

Российская Академия Архитектуры и Строительных Наук
(РААСН)
Научно - исследовательский институт строительной физики
(НИИСФ)



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор НИИСФ
академик РААСН
Г.Л. Осипов
2007 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме

«Разработать заключение об условиях применения по теплофизическим критериям изделий УРСА П-30 и УРСА ФАСАД в вентилируемых фасадах зданий высотой более 75 м».

по договору № 12630 от 25.12.2006 г.
с ООО "УРСА Евразия".



Зав. лабораторией теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий, доктор технических наук, профессор

Гагарин

В.Г. Гагарин

Ответственный исполнитель, старший научный сотрудник, кандидат технических наук

Козлов

В.В. Козлов

Москва - 2007 г.

Список исполнителей.

Гагарин В.Г. зав. лабораторией теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ, доктор технических наук, профессор;

Козлов В.В. старший научный сотрудник лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ, кандидат технических наук;

Ивакина Ю.Ю. младший научный сотрудник лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ;

Садчиков А.В. младший научный сотрудник лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ;

Гувернюк С.В. зав. лабораторией аэромеханики и волновой динамики НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ, кандидат физико-математических наук, доцент;

Баранников С.Н. ведущий инженер лаборатории аэромеханики и волновой динамики НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова;

Синявин А.А. младший научный сотрудник лаборатории аэромеханики и волновой динамики НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, младший научный сотрудник лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИСФ;

Аннотация

В заключении рассмотрен комплекс вопросов, связанных с обоснованием применения теплоизоляционных плит из штапельного стекловолокна производства ООО «Урса-Евразия» в вентилируемых фасадах зданий высотой более 75 м.

В работе показана возможность применения теплоизоляционных плит из штапельного стекловолокна производства ООО «УРСА Евразия» марок П-30 и УРСА-Фасад в вентилируемых фасадах зданий высотой более 75 м исходя из теплофизических критериев. При этом обоснована возможность ограниченного применения ветрозащитных покрытий на фасаде и указаны их требуемые характеристики.

Сформулированы требования к теплозащитным свойствам конструкций высотных зданий. Приведены параметры климатических воздействий на фасады здания.

Экспериментально исследованы теплофизические свойства теплоизоляционных плит из штапельного стекловолокна «УРСА» марок П15, П30 и П45. Получены экспериментальные и расчетные значения коэффициентов теплопроводности и паропроницаемости. Определены изотермы сорбции. Исследованы и определены коэффициенты воздухопроницаемости плит, с учетом их анизотропии.

Определены сопротивления паропроницанию трех видов ветрозащитных покрытий.

Проведен анализ проектной документации жилого дома, строящегося по адресу: г. Москва, проспект Маршала Жукова, вл. 72-74. Выделены и исследованы два типа фасадных конструкций:

- фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из монолитного бетона;
- фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из керамического кирпича.

Для каждого типа конструкций рассчитаны характеристики для нижней части здания и для верхней части здания с учетом влияния увеличения с высотой количества кронштейнов и повышения роли продольной фильтрации воздуха.

Предложены требования к расчетному сопротивлению теплопередаче и к температуре на внутренней поверхности конструкции с вентилируемым фасадом с учетом продольной фильтрации воздуха. **Эти требования должны выполняться на эталонном участке конструкции, в качестве которого принят межоконный простенок, как наиболее слабый в отношении теплозащиты участок конструкции.** Эти критерии сформулированы следующим образом:

- Значение приведенного сопротивления теплопередаче межоконных простенков с учетом продольной фильтрации воздуха через утеплитель **рассчитанное при температуре и скорости движения наружного воздуха средних за отопительный период** должно быть не менее чем 0,63 от величины, определяемой требованиями «энергосбережения» СНиП 23-02-2003 [30].
- Значение приведенного сопротивления теплопередаче межоконных простенков с учетом продольной фильтрации воздуха через утеплитель **рассчитанное при температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе** должно быть не менее требуемого по санитарно-гигиеническим условиям.
- Минимальная температура на оконном откосе в последнем случае не должна быть ниже точки росы.

Проведен расчет влияния продольной фильтрации в утеплителе на теплотехнические характеристики конструкций на примере двух видов межоконных простенков. Расчетные межоконные простенки отличаются длиной: у первого простенка длина 900 мм, у второго - 1200 мм. Для каждого типа простенков рассчитаны температурные поля для средней за отопительный период температуры наружного воздуха и для наиболее холодных суток. Расчеты проведены для трех высот: 200 м, 120 м, 60 м. **В результате расчетов установлено, что наиболее жестким критерием допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе является удовлетворение приведенного сопротивления теплопередаче межоконного простенка санитарно-гигиеническим условиям для наиболее холодных суток.** Это условие не выполняется ни в одном из расчетов, т.е. для обоих типов простенков на всех рассмотренных высотах, фильтрация в утеплителе слишком велика и нуждается в уменьшении.

Для уменьшения влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные качества конструкции рекомендуется установить ветрозащитное покрытие. Ветрозащитное покрытие рекомендуется монтировать полосами вдоль всех выступов, углов и оконных откосов на всей высоте здания. На сплошных участках стен ветрозащита не требуется. По оконным откосам ветрозащита должна огибать боковую грань и плотно прилегать к оконному блоку при этом ширина полосы из ветрозащиты в плоскости стены должна составлять 250 – 300 мм. По углам здания ширина полосы из ветрозащиты должна составлять 450 - 500 мм в каждую сторону от угла. При монтаже ветрозащиты полосами, указанных размеров ограничения по сопротивлению паропрооницанию покрытия отсутствуют.

При установленном ветрозащитном покрытии (сопротивление воздухопроницанию ветрозащиты не менее $5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$), в соответствии со сделанными выше рекомендациями, все теплотехнические требования к конструкции межоконного простенка с учетом продольной фильтрации воздуха выполняются.

В некоторых случаях возможен отказ от установки ветрозащитного покрытия до высоты 75 м при тщательной проработке узлов установки светопрозрачных конструкций. Однако, в качестве общего решения с высокой надежностью, представляется целесообразным установка ветрозащиты полосами по всей высоте здания.

Проведен расчет нестационарного влажностного режима для обоих видов конструкции без ветрозащитного покрытия и с ветрозащитным покрытием.

Без ветрозащитного покрытия влажностный режим обеих конструкций удовлетворительный. С ветрозащитным покрытием влажностный режим конструкции первого вида (с основанием из железобетона) удовлетворительный, конструкция второго вида (с основанием из кирпичной кладки) переувлажняется. Для нормализации влажностного режима второго вида стены с ветрозащитным покрытием рекомендуется установить пароизоляцию между слоями кирпичной кладки и теплоизоляционных плит.

В связи с ухудшением влажностного режима, для стен с основанием из кирпичной кладки без применения пароизоляции, установка ветрозащитного покрытия недопустима.

Проведен расчет насыщения воздуха в воздушном зазоре водяным паром в январе месяце для исследуемой фасадной теплоизоляционной системы с воздушным зазором. Воздух на выходе из зазора не достигает насыщения. Выпадения конденсата и образования наледи на внутренней стороне облицовочной плиты происходить не будет.

При создании непрерывного воздушного зазора его высота не должна превышать 140 м. В случае большей высоты непрерывного воздушного зазора его рекомендуется разделить на независимые части меньшего размера.

Проведен расчет сопротивления воздухопроницанию исследуемой стены. Требование к сопротивлению воздухопроницанию стены определяется влиянием эксфильтрации на влажностный режим стены. Сопротивление воздухопроницанию по участкам стены с основанием из бетона удовлетворяет требованиям. Сопротивление воздухопроницанию по участкам стены с основанием из кирпичной кладки недостаточно даже при наличии штукатурки. На участках стен с кирпичной кладкой требуется установка пароизоляции между слоями кирпичной кладки и теплоизоляционных плит.

Для экспериментального исследования возможной эмиссии волокна из плит из штапельного стекловолокна спроектирована и изготовлена установка при их обдуве плоской струей воздуха.

Проведены испытания для обнаружения эмиссии волокна из плит из штапельного стекловолокна. Установлено, что при обдуве поверхности этих плит струей воздуха при скорости 15 м/с в течение более 12 месяцев, эмиссии волокна не происходит. Этот факт свидетельствует об отсутствии необходимости устройства ветрозащиты по поверхности исследованных теплоизоляционных плит марки «УРСА» с целью устранения эмиссии волокна.

Выявлено явление запыления плит мелкодисперсной пылью, возможно приводящее к изменению характеристик материала. Аналогичное запыление плит утеплителя наблюдается в натуральных условиях.

Выявлено явление расслоения плит из штапельного стекловолокна, возникновение которого возможно на углах здания. Для устранения этого эффекта рекомендуется монтаж ветрозащитного покрытия в виде полос по углам здания.

1. Введение.

Введение повышенных требований к теплозащите ограждающих конструкций привело к развитию конструктивных решений с применением эффективных теплоизоляционных материалов. К новым ограждающим конструкциям относятся фасады (или стены) с вентилируемым воздушным зазором.

Ограждающие конструкции с вентилируемыми воздушными прослойками давно использовались при строительстве зданий. Применение вентилируемых воздушных прослоек имело одну из следующих целей:

- нормализация влажностного режима ограждающих конструкций, которые в силу особенностей их эксплуатации характеризовались повышенным влагонакоплением (например, стены производственных зданий с мокрым режимом);
- предотвращение перегрева конструкций солнечной радиацией (например, совмещенные покрытия);

- защита конструкций от увлажнения атмосферной влагой (косыми дождями).

Теплофизические свойства вентилируемых воздушных прослоек и их влияние на температурно – влажностный режим ограждающих конструкций многократно исследовались в указанных направлениях. Эта тематика рассматривалась в работах В.Д.Мачинского [1,2], К.Ф.Фокина [3], В.Н.Богословского [4], Ю.А.Табунщикова [5], Н.Н. Щербака [6], В.И.Лукьянова [7,8] и многих других специалистов по строительной теплофизике. В 1988 году вышли «Рекомендации по расчету и конструированию вентилируемых стен промышленных зданий с влажным и мокрым режимами» [9].

Основная цель, с которой в настоящее время применяются фасады с вентилируемым воздушным зазором – повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий с нормальным температурно-влажностным режимом до уровня нормативных требований. Основными отличиями фасадов с вентилируемым воздушным зазором от давно известных стен с вентилируемой воздушной прослойкой является наличие в зазоре мощного теплоизоляционного слоя, металлической подконструкции и облицовочного слоя, определяющего архитектурный облик здания. Если стены с вентилируемой воздушной прослойкой применялись в малоэтажных зданиях, то фасады с вентилируемым воздушным зазором применяются и в многоэтажных зданиях высотой в десятки метров, что также определяет специфику их теплофизических свойств.

Накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации фасадов с вентилируемым воздушным зазором для многоэтажных зданий привел к разработке методов оценки их теплофизических свойств на стадии проектирования [13-28]. Эти методы позволяют оценивать:

- температуру и скорость движения воздуха в воздушной прослойке (зазоре) [13, 15, 16, 27, 28];
- характеристики теплозащиты стен с фасадными системами [15, 16, 17, 19, 21, 23, 25];
- характеристики влажностного состояния стен с фасадными системами [14, 18, 20, 25, 26];
- влияние фильтрации воздуха на температурный и влажностный режимы стен с фасадными системами с учетом ветровых нагрузок и аэродинамики здания [15, 18, 20, 22, 24, 29].

Совокупность этих методов позволяет осуществлять проверку удовлетворения вентилируемых фасадов всем требованиям по строительной теплофизике.

Переход на проектирование и строительство высотных зданий (высотой более 75 м) поставил задачи:

- формулирования теплофизических требований к фасадам зданий, в том числе с вентилируемым воздушным зазором;

- совершенствования (и при необходимости разработки) методик оценки теплофизических свойств фасадам зданий, в том числе с вентилируемым воздушным зазором.

Теплофизические требования к фасадам высотных зданий формулируются на основе СНиП «Тепловая защита зданий» [30], МГСН «Энергосбережение в зданиях» [31], и МГСН «Высотные здания» [32]. Методики оценки теплофизических свойств фасадов высотных зданий соответствуют, применявшимся для многоэтажных невысоких зданий [14-29]. Дополнительно при применении этих методик необходимо учитывать особенности эксплуатации высотных зданий (увеличение расчетной скорости ветра с высотой, понижение расчетной температуры и т.д.).

2. Расчетные характеристики климата и микроклимата с учетом высотности здания.

При теплотехнических расчетах климатические параметры района строительства принимаются по СНиП 23-01-99 для г. Москвы. Эти параметры имеют следующие значения:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_n = -28$ °С;
- средняя температура наиболее холодных суток $t_{н.сут} = -32$ °С;
- средняя температура отопительного периода $t_{ом} = -3,1$ °С;
- продолжительность отопительного периода $z_{ом} = 214$ сут.

Основными расчетными параметрами микроклимата помещения являются температура и относительная влажность внутреннего воздуха. В помещениях жилого здания по проекту принимается

$$t_в = 20$$
 °С, $\varphi_в = 55\%$.

Точка росы для данных параметров внутреннего воздуха составляет $t_{м.р.} = 10,7$ °С.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата помещения рассчитывается величина градусо-суток отопительного периода $ГСОП = (t_в - t_{ом}) \cdot z_{ом} = 23,1 \cdot 214 = 4943$ °С·сут.

3. Современные требования к тепловой защите высотного здания.

В соответствии со СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита здания" в настоящее время к ограждающим конструкциям предъявляются три вида требований тепловой защиты:

- а) требования к приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных элементов конструкций (табл. 4);
- б) санитарно-гигиенические требования;
- в) требования на удельный расход тепловой энергии (табл. 9).

Причем для удовлетворения нормативных требований достаточно выполнения только двух требований а) и б) или б) и в). Кроме того, в п.5.13 СНиП 23-02-2003 накладывается ограничение на минимальное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающей конструкции.

Для высотных зданий требования к тепловой защите ограждающих конструкций дополнительно дифференцируются по высоте в МГСН 4.19-2005.

Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен жилых зданий для Москвы по табл. 4 составляет:

- До 75 м - **3,13** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;
- От 76 м до 150 м – **3,23** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;
- От 150 м до 250 м – **3,27** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен по санитарно-гигиеническому показателю для Москвы составляет **1,38** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. Кроме того, санитарно-гигиенический показатель содержит требование:

- температура внутренней поверхности ограждения должна быть не ниже точки росы.

Минимальное приведенное сопротивление теплопередаче стен для г. Москвы вычисленной в соответствии с п.5.13 составляет:

- До 75 м - **1,97** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;
- От 76 м до 150 м – **2,03** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;
- От 150 м до 250 м – **2,06** ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

4. Описание ограждающих конструкций фасадов здания с теплоизоляцией из изделий ООО "УРСА Евразия".

На исследуемом здании проектируется применение фасадной системы «Диат». При этом использованы несколько типов фасадных конструкций. Для проверки теплотехнических характеристик выбраны два типа фасадных конструкций наиболее полно отражающие характеристики исследуемых стен:

- 1) фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из монолитного бетона;
- 2) фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из керамического кирпича;

4.1. Описание конструкций каждого вида, перечень теплотехнических требований налагаемых на такие конструкции и наличие или отсутствие проверки этих требований в проекте.

Фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из монолитного бетона.

Устройство и состав ограждающих конструкций приняты в соответствии с предоставленными Заказчиком материалами.

Характеристики материалов приняты по СП 23-101-2004 прил. Д [35]. Характеристики минераловатных плит приняты по результатам испытаний НИИСФ.

Состав стены изнутри наружу:

- цементно-песчаная штукатурка толщиной $\delta_{шт} = 15$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б: $\lambda_{шт} = 0,93$ Вт/(м⁰С);
- монолитный железобетон толщиной $\delta_{жб} = 220$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б $\lambda_{жб} = 2,04$ Вт/(м⁰С).;
- минераловатные плиты URSA-П30ГС толщиной $\delta_{МВП} = 180$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б: $\lambda_{МВП} = 0,045$ Вт/(м⁰С), коэффициент воздухопроницаемости измеренный вдоль плиты $i_{МВП} = 0,6$ кг/(м·ч·Па);
- ветрозащита;
- облицовка на отnose – плитка из керамогранита.

Облицовка крепится к основанию кронштейнами из коррозионно стойкой стали. Толщина воздушного зазора между утеплителем и облицовкой принимается в расчетах равной 40 мм. Зазор между плитками облицовки составляет 5 мм. Наибольшая высота непрерывного воздушного зазора $h = 60$ м. Высота здания 200 м.

В зависимости от высоты количество кронштейнов на один квадратный метр изменяется, увеличиваясь с высотой. Поэтому рассматривается два типовых участка фасада, соответствующих нижней части здания и верхней части здания.

По первому типовому узлу фасада в среднем на один кронштейн приходится $0,4 \text{ м}^2$ фасада.

По второму типовому узлу фасада в среднем на один кронштейн приходится $0,2 \text{ м}^2$ фасада.

Кронштейн имеет сложную форму. Толщина стали, из которой изготавливаются детали 1,2 мм. Ширина в развороте части кронштейна прорезающей минераловатные плиты 120 мм.

Площадь поперечного сечения кронштейна $1,44 \text{ см}^2$.

Площадь основания кронштейна 77 см^2 .

Фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором нуждается в проверке:

- характеристик теплозащиты, в том числе теплотехнической однородности конструкции, связанной, с наличием металлических направляющих и кронштейнов в утеплителе;
- влажностного режима конструкции, включающей в себя расчет распределения влаги по толщине конструкции и расчет влагоудаления из воздушной прослойки;

Фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из кирпича.

Устройство и состав ограждающих конструкций приняты в соответствии с предоставленными Заказчиком материалами.

Характеристики материалов приняты по СП 23-101-2004 прил. Д [35]. Характеристики минераловатных плит приняты по результатам испытаний НИИСФ.

Состав стены изнутри наружу:

- цементно-песчаная штукатурка толщиной $\delta_{шт} = 15$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б: $\lambda_{шт} = 0,93 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$;
- кирпичная кладка толщиной $\delta_k = 250$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б $\lambda_k = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$;
- минераловатные плиты URSA-П30ГС толщиной $\delta_{МВП} = 180$ мм, коэффициент теплопроводности материала для расчетных условий Б: $\lambda_{МВП} = 0,045 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, коэффициент воздухопроницаемости измеренный вдоль плиты $i_{МВП} = 0,6 \text{ кг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$;
- ветрозащита;
- облицовка на отnose – плитка из керамогранита.

Фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором нуждается в проверке:

- характеристик теплозащиты, в том числе теплотехнической однородности конструкции, связанной, с наличием металлических направляющих и кронштейнов в утеплителе;
- влажностного режима конструкции, включающей в себя расчет распределения влаги по толщине конструкции и расчет влагоудаления из воздушной прослойки;

5. Исследования теплофизических характеристик изделий ООО "УРСА Евразия" П-30 и Урса-фасад и ветрозащитных покрытий.

5.1. Теплопроводность плит из штапельного стекловолокна.

Основной характеристикой теплоизоляционного материала является его теплопроводность. Экспериментальные исследования теплопроводности плит из штапельного стекловолокна выполнялись по методикам ГОСТ 7076-99, ГОСТ 17177-94, ГОСТ 25898-83.

