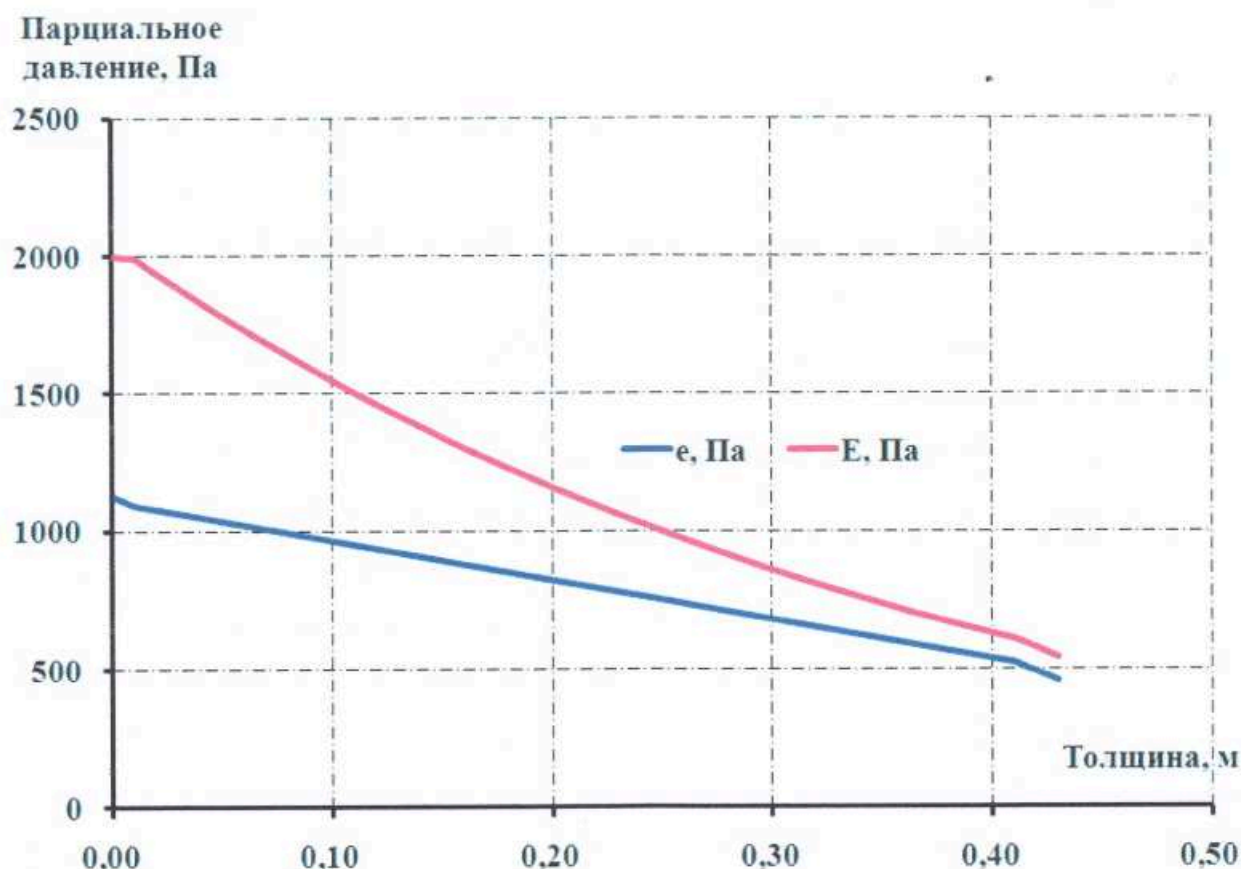


Рисунок 2 – Распределение парциальных и максимальных парциальных давлений по сечению наружной стены

Для расчета теплотехнических характеристик наружных стен с целью выбора расчетных коэффициентов теплопроводности определяем средние по толщинам относительные влажности воздуха в порах материалов и массовые влажности, им соответствующие. Результаты расчетов относительной влажности воздуха в порах материалов наружных стен и массовых влажностей, им соответствующих, приведены в таблице 2.

Результаты расчета показывают, что все материалы наружной стены, за исключением наружной теплоизоляционной штукатурки имеют массовые влажности меньше показателей, приведенных в ТКП 45-2.04-43-2006* [1] для условий эксплуатации "А". Наружная теплоизоляционная штукатурка находится ($\varphi_{cp} > 75\%$) в условиях эксплуатации "Б".

