

ГЛАВА 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Энергоэффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю. В сфере строительства фигурирует понятие “энергоэффективное здание”, которое появилось в связи с мировым энергетическим кризисом в 70-х годах, из-за которого были внедрены программы, направленные на повышение энергоэффективности. В настоящее время, одним из приоритетных направлений в России, является обеспечение энергетической эффективности в зданиях.

На сегодняшний день актуальным является вопрос, связанный с минимизацией тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции, что оказывает определенное влияние на энергоэффективность здания. На них приходится до 30% общих тепловых потерь.

Энергоэффективность наружных ограждающих конструкций возможна с применением современных фасадных конструкций и эффективных теплоизоляционных материалов [19], [20].

1.1 Факторы, влияющие на энергоэффективность стенового ограждения

На сегодня все чаще поднимается вопрос энергоэффективности стеновых ограждений. Разрабатываются методики по ее учету, а также издаются законы и вводятся новые требования.

27 ноября 2009 г. вступил в силу федеральный закон от № 261 – “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”. Согласно с законом вводятся: новые требования к зданиям, строениям и сооружениям, конструктивным и инженерно-техническим

решениям, конструкциям зданий и т.д., которые планируются пересматривать каждые 5 лет с целью увеличения энергоэффективности. Сейчас не все объекты соответствуют предписанным требованиям.

Чем меньше теплоты теряет здание, тем более оно энергоэффективней. Есть несколько вариантов, способствующих снижению энергетических затрат:

- применение новых технологий, конструкций;
- применение более энергоэффективных инженерных приборов и оборудования;
- автоматическое регулирование теплоносителя;
- увеличение толщины теплоизолирующего слоя [20].

Одной из причин, способствовавших обеспечению энергоэффективности зданий, является изменение требований в нормативной документации. Повышение величины нормируемого сопротивления теплопередаче привело к изменению вида ограждающих конструкций. Мера связана со стремлением снижения затрат на отопление зданий.

Стоит упомянуть, что при проектировании новых конструкций, теплофизические свойства не проверяются должным образом. Расчет проводится не полностью, то есть не учитываются теплопроводные включения в виде дюбелей, оконных откосов, балконных плит, стыков утеплителей между собой [21]. Например, к тем же оконным откосам, предъявляются требования согласно с п.5.4 “Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен следует рассчитывать для всех фасадов с учетом откосов проемов, без учета их заполнений” [1].

Важным так же является учет зазоров между теплоизоляционным слоем. Например, в [22] рассматривается пути оптимизации конструкции навесного вентилируемого фасада. Согласно [22] теплоизоляционные плиты необходимо устанавливать вплотную по отношению к друг другу. При данном решении достигается максимальный эффект от теплоизоляционного слоя. Наличие зазоров между плитами будут представлять из себя мостики холода, так как

холодный воздух, циркулируя в воздушной прослойке, приводит к эмиссии тепла через стыки плит теплоизоляции.

Немаловажным является учет светопрозрачных заполнений. Они играют ключевую роль в обеспечении повышенной энергетической эффективности теплового контура, строящихся и реконструируемых зданий. Выбор конструкции оконных блоков и их сопряжение с наружными ограждающими конструкциями влияет на эффективность теплоизоляции наружных конструкций и обеспеченность расчетного воздушного режима [23].

1.2 Нормативная документация необходимая для расчета

В настоящее время подход к нормированию теплозащиты зданий основан на рассмотрении здания как полной энергетической системы. Согласно [1] под удельным расходом тепловой энергии на отопление здания понимают количество теплоты за отопительный период, Вт·ч/ (м²·°C·сут), отнесенное к 1 м² общей отапливаемой площади здания и градусо-суткам отопительного периода:

$$q = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_{\text{от}}^{\text{p}} \cdot h, \quad (3.1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °C·сут;

$q_{\text{от}}^{\text{p}}$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление, Вт/ (м³·°C);

h – средняя высота этажа здания, м, равная $V_{\text{от}}/A_{\text{от}}$;

$A_{\text{от}}$ – сумма площадей этажей здания, измеренных в пределах внутренних поверхностей наружных стен, м, за исключением технических этажей и гаражей;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³.

Данный подход нормирует энергопотребление здания в целом, а не только ограничивает тепловые потери через отдельные ограждающие конструкции [25].

Инженерный подход к расчету теплотехнических параметров ограждающих конструкций выполняется путем расчета сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций без учета каких-либо теплопроводных включений с дальнейшей корректировкой на величину коэффициента теплотехнической неоднородности γ [24].

Современный подход предполагает переход от приведенного сопротивления теплопередачи стены по глади к приведенному сопротивлению теплопередачи фрагмента конструкции путем разбивки на участки, с выделением фрагментов конструкции с различной теплопроводностью. Отличие фрагментов заключается в различных значениях приведенного сопротивления теплопередаче. При расчете с построением температурных полей, получается значение приведенного сопротивления теплопередаче с учетом теплопроводных включений [25].

1.3 История развития нормативной документации

Со временем нормативная документация в области строительной теплотехники была многократно редактирована, что связано с экономикой страны, требованиями к энергосбережению и энергетической эффективности, а значит, и стремлением к снижению расхода тепловой энергии на отопление зданий [25].

Раздел “Строительная теплотехника” в строительных нормах и правилах появился в 1955 году. Согласно п.7 § 3 СНиП II-V.3 величина сопротивления теплопередаче ограждения R_0 должна быть не менее требуемого $R_{0тр}$. Упомянутое условие не изменялось в следующих редакциях СНиП. Впервые был разработан целый раздел по нормированию в строительной теплотехнике.

27 октября 1971 года утверждена редакция СНиП II-A.7-71. “Нормы проектирования”. Помимо некоторых незначительных изменений, в

документе появилось следующее: сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 должно быть не менее сопротивления теплопередаче $R_{0тр}$, требуемого из санитарно-гигиенических условий, и $R_{0эк}$, который определяется экономическим расчетом. Появилась необходимость экономического обоснования требуемого уровня теплоизоляции ограждающих конструкций.

На смену СНиП IIА.7-71. Пришел СНИП-II-3-79. Формула определения требуемого значения сопротивления теплопередаче не изменилась. Но исключили требование в виде экономического обоснования при выборе уровня теплоизоляции. Впервые появился термин приведенного сопротивления теплопередаче.

Согласно измененному нормативному документу, значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций следовало принимать не менее требуемых значений $R_{0тр}$, которое определялось только исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий. Можно отметить, что на данном этапе отменили экономическую оценку и ввели термин приведенного сопротивления теплопередаче.

В начале 1990-х годов после распада СССР Россия перешла к рыночной экономике, энергетические ресурсы подорожали, расходы на отопление зданий увеличилась, появилась нужда в более эффективном использовании ресурсов, направленные на энергосбережение. Необходимо стало учитывать значения, зависящие от условий энергосбережения, которые были связаны с градусо-суток отопительного периода. Данное изменение побудило использовать новые конструктивные решения, например, навесные вентилируемые фасады, мокрые фасады.

1.3.1 Введение показателей энергетической эффективности и тепловой защиты

В 2003 году был введен новый стандарт – СНиП 23-02-2003. Особое внимание уделили введению эффективной тепловой защиты, которая

повлияла бы на уменьшение энергопотребления и тем самым решала главную задачу – энергосбережения в зданиях.

Ввели новые показатели энергетической эффективности здания: удельный расход тепловой энергии на отопление за отопительный период с учетом воздухообмена, теплопоступлений и ориентации задний.

В данных нормах устанавливались следующие показатели тепловой защиты здания:

- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания R_q , которое следовало принимать не менее нормируемых значений R_{req} ;
- санитарно-гигиенический, согласно которому температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен был быть выше, чем величина;
- удельный расход тепловой энергии на отопление здания, который определялся путем выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций с учетом ориентации самого здания, объемно-планировочных решений и эффективности используемой системы отопления.

1.3.2 Установление современных требований к тепловой защите зданий

С 1 июля 2013 года был введен в действие СП 50.13330.2012 – актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

Согласно СП 50 теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений ($R_{0пр} > R_{0норм}$) (поэлементные требования);
- удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

- температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование)

С введением СП 50 требования к уровню тепловой защиты зданий, оказались ниже, чем в предыдущем нормативном документе. Важно отметить, что здания, построенные по старым нормам, так же не соответствуют теплотехническим характеристикам настоящим стандартам. Исходя из этого, можно заключить, что капитальный ремонт и реконструкция с целью повышения энергоэффективности здания остается актуальным вопросом [25].

1.4 Исследование теплотерь в ограждающих конструкциях

В работе будут рассмотрены следующие модели:

- стеновое ограждение с учетом плиты перекрытия;
- крепежный элемент в осесимметричной модели;
- стеновое ограждения с учетом труб отопления;
- стеновое ограждение с учетом оконного проема;
- стеновое ограждение с учетом радиатора отопления.

1.4.1 Теплотехнический расчет сопротивления ограждающей конструкции

В разделе представлен расчет однородного стенового ограждения без учета теплопроводных включений согласно методике, представленной в [1]. Исходные данные представлены в таблице 3.1, состав стенового ограждения представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Регион	Россия, Санкт – Петербург
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Расчетная средняя температура отопительного периода	$t_{от} = -1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Продолжительность отопительного периода	$z_{от} = 211 \text{ сут.}$

Продолжение таблицы 3.1

Расчетная температура наружного воздуха	$t_n = -24 \text{ }^\circ\text{C}$
Тип здания	Общественное

Таблица 3.2 – Состав стенового ограждения

Наименование слоя	Толщина δ , мм	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*°C)
Кирпичная кладка	250	0,81
Минеральная вата	100	0,04
Базовый штукатурный слой	15	0,8

Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$, определяем по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год} \quad (3.2)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по своду правил для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более $8 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_B – расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$, принимаемая при расчете ограждающих конструкций здания по минимальным значениям оптимальной температуры по [26].

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,2)) \cdot 213 = 4473 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_o^{\text{норм}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяем по формуле:

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тр}} * m_p, (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт} \quad (3.3)$$

где $R_o^{\text{тр}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (с учетом энергосбережения), которое принимаем в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$, региона строительства, определяется по таблице 3 в [1];

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства (в расчете по формуле принимаем равным 1)

Значения $R_0^{\text{ТР}}$ для величин ГСОП, отличающихся от табличных, определяем по формуле:

$$R_0^{\text{ТР}} = a * \text{ГСОП} + b, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} \quad (3.4)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых принимаем по данным таблицы 3 в [1]:

Для стен: $a = 0,00035$; $b = 1,2$,

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 4473 + 1,2 = 2,54 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Далее рассчитываем фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_0^{ϕ} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для всех слоев ограждения по формуле:

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (3.5)$$

где δ_i – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ_i – теплопроводность материала i -го слоя конструкции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,8} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{0,25}{0,81} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Выполняем проверку условия:

$$R_0^{\text{нр}} = R_0^{\phi} \cdot r \geq R_0^{\text{ТР}}$$

$$3 \cdot 1 = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \geq 2,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Условие выполняется.

Далее выполняется проверка санитарно-гигиенического требования:

Расчетный температурный перепад Δt^H ($^{\circ}\text{C}$), между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормируемых величин, $^{\circ}\text{C}$, установленных в таблице [1], и определяем по формуле:

$$\Delta t^H = \frac{n(t_B - t_H)}{R_0^{\Phi} \cdot \alpha_B}, ^{\circ}\text{C} \quad (3.6)$$

где n - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для конструкции, наружная поверхность которых омывается наружным воздухом, $n=1,0$; в остальных случаях n принимается по (табл.6 [1]));

t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ то же, что в формуле 3.2;

t_H – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по [28];

Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5 источника [1]:

$$\Delta t^H = \frac{1 \cdot (20 - (-24))}{3 \cdot 8,7} = 1,68 ^{\circ}\text{C}$$

Выполним проверку условия:

$$\Delta t^H \leq \Delta t_n$$

$$1,68 ^{\circ}\text{C} \leq 4 ^{\circ}\text{C}$$

Условие выполняется.