Эксперименты по определению коэффициентов теплопроводности были выполнены на 5 образцах каждого вида плит. Были определены коэффициенты теплопроводности материала в сухом состоянии и приращение коэффициента теплопроводности на 1% влажности. Затем были вычислены расчетные значения коэффициентов теплопроводности исследуемых материалов. Экспериментальные исследования коэффициентов теплопроводности были выполнены в испытательной лаборатории НИИСФ. Расчетные значения влажности и коэффициентов теплопроводности, приведенные к 25 °С сведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Расчётные теплотехнические показатели теплоизоляционных изделий "URSA" производства ООО «УРСА Евразия» – плит из штапельного стекловолокна марок П 15, П 30, П 45.

Марка изделий	Характеристика материала в сухом состоянии			Расчётное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации)		Расчётные коэффициенты (при условиях эксплуатации)			
	плотность, γ_0 , кг/м ³	уд.теплоёмкость, c_0 , кДж/(кг°С)	коэфф. теплопроводности λ_0 , Вт/(м°С)	в материале (при условиях эксплуатации)		теплопроводности, λ , Вт/(м°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч.), s , Вт/(м ² °С)	
				А	Б	А	Б	А	Б
П 15	16,0	0,84	0,043	2	5	0,047	0,053	0,23	0,25
П 30	33,0	0,84	0,038	2	5	0,041	0,046	0,30	0,34
П 45	46,0	0,84	0,034	2	5	0,036	0,039	0,33	0,37

5.2. Сорбционная влажность плит из штапельного стекловолокна.

Сорбционная влажность строительных материалов характеризует способность материала поглощать водяной пар из воздуха. Характеристикой сорбционного увлажнения материала является изотерма сорбции, т.е. зависимость влажности материала от относительной влажности воздуха. Используются изотермы сорбции при расчетах влажностного режима ограждающих конструкций и при нормировании теплотехнических показателей строительных материалов.

Основным методом исследования сорбционного увлажнения строительных материалов является эксикаторный. Эксикаторный метод определения изотерм сорбции и десорбции водяного пара строительными материалами был принят для исследований К.Ф. Фокиным. Он был принят за основу при составлении ГОСТ 24816-81 «Материалы и изделия строительные. Метод определения сорбционной влажности» [37].

Изотермы сорбции образцов штапельного стекловолокна были определены по методике [37]. Для исследований были взяты образцы материалов из плит П-15, П-30, П-45. Исследования проводились в период с октября 2006 по февраль 2007 г. и продолжаются в настоящее время. Результаты определения сорбционной влажности образцов материала сведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2.

Экспериментально определенные изотермы сорбции плит из штапельного стекловолокна.

Материал, плита из штапельного стекловолокна	Сорбционная влажность материала, %, при относительной влажности воздуха, %				
	40	60	80	90	97
П-15	0,31	0,44	0,87	2,28	3,78
П-30	0,21	0,38	0,75	2,96	4,24
П-45	0,28	0,41	0,82	2,07	4,36

Как следует из таблицы 5.2, изотермы сорбции всех испытанных образцов материала различной плотности близки между собой, так, что практически совпадают. При этом максимальное значение сорбционной влажности составляет величину от 4 до 5%, что практически соответствует расчетному значению влажности минераловатных изделий для условий эксплуатации Б по СНиП [34].

5.3. Паропроницаемость изделий из штапельного стекловолокна.

Паропроницаемость теплоизоляционных изделий используется при проведении расчетов влажностного режима ограждающих конструкций с

использованием этих изделий. Определение этих показателей производится по методике ГОСТ 25898-83 [36].

Экспериментальные исследования этих характеристик были выполнены в испытательной лаборатории НИИСФ. Эти результаты представлены в табл.5.3.

Таблица 5.3.

Расчётные значения паропроницаемости – плит из штапельного стекловолокна марок П 15, П 30, П 45.

Марка изделий	Расчётные коэффициенты паропроницаемости, μ , мг/(м ч Па)
П 15	0,40
П 30	0,35
П 45	0,30

5.4. Паропроницаемость ветрозащитных покрытий.

Сопротивление паропроницанию является одной из важнейших характеристик пленочных материалов, применяемых в строительстве и формирующих влажностный режим конструкции при эксплуатации.

Экспериментальные исследования сопротивления паропроницанию ветрозащитных мембран TYVEK проводилось по методике ГОСТ 25898-83 [36], которая соответствует известному методу «мокрой чашки». Испытание проводилось на трёх образцах круглой формы диаметром 10 см (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Экспериментальное определение сопротивления паропрооницанию ветрозащитной мембраны TYVEK.

Результаты исследований приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4.

Экспериментальные значения сопротивления паропрооницанию ветрозащитной мембраны TYVEK и табличные значения других материалов.

Образец	Сопротивление паропрооницанию, (м ² ч Па)/мг
1	0,0512
2	0,0504
3	0,0549
Среднее значение	0,0522

Таким образом, определенное значение сопротивления паропрооницанию ветрозащитной мембраны TYVEK составляет **0,052 (м² ч Па)/мг**.

Таблица 5.5.

Экспериментальные значения сопротивления паропрооницанию ветрозащитной стеклоткани ТАФ.

Образец	Сопротивление паропрооницанию, (м ² ч Па)/мг
1	1,77
2	1,78
3	1,77
Среднее значение	1,77

Таким образом, определенное значение сопротивления паропрооницанию ветрозащитной мембраны стеклоткани ТАФ составляет **1,77 (м² ч Па)/мг**.

Таблица 5.5а.

Экспериментальные значения сопротивления паропрооницанию ветрозащитной стеклоткани ТАФ. Состав 1.

Образец	Сопротивление паропрооницанию, (м ² ч Па)/мг
1	0,114
2	0,103
3	0,116
Среднее значение	0,11

Таблица 5.5а.

Экспериментальные значения сопротивления паропрооницанию ветрозащитной стеклоткани **ТАФ. Состав 2.**

Образец	Сопротивление паропрооницанию, (м ² ч Па)/мг
1	0,226 ^{*)}
2	0,148
3	0,148
Среднее значение	0,15

^{*)} Данное значение существенно отличается от двух других, поэтому оно исключено при определении среднего значения сопротивления паропрооницанию этого покрытия.

Таким образом, определенное значение сопротивления паропрооницанию ветрозащитной мембраны стеклоткани **ТАФ составов 1 и 2 составляет 0,11÷0,15 (м² ч Па)/мг.**

5.5. Воздухопроницаемость плит из штапельного стекловолокна и ветрозащитных покрытий.

Систематические исследования воздухопроницаемости в Советском Союзе были начаты Р.Е. Брилингом и Б.Ф. Васильевым в ЦНИПСе в 1935 г., тогда была разработана методика и начаты систематические лабораторные исследования воздухопроницаемости строительных материалов и конструкций.

Зависимость между разностью давлений и величиной расхода воздуха связана со скоростью движения, а значит и режимом течения воздуха в материале. Воздухопроницаемость материалов при разностях давлений не более 10 Па в большинстве случаев характеризуется линейной зависимостью:

$$G = i \cdot \Delta P / \delta \quad (5.2)$$

где G – воздухопроницаемость образца материала, кг/(м²ч);

i – коэффициент воздухопроницаемости материала, кг/(м ч Па);

ΔP – перепад давлений на образце, Па;

δ – толщина образца, м.

Испытания образцов теплоизоляционных материалов на воздухопроницаемость в лабораторных условиях производятся по методике предложенной Р.Е. Брилингом на специальной установке.

Характерной особенностью материалов из стекловолокнистого штапельного волокна, является видимое расположение направления волокон вдоль высоты плиты. При установке плиты в строительную конструкцию, например в конструкцию вентилируемого фасада, теоретически может возникнуть продольная или поперечная фильтрация воздуха. Предполагая, что расположение направления волокон по отношению к потоку воздуха может влиять на воздухопроницание

материала, возникает необходимость в выделении двух возможных направлений движения воздуха через плиту утеплителя, условно назвав их: «вдоль волокон» - движение воздуха параллельно высоте или ширине плиты, и «поперек волокон» - движение в направлении перпендикулярном к лицевой стороне плиты. Результаты определения воздухопроницаемости исследуемых материалов приведены в табл. 5.6 и на рис. 5.2.

Таблица 5.6.

Значения коэффициентов воздухопроницаемости исследованных материалов.

№	Марка плиты	i , кг/(м ч Па) ^{*)}	
		Вдоль волокон	Поперек волокон
1	П-15 Г	1,53	0,92
2	П-30 Г	0,6	0,37
3	П-30 Г (с)		0,49
4	П-30 Г (с) со снятым холстом		0,55
5	П-45 Г	0,39	0,27
6	П-15 Г $b=100$ мм	1,21	0,9

^{*)}Значение показателя n для исследованных материалов близко к 1.

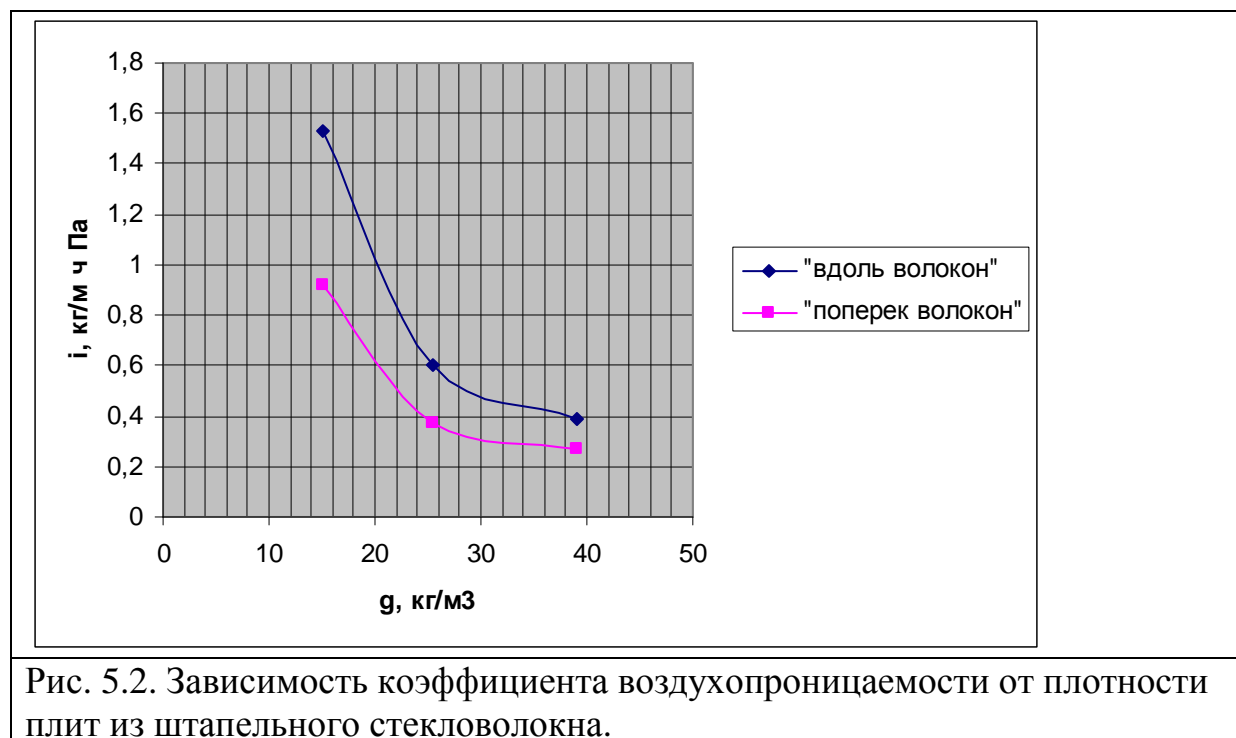


Рис. 5.2. Зависимость коэффициента воздухопроницаемости от плотности плит из штапельного стекловолокна.

Исследование воздухопроницаемости покрытий ТАФ показало, что до значений перепада давления 2000 Па, они являются воздухонепроницаемыми. В качестве примера приведены графики

обработки результатов эксперимента определения сопротивления воздухопроницаемости для образцов покрытий ТАФ.

Таблица 5.7.

Полученные экспериментальные значения параметров при определении сопротивления паропрооницанию покрытия ТАФ (состав1) и их математическая обработка.

№ измерения	ΔP , мм.вод.ст.	Q , м ³ /ч через $F=1\text{м}^2$	G , кг/м ² ч	ΔP , Па	$\ln(G)$	$\ln(\Delta P)$
1	148	0,39	0,50	1480,0	-0,70	7,30
2	186,0	0,94	1,19	1860,0	0,18	7,53
3	222,4	1,76	2,23	2224,0	0,80	7,71

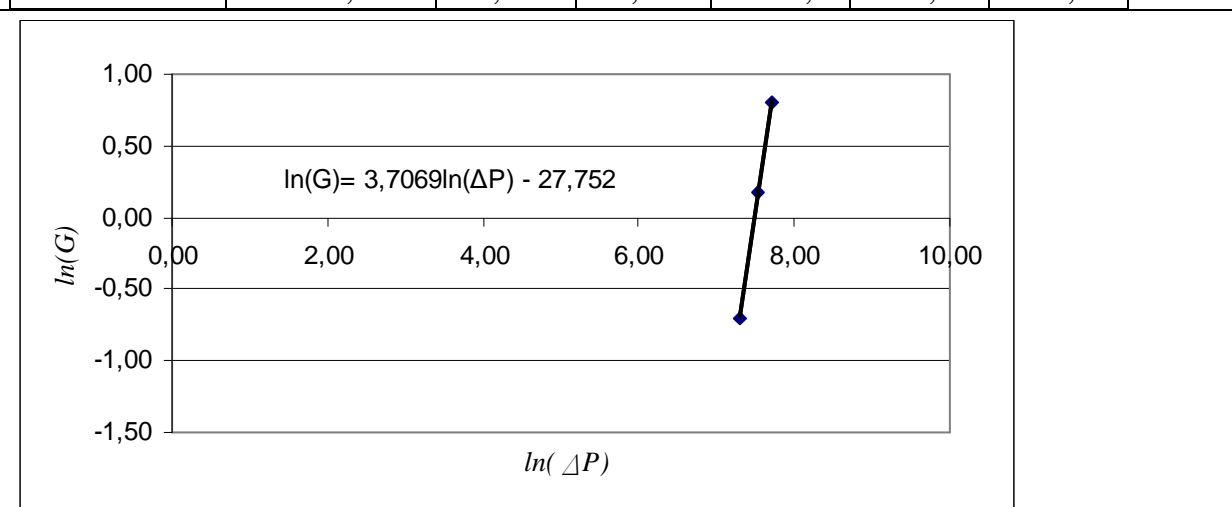


Рисунок 5.3. Определение параметров уравнения (5.2а) по экспериментальным точкам.

Из приведенных на рис. 5.3. данных получаем следующее:

-показатель режима фильтрации n , равен 3,7069;

-значение ординаты точки пересечения графика с осью ординат составляет $b = -27,752$;

Значение коэффициента воздухопроницаемости образца i_k , кг/м²·ч·(Па) ^{n} Па получаем по формуле (5.4): $i_k = \exp(b)$,

$$i_k = \exp(-27,752) = 8,86 \cdot 10^{-13},$$

$$R_u = \delta / i_k = 0,0005 / 8,86 \cdot 10^{-13} = 5,6 \cdot 10^8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{Па})^n / \text{кг}.$$

Таблица 5.8.

Полученные экспериментальные значения параметров при определении сопротивления паропрооницанию покрытия ТАФ (состав2) и их математическая обработка.

№ измерения	ΔP , мм.вод.ст.	Q , м ³ /ч через $F=1\text{м}^2$	G , кг/м ² ч	ΔP , Па	$\ln(G)$	$\ln(\Delta P)$
1	163,2	0,94	1,19	1632,0	0,18	7,40
2	178,4	1,21	1,54	1784,0	0,43	7,49
3	195,2	1,62	2,06	1952,0	0,72	7,58
4	228,8	1,90	2,41	2280,0	0,88	7,73

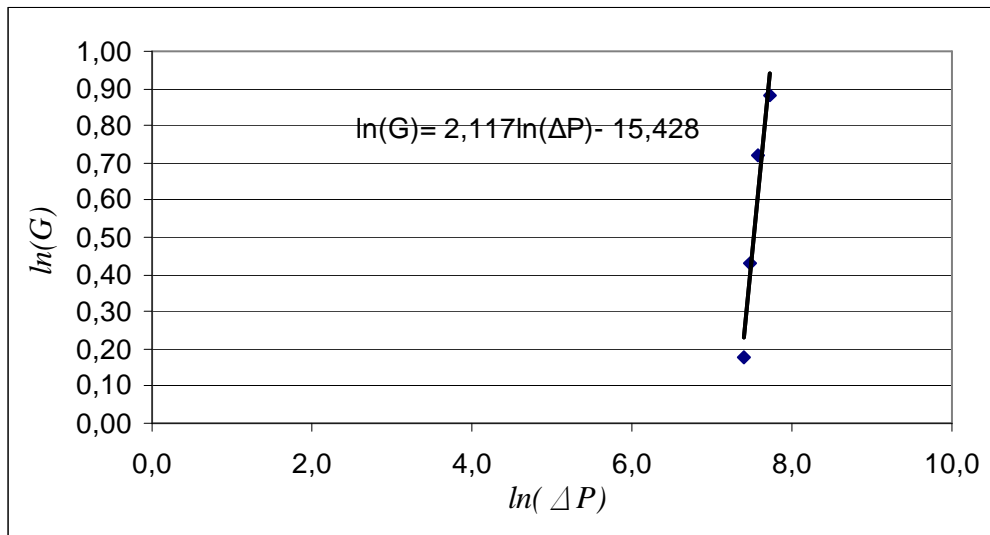


Рисунок 5.4. Определение параметров уравнения (5.2а) по экспериментальным точкам.

Из приведенных на рис. 5.4. данных получаем следующее:

-показатель режима фильтрации n , равен 2,117;

-значение ординаты точки пересечения графика с осью ординат составляет $b = -15,428$;

Значение коэффициента воздухопроницаемости образца i_k , кг/м²·ч·(Па) ^{n} Па получаем по формуле (5.4): $i_k = \exp(b)$,

$$i_k = \exp(-15,428) = 1,99 \cdot 10^{-7} ,$$

$$R = \delta / i_k = 0,0005 / 1,99 \cdot 10^{-7} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{Па})^n / \text{кг}.$$

Полученные значения сопротивлений воздухопроницанию покрытий ТАФ, равные $2,5 \cdot 10^3 - 5,6 \cdot 10^8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{Па})^n / \text{кг}$ являются настолько большими, что можно считать эти покрытия воздухонепроницаемыми.

6. Расчет теплотехнических характеристик фасадных конструкций здания.

6.1. Расчет характеристик теплозащиты фасадной теплоизоляционной системы с воздушным зазором с основанием из монолитного бетона.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче и других характеристик теплозащиты конструкции проведен в соответствии с [15].

Сопротивление теплопередаче по глади стены определяется по формуле (П2.6) и составляет:

$$R_{o1} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,18}{0,045} + \frac{1}{23} = 4,27 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции находится расчетом трехмерного температурного поля узла примыкания кронштейна к основанию. Методика расчета приведена в прил. 2.

Для первого типового узла расчетный участок представляет собой цилиндр диаметром 720 мм и шириной 400 мм, на оси цилиндра располагается кронштейн. Расчетная область была разбита на 36 тысяч ячеек (180×200).

В результате расчета получено температурное поле исследуемого узла конструкции (рис. П1.1), по которому можно заключить следующее.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены, рассчитанное в соответствии с указаниями СНиП 23-02-2003 без учета влияния воздушного зазора составляет $R_{СНиП}^{np} = 3,49 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, с учетом влияния воздушного зазора сопротивление теплопередаче стены составляет $R_o^{np} = 3,68 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (характеристики воздушного зазора рассчитываются в п.п. 6.4 данного отчета).