Таблица 2

№ слоя	Наименование материала конструкции	Средняя относительная влажность воздуха в порах материалов φ , %	Средняя массовая влажность материала W , %
1	Внутренняя штукатурка	55,3	0,92
2	Ячеистый бетон ($\rho = 350 \text{ кг/м}^3$)	71,7	менее 3,4
3	Наружная теплоизоляционная штукатурка	84,9	—

2.3 Тепловой режим узлов сопряжений наружной стены с диском перекрытия

2.3.1 Угловое сопряжение наружной стены в уровне перекрытия с перфорацией диска перекрытия

Расчетная схема узла сопряжения показана на рисунке 3. Распределение температур по поверхностям фрагмента узла углового сопряжения наружной стены в уровне перекрытия показано на рисунке 4.

Минимальная температура на внутренней поверхности наружной стены получена в месте углового сопряжения наружных стен у перекрытия и составила $\tau = 10,4 \text{ }^\circ\text{C}$, что выше температуры точки росы $\tau_p = 8,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Тепловой режим узла сопряжения наружной стены в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1] — **удовлетворительный**.

2.3.2 Угловое сопряжение наружной стены в уровне перекрытия без перфорации диска перекрытия

Расчетная схема узла сопряжения показана на рисунке 5. Распределение температур по поверхностям фрагмента углового сопряжения наружных стен и перекрытия показано на рисунке 6.

Минимальная температура на внутренней поверхности наружной стены получена в месте углового сопряжения наружных стен у перекрытия и составила $\tau = 8,6 \text{ }^\circ\text{C}$, что ниже температуры точки росы $\tau_p = 8,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Тепловой режим узла сопряжения наружной стены в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1] — **неудовлетворительный**.

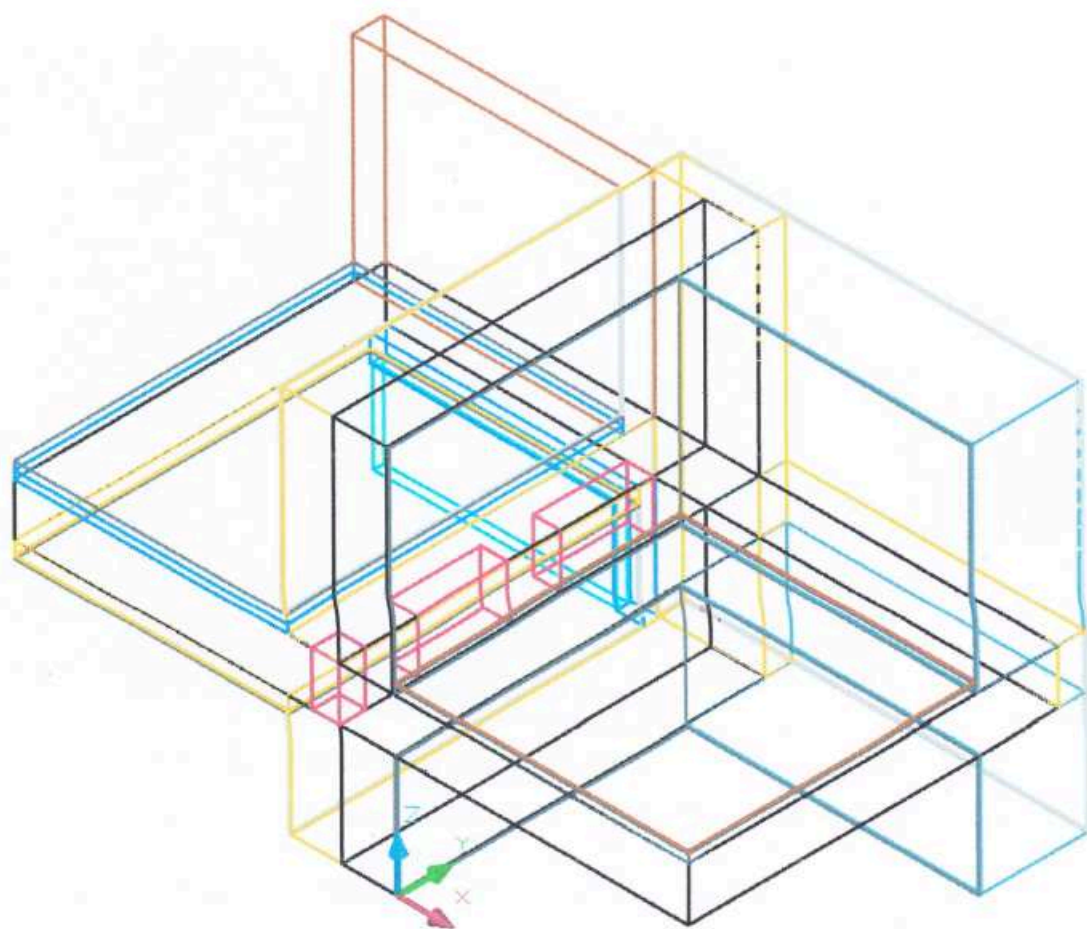
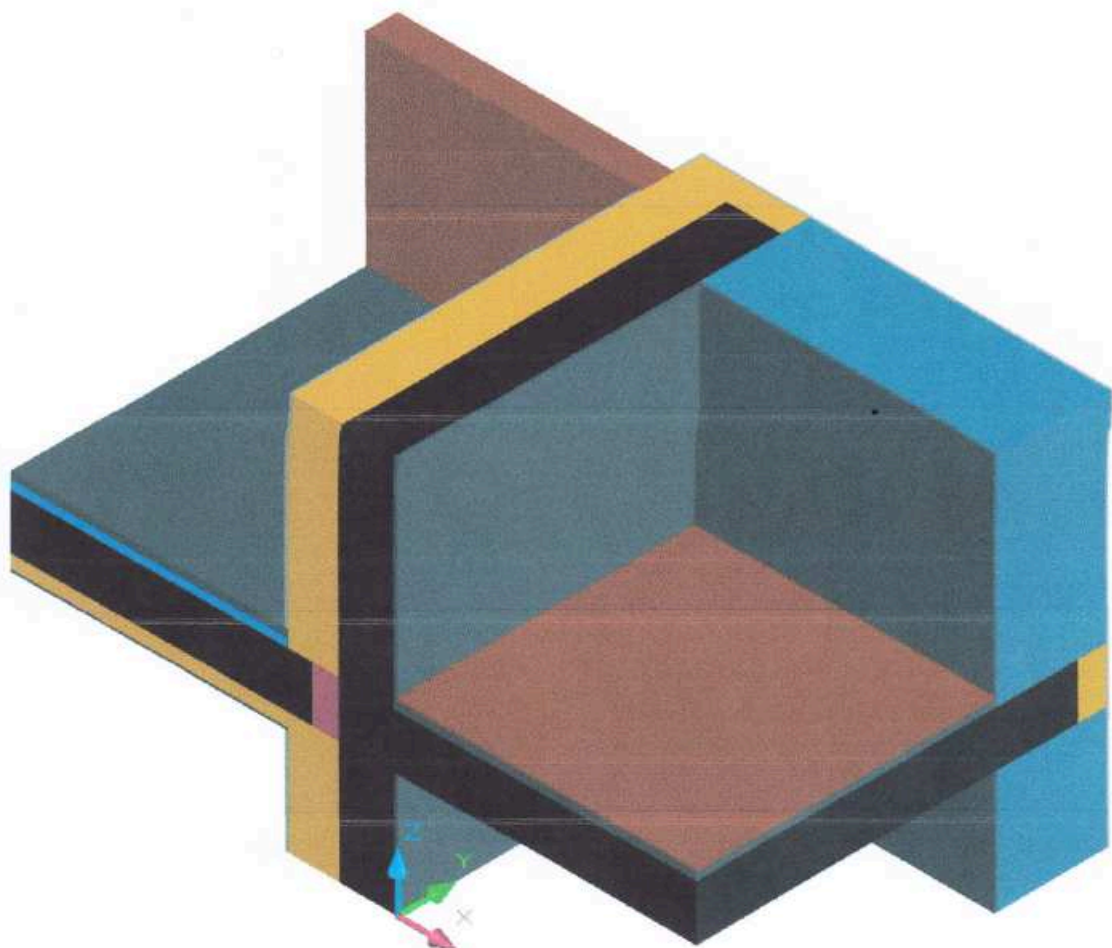