1.4.2 Программно-вычислительный комплекс ELCUT

ELCUT представляет из себя программу, которая предназначена для проведения инженерного анализа и двумерного, трехмерного моделирования

методом конечных элементов. В ней можно рассчитывать не только тепловые задачи, но и электромагнитные, и механические.

Методом конечных элементов называется процесс решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений.

ELCUT применялся в [24] для теплотехнического анализа сечений наружной ограждающей панели из керамзитобетона с эффективным утеплителем из пенополистирола. В работе представлены графики изменения температуры на внутренних поверхностях, а также цветные температурные поля, включающие в себя изотермы.

Работа [30] является целым учебным пособием, посвященным расчетам в ELCUT. Приведено множество примеров построения температурных полей для типовых узлов, а также показано каким образом выполняются расчеты удельных тепловых потерь, приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициента неоднородности в соответствии с [1].

Аналогом программы является вычислительный комплекс TEP.L. Программа предназначена для моделирования трехмерных температурных полей. В ELCUT есть аналогичная возможность. В работе [15] был рассчитан НВФ. Так же было проанализировано насколько точность расчета температурного поля влияет на изменение величины приведенного сопротивления теплопередаче.

Так же в [22] выполняется сравнение двух конструктивных решений фасадных конструкций: с однослойным утеплением и двухслойным. Для выполнения анализа температурных полей, и расчетов приведенного сопротивления теплопередаче применялась программа HEAT 2. HEAT2 является программой, предназначенной для двухмерного моделирования стационарного и нестационарного процессов теплопередаче.

ECLUT сочетает в себе все виды пространств, которые содержатся в вышеупомянутых программах – двухмерное, трехмерное. Помимо этого,

программа является разносторонней в виду наличия возможности расчета электромагнитных и механических задач.

Внутри программы в рассматриваемых моделях будет вычисляться величина теплового потока по измеряемой поверхности. Вычисляется как интеграл от плотности теплового потока Φ через замкнутую поверхность:

$$\Phi = \oint \lambda \cdot \text{grad}T ds \quad (3.7)$$

где λ – теплопроводность, Вт/м·К;

T – температура поверхности, °С;

s – площадь поверхности, м².

1.4.3 Расчётная модель №1

Построение и расчет температурных полей выполнены в программно-вычислительном комплексе ELCUT, который предназначен для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов.

Модель представляет из себя мокрый фасад, состав, которого был принят согласно [29]. Состав конструкции стенового ограждения представлен в таблице 3.2.

Прежде чем приступить к расчету температурных полей, задаются характеристики материалов, входящих в состав стенового ограждения (таблица 3.1), задаются граничные условия в соответствии с рисунком 3.1.

Конвекция: $F_n = \alpha \cdot (T - T_0)$

$\alpha =$ (Вт/К·м²)

$T_0 =$ (°С)

Конвекция: $F_n = \alpha \cdot (T - T_0)$

$\alpha =$ (Вт/К·м²)

$T_0 =$ (°С)

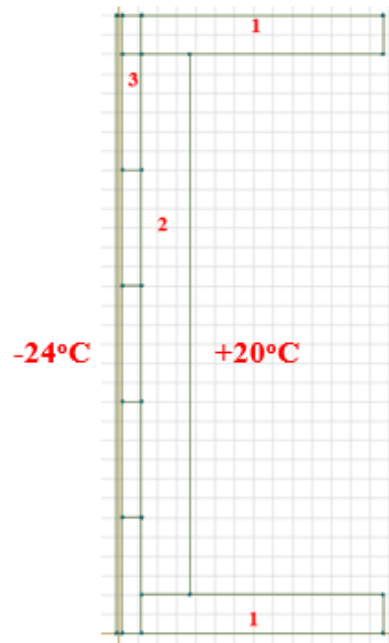
Рисунок 3.1 – Граничные условия по внутренней и наружной поверхностям

Теплопроводность материалов, входящих в расчетную модель, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Теплопроводность материалов

Наименование слоя	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*°С)
Кирпичная кладка	0,81
Минеральная вата	0,04
Базовый штукатурный слой	0,8
Пластиковый дюбель	0,28
Ж/Б плита перекрытия	2,04
Крепежный элемент	0,8

Выполняется построение расчетной модели в соответствии с рисунком 3.2.

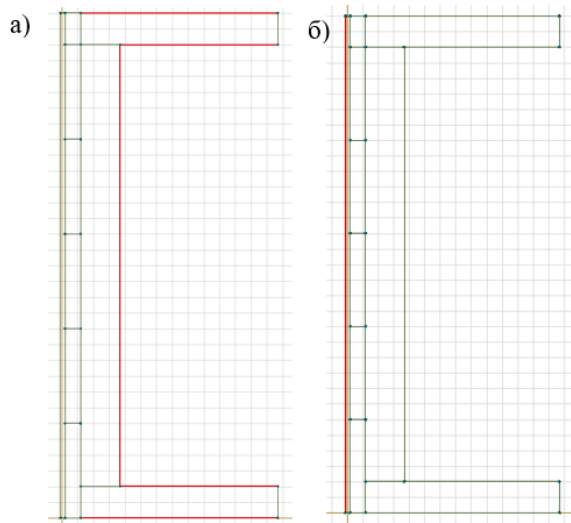


1 – плита перекрытия, 200мм; 2 – кирпичная кладка, 250 мм;

3 – минеральная вата, 100мм;

Рисунок 3.2 – Расчетная модель

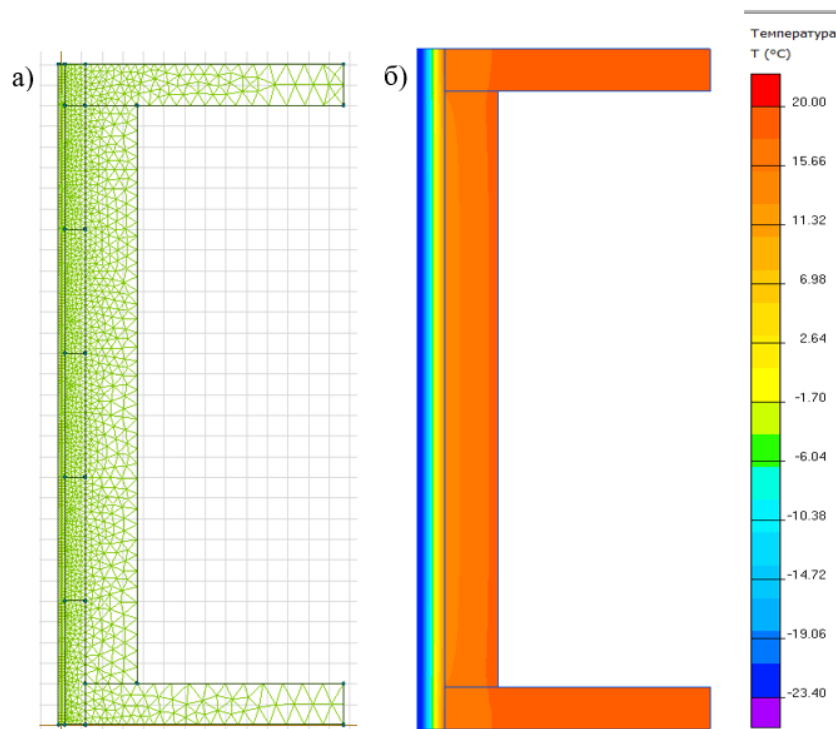
Контур граничных условий задан в соответствии с рисунком 3.3.



а) По внутренней поверхности стены; б) По внешней поверхности стены;

Рисунок 3.3 – Контур граничных условий

Результаты расчетов, в виде сетки конечных элементов и температурного поля, получены в соответствии с рисунком 3.4.



а) Сетка конечных элементов; б) Температурные поля;

Рисунок 3.4 – Результаты расчета

Контур, по которому измеряется величина теплового потока, выполнен в соответствии с рисунком 3.5.

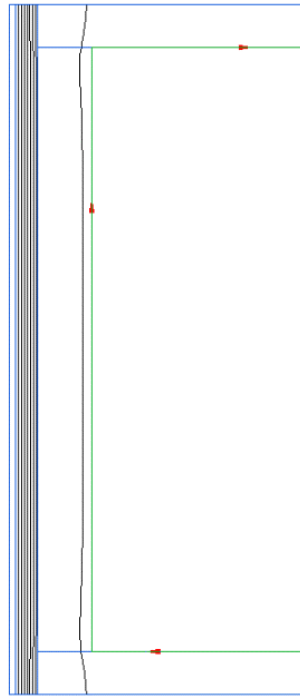


Рисунок 3.5 – Контур измеряемой поверхности

На рисунке 3.6 представлен график изменения температуры по измеряемой поверхности стены, в данном случае это внутренняя поверхность. По оси абсцисс представлена длина контура, по оси ординат величина температуры. Серая линия по оси L указывает место перехода линии контура с одной поверхности на другую. В данном случае отображается переход с поверхности плиты перекрытия на поверхность стенового ограждения. Температура изменяется по плите перекрытия (по оси L от 0 до 1 м) и остается стабильной по внутренней поверхности стенового ограждения (по оси L от 1 до 3,8 м). Судя по рисункам 3.4 и 3.6, температура изменяется по плите перекрытия (по оси L от 0 до 1 м) и остается стабильной по внутренней поверхности стенового ограждения (по оси L от 1 м до 3,8 м). То есть внутренняя температура стенового ограждения составляет 18.45°C .

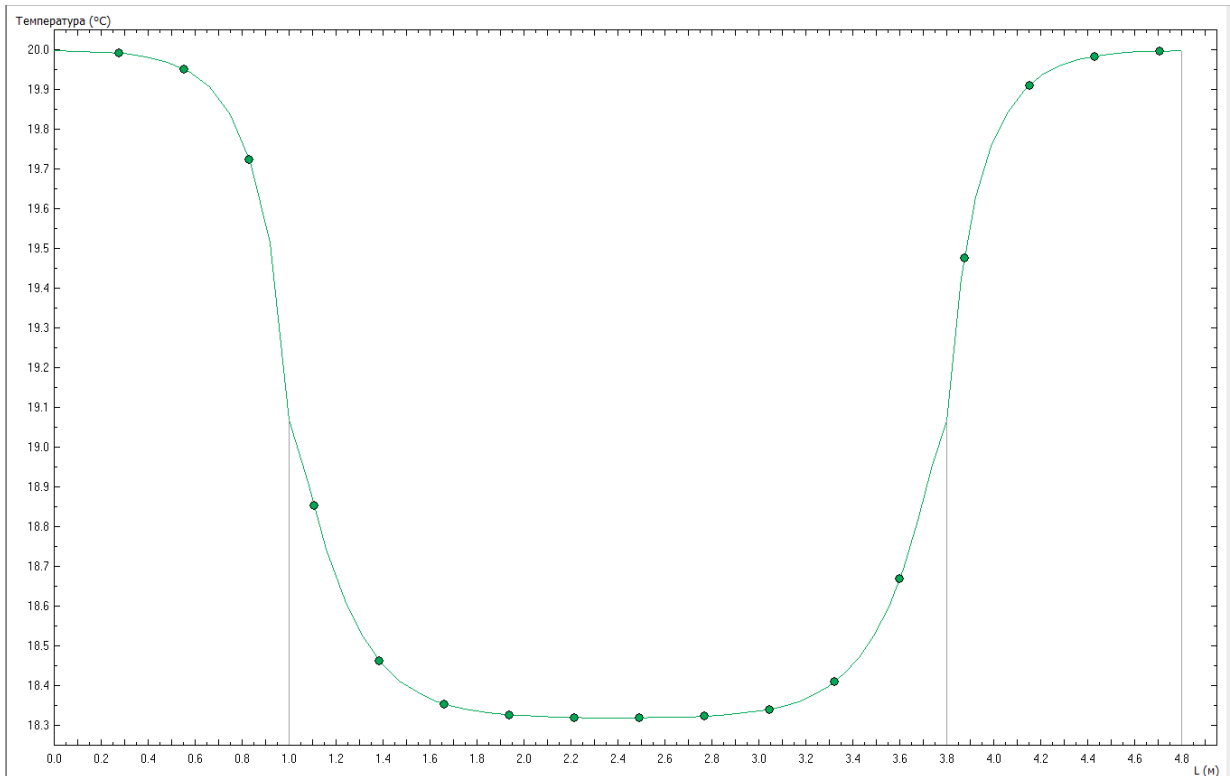


Рисунок 3.6 – график изменения температуры по внутренней поверхности стены (см. примечания)

В соответствии с рисунком 3.7 по результатам расчета, величина теплового потока составила 46.446 Вт.