При температуре наиболее холодной пятидневки минимальная температура, достигаемая на внутренней поверхности стены составляет $\tau_g = 18,3 \text{ °C}$, что заметно выше точки росы $10,7 \text{ °C}$, т.е. выпадение конденсата при расчетных параметрах внутреннего воздуха происходить не будет.

Температура в центре анкерной гильзы составила $14,8 \text{ °C}$.

Средний коэффициент повышения теплотехнической однородности конструкции за счет наличия вентилируемого воздушного зазора $r_{зaz}$ определяется по формуле:

$$r_{зaz} = \frac{R_{СНиП}^{np} + R_{зazора}^{эф}}{R_{СНиП}^{np}} \quad (6.1)$$

Из результатов расчетов следует: $r_{зaz} = 1,054$.

Коэффициент теплотехнической однородности конструкции $r=0,82$.

Рассчитанное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены $3,68 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ больше требуемого по табл. 4 СНиП 23-02-2003 $R_o^{mp}=3,13 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и минимальная температура на внутренней поверхности стены выше точки росы, значит, **исследуемая стена удовлетворяет действующим нормам по энергосбережению.**

Для второго типового узла расчетный участок представляет собой цилиндр диаметром 500 мм и шириной 400 мм, на оси цилиндра располагается кронштейн. Расчетная область была разбита на 25 тысяч ячеек (125×200).

В результате расчета получено температурное поле исследуемого узла конструкции (рис. П1.2), по которому можно заключить следующее.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены, рассчитанное в соответствии с указаниями СНиП 23-02-2003 без учета влияния воздушного зазора составляет $R_{СНиП}^{mp}=2,85 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, с учетом влияния воздушного зазора сопротивление теплопередаче стены составляет $R_o^{mp}=3,03 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (характеристики воздушного зазора рассчитываются в п.п. 6.4 данного отчета).

При температуре наиболее холодной пятидневки минимальная температура, достигаемая на внутренней поверхности стены составляет $\tau_g=18,0 \text{ °C}$, что заметно выше точки росы $10,7 \text{ °C}$, т.е. выпадение конденсата при расчетных параметрах внутреннего воздуха происходить не будет.

Температура в центре анкерной гильзы составила $14,3 \text{ °C}$.

Средний коэффициент повышения теплотехнической однородности конструкции за счет наличия вентилируемого воздушного зазора $r_{зaz}$ определяется по формуле (6.1) и составляет $r_{зaz}=1,063$.

Коэффициент теплотехнической однородности конструкции $r=0,67$.

Рассчитанное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены $3,03 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ меньше требуемого по табл. 4 СНиП 23-02-2003 [30] $R_o^{mp}=3,27 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, но больше значения, рассчитанного из санитарно-гигиенических требований $1,38 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$ и минимального допустимого приведенного сопротивления теплопередаче стен для Москвы $2,06 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$, указанного в п.5.13 [30]. Исследуемая стена будет удовлетворять действующим нормам по энергосбережению при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

6.2. Расчет характеристик теплозащиты фасадной теплоизоляционной системы с воздушным зазором с основанием из кирпича.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче и других характеристик теплозащиты конструкции проведен в соответствии с [14].

Сопротивление теплопередаче по глади стены определяется по формуле (П2.6) и составляет:

$$R_{o2} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,18}{0,045} + \frac{1}{23} = 4,47 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции находится расчетом трехмерного температурного поля узла примыкания кронштейна к основанию. Методика расчета приведена в прил. 3.

Для первого типового узла расчетный участок представляет собой цилиндр диаметром 720 мм и шириной 430 мм, на оси цилиндра располагается кронштейн. Расчетная область была разбита на 39 тысяч ячеек (180×215).

В результате расчета получено температурное поле исследуемого узла конструкции (рис. П1.3), по которому можно заключить следующее.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены, рассчитанное в соответствии с указаниями СНиП 23-02-2003 [30] без учета влияния воздушного зазора составляет $R_{CHuП}^{np} = 3,67 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, с учетом влияния воздушного зазора сопротивление теплопередаче стены составляет $R_o^{np} = 3,86 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (характеристики воздушного зазора рассчитываются в п.п. 6.4 данного отчета).

При температуре наиболее холодной пятидневки минимальная температура, достигаемая на внутренней поверхности стены составляет $t_g = 18,2 \text{ °C}$, что заметно выше точки росы $10,7 \text{ °C}$, т.е. выпадение конденсата при расчетных параметрах внутреннего воздуха происходить не будет.

Температура в центре анкерной гильзы составила $10,6 \text{ °C}$.

Средний коэффициент повышения теплотехнической однородности конструкции составляет $r_{зaz} = 1,052$.

Коэффициент теплотехнической однородности конструкции $r = 0,82$.

Рассчитанное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены $3,86 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ больше требуемого по табл. 4 СНиП 23-02-2003 $R_o^{mp} = 3,13 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и минимальная температура на внутренней поверхности стены выше точки росы, значит, **исследуемая стена удовлетворяет действующим нормам по энергосбережению.**

Для второго типового узла расчетный участок представляет собой цилиндр диаметром 500 мм и шириной 430 мм, на оси цилиндра располагается кронштейн. Расчетная область была разбита на 27 тысяч ячеек (125×215).

В результате расчета получено температурное поле исследуемого узла конструкции (рис. П1.4), по которому можно заключить следующее.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены, рассчитанное в соответствии с указаниями СНиП 23-02-2003 [30] без учета влияния воздушного зазора составляет $R_{\text{СНиП}}^{\text{np}} = 3,08 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, с учетом влияния воздушного зазора сопротивление теплопередаче стены составляет $R_o^{\text{np}} = 3,26 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (характеристики воздушного зазора рассчитываются в п.п. 6.4 данного отчета).

При температуре наиболее холодной пятидневки минимальная температура, достигаемая на внутренней поверхности стены составляет $\tau_g = 18,0 \text{ °C}$, что заметно выше точки росы $10,7 \text{ °C}$, т.е. выпадение конденсата при расчетных параметрах внутреннего воздуха происходить не будет.

Температура в центре анкерной гильзы составила $10,3 \text{ °C}$.

Средний коэффициент повышения теплотехнической однородности конструкции составляет $r_{\text{аз}} = 1,058$.

Коэффициент теплотехнической однородности конструкции $r = 0,69$.

Рассчитанное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены $3,26 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ близко к требуемому по табл. 4 СНиП 23-02-2003 [30] $R_o^{\text{тp}} = 3,27 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, и больше значения, рассчитанного из санитарно-гигиенических требований $1,38 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$ и минимального допустимого приведенного сопротивления теплопередаче стен для Москвы $2,06 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$, указанного в п.5.13 [30]. Исследуемая стена будет удовлетворять действующим нормам по энергосбережению при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

6.3. Расчет влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные характеристики исследуемой конструкции.

Влияние продольной фильтрации воздуха в утеплителе на потери теплоты через конструкцию определяется по методике опубликованной в статье [24], для простенка между окнами наименьшей ширины – участка конструкции подверженного наибольшему влиянию продольной фильтрации.

Ограничения на расчетное сопротивление теплопередаче конструкции с учетом фильтрации воздуха в слое теплоизоляции межоконного простенка осуществляются для следующих трех случаев:

1. Значение приведенного сопротивления теплопередаче межоконных простенков с учетом продольной фильтрации воздуха через утеплитель рассчитанное при температуре и скорости движения наружного воздуха средних за отопительный период должно быть не менее чем 0,63 от величины, определяемой требованиями «энергосбережения» СНиП 23-02-2003 [30].
2. Значение приведенного сопротивления теплопередаче межоконных простенков с учетом продольной фильтрации воздуха через утеплитель рассчитанное при температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе должно быть не менее требуемого по санитарно-гигиеническим условиям.
3. Минимальная температура на оконном откосе в последнем случае не должна быть ниже точки росы.

Потери теплоты через конструкцию находятся расчетом двухмерного температурного поля простенка между окнами. Проводится три расчета выбранной конструкции. Первый расчет, без учета фильтрации воздуха, проводится по методике описанной в прил.3 с использованием уравнения теплопереноса (ПЗ.1*). Второй и третий расчеты, с учетом фильтрации воздуха, проводятся по методике описанной в прил.3 с использованием уравнения теплопереноса (ПЗ.1**). Второй расчет проводится для температуры и скорости движения наружного воздуха, средних за отопительный период. Третий расчет проводится для температуры наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе.

Например, для Москвы по климатическому СНиПу средняя скорость ветра за отопительный период составляет 3,8 м/с, соответствующий ей градиент давления 4,3 Па/м при пересчете на высоту 200 м градиент давления составит 19,4 Па/м. Градиент давления для наиболее холодной пятидневки принимается равным 194 Па/м. Такие значения приняты на основании анализа методики расчета ветровой нагрузки СНиП «Нагрузки и воздействия» [39].

В расчетах не учитывается сопротивление движению воздуха, создаваемое облицовкой. Это сопротивление несколько снижает скорость движение воздуха в утеплителе, поэтому полученные результаты теплопотерь за счет продольной фильтрации несколько завышены и обеспечивают выполнение введенных ограничений с некоторым запасом.

Проведен расчет влияния продольной фильтрации в утеплителе на теплотехнические характеристики конструкций на примере двух видов

межоконных простенков. Расчетные межоконные простенки отличаются длиной: у первого простенка длина 900 мм, у второго - 1200 мм. Для каждого типа простенков рассчитаны температурные поля для средней за отопительный период температуры наружного воздуха и для наиболее холодных суток. Расчеты проведены для трех высот: 200 м, 120 м, 60 м.

На высоте 200 м.

Для простенка между окнами в 900 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,31 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.5), с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами составляет $R_{\phi}^{np} = 1,88 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.6), что меньше требуемого значения $2,06 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Дополнительные теплопотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 23%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 0,87 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.7), что меньше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $8,9 \text{ °C}$, что ниже точки росы, равной $10,7 \text{ °C}$. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет $16,1 \text{ °C}$.

Таким образом, все три введенные выше критерия допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе не выполняются. Фильтрация через простенок между окнами длиной 900 мм на высоте 200 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями. Наиболее жестким ограничением на величину продольной фильтрации в утеплителе для данной конструкции оказалось второе.

Для простенка между окнами в 1200 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,61 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.8), с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами составляет $R_{\phi}^{np} = 2,18 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.9), что

больше требуемого значения $2,06 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$. Дополнительные теплопотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 20%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 0,98 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ (температурное поле приведено на рис. П1.10), что меньше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $8,9 \text{ °С}$, что ниже точки росы, равной $10,7 \text{ °С}$. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет $16,2 \text{ °С}$.

Таким образом, из трех критериев допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе выполняется только первый. Фильтрация через простенок между окнами длиной 1200 мм на высоте 200 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями. Наиболее жестким ограничением на величину продольной фильтрации в утеплителе для данной конструкции оказалось второе.

В результате расчетов влияния продольной фильтрации в утеплителе на теплозащитные характеристики фасадной конструкции на высоте 200 м утеплитель с данной воздухопроницаемостью нуждается в дополнительной ветрозащите. Ее рекомендуется установить полосами вдоль всех выступов, углов и оконных откосов. На сплошных участках ветрозащита не требуется. По оконным откосам ветрозащита должна огибать боковую грань и плотно прилегать к оконному блоку при этом ширина полосы из ветрозащиты **на внешней плоскости плиты утеплителя** должна составлять 250 – 300 мм. По углам здания ширина полосы из ветрозащиты **на внешней плоскости плиты утеплителя** должна составлять 450 - 500 мм в каждую сторону от угла.

Чтобы определить высоту, начиная с которой требуется установка ветрозащитного покрытия, проводятся дополнительные расчеты приведенного сопротивления теплопередаче простенка и минимальной температуры на внутренней поверхности стены для высоты 120 м и 60 м.

На высоте 120 м. (градиент давления составит 15 Па/м и 150 Па/м)

Для простенка между окнами в 900 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,31 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$, с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами

составляет $R_{\phi}^{np} = 2,01 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.11), что несколько меньше требуемого значения $2,03 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Дополнительные теплотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 15%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 0,95 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.12), что меньше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $9,8 \text{ }^\circ\text{С}$, что ниже точки росы, равной $10,7 \text{ }^\circ\text{С}$. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет $16,2 \text{ }^\circ\text{С}$.

Таким образом, все три введенные выше критерия допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе не выполняются. Фильтрация через простенок между окнами длиной 900 мм на высоте 120 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями. Наиболее жестким ограничением на величину продольной фильтрации в утеплителе для данной конструкции оказалось второе.

Для простенка между окнами в 1200 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,61 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами составляет $R_{\phi}^{np} = 2,3 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.13), что больше требуемого значения $2,03 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Дополнительные теплотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 13%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 1,08 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.14), что меньше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $9,8 \text{ }^\circ\text{С}$, что ниже точки росы, равной $10,7 \text{ }^\circ\text{С}$. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет $16,2 \text{ }^\circ\text{С}$.

Таким образом, из трех критериев допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе выполняется только первый. Фильтрация через простенок между окнами длиной 1200 мм на высоте 120 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями.

Наиболее жестким ограничением на величину продольной фильтрации в утеплителе для данной конструкции оказалось второе.

Так как первый критерий допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе оказался наиболее мягким, он не влияет на установку ветрозащиты и для высоты 60 м не проверяется.

На высоте 60 м. (градиент давления составит 10,6 Па/м и 106 Па/м)

Для простенка между окнами в 900 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,31 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 1,08 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (рис. П1.15), что меньше требуемого значения 1,38 $\text{м}^2\text{°C/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет 10,9 °С, что выше точки росы, равной 10,7 °С. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет 16,2 °С.

Таким образом, только второй критерий допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе не выполняются. Фильтрация через простенок между окнами длиной 900 мм на высоте 60 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями.

Для простенка между окнами в 1200 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,61 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 1,23 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (рис. П1.16), что меньше требуемого значения 1,38 $\text{м}^2\text{°C/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет 10,9 °С, что выше точки росы, равной 10,7 °С. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет 16,2 °С.

Таким образом, только второй критерий допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе не выполняются. Фильтрация через

простенок между окнами длиной 1200 мм на высоте 60 м слишком велика и должна быть снижена строительными мероприятиями.

Проведенные расчеты показывают, что для высот 60 м, 120 м и 200 м для данной конструкции простенка между окнами требуется применение ветрозащиты. Рекомендуется установить ветрозащитное покрытие на всю высоту здания полосами вдоль всех выступов, углов и оконных откосов. На сплошных участках ветрозащита не требуется. По оконным откосам ветрозащита должна огибать боковую грань и плотно прилегать к оконному блоку при этом ширина полосы из ветрозащиты **на внешней плоскости плиты утеплителя** должна составлять 250 – 300 мм. По углам здания ширина полосы из ветрозащиты **на внешней плоскости плиты утеплителя** должна составлять 450 - 500 мм в каждую сторону от угла.

На высоте 200 м с ветрозащитным покрытием.

Для простенка между окнами в 900 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,31 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами составляет $R_{\phi}^{np} = 2,3 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (температурное поле совпадает с рис. П1.5), что больше требуемого значения $2,06 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Дополнительные теплотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 0,5%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 1,92 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.17), что больше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $14,5 \text{ }^\circ\text{С}$, что выше точки росы, равной $10,7 \text{ }^\circ\text{С}$. Следует отметить, что без учета фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет $16,2 \text{ }^\circ\text{С}$.

Таким образом, все три критерия допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе выполняются. Предлагаемые мероприятия по установке ветрозащитного покрытия достаточны.

Для простенка между окнами в 1200 мм приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное без учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,61 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, с учетом влияния продольной фильтрации для средних за отопительный период скоростей ветра приведенное сопротивление теплопередаче простенка между окнами составляет $R_{\phi}^{np} = 2,59 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (температурное поле совпадает с рис. П1.8), что больше требуемого значения $2,06 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Дополнительные теплотери, вызванные продольной фильтрацией воздуха в утеплителе, составят 1%.

При температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодных суток и при скорости ветра равной наибольшей среднесуточной в январе приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитанное с учетом влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе, составляет $R_0^{np} = 2,15 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (рис. П1.18), что больше требуемого значения $1,38 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены достигается на оконном откосе с подветренной стороны и составляет $14,5 \text{ }^\circ\text{С}$, что выше точки росы, равной $10,7 \text{ }^\circ\text{С}$. Следует отметить, что без учета

фильтрации воздуха в утеплителе минимальная температура на оконном откосе оставляет 16,2 °С.

Таким образом, все три критерия допустимости величины продольной фильтрации в утеплителе выполняются. Предлагаемые мероприятия по установке ветрозащитного покрытия достаточны.

В некоторых случаях возможен отказ от установки ветрозащитного покрытия до высоты 75 м при тщательной проработке узлов установки светопрозрачных конструкций. Однако, в качестве общего решения, представляется целесообразным установка ветрозащиты полосами по всей высоте здания, как это рекомендовано выше.

6.4. Расчет температуры и скорости движения воздуха в воздушном зазоре.

В результате расчета определяется скорость движения воздуха, температура воздуха и коэффициент теплообмена в вентилируемом воздушном зазоре для наиболее холодного месяца. В данном случае наиболее холодный месяц январь и $t_n = -10,2$ °С.

Дополнительное эффективное термическое сопротивление, создаваемое воздушным зазором, определяется по формуле:

$$R_{\text{зазора}}^{\text{эф}} = R_{\text{с}} \frac{t_{\text{ср}} - t_n}{t_{\text{с}} - t_{\text{ср}}} + \left(\frac{1}{\alpha_{\text{заз}}} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \frac{t_{\text{с}} - t_n}{t_{\text{с}} - t_{\text{ср}}} \quad (6.4)$$

В данном случае $R_{\text{зазора}}^{\text{эф}} = 0,19$ м²°С/Вт.

Для проведения расчетов влажностного режима конструкции необходима величина сопротивления влагоотдаче наружного слоя, создаваемого воздушным зазором и ветрозащитой. Условное среднее сопротивление влагоотдаче наружного слоя, создаваемого воздушным зазором и ветрозащитой, определяется по формуле [6]:

$$R_n^n = R_{\text{вет}}^n + \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ос}}^n} + \frac{28573}{1 + \frac{t_{\text{ср}}}{273}} \cdot \frac{\delta_{\text{заз}}}{h} \cdot V_{\text{заз}}} \quad (6.5)$$

В данном случае $R_n^n = R_{\text{вет}}^n + 0,15$ м²·ч·Па/мг.

6.5. Расчет нестационарного влажностного режима исследуемой конструкции.

Нестационарный влажностный режим рассчитывается по методике [7] и приведенной в прил. 4. Внутреннее сопротивление влагообмену принято равным $0,02 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$. Для обоих типов исследуемых стен проведены расчеты влажностного режима без ветрозащиты и с ветрозащитой с сопротивлением паропроницанию $0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

На наружной границе сопротивление влагоотдаче принято равным: $0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ для случая стены без ветрозащитного покрытия и $0,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ для случая стены с ветрозащитным покрытием.

Для стены первого типа (основание из железобетона) без ветрозащиты графики распределения влажности по толщине ограждающей конструкции приведены на рис. П1.19, П1.20.

Квазистационарный влажностный режим конструкции устанавливается через 2 года после начала эксплуатации здания. Максимальная влажность утеплителя достигается в декабре на наружной границе стены и составляет 2,0% влажности по массе (относительная влажность воздуха 92%). Максимальная влажность меньше максимальной сорбционной. Влагонакопление в годовом периоде эксплуатации отсутствует. Требования СНиП 23-02-2003 к влажностному режиму ограждающих конструкций выполнены.