Рисунок 3 – Расчетная схема узла сопряжения наружной стены и перекрытия (с перфорацией диска пенополистирольными плитами)

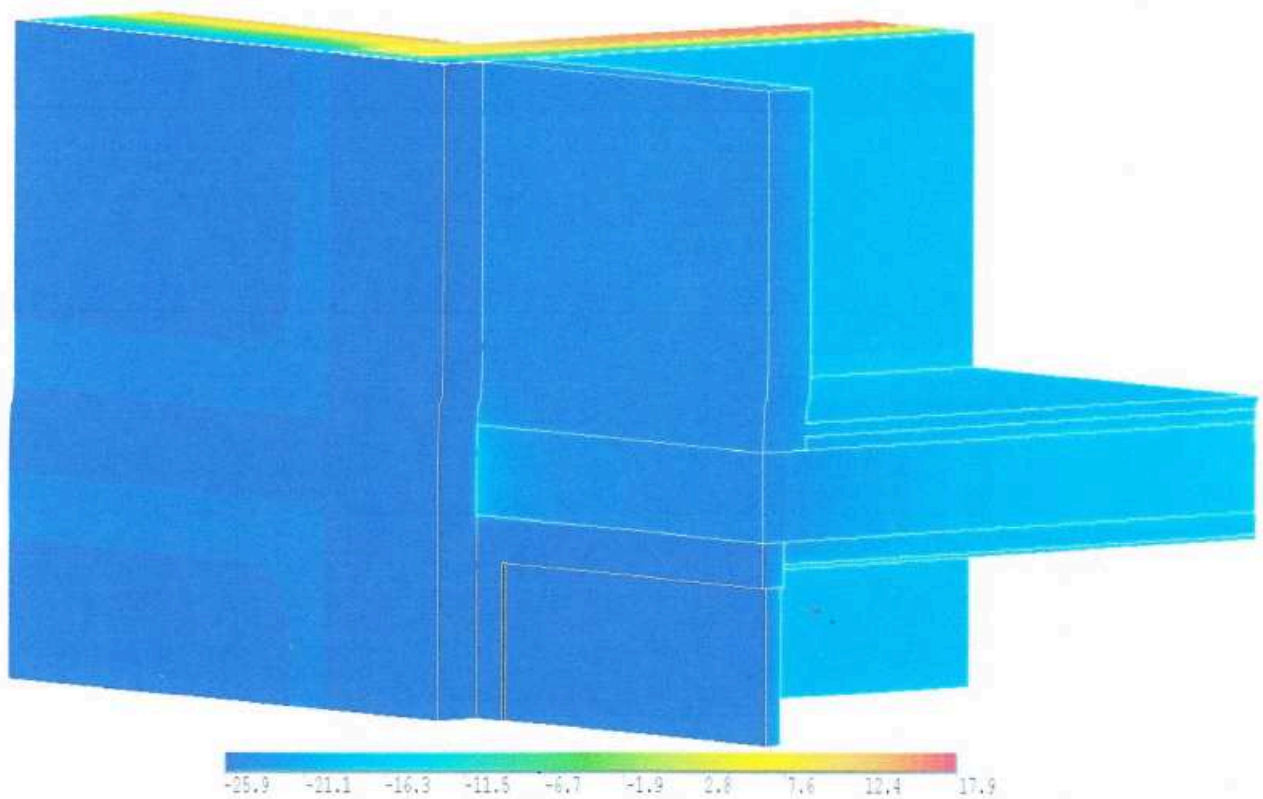
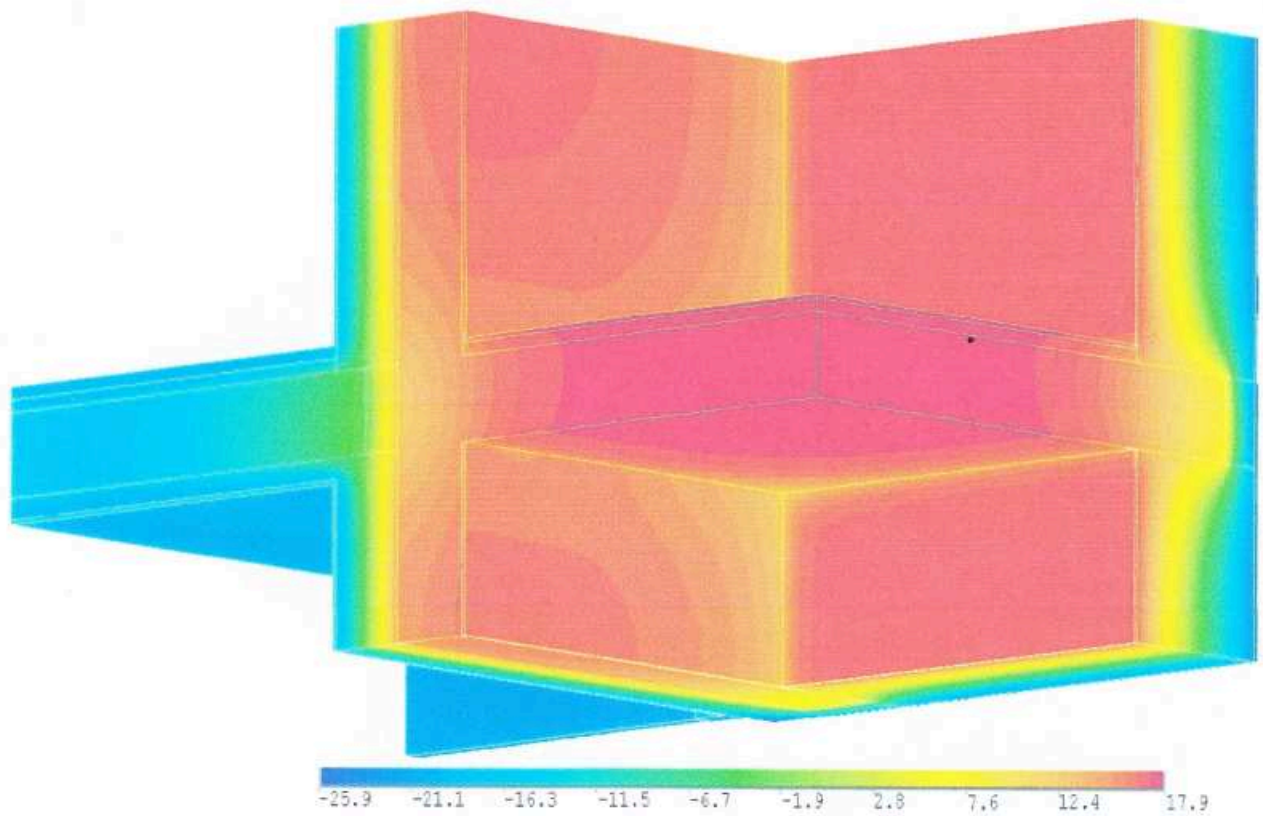