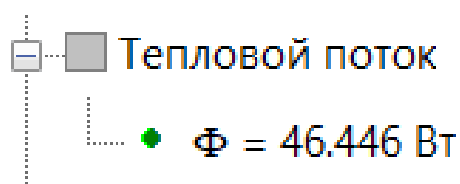


Рисунок 3.7 – Значение величины теплового потока

На данном этапе построена модель стенового ограждения, без учета труб сетей отопления. Необходимо усложнить модель путем введения, подающего и обратного трубопроводов и посмотреть будет ли оказано влияние на величину теплового потока по внутренней поверхности стенового ограждения.

1.4.4 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стенового ограждения с учетом крепежа

Приведенное сопротивление теплопередаче считается для конструкций, в которых есть теплопроводные включения. Зная значение приведенного сопротивления теплопередаче можно посчитать удельные тепловые потери и величину коэффициента теплотехнической однородности. По данным значениям можно сделать вывод, насколько эффективно стеновое ограждение сохраняет тепло.

Исходные данные для расчета остаются неизменными согласно с таблицей 3.1. Расчетная модель, импортируемая в ELCUT, представлена на рисунке 3.8.

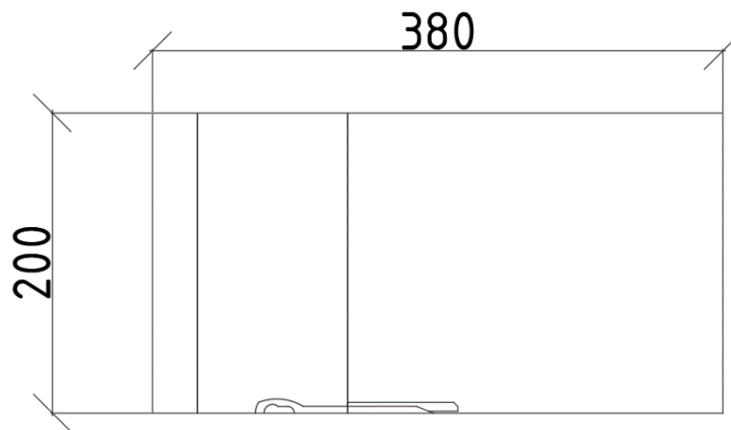


Рисунок 3.8 – Импортируемая расчетная модель

Сама расчетная модель в пространстве программно-вычислительного комплекса представлена на рисунке 3.9. Класс модели принят осесимметричной, согласно рекомендациям, в [30]. Принят данный класс модели в связи с тем, что крепеж является точечным элементом и рассчитывать его в двухмерном пространстве является некорректным. Теплопроводность материалов идентична расчетной модели 1.



1 – кирпичная кладка (250 мм); 2 – минеральная вата (100 мм); 3 – базовый штукатурный слой (30 мм); 4 – анкер; 5 – дюбель

Рисунок 3.9 – Расчетная модель

Сетка конечных элементов строится в соответствии с рисунком 3.10.

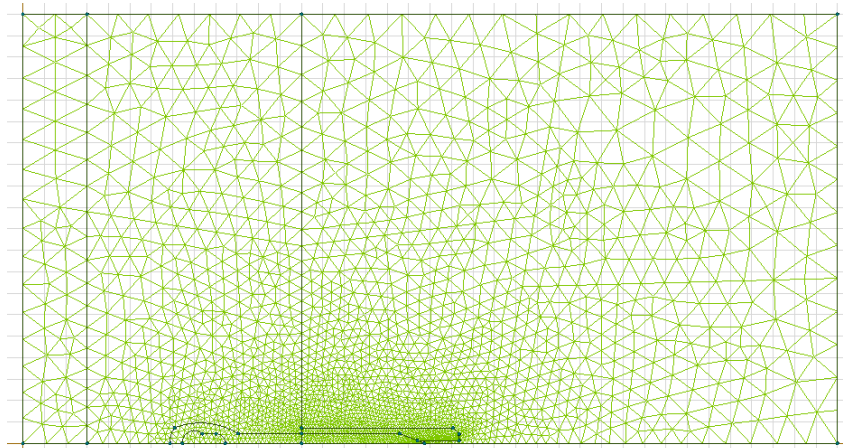


Рисунок 3.10 – Построение сетки конечных элементов

Результаты по температурным полям получены в соответствии с рисунком 3.11.

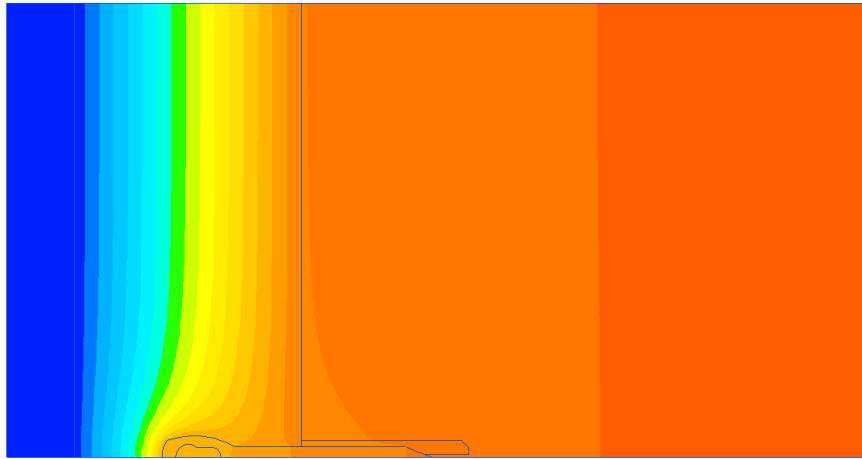


Рисунок 3.11 – Температурные поля

Контур, по которому измеряется величина теплового потока представлен на рисунке 3.12

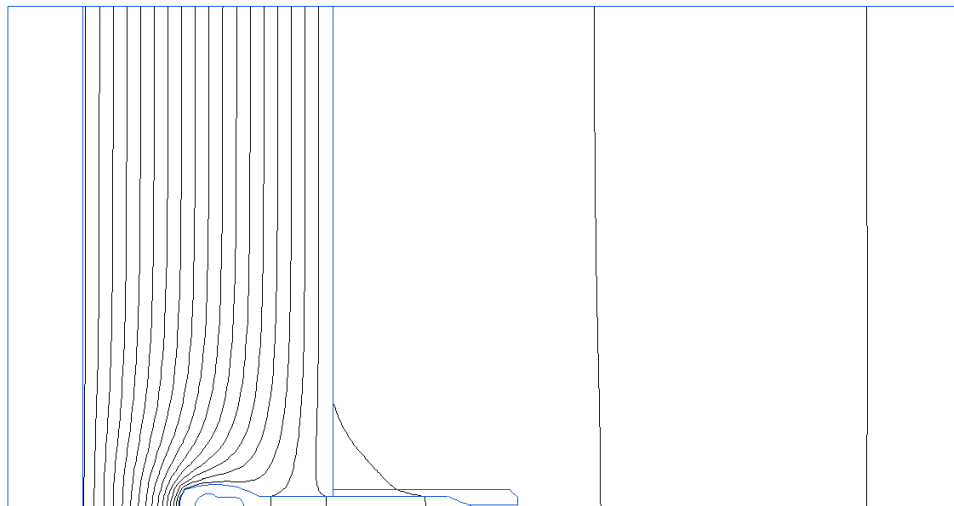


Рисунок 3.12 – Контур измеряемой поверхности

Результаты теплового потока и площади поверхности контура получены в соответствии с рисунком 3.13

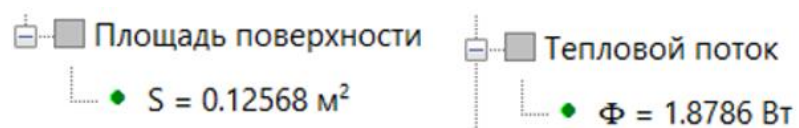


Рисунок 3.13 – Величины, участвующие в расчете тепловых потерь

В подразделе 3.4.1 было получено значения фактического сопротивления теплопередаче $R_0^\phi = R_0^{усл} = 3,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Коэффициент теплопередачи i -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ U_i вычисляется по формуле:

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{усл}} \quad (3.8)$$

$$U_i = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Потеря теплоты Q_i через участок однородной части фрагмента, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля области с линейной теплотехнической неоднородностью i -го вида, Вт , определяется по формуле:

$$Q_i = \frac{t_B - t_H}{R_{o,i}} \cdot S_i, \quad (3.9)$$

где S_i – площади однородных частей конструкции, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля, м^2 .

Площадь поверхности рассматриваемого фрагмента конструкции стенового ограждения $S = 0,12568 \text{ м}^2$ (см. рисунок 3.22), тогда:

$$Q = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 0,12568 = 1,83 \text{ Вт}$$

Удельные потери теплоты χ через точечную теплотехническую неоднородность i -го вида, содержащего точечную теплотехническую неоднородность, вычисляются по формуле, $\text{Вт}/\text{°C}$:

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H}, \quad (3.10)$$

где ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида (точечный элемент), Вт , определяемые по формуле:

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \widetilde{Q}_k \quad (3.11)$$

где Q_k – потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт;

\widetilde{Q}_k – потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида.

Величина $Q_k = 1,8786$ Вт (см. рисунок 3.15), тогда:

$$\Delta Q_k^K = 1,8786 - 1,83 = 0,045 \text{ Вт}$$

$$\chi_k = \frac{0,045}{20 - (-24)} = 0,001 \text{ Вт} / ^\circ \text{С}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания $R_0^{\text{пр}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$)/Вт, рассчитывается по формуле:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{усл}}} + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (3.12)$$

где $R_0^{\text{усл}}$ – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ /Вт;

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м/м²;

ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, Вт/($\text{м} \cdot ^\circ\text{С}$);

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, шт./м²;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/ $^\circ\text{С}$;

a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, \quad (3.13)$$

где A_i – площадь i -той части фрагмента, м^2 ;

$$R_o^{\text{п п}} = \frac{1}{(1 \cdot 0,33 + 6 \cdot 0,001)} = 2,94 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}}{\text{Вт}}$$

Выполним проверку условия:

$$R_o^{\text{п п}} > R_o^{\text{т п}}$$

$$2,94 (\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С})/\text{Вт} > 2,54 (\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С})/\text{Вт} \text{ (см. подраздел 3.4.1)}$$

Условие выполняется.

1.4.5 Расчетная модель №1.1

Состав и материалы стенового ограждения остались неизменными (см. подраздел 3.4.1). Расположение труб отопления относительно стенового ограждения отображено на рисунке 3.14.