Средние влажности всех слоев конструкции в месяц наибольшего увлажнения заметно меньше величины приведенной в СНиП II-3-79*, что обеспечивает для материалов режим эксплуатации более благоприятный, чем предусмотрено расчетными условиями Б.

Для стены второго типа (основание из кирпичной кладки) без ветрозащиты графики распределения влажности по толщине ограждающей конструкции приведены на рис. П1.21, П1.22.

Квазистационарный влажностный режим конструкции устанавливается через 1 год после начала эксплуатации здания. Максимальная влажность утеплителя достигается в январе на наружной границе стены и составляет 4,3% влажности по массе (относительная влажность воздуха 100%). Максимальная влажность равна максимальной сорбционной. Влагонакопление в годовом периоде эксплуатации отсутствует. Требования СНиП 23-02-2003 к влажностному режиму ограждающих конструкций выполнены.

Средние влажности всех слоев конструкции в месяц наибольшего увлажнения заметно меньше величины приведенной в СНиП II-3-79*, что обеспечивает для материалов режим эксплуатации более благоприятный, чем предусмотрено расчетными условиями Б.

Проведенные расчеты показывают, что без ветрозащиты влажностный режим стены удовлетворительный и нуждается в проверке лишь выпадение конденсата на облицовке. В случае установки сплошной ветрозащиты по гледи стены ее сопротивление паропроницанию должно быть не более $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ по бетонным стенам и $0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ по кирпичным стенам.

Для стены первого типа с ветрозащитой графики распределения влажности по толщине ограждающей конструкции приведены на рис. П1.23, П1.24.

Квазистационарный влажностный режим конструкции устанавливается через 2 года после начала эксплуатации здания. Максимальная влажность утеплителя достигается в декабре на наружной границе стены и составляет 4,8% влажности по массе (относительная влажность воздуха 100%). Максимальная влажность больше максимальной сорбционной. Влагонакопление в годовом периоде эксплуатации отсутствует. Требования СНиП 23-02-2003 к влажностному режиму ограждающих конструкций выполнены.

Средние влажности всех слоев конструкции в месяц наибольшего увлажнения заметно меньше величины приведенной в СНиП II-3-79*, что обеспечивает для материалов режим эксплуатации более благоприятный, чем предусмотрено расчетными условиями Б.

Для стены второго типа с ветрозащитой наблюдается значительное увлажнение внешнего слоя минеральной ваты. Максимальная влажность превышает 30% по массе, поэтому графики распределения влажности по толщине ограждающей конструкции не приводятся. Такая конструкция нуждается в улучшении.

В случае установки ветрозащитного покрытия сплошным слоем, в качестве доработки конструкции с целью снизить эксплуатационную влажность утеплителя и предотвратить обледенение ветрозащиты рекомендуется установка пароизоляции между слоями кирпичной кладки и минеральной ваты. В качестве пароизоляции рекомендуется выбрать полиэтиленовую пленку или аналогичный ее материал с сопротивлением паропроницанию $7,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Для стены второго типа с ветрозащитой и пароизоляцией графики распределения влажности по толщине ограждающей конструкции приведены на рис. П1.25, П1.26.

Квазистационарный влажностный режим конструкции устанавливается через 1 год после начала эксплуатации здания. Максимальная влажность утеплителя достигается в декабре на наружной

границе стены и составляет 1,7% влажности по массе (относительная влажность воздуха 91%). Максимальная влажность меньше максимальной сорбционной. Влагонакопление в годовом периоде эксплуатации отсутствует. Требования СНиП 23-02-2003 к влажностному режиму ограждающих конструкций выполнены.

Средние влажности всех слоев конструкции в месяц наибольшего увлажнения заметно меньше величины приведенной в СНиП II-3-79*, что обеспечивает для материалов режим эксплуатации более благоприятный, чем предусмотрено расчетными условиями Б.

6.6. Проверка насыщения воздуха в воздушном зазоре водяным паром.

Влажность воздуха в воздушном зазоре, как и температура, неравномерно распределена по высоте зазора. Поднимаясь, воздух постепенно насыщается водяным паром и, начиная с некоторой высоты, возможно, не будет обеспечивать требуемого влагоудаления из утеплителя. Для предотвращения этого явления проводится расчет влажности воздуха на выходе из воздушного зазора в наиболее холодном месяце.

Парциальное давление водяного пара в воздушном зазоре описывается формулой аналогичной формуле (6.3):

$$e_{\text{заз}} = e_0 - (e_0 - e_n) \cdot \exp\left(-\frac{H}{x_1}\right) \quad (6.6)$$

где $e_0 = \frac{\frac{e_s}{R_s^n} + \frac{e_n}{R_{об}^n}}{\frac{1}{R_s^n} + \frac{1}{R_{об}^n}}$ - давление водяного пара, к которому стремится воздух в

зазоре, Па;

$x_1 = \frac{22100 \cdot V_{\text{заз}} \cdot \delta_{\text{заз}} \cdot \gamma_s}{\frac{1}{R_s^n} + \frac{1}{R_{об}^n}}$ - условная высота влагонасыщения воздуха в

воздушном зазоре, м;

$R_{об}^n$ – сопротивление паропрооницанию облицовки фасада, м²·ч·Па/мг;

e_n – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па.

$$e_0 = \frac{\frac{1286}{7,6} + \frac{222}{0,33}}{\frac{1}{7,6} + \frac{1}{0,33}} = 267 \text{ Па.}$$

$$x_1 = \frac{22100 \cdot 0,3 \cdot 0,04 \cdot \frac{353}{264}}{\frac{1}{7,6} + \frac{1}{0,33}} = 113 \text{ м.}$$

$$e_{\text{зая}} = 267 - (267 - 222) \cdot \exp\left(-\frac{60}{113}\right) = 241 \text{ Па.}$$

Давление насыщенного водяного пара при средней температуре воздуха в воздушном зазоре ($t_{cp} = -8,6^\circ\text{C}$) равно 293 Па, а при средней температуре января 255 Па.

Парциальное давление водяного пара на выходе из воздушного зазора должно быть не больше парциального давления насыщенного водяного пара при температуре наружного воздуха. Такое требование обеспечивает отсутствие конденсата и обледенения на облицовке при эксплуатации здания.

Полученное расчетом значение парциального давления водяного пара на выходе из воздушного зазора меньше парциального давления насыщенного водяного пара при температуре наружного воздуха. Конденсат на внутренней поверхности облицовочной плитки выпадать не будет.

6.7. Расчет требуемой величины сопротивления воздухопроницанию исследуемой конструкции.

Сопротивление воздухопроницанию конструкции для стены с основанием из железобетона заведомо превышает требуемое значение, поэтому эта конструкция не исследуется.

Для стены второго типа проводится расчет требуемой величины сопротивления воздухопроницанию.

Критическая воздухопроницаемость $G^{кр}$ стены с облицовкой на основе, кг/(м²·ч), определяется по формуле:

$$G^{кр} = \frac{\Gamma}{6,14 \cdot R_0^n} \quad (6.7)$$

где Γ – безразмерный параметр, получаемый из решения безразмерного уравнения, описывающего движение влаги в материале конструкции [15] для данной конструкции по данным НИИСФ $\Gamma=0,76$;

R_0^n – полное сопротивление паропроницанию стены, м²·ч·Па/мг.

Полное сопротивление паропроницанию стены определяется как сумма сопротивлений паропроницанию всех слоев конструкции плюс сопротивления влагообмену на наружной и внутренней поверхностях стены. В рассматриваемом случае:

$$R_0^n = 0,02 + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,18}{0,5} + 0,3 = 3,1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Следовательно:

$$G^{кр} = \frac{0,76}{6,14 \cdot 3,1} = 0,04 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию стены определяется по формуле:

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta p}{G^{кр}} \quad (6.8)$$

где Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, Па, определяемая по п.п. 5.2 СНиП II-3-79*.

$$\Delta p = 0,55 \cdot H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2 \quad (6.9)$$

где H – высота здания от уровня земли до верха карниза, м;

γ_n, γ_v – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемые по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t} \quad (6.10)$$

t – температура воздуха, °С;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь.

Для высоты 200 м, для января месяца.

$$\Delta p = 0,55 \cdot 200 \cdot (13,18 - 11,82) + 0,03 \cdot 13,18 \cdot 8^2 = 175 \text{ Па}$$

$$R_u^{mp} = \frac{175}{0,04} = 4375 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$$

Сопротивление воздухопроницанию определяется по п.п. 5.4. СНиП П-3-79*. Для исследуемой конструкции расчетное значение сопротивления воздухопроницанию составляет $R_u = 390 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$. Сопротивление воздухопроницанию значительно меньше требуемого, поэтому конструкция нуждается в доработке.

Для предотвращения эксфильтрации воздуха через стену с основанием из кирпичной кладки требуются строительные мероприятия. Установка облицовки из гипсокартонных листов, оштукатуривание внутренней поверхности стены цементно-песчаным раствором на высоте 200 м не обеспечивают требуемое сопротивление воздухопроницанию. Требуется установка пароизоляционной пленки между слоями кирпичной кладки и минеральной ваты. Такое расположение пароизоляции целесообразно с точки зрения минимизации рисков её повреждения в процессе эксплуатации.

Сопротивление воздухопроницанию конструкции по бетону заведомо превышает требуемое значение.

7. Экспериментальные исследования эмиссии волокна из стекловолокнистых плит теплоизоляции вентилируемого фасада.

7.1. Описание экспериментальной установки.

Для экспериментального исследования эмиссии волокна из стекловолокнистых плит, применяющихся в вентилируемых фасадах, была разработана и изготовлена экспериментальная установка, представляющая собой ящик в форме прямоугольного параллелепипеда (рис. 7.1).

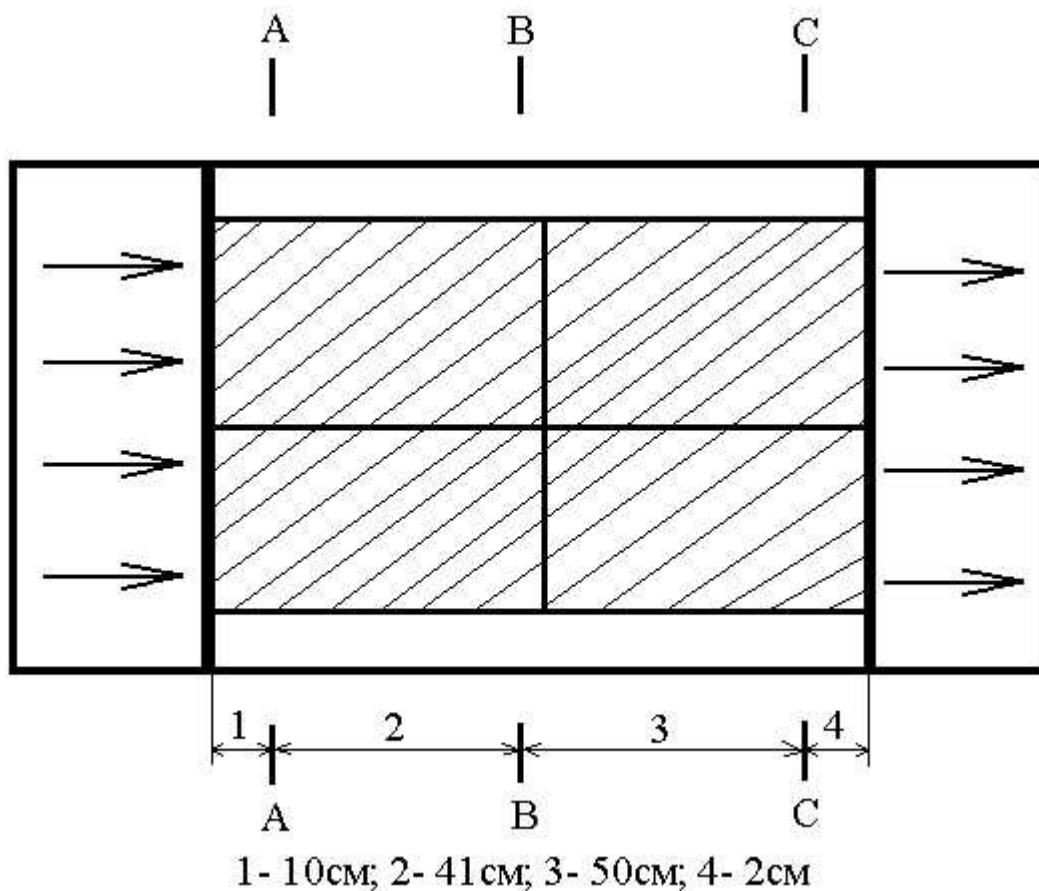


Рис. 7.1. Схема экспериментальной установки для исследования эмиссии волокна из минераловатной плиты.

Скорость воздуха, омывающего поверхность образцов регистрировалась при помощи термоанемометров Testo 425 (технические характеристики представлены в таблице ниже) штанговые зонды которых выставлялись над поверхностью образцов в сечениях А-А, В-В, С-С с помощью соответствующих технологических отверстий в боковых стенках установки.

Диапазон измерений температуры	-20 ... +70°C
--------------------------------	---------------

Точность	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Диапазон измерений скорости потока	0 ... 20 м/с
Точность	$\pm(0,03\text{м/с} + 5\% \text{ от измеренного значения})$
Расход	0 ... 99999 м ³ /час

При проведении эксперимента, из-за нарастания пограничного слоя максимальная скорость в указанных последовательных сечениях нарастала: в сечении А-А – 10 м/с, в сечении В-В – 11 м/с, в сечении С-С – 12 м/с. Конструкция установки позволяет регулировать скорость обдува поверхности образцов, в пределах до 16 м/с в сечении С-С, опусканием крышки ящика.

Для обеспечения равномерности потока воздуха над поверхностью исследуемых образцов конструкция воздухозаборной щели выполнена в виде плавного щелевого конфузора (рис.7.2).



IMG_1037

Рис.7.2. Воздухозаборная щель экспериментальной установки.

На входе в конфузор в области минимальных скоростей потока установлен фильтр, предотвращающий попадание крупнодисперсных пылевых частиц из воздуха на экспериментальные образцы.

Объектом испытаний были плиты из штапельного стекловолокна марок П15, П30 и П45 толщиной 0,05 м.

Для проведения исследований было вырезано (из одних и тех же плит) по два образца в форме квадратных пластин размером 0,25×0,25 м.

Образцы были увлажнены до влажности 10% по массе и запечатаны в полиэтиленовые пакеты. В таком состоянии образцы были подвергнуты 100 циклам замораживания – оттаивания в климатической камере. Замораживание происходило в течение не менее 6 часов при температуре $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Оттаивание проводилось в течение не менее 6 часов при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. После проведения циклов замораживания-оттаивания образцы были высушены и подготовлены для проведения эксперимента на эмиссию волокна. Два запасных образца, вырезанные из плит П30 (образец 3а) и П45 (образец 3б) были размещены в декабре 2005 года на улице, в луже, в результате чего полностью обледенели, после образцы были разморожены и высушены до влажности 40% по массе.

Боковые грани образцов были частично закрыты полиэтиленовой пленкой. Нижняя грань была закрыта пленкой полностью. Шестая грань, с которой исследовалась эмиссия волокна, оставалась открытой.

Подготовленные таким образом образцы укладывались в ящик так, что струя воздуха, всасываемая вентилятором через воздухозаборную щель, проходила над их верхней неизолированной поверхностью. Образцы удерживаются в фиксированном положении натянутыми проволоками. Для возможности извлечения образцов из экспериментальной установки, они были оснащены проволочными петлями. Ящик с уложенными в нем образцами был закрыт сверху крышкой. Образцы были уложены в ящик следующим образом. В первом ряду у конфузора расположены образцы № 1 и 2 из плиты марки П15. Во втором ряду расположены образцы № 4 плиты П30 и № 5 плиты П45. За этими образцами в третьем ряду расположены соответственно образцы № 3 плиты П30 и № 6 плиты П45 (рис.7.3).



Рис.7.3. Образцы для проведения эксперимента, уложенные в установку.

Собранная экспериментальная установка представлена на рис.7.4.



Рис.7.4. Работающая установка.

Взвешивание образцов проводилось в том же помещении на электронных весах марки Т – 310R (технические характеристики представлены в таблице ниже).

Индекс весов	Т-310R
Наибольший предел взвешивания, г	3100
Наименьший предел взвешивания, г	0,5
Дискретность, d, мг	10
Класс точности по МОЗМ №76-I	II
Линейность, ±мг	30
Класс точности по ГОСТ 24104-88	3
Диапазон выборки массы тары	Весь диапазон взвешивания
Среднее время стабилизации	3 секунды
Диапазон рабочих температур	+15°C ... +30°C

7.2. Проведение эксперимента и полученные результаты.

Перед началом эксперимента все исследуемые образцы были взвешены по 4 раза. Среднее значение массы каждого образца по четырем взвешиваниям принято за начальную массу образца m_0 .

Эксперимент был начат 07 декабря 2005 года и продолжается до настоящего времени. 21 марта 2006 года образцы 3 и 6 были заменены образцами 3а и 6а соответственно. Средняя скорость обдува поверхности образцов в начале эксперимента была равной от 5 до 8,5 м/с. Затем, с 25 января 2006 года скорость была увеличена до 15 м/с. Температура воздуха в помещении, где проводился эксперимент, составляла $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Относительная влажность воздуха – $48 \div 83\%$.

В процессе проведения эксперимента с произвольным интервалом проводились взвешивания образцов, а также измерение влажности воздуха в помещении. Результаты измерений массы образцов представлены в табл. 7.1.

Абсолютное изменение массы образцов вычислялось по формуле:

$$\Delta m = m - m_0 \quad (7.1)$$

где Δm - абсолютное изменение массы образца, г;

m – текущее значение массы образца, г;

m_0 – начальная масса образца, г.

Результаты определения абсолютного изменения массы образцов приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.1.

Результаты взвешиваний образцов при проведении эксперимента.

Дата взвешивания.	Масса соответствующего образца, г						Влажность, %
	1	2	3	4	5	6	
07.12.05	51,99	54,58	170,90	120,18	122,68	122,16	64,00
08.12.05	51,98	54,58	170,90	120,17	122,69	122,16	64,00
09.12.05	51,98	54,58	170,89	120,17	122,66	122,16	55,00
12.12.05	51,98	54,57	170,87	120,15	122,64	122,14	54,00
13.12.05	51,99	54,59	170,90	120,18	122,67	122,16	57,00
14.12.05	51,99	54,59	170,88	120,15	122,66	122,16	57,00
19.12.05	52,00	54,59	170,91	120,18	122,68	122,17	62,00
21.12.05	51,99	54,57	170,86	120,13	122,65	122,13	54,00
22.12.05	51,97	54,55	170,82	120,12	122,63	122,13	49,00
23.12.05	51,96	54,54	170,79	120,12	122,60	122,12	48,00
26.12.05	51,95	54,54	170,77	120,09	122,59	122,10	47,00
27.12.05	51,95	54,53	170,75	120,09	122,58	122,08	74,00
11.01.06	51,98	54,59	170,78	120,11	122,62	122,13	74,00
12.01.06	51,99	54,58	170,79	120,12	122,62	122,12	74,00
16.01.06	51,99	54,59	170,78	120,11	122,62	122,12	67,00
20.01.06	51,95	54,55	170,66	120,04	122,54	122,06	73,00
24.01.06	51,95	54,55	170,66	120,04	122,53	122,04	72,00
25.01.06	51,97	54,55	170,65	120,03	122,55	122,04	75,00
30.01.06	51,98	54,56	170,58	120,06	122,58	122,07	77,00
03.02.06	51,97	54,56	170,22	120,03	122,54	122,02	76,00
15.02.06	52,04	54,62	170,35	120,05	122,59	122,14	76,00
24.02.06	52,08	54,70	170,44	120,10	122,65	122,21	77,00
10.03.06	52,09	54,70	170,38	120,05	122,63	122,21	76,00
21.03.06	52,12	54,75	170,47	120,09	122,66	122,30	76,00
21.03.06	52,12	54,75	116,14*	120,09	122,66	135,27*	76,00
09.04.06	52,17	54,82	116,15*	120,16	122,73	135,34*	69,00
27.04.06	52,21	54,84	116,12*	120,14	122,72	135,28*	80,00
20.06.06	52,61	55,14	116,31*	120,35	123,01	135,56*	76,00
24.08.06	52,89	55,44	116,68*	120,66	123,35	135,93*	83,00
24.10.06	52,95	55,50	116,64*	120,60	123,30	135,90*	76,00
19.01.07	53,33	55,80	116,83*	120,62	123,34	136,04*	68,00

Таблица 7.2.