Рисунок 4 – Распределение температур (°С) по поверхностям фрагмента сопряжения наружной стены и перекрытия (с перфорацией диска пенополистирольными плитами)

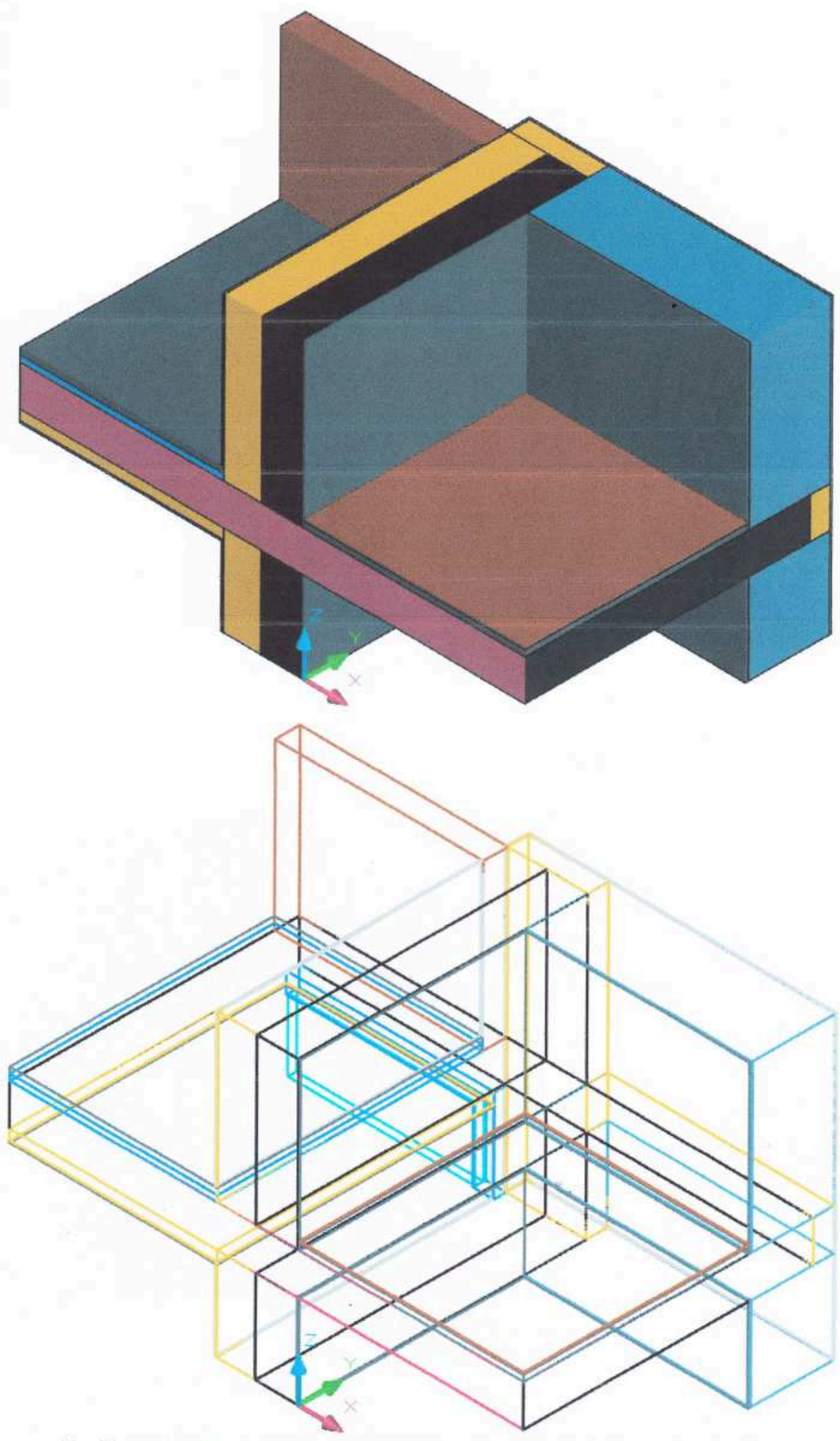


Рисунок 5 – Расчетная схема узла сопряжения наружной стены и перекрытия (без перфорации диска пенополистирольными плитами)