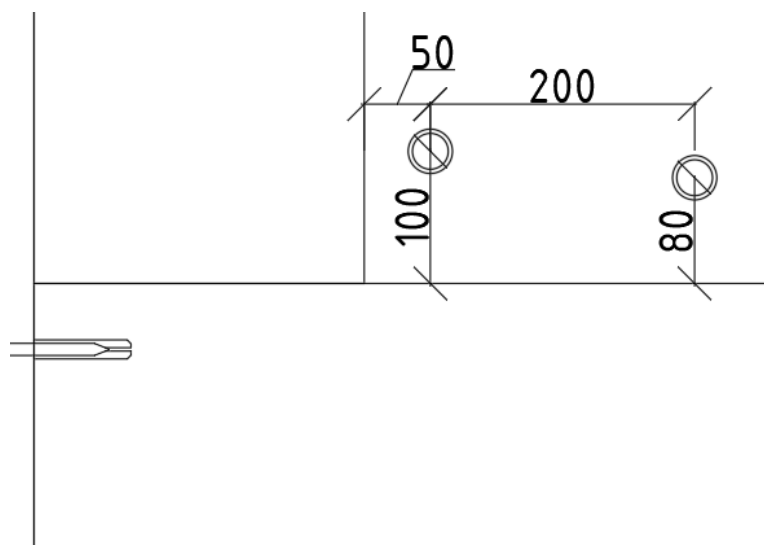


Рисунок 3.14 – Расположение труб относительно стенового ограждения

Теплопроводность новых материалов, представлена в таблице 3.4. В модели учтен материал теплоносителя – вода.

Материал труб отопления – сталь, теплопроводность представлена в таблице 3.2, наружный диаметр трубы $D_n = 33,5$ мм, толщина стенки 2.8 мм согласно [31].

Таблица 3.4 – Теплопроводность обновленных материалов

Наименование слоя	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*°С)
Стальная трубы	74
Вода	0,6

Вид сбоку и сечение, по которому производится расчет представлены на рисунке 3.15.

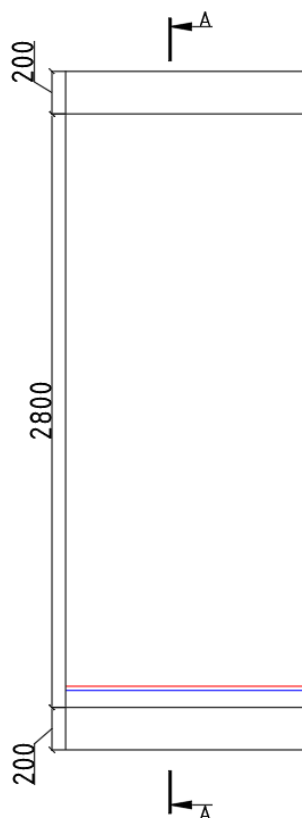
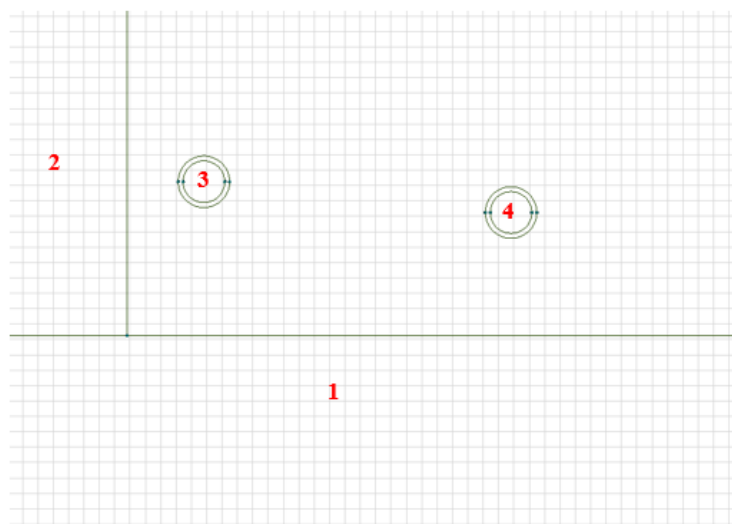


Рисунок 3.15 – Вид сбоку

Обновленный состав модели представлен на рисунке 3.16.



- 1 – плита перекрытия (200 мм); 2 – стеновое ограждение (250 мм);
 3 – подающий трубопровод; 4 – обратный трубопровод;

Рисунок 3.16 – Обновленный состав модели

Температура теплоносителя по подающему трубопроводу – 90°C , по обратному трубопроводу 70°C [32], в соответствии с рисунком 3.17.

а) <input checked="" type="checkbox"/> Температура: $T = T_0$ $T_0 = 70$	б) <input checked="" type="checkbox"/> Температура: $T = T_0$ $T_0 = 90$
в) <input checked="" type="checkbox"/> Температура: $T = T_0$ $T_0 = 70$	г) <input checked="" type="checkbox"/> Температура: $T = T_0$ $T_0 = 90$

- а) По внешней поверхности обратного трубопровода;
 б) По внешней поверхности подающего трубопровода;
 в) По внутренней поверхности обратного трубопровода;
 г) По внутренней поверхности подающего трубопровода;

Рисунок 3.17 – Граничные условия трубопроводов

Поверхности граничных условий заданы в соответствии с рисунком 3.18.

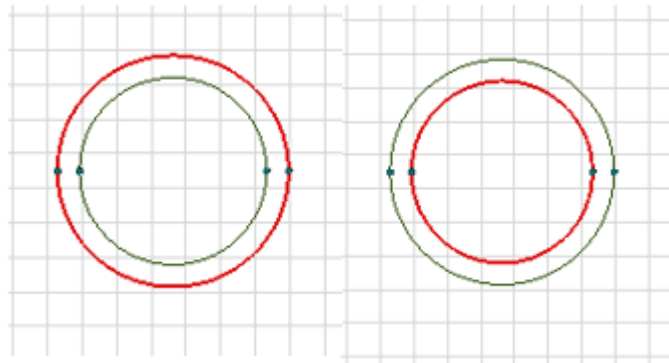
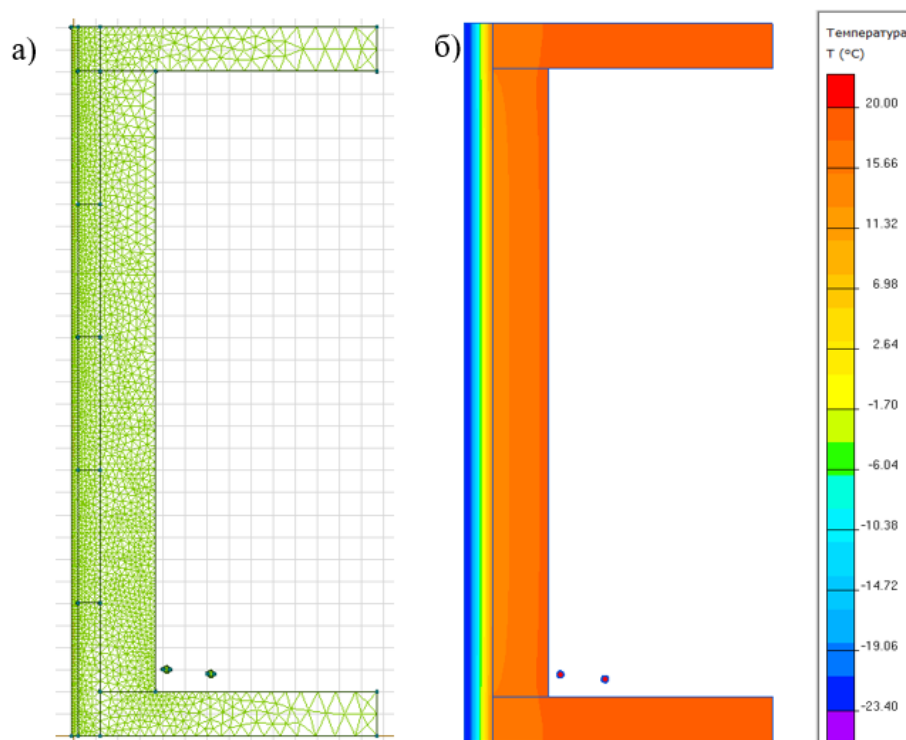


Рисунок 3.18 – Граничные условия по внутренней и наружной поверхностям трубопровода

Построение сетки конечных элементов и температурных полей выполняется в соответствии с рисунком 3.19.



а) Сетка конечных элементов; б) Температурные поля

Рисунок 3.19 – Результаты расчета

Контур, по которому измеряется величина теплового потока, представлен на рисунке 3.20.

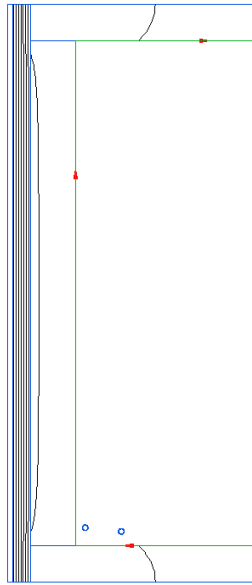


Рисунок 3.20 – Контур измеряемой поверхности

График изменения температуры по измеряемой поверхности построен в соответствии с рисунком 3.21.

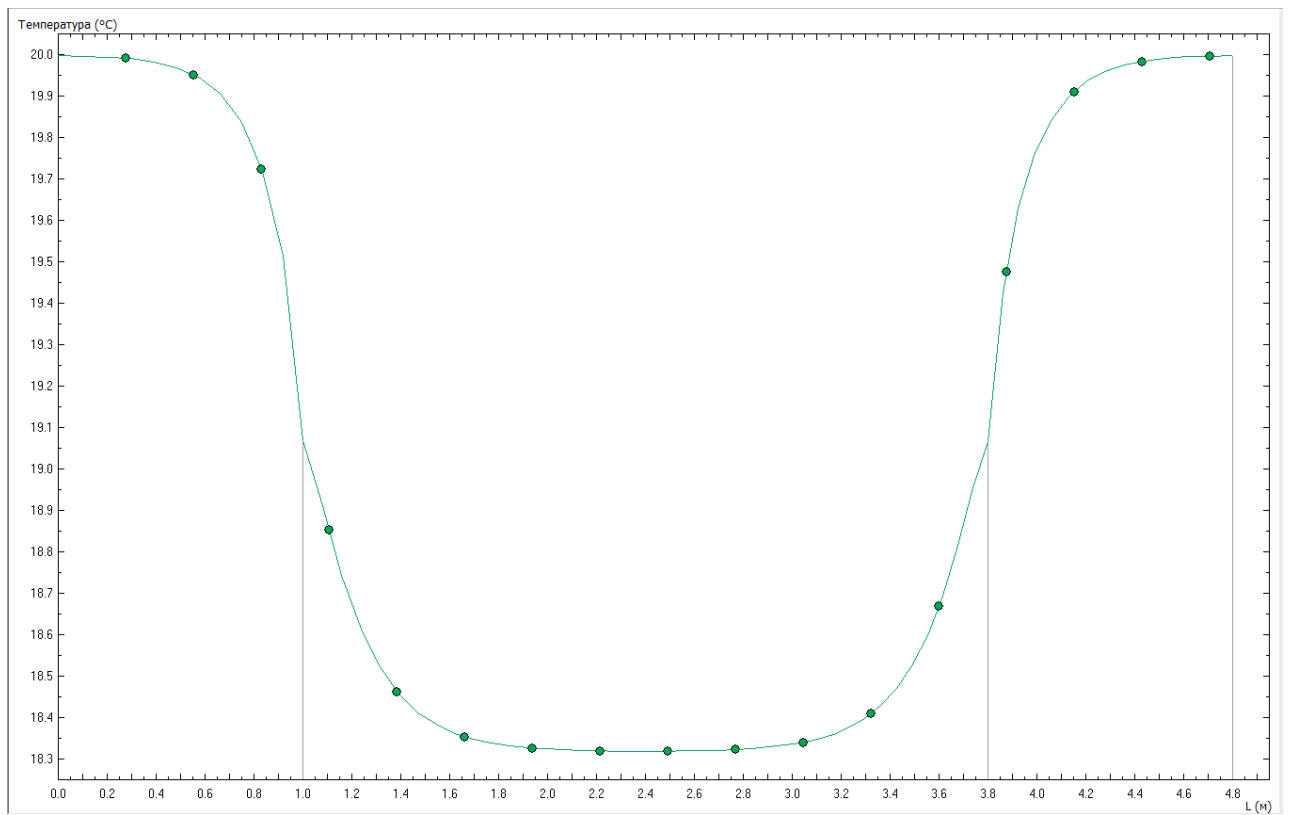


Рисунок 3.21 – График изменения температуры по внутренней поверхности стены

Результат величины теплового потока по измеряемому контуру представлен на рисунке 3.22.