Результаты определения абсолютного изменения массы образцов.

Дата взвешивания.	Масса соответствующего образца, г					
	1	2	3	4	5	6
07.12.05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08.12.05	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00
09.12.05	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	0,00
12.12.05	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,04	-0,02
13.12.05	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00
14.12.05	0,00	0,01	-0,02	-0,03	-0,02	0,00
19.12.05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
21.12.05	0,00	-0,01	-0,04	-0,05	-0,03	-0,03
22.12.05	-0,02	-0,03	-0,08	-0,06	-0,05	-0,03
23.12.05	-0,03	-0,04	-0,11	-0,07	-0,08	-0,04
26.12.05	-0,04	-0,04	-0,13	-0,09	-0,09	-0,06
27.12.05	-0,04	-0,05	-0,15	-0,09	-0,10	-0,08
11.01.06	-0,01	0,01	-0,12	-0,07	-0,06	-0,03
12.01.06	0,00	0,00	-0,11	-0,06	-0,06	-0,04
16.01.06	0,00	0,01	-0,12	-0,07	-0,06	-0,04
20.01.06	-0,04	-0,03	-0,24	-0,14	-0,14	-0,10
24.01.06	-0,04	-0,03	-0,24	-0,14	-0,15	-0,12
25.01.06	-0,02	-0,03	-0,25	-0,15	-0,13	-0,12
30.01.06	-0,01	-0,02	-0,32	-0,12	-0,10	-0,09
03.02.06	-0,02	-0,02	-0,68	-0,15	-0,14	-0,14
15.02.06	0,05	0,04	-0,55	-0,13	-0,09	-0,02
24.02.06	0,09	0,12	-0,46	-0,08	-0,03	0,05
10.03.06	0,10	0,12	-0,52	-0,13	-0,05	0,05
21.03.06	0,13	0,17	-0,43	-0,09	-0,02	0,14
21.03.06	0,13	0,17	0,00	-0,09	-0,02	0,00
09.04.06	0,18	0,24	0,01	-0,02	0,05	0,07
27.04.06	0,22	0,26	-0,02	-0,04	0,04	0,01
20.06.06	0,62	0,56	0,17	0,17	0,33	0,29
24.08.06	0,90	0,86	0,54	0,48	0,67	0,66
24.10.06	0,96	0,92	0,50	0,42	0,62	0,63
19.01.07	1,34	1,22	0,69	0,44	0,66	0,77

7.3 Анализ полученных результатов.

Результаты эксперимента показали, что изменение массы образцов по сравнению с начальной, мало как по абсолютному значению, так и по относительной величине. Это изменение практически не менялось на протяжении всего эксперимента. Отрицательный знак перед полученными величинами показывает, что на начальном этапе эксперимента произошел унос незакрепленных волокон и случайного мусора с поверхности экспериментальных образцов. При проведении эксперимента эмиссия волокон практически отсутствовала. Полученные незначительные колебания изменения массы образцов в процессе проведения эксперимента возможно объяснить случайными причинами, в том числе - колебаниями влажности воздуха (рис 7.5).

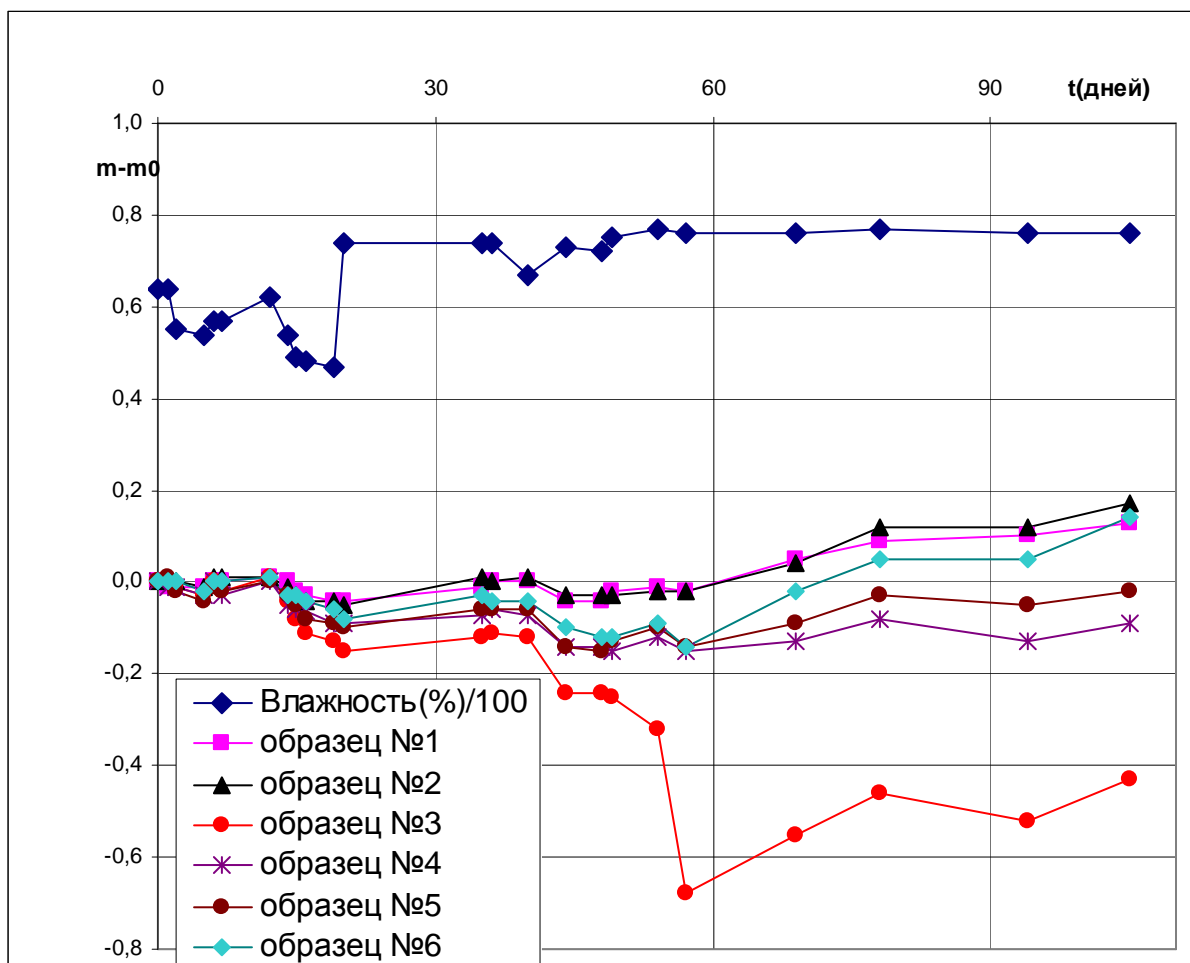


Рис.7.5. Абсолютное изменение массы образцов и изменение влажности.

Следует отметить, что нехарактерное изменение массы у образца №3 в районе 50х дней проведения эксперимента вызвано отрывом 2х “крупных” кусков от стекловолоконистой плиты. Данное явление было вызвано тем, что места отрыва имели нехарактерную структуру в виде сравнительно крупного образования (с относительно большим

аэродинамическим сопротивлением) связанного с образцом небольшим “перешейком” (с относительно невысокой прочностью на отрыв).

В отличие от влияния изменения влажности окружающего воздуха на массу исследуемых образцов, которое было выявлено уже на начальном этапе проведения эксперимента, существует еще один важный фактор влияющий на изменение массы и других параметров (например теплофизических свойств) стекловолоконистой плиты – запыление. Было выявлено увеличение массы образцов к концу эксперимента (рис 7.6-7.7), которое объясняется осаждением мелкодисперсных пылевых частиц на стекловолоконистую плиту. Осаждение частиц на поверхность испытываемых образцов происходит постепенно, вследствие чего влияние данного фактора становится заметным лишь после достаточно “продолжительного периода”.



Рис.7.6. Исследуемые образцы в октябре 2006 года.

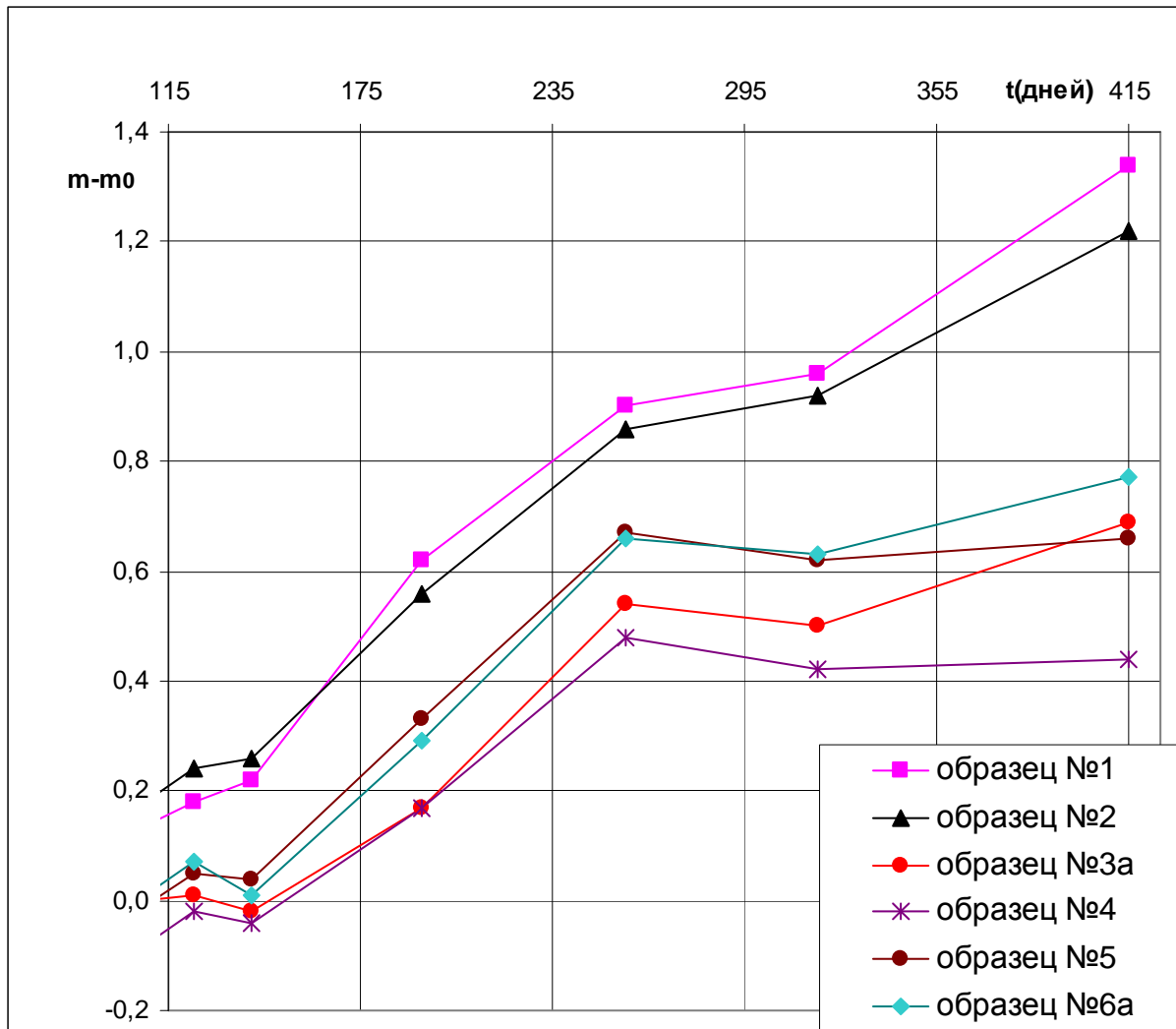


Рис.7.7. Абсолютное изменение массы образцов.

Необходимо сказать, что тенденция в абсолютном изменении массы образцов №1-2 несколько отличается от тенденции образцов №3а, 4, 5, 6а. Данное различие объясняется следующим образом: образцы №1-2 стоят на начальном участке рабочей части (то есть ближе всего к входному сечению), в результате чего, большая часть пыли, всасываемой вместе с воздухом в канал, оседает на первых двух образцах. В результате этого изменение массы влаги, содержащейся в образцах №1-2, оказывается менее значительным, чем увеличение массы за счет оседающей пыли, вследствие чего данные образцы все время набирают массу, а изменение влажности влияет лишь на скорость увеличения общей массы образцов. Образцы №3а, 4, 5, 6а стоят дальше от входного сечения, поэтому пыли осаждающейся на них оказывается гораздо меньше, в результате чего масса данных образцов может даже иметь тенденцию к незначительному снижению (рис. 7.7). Данный вывод также подтверждается тем, что на образцах №1-2 потемнение, вызванное оседанием пыли выражено более сильно, нежели в образцах №3а, 4, 5, 6а (рис. 7.6).

При проведении эксперимента начало происходить продольное отделение слоев стекловолокнистой плиты, а не отделение отдельных волокон (рис. 7.8)



Рис.7.7. Отделение слоев образцов (места отслоения обведены красным).

Особенно сильно отслоение происходило на образцах №1-2 вследствие того, что образцы выступали вверх на 5-7мм относительно нижней границы входного сечения. Окончательного отрыва целых слоев от образцов не происходило из-за наличия натянутых нитей, предотвращающих подъем образцов из-за пониженного давления в канале.

Следует пояснить, что в эксперименте скорость потока в 10-20 раз превышала натурные значения. Таким образом, при правильном проектировании и исполнении явление отслоения в канале вентилируемого фасада маловероятно, но возможно на углах очень высоких зданий при наличии относительно больших промежутков времени между этапом крепления стекловолокнистых плит непосредственно к стене и этапом монтажа облицовочных плит, так как скорость порывов ветра на высотах более 75-ти метров может достигать 25-30 метров, а иногда и более высоких значений [29]. На плоских стенах здания данное явление также возможно, но может быть выражено в меньшей степени. Явление расслоения плит утеплителя свидетельствует о необходимости установки ветрозащитного покрытия по углам здания.

8. Выводы.

1. Проведен анализ проектной документации жилого дома, строящегося по адресу: г. Москва, проспект Маршала Жукова, вл. 72-74. Выделены и исследованы два типа фасадных конструкций:
 - фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из монолитного бетона;
 - фасадная теплоизоляционная система с воздушным зазором, с основанием из керамического кирпича.
 Для каждого типа конструкций рассчитаны характеристики для нижней части здания и для верхней части здания с учетом влияния увеличения с высотой количества кронштейнов и повышения роли продольной фильтрации воздуха.
2. Для нижней части здания приведенное сопротивление теплопередаче стены с основанием из железобетона составляет $R_o^{np} = 3,68 \text{ (м}^2 \text{ °C)/Вт}$, что больше чем требуемое значение по условиям энергосбережения $3,13 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены выше точки росы. **Данная конструкция стены удовлетворяет действующим нормам по энергосбережению.**
3. Для верхней части здания приведенное сопротивление теплопередаче стены с основанием из железобетона составляет $R_o^{np} = 3,03 \text{ (м}^2 \text{ °C)/Вт}$, что меньше требуемого МГСН 4.19-2005 $R_o^{mp} = 3,27 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, но больше значения, рассчитанного из санитарно-гигиенических требований $1,38 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$ и минимального допустимого приведенного сопротивления теплопередаче стен для Москвы $2,06 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$. **Исследуемая стена будет удовлетворять действующим нормам по энергосбережению при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.**
4. Для нижней части здания приведенное сопротивление теплопередаче стены с основанием из кирпичной кладки составляет $R_o^{np} = 3,86 \text{ (м}^2 \text{ °C)/Вт}$, что больше чем требуемое значение по условиям энергосбережения $3,13 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Минимальная температура на внутренней поверхности стены выше точки росы. **Данная конструкция стены удовлетворяет действующим нормам по энергосбережению.**
5. Для верхней части здания приведенное сопротивление теплопередаче стены с основанием из кирпичной кладки составляет

$R_o^{np} = 3,26$ ($\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$), что меньше требуемого МГСН 4.19-2005 $R_o^{mp} = 3,27$ $\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, но больше значения, рассчитанного из санитарно-гигиенических требований $1,38$ ($\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и минимального допустимого приведенного сопротивления теплопередаче стен для Москвы $2,06$ ($\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$). Исследуемая стена будет удовлетворять действующим нормам по энергосбережению при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

6. Для уменьшения влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные качества конструкции рекомендуется установить ветрозащитное покрытие. Ветрозащитное покрытие рекомендуется монтировать полосами вдоль всех выступов, углов и оконных откосов на всей высоте здания. На сплошных участках стен ветрозащита не требуется. По оконным откосам ветрозащита должна огибать боковую грань и плотно прилегать к оконному блоку при этом ширина полосы из ветрозащиты в плоскости стены должна составлять 250 – 300 мм. По углам здания ширина полосы из ветрозащиты должна составлять 450 - 500 мм в каждую сторону от угла. При монтаже ветрозащиты полосами, указанных размеров ограничения по сопротивлению паропроницанию покрытия отсутствуют.
7. При установленном ветрозащитном покрытии (сопротивление воздухопроницанию ветрозащиты не менее $5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$), в соответствии со сделанными выше рекомендациями, все теплотехнические требования к конструкции межоконного простенка с учетом продольной фильтрации воздуха выполняются.
8. В некоторых случаях возможен отказ от установки ветрозащитного покрытия до высоты 75 м при тщательной проработке узлов установки светопрозрачных конструкций. Однако, в качестве общего решения, представляется целесообразным установка ветрозащиты полосами по всей высоте здания, как это рекомендовано выше.
9. Без ветрозащитного покрытия влажностный режим обеих конструкций удовлетворительный. С ветрозащитным покрытием влажностный режим конструкции первого вида (с основанием из железобетона) удовлетворительный, конструкция второго вида (с основанием из кирпичной кладки) переувлажняется. Для нормализации влажностного режима второго вида стены с

ветрозащитным покрытием рекомендуется установить пароизоляцию между слоями кирпичной кладки и теплоизоляционных плит.