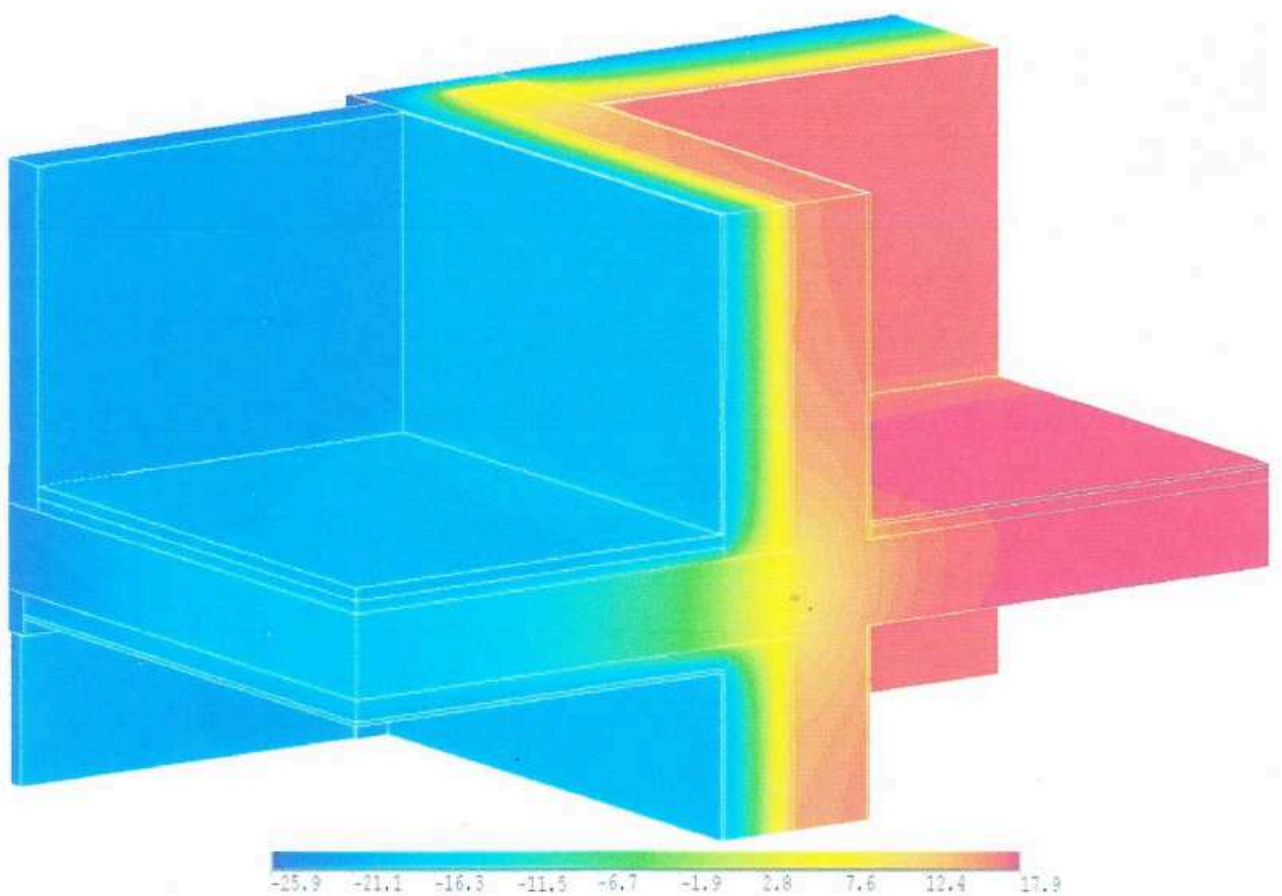