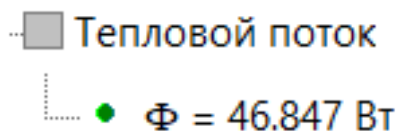


Рисунок 3.22 – Значение величины теплового потока

Внутренняя температура стенового ограждения составляет $18,45^{\circ}\text{C}$, а величина теплового потока по заданному контуру составляет 46,85 Вт.

Согласно расчетной модели и полученным результатам наличие трубопроводов не оказало какого-либо влияния на изменение величины теплового потока и температуры внутренней поверхности стенового ограждения.

Необходимо усложнить расчетную модель путем введения радиатора отопления.

1.4.6 Расчетная модель №1.2

Состав и материалы стенового ограждения остались неизменными (см. подраздел 3.4.1). Узел оконного проема построен на основе решений, представленных в [29]. Величины теплопроводности нововведенных материалов представлены в таблице 3.5.

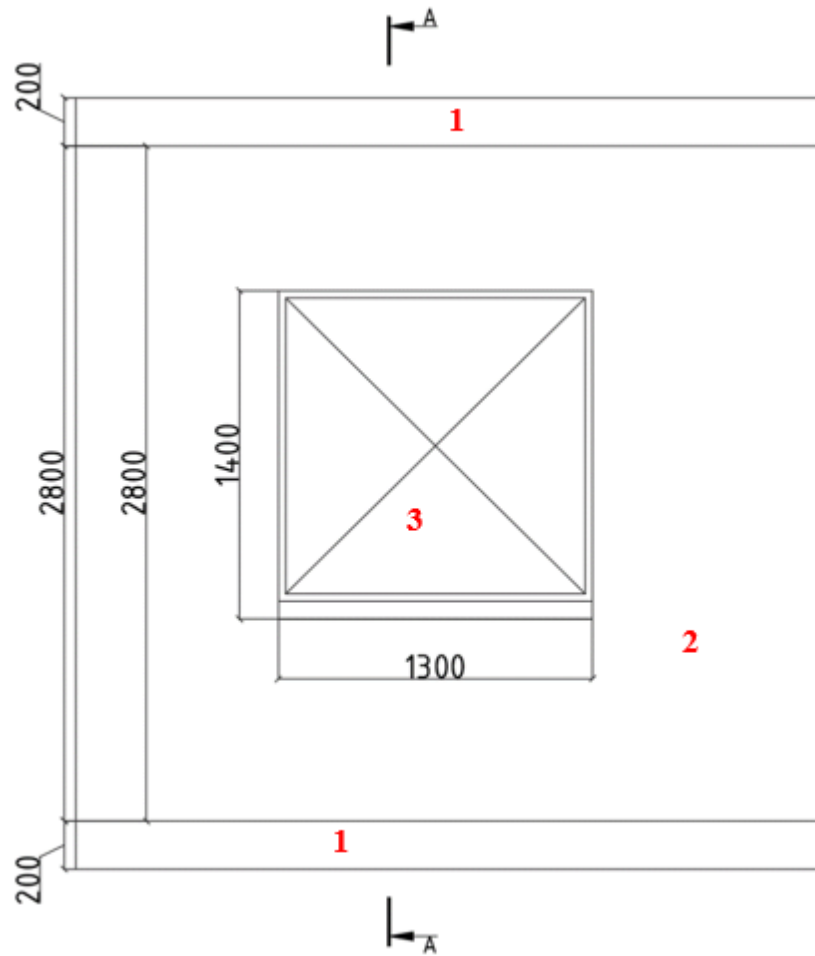
Таблица 3.5 – Теплопроводность обновленных материалов

Наименование слоя	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м* $^{\circ}\text{C}$)
Уплотнитель	0,25
Воздух	0,025
Дерево	0,18
Монтажная пена	0,035
Оцинкованная сталь	58

Продолжение таблицы 3.5

ПВХ оконный блок	0,73
ПУ герметик	3
Стекло оконное	0,76

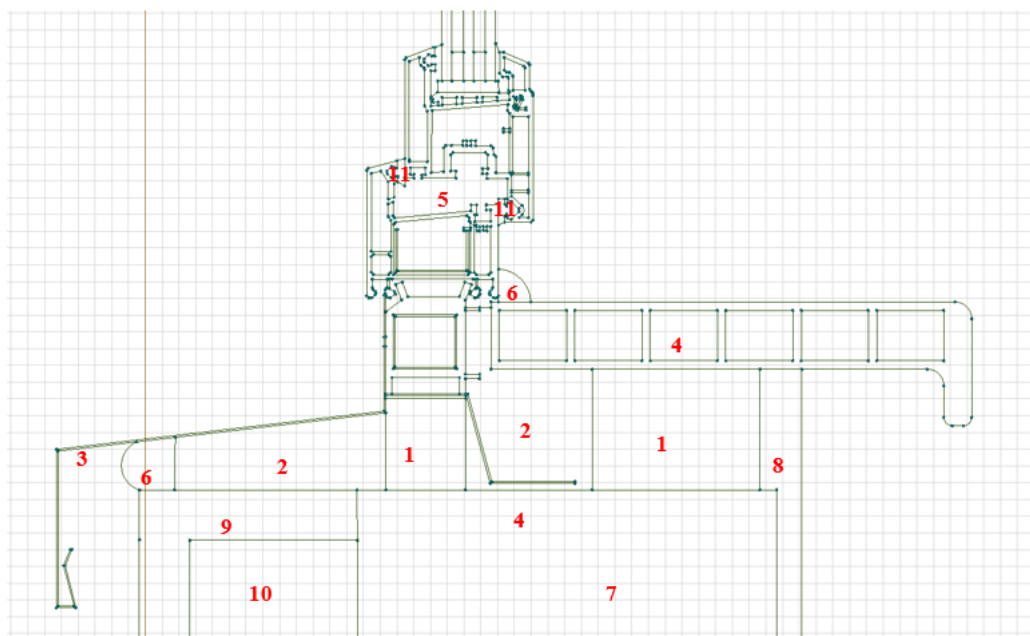
Вид сбоку и сечение, по которому выполняется расчет представлены на рисунке 3.23.



1 – Плита перекрытия; 2 – Кирпичная кладка;
3 – Оконный проем;

Рисунок 3.23 – Вид сбоку

Обновленные материалы, включенные в модель представлены на рисунке 3.24.



- 1 – опорные колодки; 2 – монтажная пена Техноколь; 3 – отлив из оцинкованной стали; 4 – подоконник из ПВХ; 5 – оконный блок; 6 – полиуретановый герметик; 7 – кирпичная кладка; 8 – внутренний штукатурный слой; 9 – наружный штукатурный слой; 10 – минеральная вата; 11 – уплотнители;

Рисунок 3.24 – Обновленный состав расчетной модели

В обновленную модель включен оконный проем в соответствии с рисунком 3.25

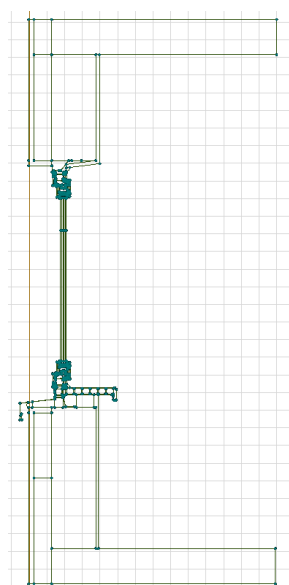
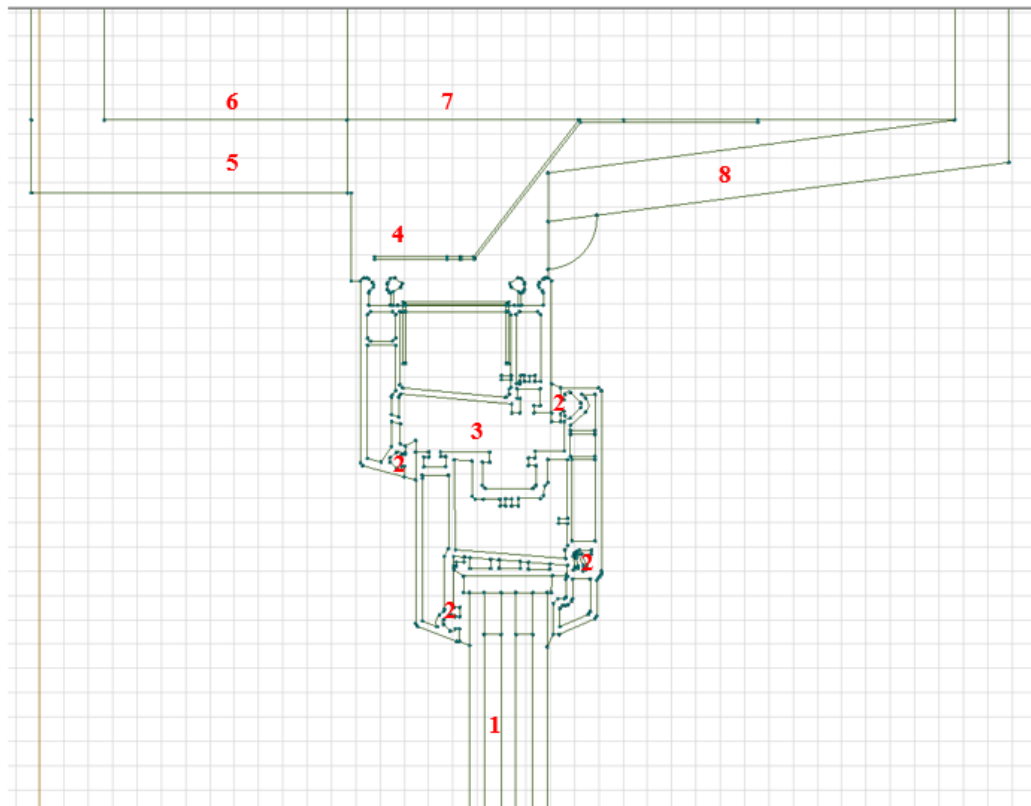


Рисунок 3.25 – Расчетная модель целиком

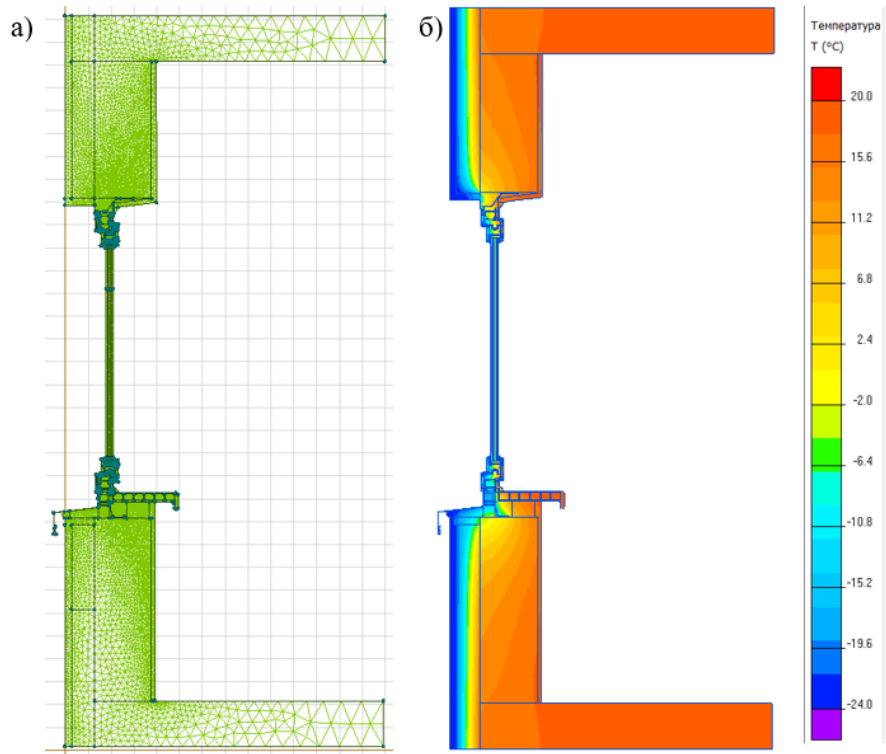
Обновленные материалы, включенные в модель представлены на рисунке 3.26.