10. В связи с ухудшением влажностного режима, для стен с основанием из кирпичной кладки без применения пароизоляции, установка ветрозащитного покрытия недопустима.
11. Проведен расчет насыщения воздуха в воздушном зазоре водяным паром в январе месяце для исследуемой фасадной теплоизоляционной системы с воздушным зазором. Воздух на выходе из зазора не достигает насыщения. Выпадения конденсата и образования наледи на внутренней стороне облицовочной плиты происходить не будет.
12. При создании непрерывного воздушного зазора его высота не должна превышать 140 м. В случае большей высоты непрерывного воздушного зазора его рекомендуется разделить на независимые части меньшего размера.
13. Проведен расчет сопротивления воздухопроницанию исследуемой стены. Требование к сопротивлению воздухопроницанию стены определяется влиянием эксфильтрации на влажностный режим стены. Сопротивление воздухопроницанию по участкам стены с основанием из бетона удовлетворяет требованиям. Сопротивление воздухопроницанию по участкам стены с основанием из кирпичной кладки недостаточно даже при наличии штукатурки. На участках стен с кирпичной кладкой требуется установка пароизоляции между слоями кирпичной кладки и теплоизоляционных плит.
14. Для устранения расслоения плит из штапельного стекловолокна, возникновение которого возможно на углах здания, рекомендуется монтаж ветрозащитного покрытия в виде полос по углам здания.

Список литературы.

1. Мачинский В.Д. Метод теплотехнического расчета вентилируемых воздушных прослоек. // Вестник инженеров. 1940, № 1.
2. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы строительства. - М., 1949. - 328с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 3-е изд. - М., 1953. - 320с.
4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. - М., 1982. - 416с.
5. Табунщиков Ю.А. Теплоустойчивость покрытий с вентилируемой прослойкой. Автореф. дисс. к.т.н. М. ЦНИИпромзданий, 1968.
6. Щербак Н.Н. Разработка и исследование вентилируемых покрытий производственных зданий из панелей каркасного типа. Автореф. дисс. к.т.н. М. ЦНИИпромзданий, 1972.
7. Щербак Н.Н. Оптимальное сечение вентилируемых воздушных прослоек стен с защитными экранами. // В кн. Совершенствование конструкций стен промышленных зданий. М. Стройиздат, 1977.
8. Лукьянов В.И. Метод расчета влажностного состояния наружных ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой для производственных зданий. В кн. Исследования теплозащиты зданий. М., НИИСФ. 1983. Стр. 84 - 93.
9. Лукьянов В.И. Повышение эксплуатационных качеств производственных зданий с мокрым режимом. // В кн. Исследования по строительной теплофизике. М., НИИСФ. 1985. Стр.63 - 66.
10. Лукьянов В.И., Петухова О.А. Осушающее воздействие вентилируемых каналов в наружных стенах промышленных зданий с мокрым режимом эксплуатации. // В кн. Исследования теплоизоляции зданий. М., НИИСФ. 1985. Стр.115- 120.
11. Хомутов А.Ф. Инженерный метод расчета наружных стен зданий с периодически вентилируемой прослойкой. // В кн. Исследования теплозащиты зданий. М., НИИСФ. 1983. Стр.32 - 39.
12. Рекомендации по расчету и конструированию вентилируемых стен промышленных зданий с влажным и мокрым режимами. (В.И.Лукьянов, А.Ф. Хомутов и др.). НИИСФ, М., Стройиздат, 1988.
13. Sedlbauer K., Künzl H.M. Luftkonvektions einflüsse auf den Wärmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwolledämmung. // WKSБ, 1999, Jg. 44, H.43.
14. Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий. М., Стройиздат, 1984, 168 С.
15. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. М., Госстрой России, 2004. С.58.

16. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, №2 стр. 20-26, №3 стр. 20-26.
17. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Расчет сопротивления теплопередаче фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Строительные материалы. 2004, №7, с.
18. Козлов В.В. Метод инженерной оценки влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты при учете паропроницаемости, влагопроводности и фильтрации воздуха. Автореферат канд. техн. наук, М., НИИСФ, 2004.
19. Гагарин В.Г. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов. // Журнал АВОК. 2005, №2 стр. 52-58.
20. Бедаш С.Н., Борисов А.В., Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Козлов В.В., Петров Д.Н. «Расчет аэродинамики и дождевого увлажнения стен высотных зданий». // В кн. Тезисы докладов Научной конференции «Ломоносовские чтения». Секция механики. МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, апрель 2005 г., стр.37-38.
21. Гагарин В.Г. Теплотехнические ошибки при проектировании вентилируемых фасадов. // Стройпрофиль. 2005, №3, стр. 44-47.
22. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В. Учет продольной фильтрации воздуха при оценке теплозащиты стены с вентилируемым фасадом. // Промышленное и гражданское строительство. 2005, №6, с. 42-45.
23. Практическое пособие. Опыт, проблемы и пути совершенствования применения навесных фасадных систем в московском строительстве. М., Правительство Москвы, ГУ «Центр Энлаком», 2005. С.44. (Авторский коллектив Усатова Т.А., Ларин О.А., Бабаян И.С., Магницкая Л.Н., Подольная Г.Н., Гагарин В.Г., Козлов В.В., Казакевич А.В., Беляев В.Ф., Цыкановский Е.Ю.)
24. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В., Мехнецов И.А. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях. Метод оценки теплозащиты стены здания с вентилируемым фасадом с учетом продольной фильтрации воздуха. // Журнал АВОК. 2005, №8 стр. 60-70.
25. Овсянников С.Н., Копаница Н.О., Подласова И.А., Солodников Е.В., Гагарин В.Г., Козлов В.В., Овсянникова Т.Ю. Фасадные системы для сибирского климата. Томск, ТГУ, 2006. 217С.
26. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада. // В кн. «Строительная физика в XXI веке». Научно-техническая конференция посвященная

- 50-летию НИИСФ РААСН. Москва, НИИСФ, 25-27 сентября 2006 г. с.73-80.
- 27.Козлов В.В. Аналитический метод расчета движения воздуха в воздушном зазоре вентилируемого фасада с облицовкой содержащей периодические разрывы. // В кн. «Строительная физика в XXI веке». Научно-техническая конференция посвященная 50-летию НИИСФ РААСН. Москва, НИИСФ, 25-27 сентября 2006 г.
- 28.Гувернюк С.В., Синявин А.А. К расчету естественной конвекции в воздушной прослойке вентилируемого фасада с учетом щелевой проницаемости внешнего ограждения // В кн. «Строительная физика в XXI веке». Научно-техническая конференция посвященная 50-летию НИИСФ РААСН. Москва, НИИСФ, 25-27 сентября 2006 г.
- 29.Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. // Журнал АВОК. 2006, №8 стр. 18-24; 2007 №1 стр. 16-22.
- 30.СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита здания». М., 2004.
- 31.МГСН 2.01-99 "Энергосбережение в зданиях". М., Москомархитектура, 1999.
- 32.МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы» М., Москомархитектура, 2006.
- 33.СНиП 23-01-99 "Строительная климатология" М. 2000.
- 34.Строительные нормы и правила. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника». – М., ГУП ЦПП, 1998.
- 35.СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». М., 2004.
- 36.ГОСТ 25898-83. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропрооницанию.
- 37.ГОСТ 24816-81 «Материалы и изделия строительные. Метод определения сорбционной влажности».
- 38.ГОСТ 25891-83 «Методы определения сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций».
- 39.СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»,.–М., 2005.

Приложение 1.

Графики температурных полей и влажностного режима, полученные в результате расчетов

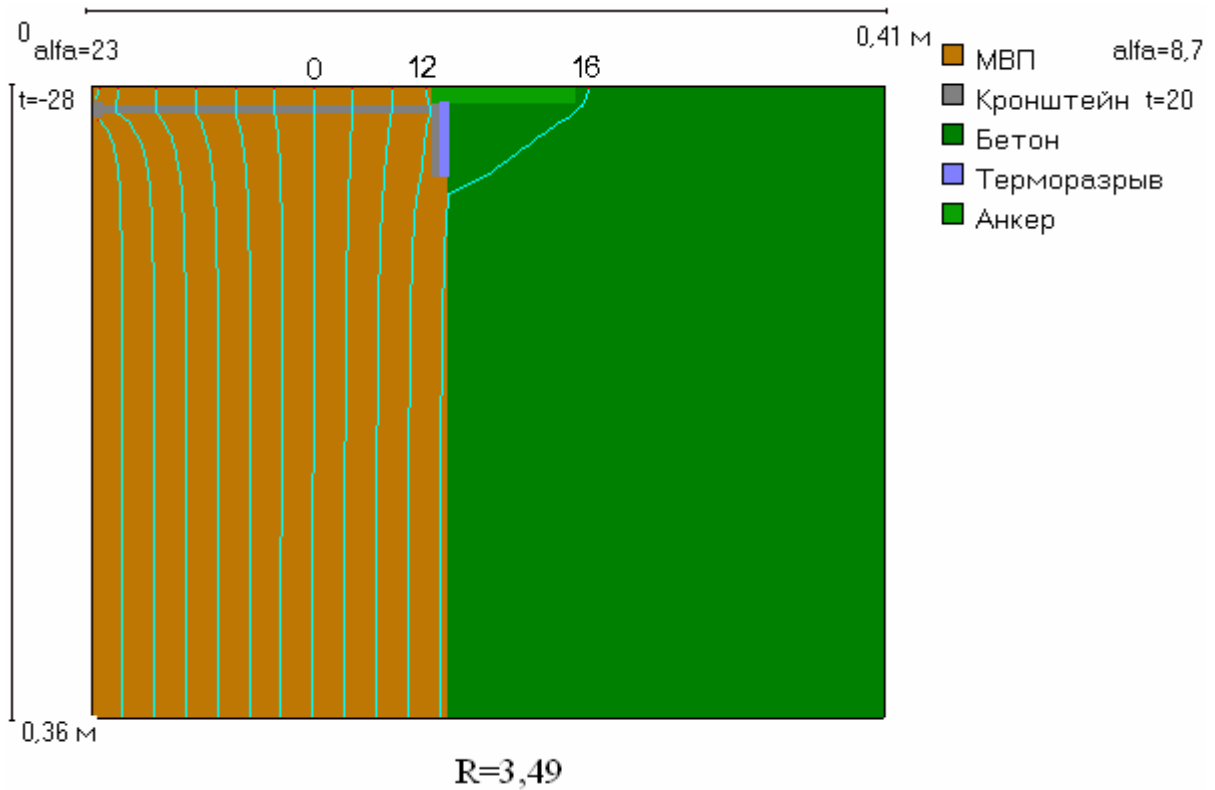


Рис. 1. Температурное поле узла крепления фасадной системы с воздушным зазором, с основанием из железобетона. Нижняя зона.

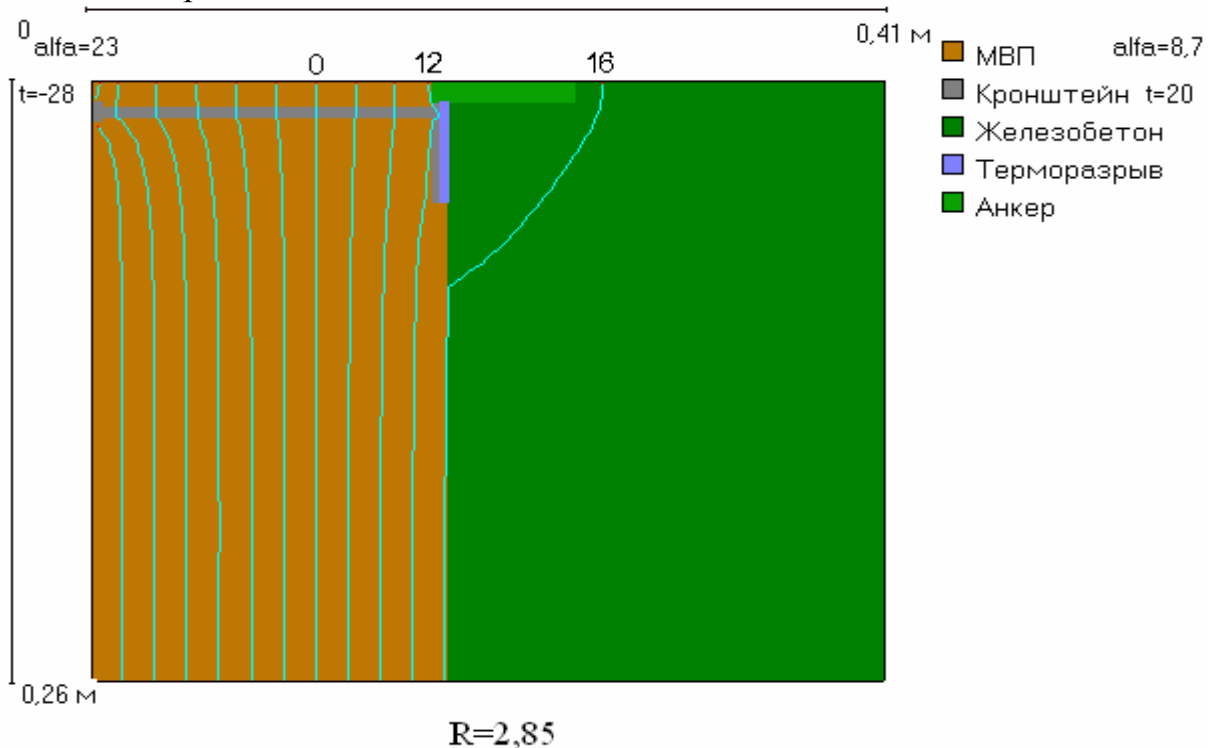


Рис. 2. Температурное поле узла крепления фасадной системы с воздушным зазором, с основанием из железобетона. Верхняя зона.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -24, -20, -16, -12, -8, -4, 0, 4, 8, 12, 16°C

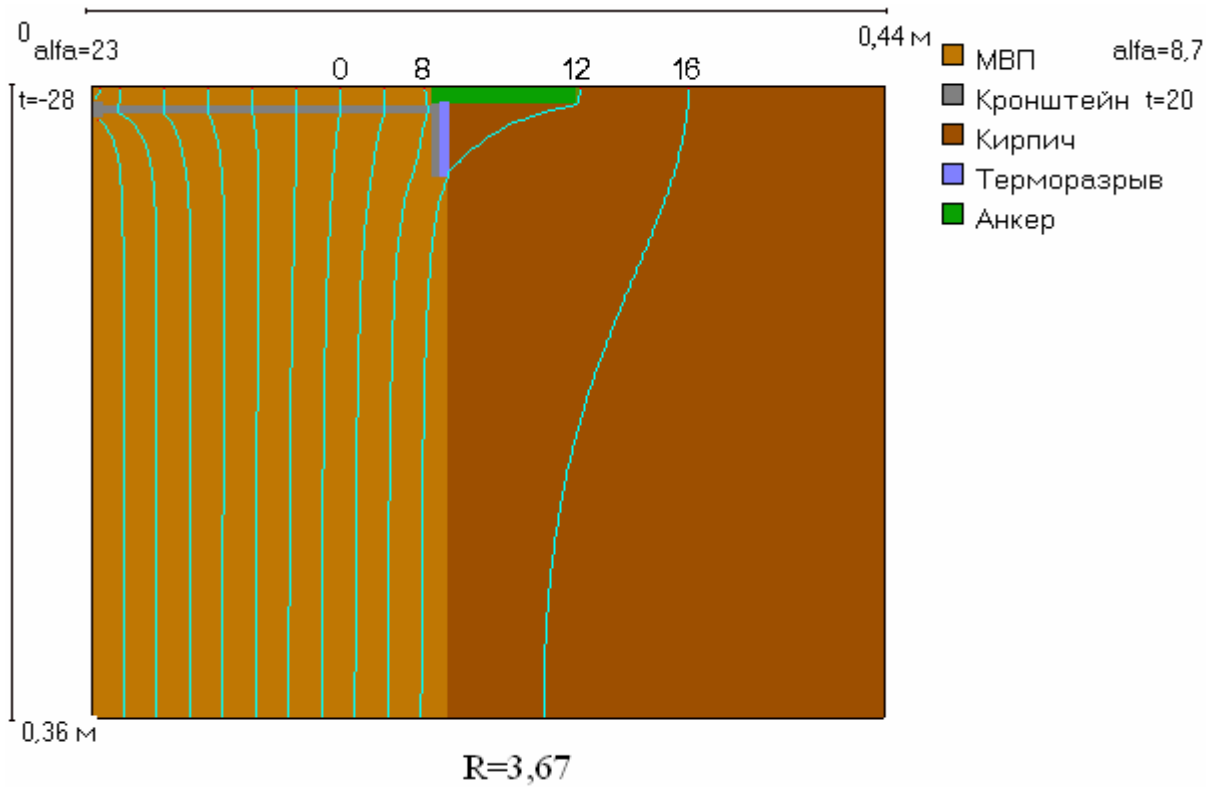


Рис. 3. Температурное поле узла крепления фасадной системы с воздушным зазором, с основанием из кирпичной кладки. Нижняя зона.

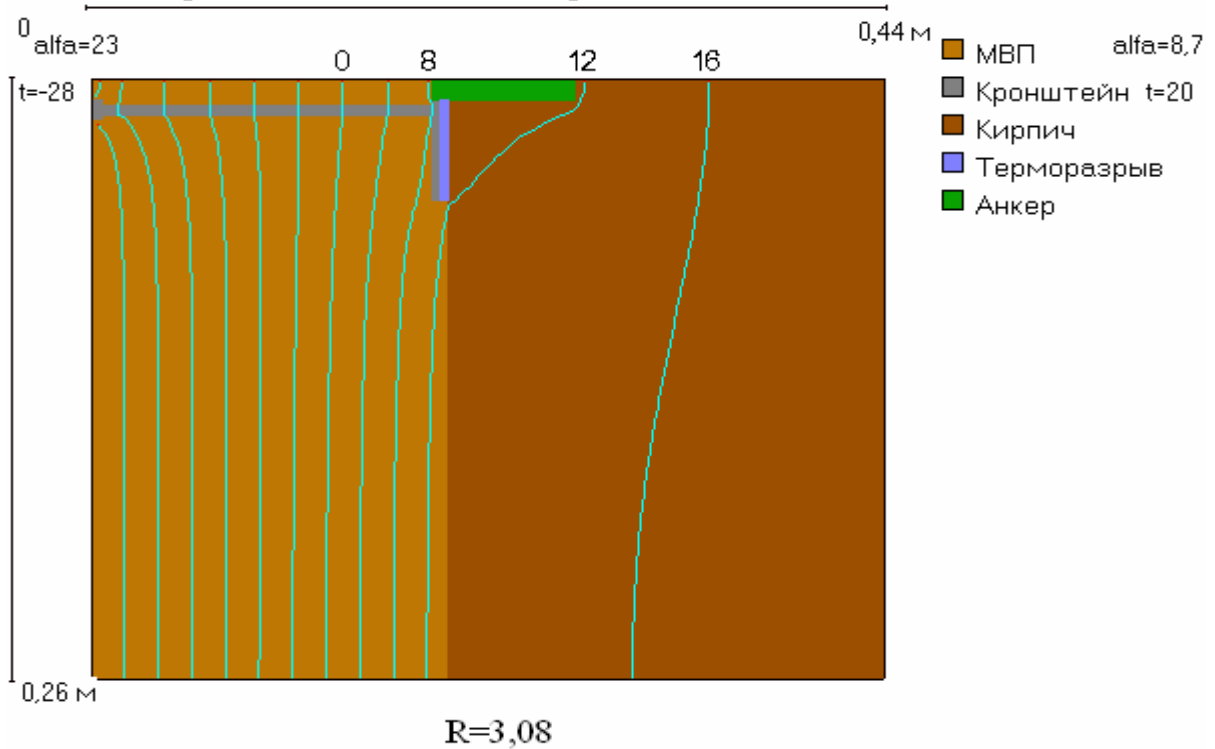


Рис. 4. Температурное поле узла крепления фасадной системы с воздушным зазором, с основанием из кирпичной кладки. Верхняя зона.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -24, -20, -16, -12, -8, -4, 0, 4, 8, 12, 16°C