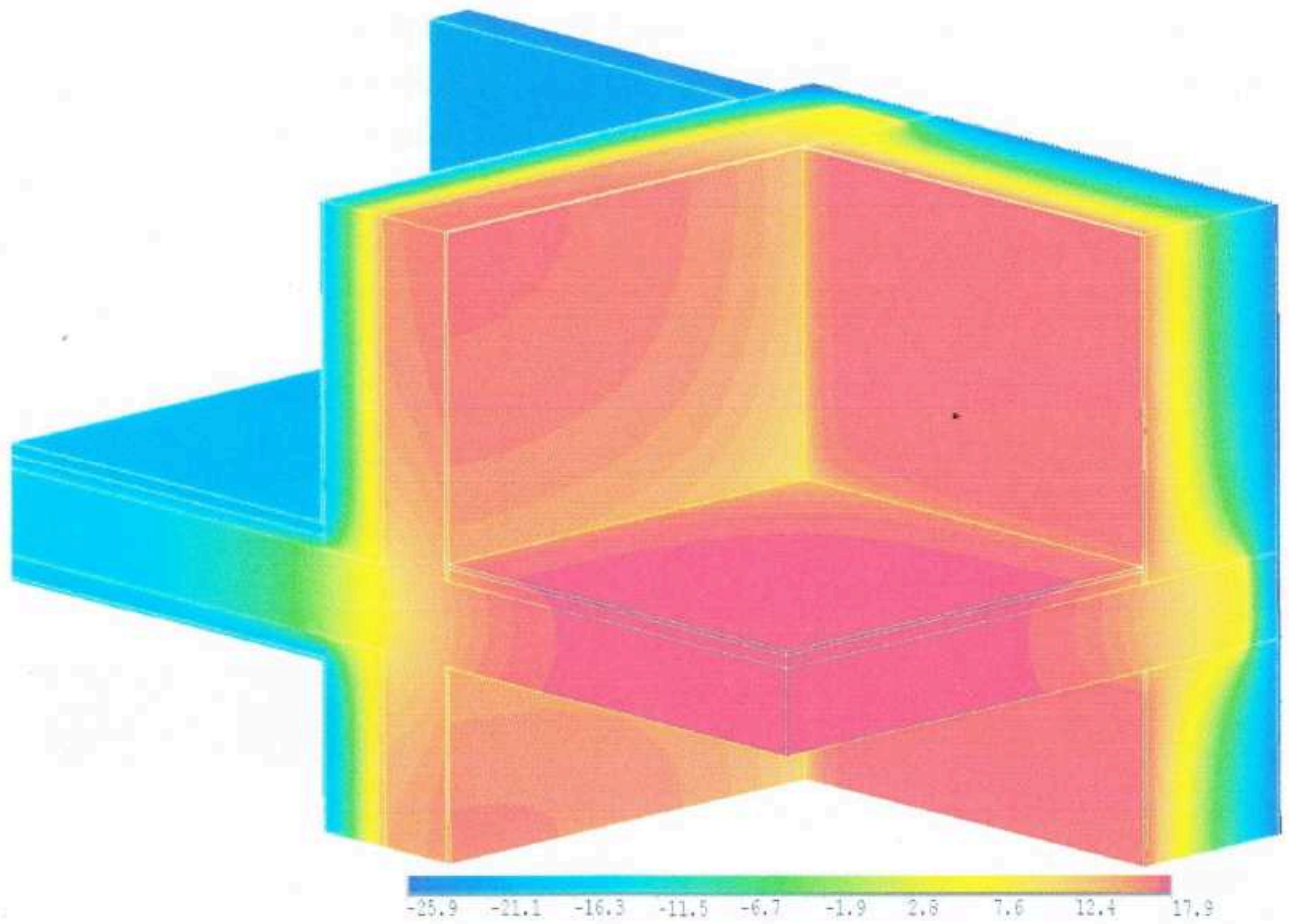