- 1 – стеклопакет; 2 – уплотнители; 3 – оконный блок;
 4 – монтажная пена Технониколь; 5 – наружный штукатурный слой;
 6 – минеральная вата; 7 – кирпичная кладка; 8 – внутренняя штукатурка

Рисунок 3.26 – Обновленный состав расчетной модели

Сетка конечных элементов и температурные поля представлены на рисунках 3.27.



а) Сетка конечных элементов; б) Температурные поля
Рисунок 3.27 – Обновленный состав расчетной модели

Контур измеряемой поверхности выполнен в соответствии с рисунком 3.28.

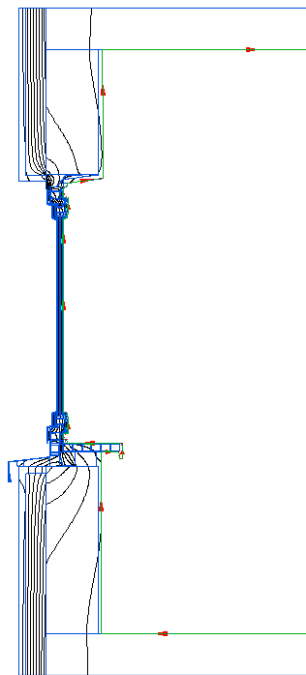


Рисунок 3.28 – Контур измеряемой поверхности

График изменения температуры по внутренней поверхности выполнен в соответствии с рисунком 3.29.

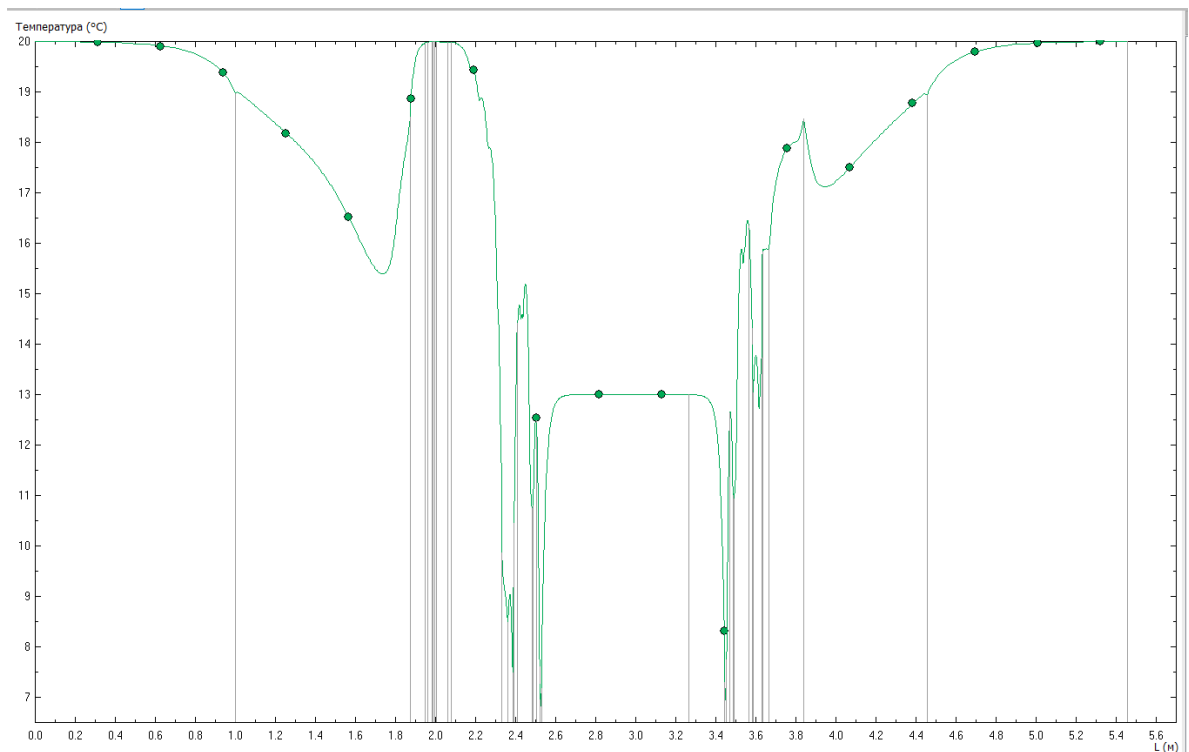


Рисунок 3.29 – График изменения температуры по внутренней поверхности стены

Величина теплового потока представлена на рисунке 3.30.

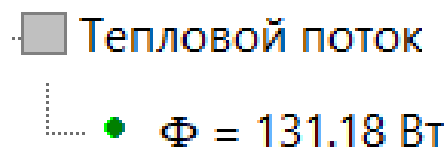


Рисунок 3.30 – График изменения температуры по внутренней поверхности стены

Согласно рисунку 3.27 и 3.29, резкие колебания температур происходят по поверхности оконного проема (по оси L от 1.8 до 3.8 м), а также и по поверхности стенового ограждения (по оси L от 1 до 1.8 м и от 3.8 до 5.4 м), так как в конструкции фигурирует множество материалов с различной

величиной теплопроводности. Величина теплового потока по сравнению с расчетной моделью (см. подраздел №1.1) увеличилась и стала равна 131,18 Вт в соответствии с рисунком 3.30.

Наличие окна уже оказало влияние на величину теплового потока. Следующим этапом является ввод в модель радиатора отопления.

1.4.7 Расчет сопротивления теплопередачи стенового ограждения с учетом оконного проема

После построения расчетной модели №1.2 и вычисления величины теплового потока, необходимо выполнить расчет удельных тепловых потерь. Исходные данные к расчету представлены в таблице 3.6. Граничные условия, состав стенового ограждения остались неизменными. Расчет выполняется согласно методике, представленной в [1].

В подразделе 3.4.1 была получена величина условного термического сопротивления стенового ограждения, без учета теплопроводных включений $R_o^{ysl} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Таблица 3.6 – Исходные данные

Площадь фрагмента конструкции	9,91 м ²
Площадь светопроемов	1,62 м ²
Площадь поверхности фрагмента конструкции	8,29 м ²
Суммарная протяженность примыкания к оконному проему	2,6 м
Суммарная протяженность примыкания к перекрытию	2 м

По формуле 3.8 вычислим коэффициент теплопередачи стенового ограждения:

$$U_1 = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Далее необходимо определить величину тепловых потерь в программно-вычислительном комплексе по однородной части стеновой конструкции.

Определим потери теплоты через однородный участок по рассматриваемой площади. Площадь поверхности $S = 1,8 \text{ м}^2$.

По формуле 3.9:

$$Q_1 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 1,8 = 26,36 \text{ Вт/м}$$

Контур измеряемой поверхности и значения тепловых потоков по контуру представлены на рисунке 3.31.

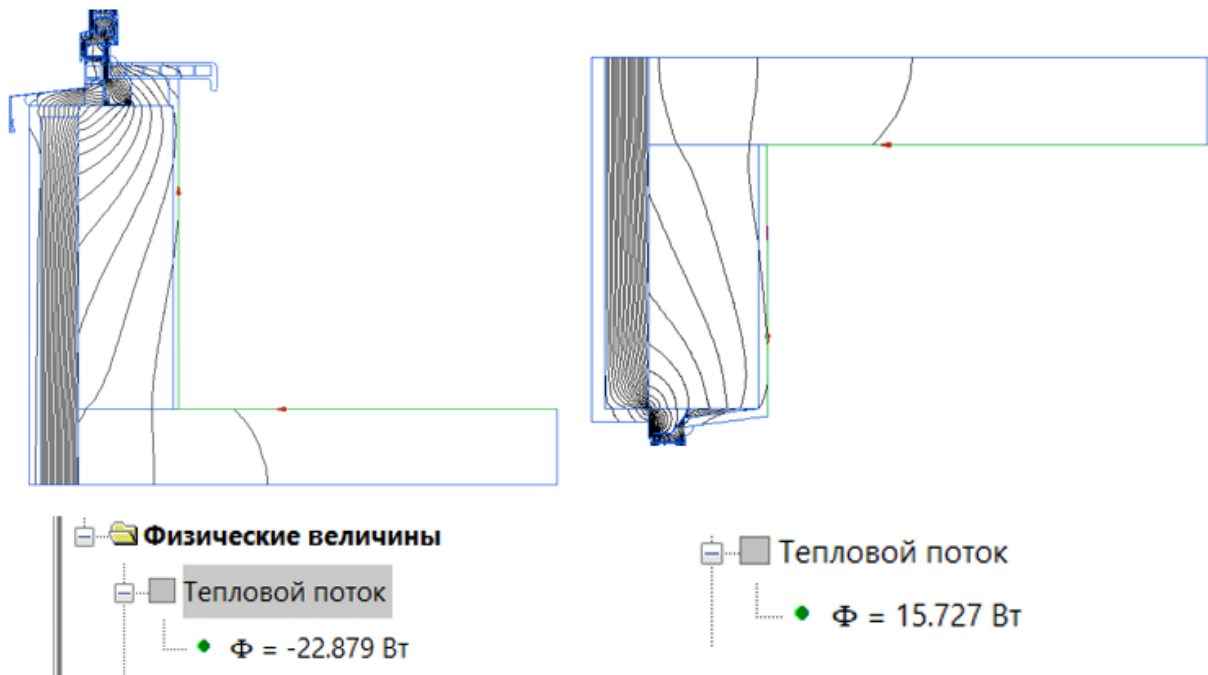


Рисунок 3.31 – Контур измеряемой поверхности и величина теплового потока

Тепловые потери, полученные при построении температурных полей $Q = 38,61 \text{ Вт/м}$.

Дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, определяются по формуле:

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_{j,1}, \quad (3.14)$$

где ΔQ_j^L – потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью -го вида, приходящиеся на 1 пог.м стыка, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт/м;

$$\Delta Q_1^L = 38,61 - 26,36 = 12,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Удельные линейные потери теплоты вычисляются по формуле:

$$\psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H}, \quad (3.15)$$

$$\psi_1 = \frac{12,25}{20 - (-24)} = 0,278 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

Далее аналогичным образом выполняется расчет для оконного проема, верхней и нижней рам. Контур измеряемой поверхности и значение теплового потока по контуру представлены на рисунке 3.32.

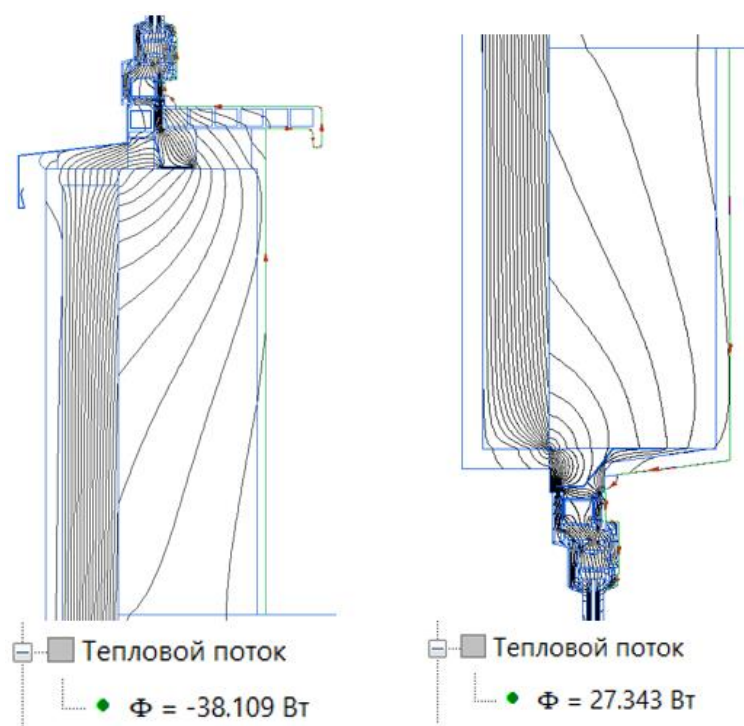


Рисунок 3.32 – Контур измеряемой поверхности и величина теплового потока

Площадь рассматриваемой поверхности $S_2 = 1,055 \text{ м}^2$ и $S_3 = 0,82 \text{ м}^2$.

$$Q_2 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 1,055 = 15,45 \text{ Вт/м}$$

$$\Delta Q_2^L = 38,11 - 15,45 = 22,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$\psi_2 = \frac{68,85}{20 - (-24)} = 0,515 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_3 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 0,82 = 12,01 \text{ Вт/м}$$

$$\Delta Q_3^L = 27,34 - 12,01 = 15,34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$\psi_3 = \frac{15,34}{20 - (-24)} = 0,349 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

Для наглядности результаты расчета сведены в таблицу 3.7. Так же сведены данные по расчету крепежного элемента из подраздела 3.4.3.