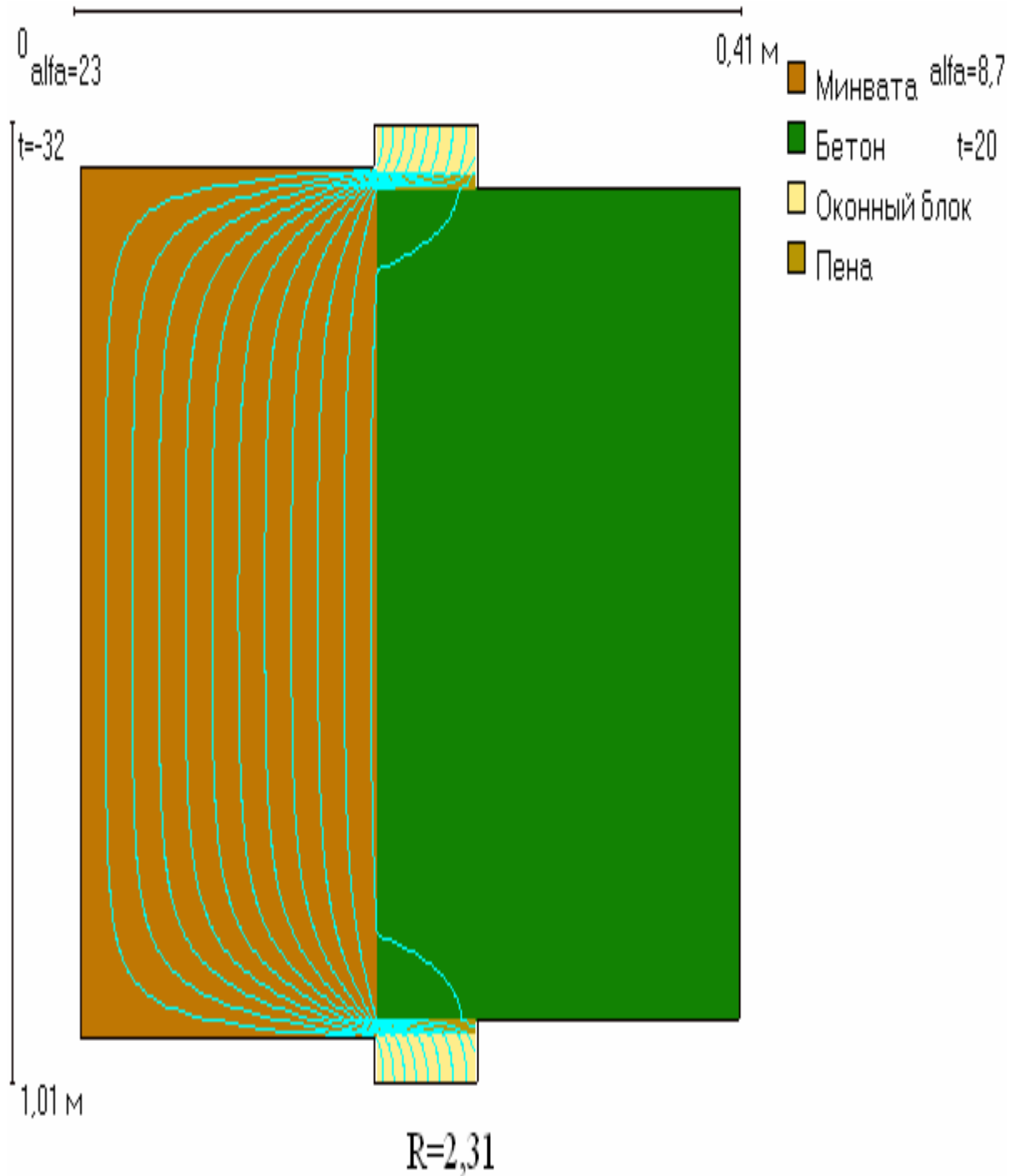


Рис. 5. Температурное поле межоконного простенка без учета фильтрации воздуха. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -27,7, -23,3, -19, -14,7, -10,3, -6, -1,7, 2,7, 7, 11,3, 15,7°C

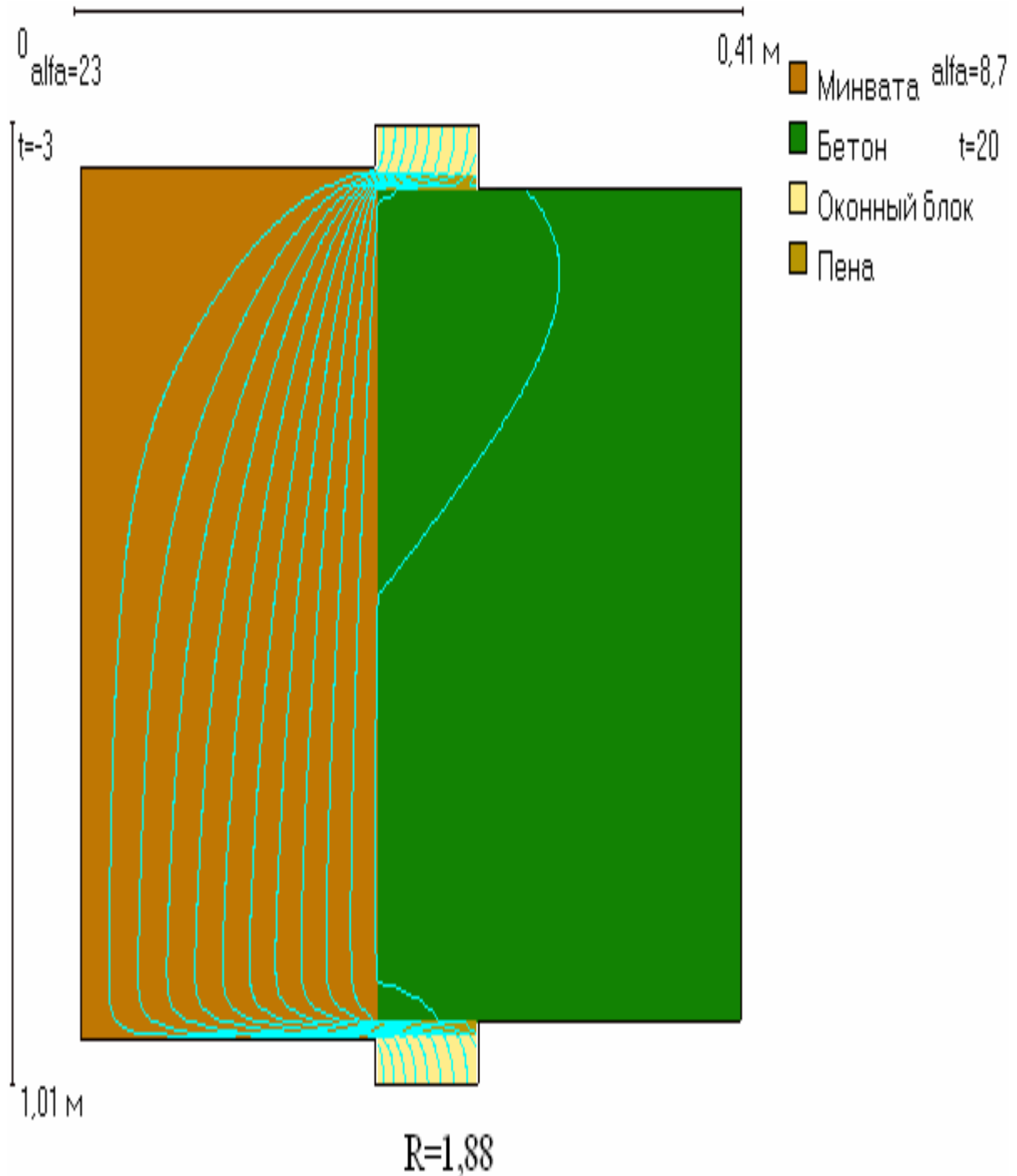


Рис. 6. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха средней за отопительный период на высоте 200 м. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -1,2, 0,8, 2,7, 4,6, 6,5, 8,5, 10,4, 12,3, 14,2, 16,2, 18,1°C

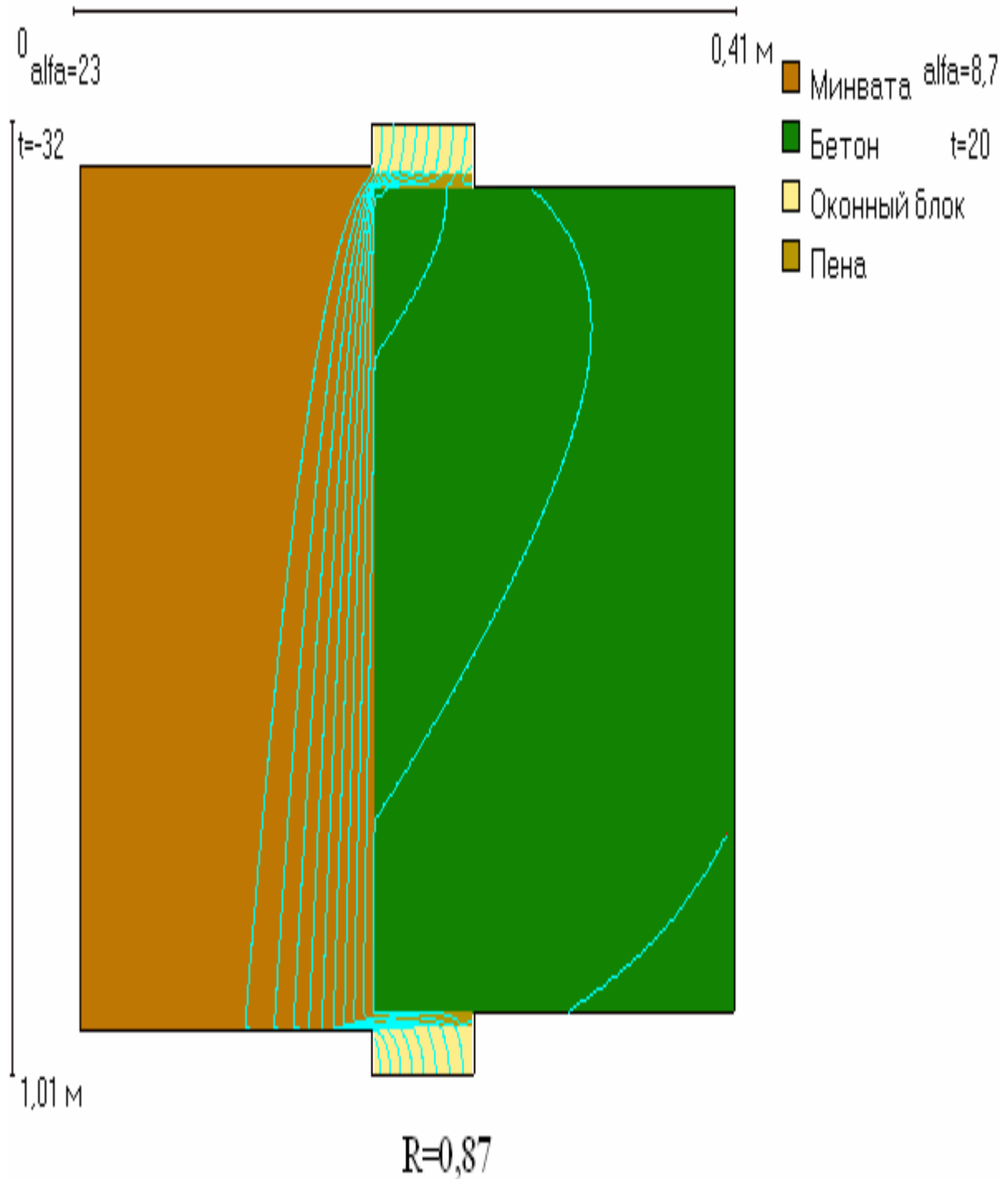


Рис. 7. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 200 м. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -27,7, -23,3, -19, -14,7, -10,3, -6, -1,7, 2,7, 7, 11,3, 15,7°C

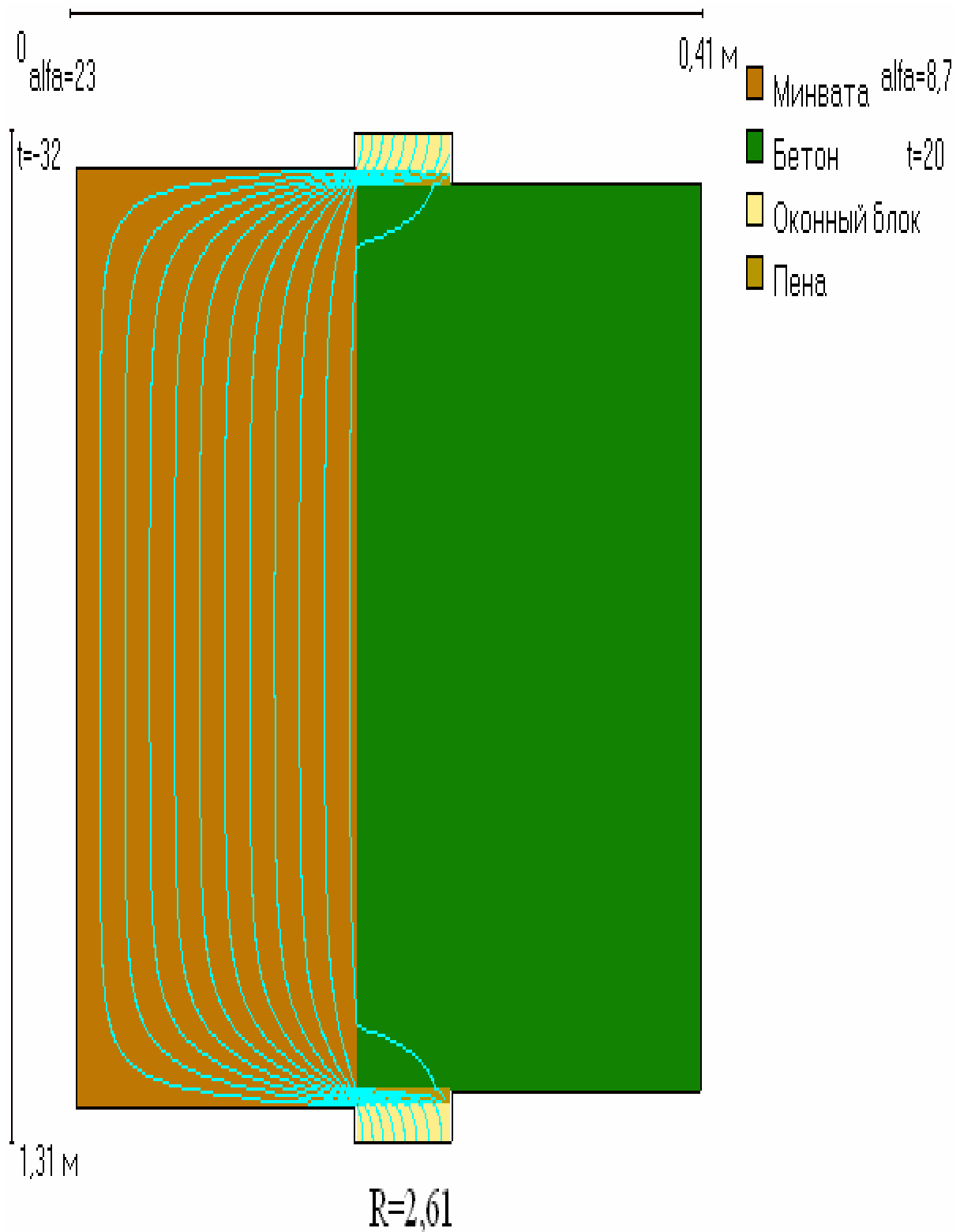


Рис. 8. Температурное поле межоконного простенка без учета фильтрации воздуха. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -27,7, -23,3, -19, -14,7, -10,3, -6, -1,7, 2,7, 7, 11,3, 15,7°C

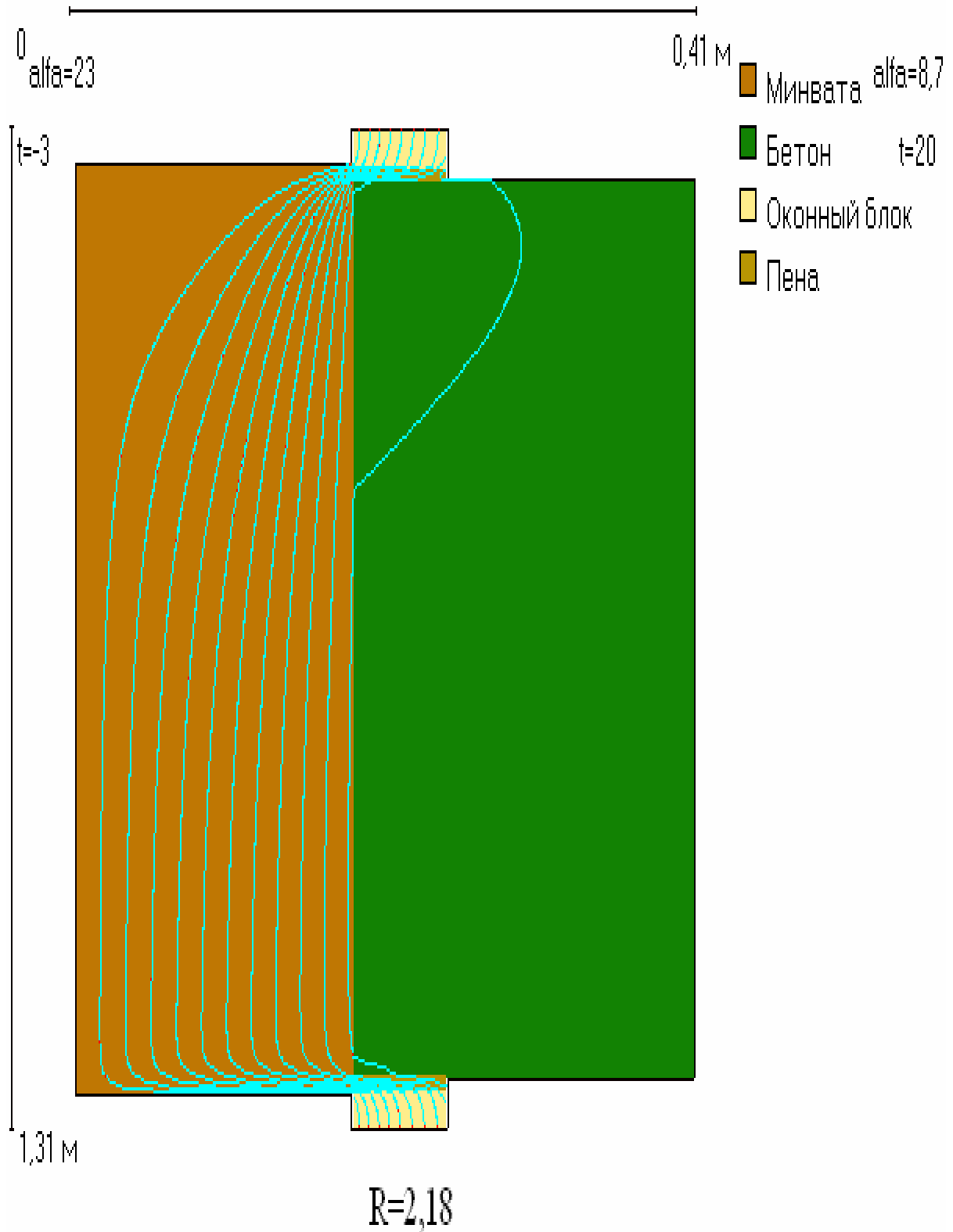


Рис. 9. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха средней за отопительный период на высоте 200 м. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -1,2, 0,8, 2,7, 4,6, 6,5, 8,5, 10,4, 12,3, 14,2, 16,2, 18,1°C