Рисунок 6 – Распределение температур (°С) по поверхностям фрагмента сопряжения наружной стены и перекрытия (без перфорации диска пенополистирольными плитами)

2.3.3 Сопряжение наружной стены в уровне перекрытия на глухих участках стен

Распределение температур по поверхностям фрагмента узла сопряжения наружной стены в уровне перекрытия показано на рисунке 7.

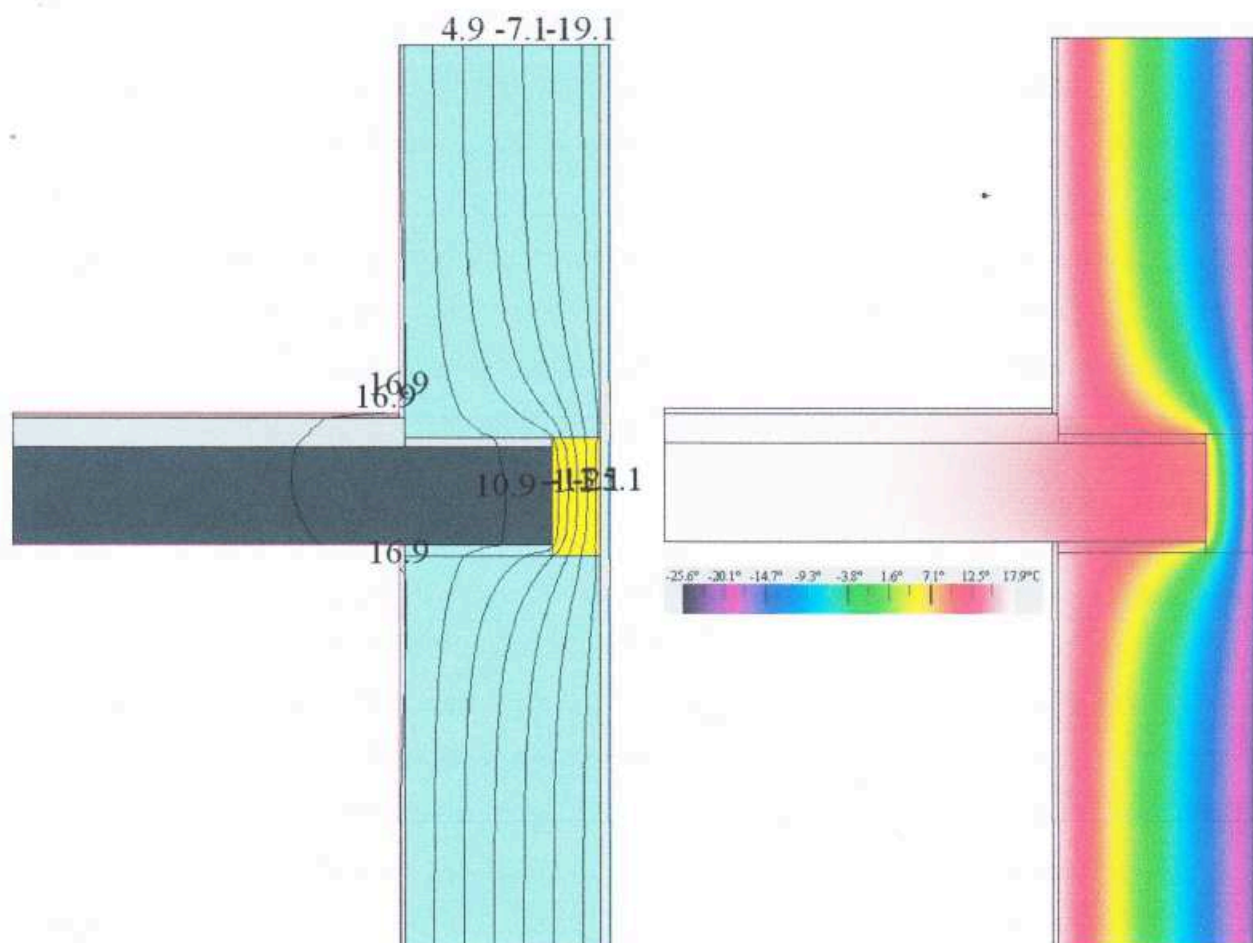


Рисунок 7 – Распределение температур по сечению фрагмента сопряжения наружной стены (глухие участки) и перекрытия

Минимальная температура на внутренней поверхности наружной стены получена у перекрытия и составила $t = 15,4$ °С, что выше температуры точки росы $t_p = 8,8$ °С. Тепловой режим узла сопряжения наружной стены в соответствии с ТКП 45-2.04-43-2006* [1] — удовлетворительный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Для достижения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий $R_{Т.н.} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ по ТКП 45-2.04-43-2006* [1] рекомендуется кладка из блоков ячеистого бетона ($\delta = 400 \text{ мм}$, $\rho = 350 \text{ кг}/\text{м}^3$) производства филиала №5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы» на клеевом растворе с наружной теплоизоляционной штукатуркой ($\lambda_{Б} \leq 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$) толщиной слоя $\delta = 10\text{-}20 \text{ мм}$.

Для конкретных планировок этажей зданий в пределах одной или нескольких квартир необходимо выполнять расчеты приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен помещений с целью определения их фактических значений для дальнейшего определения теплотерь данных помещений и подбора отопительного оборудования.

2 По результатам расчетов угловых сопряжений наружных стен с железобетонными дисками перекрытий установлено следующее.

Плиты перекрытий в пределах балконов и лоджий необходимо теплоизолировать эффективными теплоизоляционными материалами: плитами из экструзионного пенополистирола ($\delta = 30 \text{ мм}$, $\rho \geq 35 \text{ кг}/\text{м}^3$) в конструкции пола и легкой штукатурной системой с утеплителем из минераловатных плит ($\delta = 50 \text{ мм}$, $\rho \geq 135 \text{ кг}/\text{м}^3$) по потолочным поверхностям.

При этом удовлетворительный тепловой режим имеют узлы сопряжения:

- наружных стен и перекрытия с его перфорацией пенополистирольными вкладышами толщиной 100 мм и шириной 350 мм с образованием между ними железобетонных участков шириной не более 200 мм;
- глухих участков стен в уровне железобетонных дисков перекрытия с утеплением их торцов плитами минераловатными ($\rho \geq 135 \text{ кг}/\text{м}^3$) толщиной $\delta = 100 \text{ мм}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ТКП 45-2.04-43-2006* "Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования", Минск, 2015 г.