Таблица 3.7 – Результаты расчета

Наименование элемента	Потери теплоты, Q, Вт/м	Площадь/длина/кол-во элемента	Удельная геометрическая х-ка, м/м ²	Удельные потери теплоты, Вт/мК	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Стена по глади	-	8,29	1,00	0,333	0,333	62,10
Примыкание к оконному проему низ	38,11	1,3	0,16	0,515	0,081	15,06
Примыкание к оконному проему верх	27,34	1,3	0,16	0,349	0,055	10,19
Примыкание к перерекрытию (м)	38,606	2	0,24	0,278	0,067	12,52
Крепеж	1,87	6	0,60	0,001	0,001	0,1157
ИТОГО					0,536	100,00

Вычисляем приведенное сопротивление теплопередачи по формуле 3.11:

$$R_o^{np} = \frac{1}{0,33 + 0,081 + 0,055 + 0,067 + 0,001} = 1,87 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Коэффициент теплотехнической однородности:

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{усл}} \quad (3.16)$$

$$r = \frac{1,87}{3} = 0,6$$

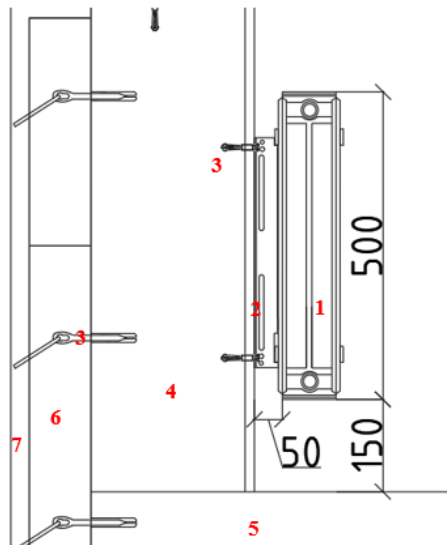
Коэффициент теплотехнической однородности показывает на сколько хорошо стеновое ограждение выполняет теплоизолирующую функции. При расчете однородных конструкций без каких-либо теплопроводных включений коэффициент принимается от 0,9-1 в зависимости от функционального назначения здания. В данном случае коэффициент составил 0,6, его уменьшение было неизбежным, так как в стене имеется оконный проем, который оказывает влияние на однородность конструкции.

1.4.8 Расчетная модель № 1.3

Состав стенового ограждения и оконного проема остался неизменным в сравнении с моделью №1.2. Нововведением в модель является панельный стальной радиатор типа 22 фирмы ROYAL THERMO. Высота радиатора – 500 мм, длина радиатора 600 мм. Площадь поверхности радиатора – 2,58 м², величина теплоотдачи радиатора составляет 1 323 Вт [33]. Расположение радиатора относительно стенового ограждения отображено на рисунке 3.33. Теплопроводность обновленных материалов представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Теплопроводность обновленных материалов

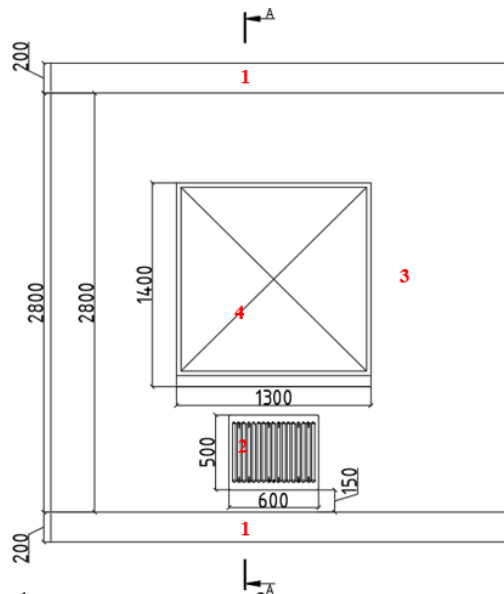
Наименование слоя	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*°C)
Радиатор	0,25



- 1 – радиатор отопления; 2 – кронштейн; 3 – крепежный элемент;
 4 – кирпичная кладка; 5 – плита перекрытия;
 6 – минеральная вата; 7 – наружный штукатурный слой

Рисунок 3.33 – Расположение радиатора отопления
 относительно стенового ограждения

Вид сбоку и сечение, по которому производится расчет представлен на рисунке 3.34.



- 1 – плита перекрытия; 2 – радиатор отопления;
 3 – кирпичная кладка; 4 – оконный проем

Рисунок 3.34 – Вид сбоку

Обновленная расчетная модель представлена на рисунке 3.35.

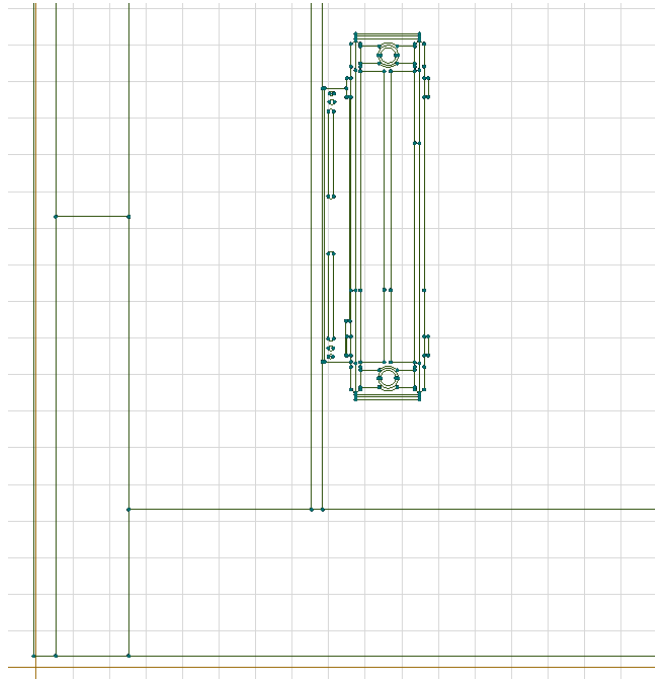


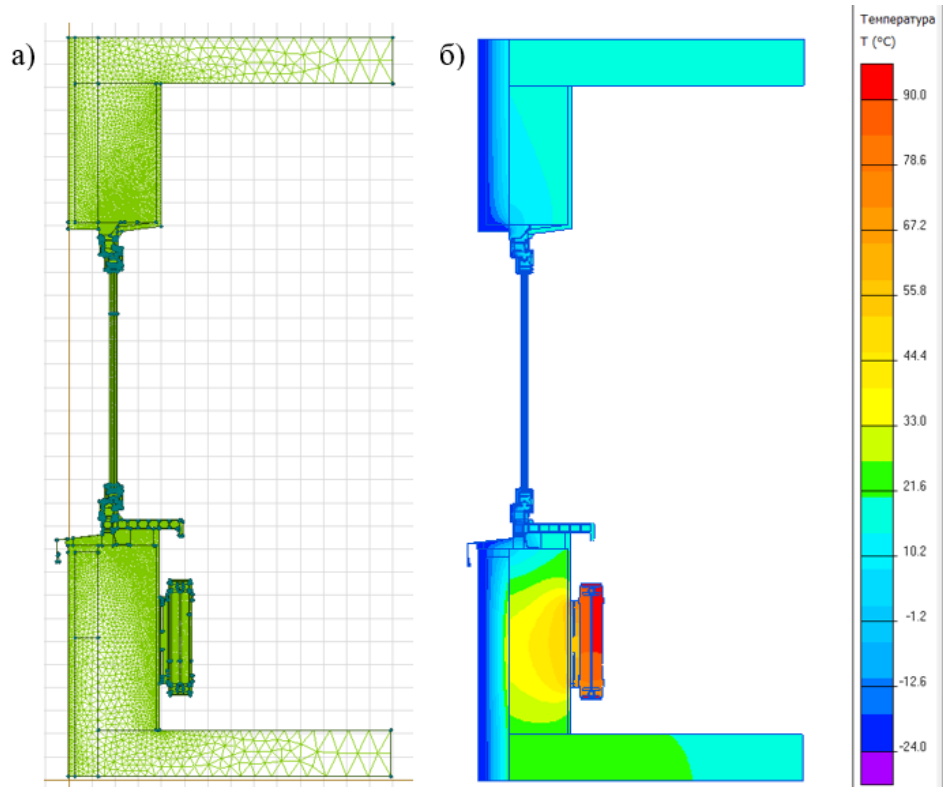
Рисунок 3.35 – Обновленная расчетная модель

Граничное условие по внешней поверхности радиатора приняты в соответствии с рисунком 3.36.

<input checked="" type="checkbox"/> Тепловой поток: $F_n = -q$ ($\Delta F_n = -q$)
$q =$ <input type="text" value="512"/> (Вт/м ²)

Рисунок 3.36 – Граничное условие по внешней поверхности радиатора

Сетка конечных элементов и температурные поля представлены на рисунке 3.37.



а) Сетка конечных элементов; б) Температурные поля;

Рисунок 3.37 – Результаты расчета

Контур измеряемой поверхности представлен на рисунке 3.38.

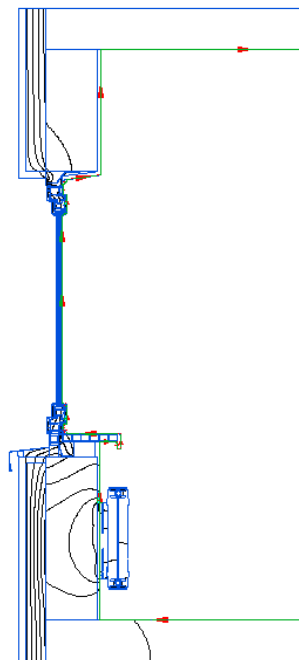


Рисунок 3.38 – Контур измеряемой поверхности

График изменения температуры внутренней поверхности построен в соответствии с рисунком 3.39

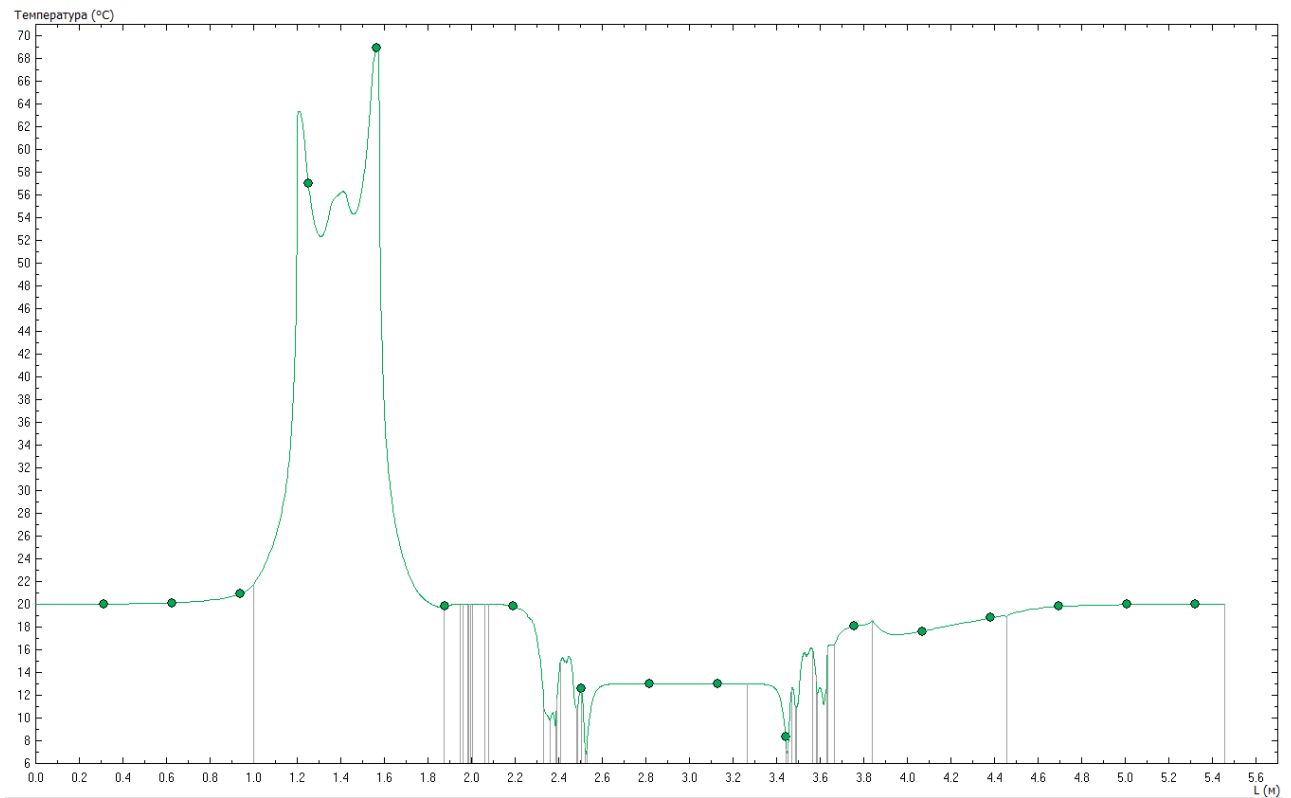


Рисунок 3.39 – График изменения температуры по внутренней поверхности стены

Величина теплового потока представлена на рисунке 3.40

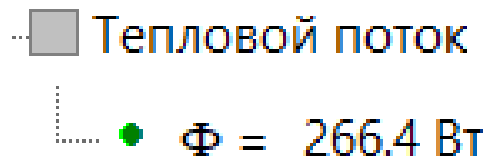


Рисунок 3.40 – Значение величины теплового потока

Судя по рисункам 3.38, 3.39, видим, что ярко выраженные колебания температур происходят в области стены с радиатором отопления (по оси L от 1 до 1.8 м).

По сравнению с расчетной моделью №1.2 величина теплового потока увеличилась и стала равна 266,4 Вт в соответствии с рисунком 3.40. Наличие радиатора оказало значительное влияние на величину теплового потока и на температуру по внутренней поверхности стены.

1.4.9 Расчет сопротивления теплопередачи стенового ограждения с учетом оконного проема, радиатора отопления.

После построения расчетной модели №1.2 и вычисления величины теплового потока, необходимо выполнить расчет удельных тепловых потерь. Исходные данные к расчету представлены в таблице 3.9. Граничные условия, состав стенового ограждения остались неизменными. Расчет выполняется согласно методике, представленной в [1].

Таблица 3.9 – Исходные данные

Площадь фрагмента конструкции	9,91 м ²
Площадь светопроемов	1,62 м ²
Площадь поверхности фрагмента конструкции	8,29 м ²
Суммарная протяженность примыкания к оконному проему	1,3 м
Суммарная протяженность примыкания к перекрытию	2 м

В подразделе 3.4.1 была получена величина условного термического сопротивления стенового ограждения, без учета теплопроводных включений $R_0^{ysl} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

По формуле 3.8 вычислим коэффициент теплопередачи:

$$U_1 = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Далее необходимо определить величину тепловых потерь в программно-вычислительном комплексе по однородной части стеновой конструкции. Контур измеряемой поверхности и значения тепловых потоков по контуру представлены на рисунке 3.41.

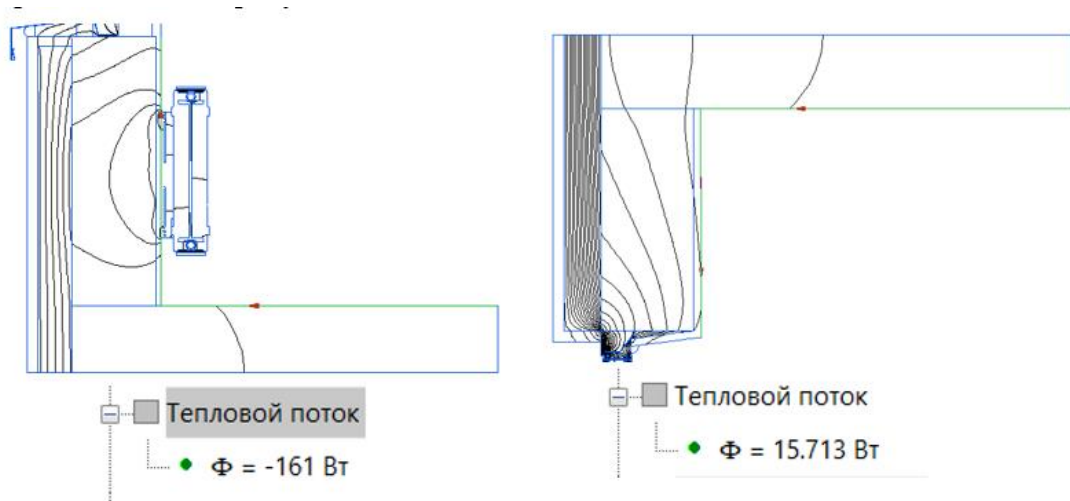


Рисунок 3.41 – Контур измеряемой поверхности и величина теплового потока

Определим потери теплоты через однородный участок по рассматриваемой площади. Площадь поверхности $S = 1,8 \text{ м}^2$.

По формуле 3.9:

$$Q_1 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 1,8 = 26,36 \text{ Вт/м}$$

Тепловые потери, полученные при построении температурных полей $Q = 176,71 \text{ Вт/м}$.

Дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, определяются по формуле 3.13:

$$\Delta Q_1^l = 176,71 - 26,36 = 150,35 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Удельные линейные потери теплоты вычисляются по формуле 3.14:

$$\psi_1 = \frac{150,35}{20 - (-24)} = 3,42 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

Далее аналогичным образом выполняется расчет для оконного проема. Контур измеряемой поверхности и значение теплового потока по контуру представлены на рисунке 3.42. Площадь рассматриваемой поверхности $S_2 = 1,055 \text{ м}^2$ и $S_3 = 0,82 \text{ м}^2$.

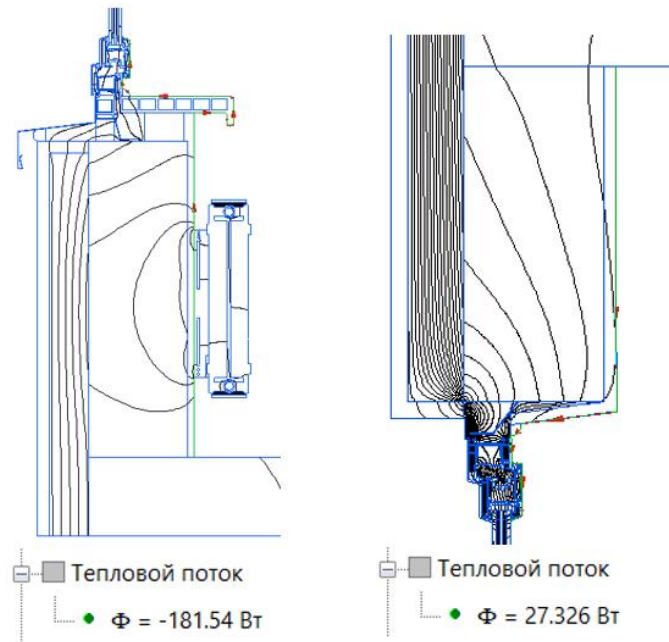


Рисунок 3.42 – Контур измеряемой поверхности
и величина теплового потока

$$Q_2 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 1,055 = 15,45 \text{ Вт/м}$$

$$\Delta Q_2^L = 181,54 - 15,45 = 166,09 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$\psi_2 = \frac{166,09}{20 - (-24)} = 3,78 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

$$Q_3 = \frac{20 - (-24)}{3} \cdot 0,82 = 12,01 \text{ Вт/м}$$

$$\Delta Q_3^L = 27,33 - 12,01 = 15,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$\psi_3 = \frac{15,32}{20 - (-24)} = 0,348 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

Для наглядности результаты расчета сведены в таблицу 3.10. Так же сведены данные по расчету крепежного элемента из подраздела 3.4.3.

Вычисляем приведенное сопротивление теплопередачи по формуле 3.11:

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{0,33 + 0,592 + 0,055 + 0,824 + 0,001} = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Коэффициент теплотехнической неоднородности вычисляется по формуле 3.15:

$$r = \frac{0,55}{3,00} = 0,18$$

В модели с оконным проем $r = 0,6$. В данном случае коэффициент значительно уменьшился. Из этого можно заключить, что стена при наличии радиатора в модели, не выполняет теплоизолирующие функции должным образом. На это так же показывает величина теплового потока, которая значительно изменилась в сравнении с расчетной моделью №1.2.

Таблица 3.10 – Результаты расчета

Наименование элемента	Потери теплоты, Q, Вт/м	Площадь/длина/кол-во элемента	Удельная геометрическая х-ка	Удельные потери теплоты, Вт/мК	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Стена по глади	-	8,29	1	0,33	0,333	18,45
Примыкание к оконному проему низ	181,54	1,3	0,16	3,78	0,592	32,80
Примыкание к оконному проему верх	27,33	1,3	0,16	0,348	0,055	3,03
Примыкание к перекрытию (м)	176,71	2	0,24	3,42	0,824	45,69
Крепеж	1,87	5	0,6	0,001	0,001	0,03
ИТОГО					0,536	100,00

1.5 Вывод по третьей главе

При введении в расчетную модель №1 (с учетом стены, плиты перекрытия) подающего и обратного трубопроводов, значительных изменений величины теплового потока по внутренней поверхности не замечено. Величина теплового потока для стенового ограждения составила $Q_1=46,45$ Вт; для стенового ограждения с учетом труб отопления $Q_{1.1}=46,85$ Вт;

При введении в расчетную модель №1.2 (с учетом окна) оконного проема величина теплового потока по внутренней поверхности составила $Q_{1.2} = 131,18$ Вт. При введении в расчетную модель №1.3 (с учетом окна, радиатора) радиатора отопления величина теплового потока $Q_{1.3} = 266,4$ Вт. Величина теплового потока значительно изменилась. Связано это с вводом в расчетную модель радиатора отопления, которая обладает значительной теплоотдачей за счет внушительной площади поверхности, что напрямую влияет на изменение величины теплового потока.

На основании представленного материала можно утверждать, что наличие теплопроводных включений и теплопроводных неоднородностей оказали влияние на величину приведенного сопротивления теплопередаче, тепловых потерь и коэффициента однородности. В расчетной модели №1.2 $R_{1.2} = 1,87$ м²·°C/Вт, $r = 0,62$. В расчетной модели №1.3 $R_{1.3} = 0,55$ м²·°C/Вт, $r = 0,18$.

Постепенное усложнение моделей показало, что величина тепловых потерь возрастает.