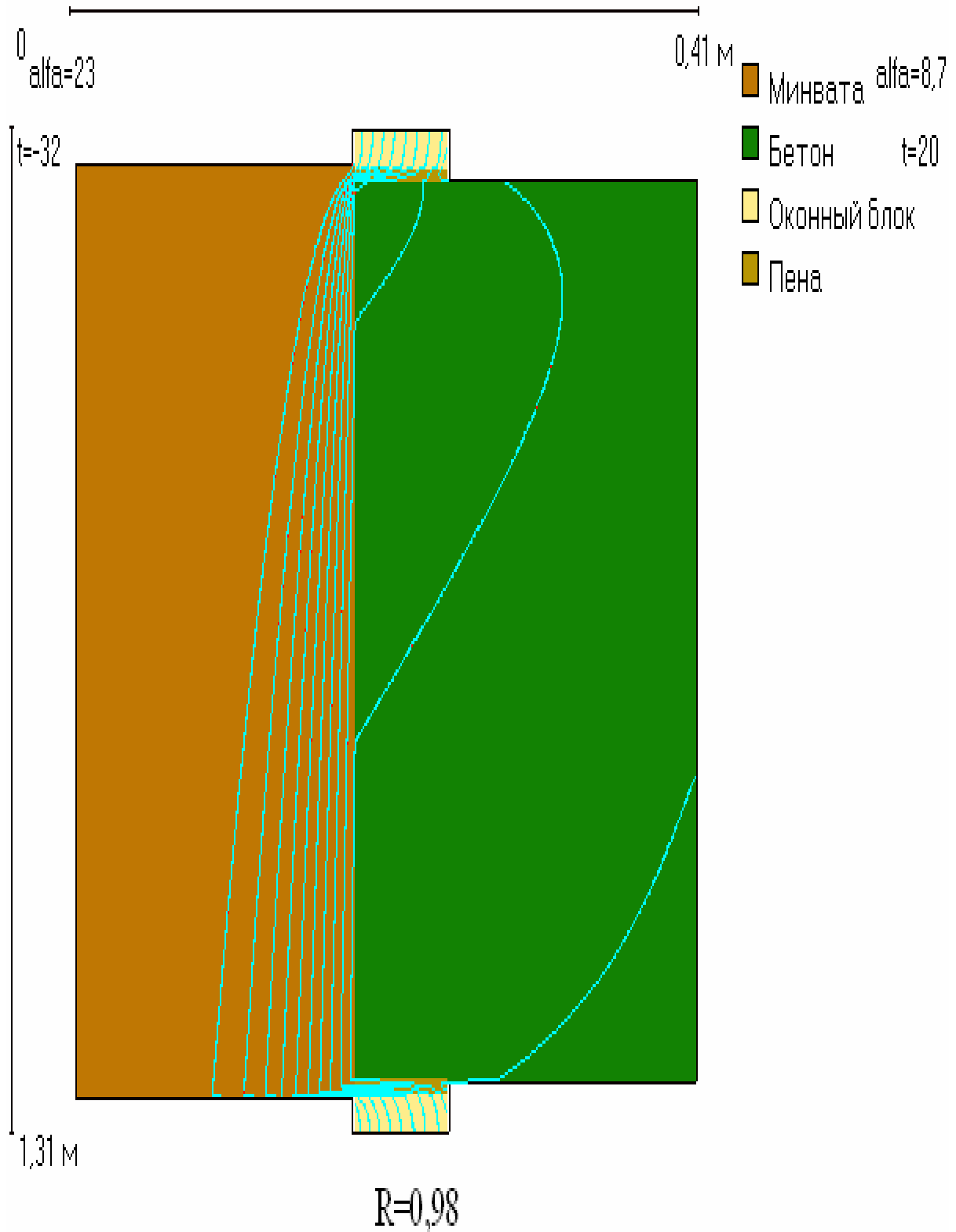


Рис. 10. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 200 м. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$

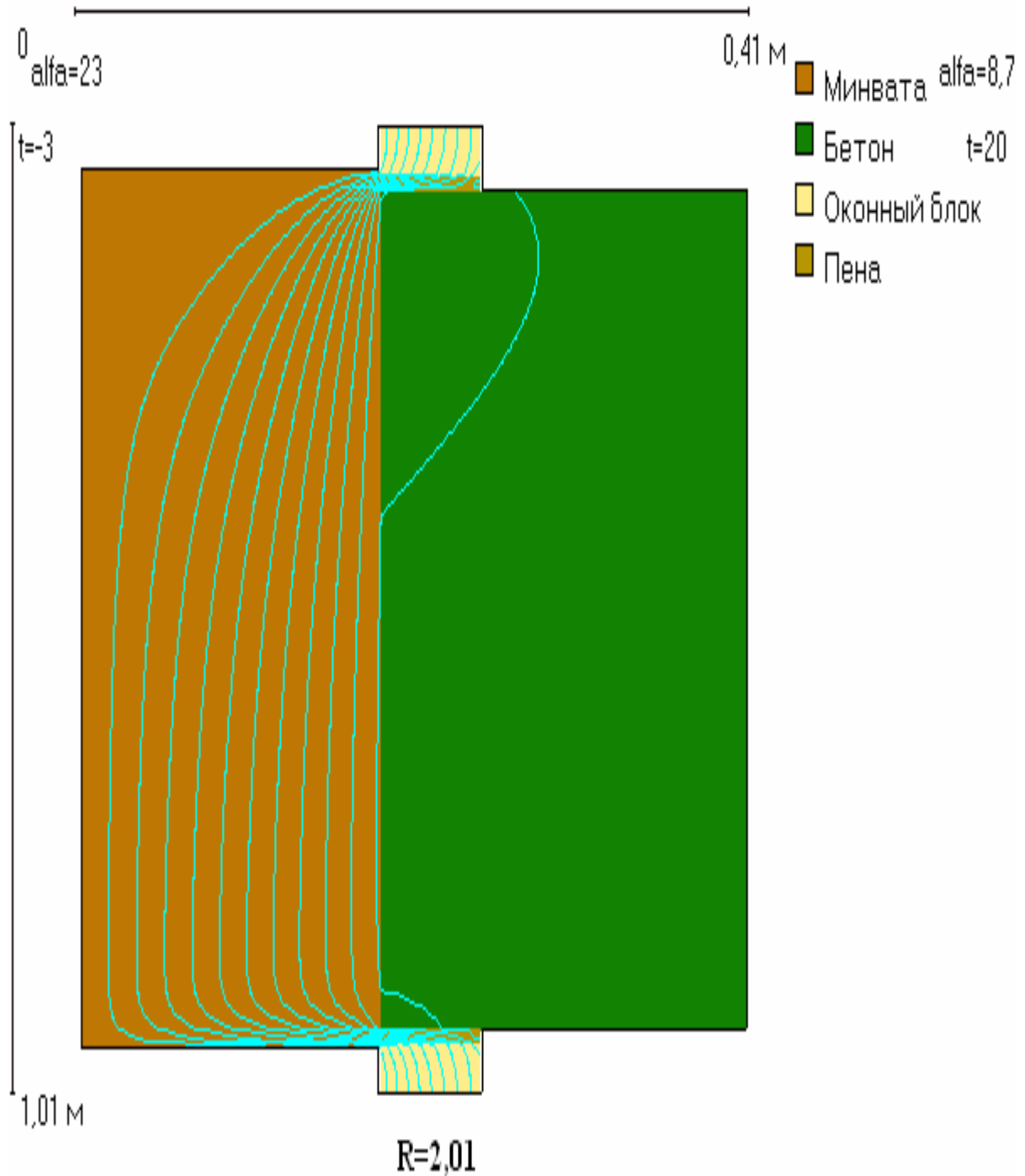


Рис. 11. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха средней за отопительный период на высоте 120 м. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-1,2, 0,8, 2,7, 4,6, 6,5, 8,5, 10,4, 12,3, 14,2, 16,2, 18,1^{\circ}\text{C}$

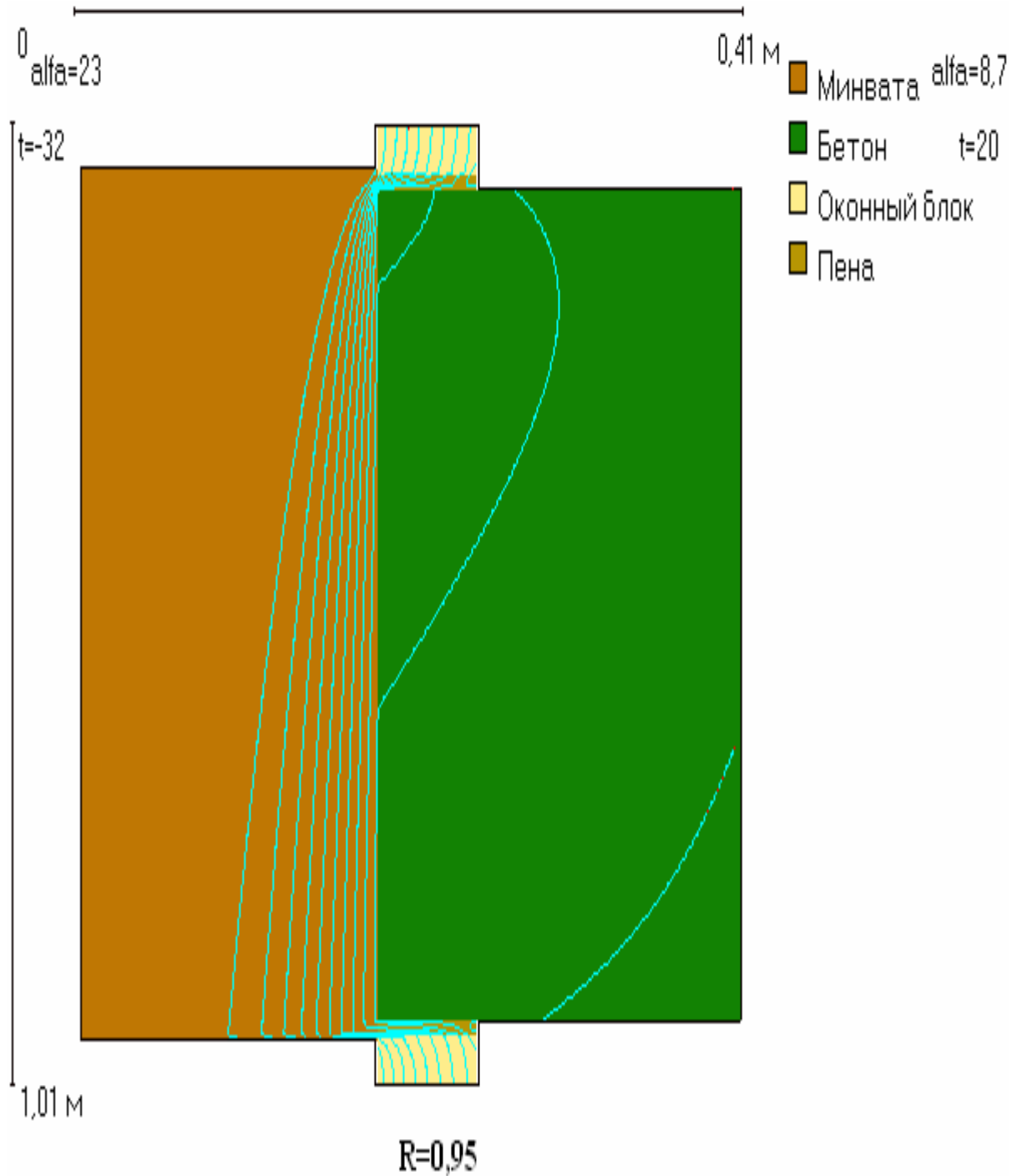


Рис. 12. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 120 м. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$

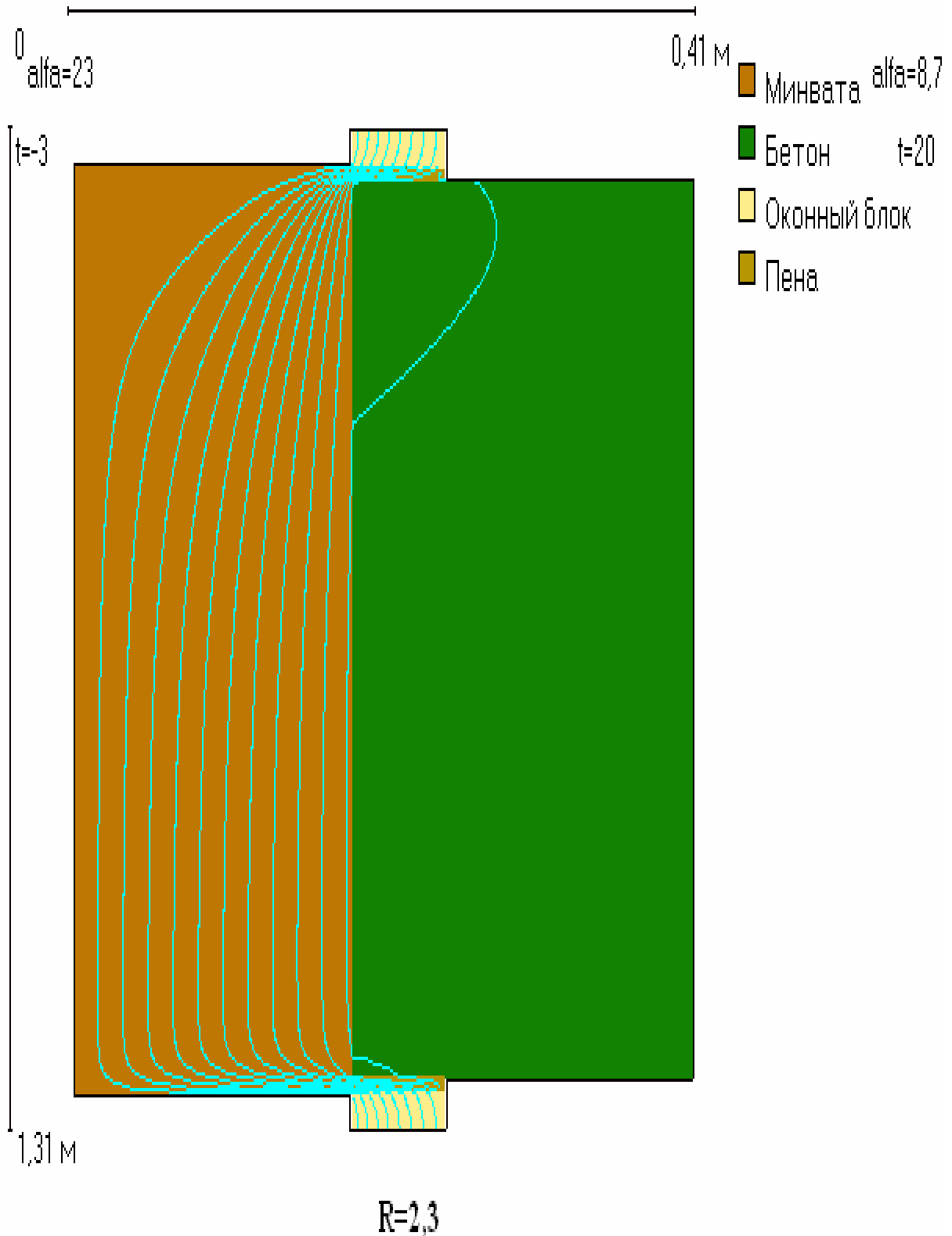


Рис. 13. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха средней за отопительный период на высоте 120 м. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -1,2, 0,8, 2,7, 4,6, 6,5, 8,5, 10,4, 12,3, 14,2, 16,2, 18,1°C

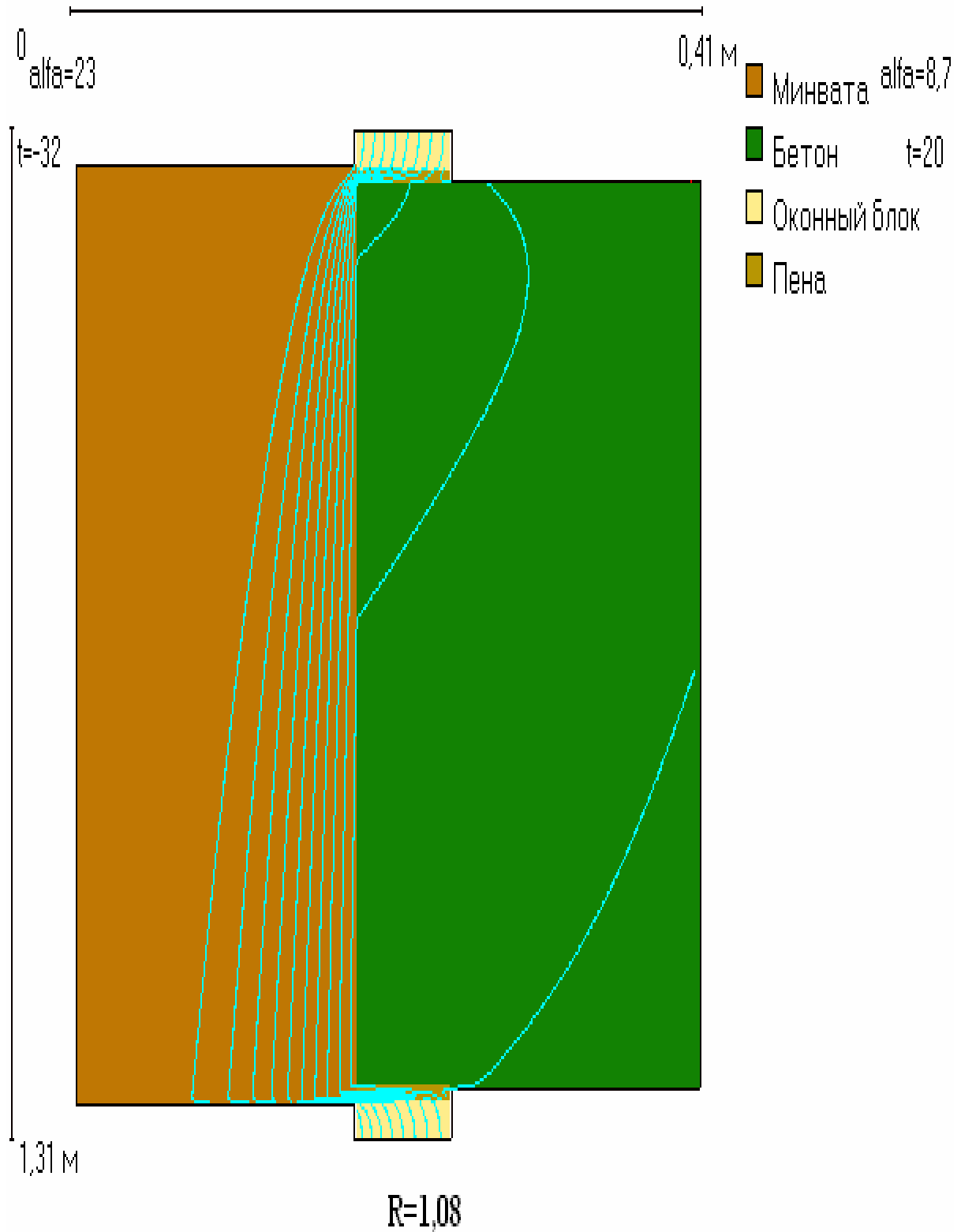


Рис. 14. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 120 м. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$

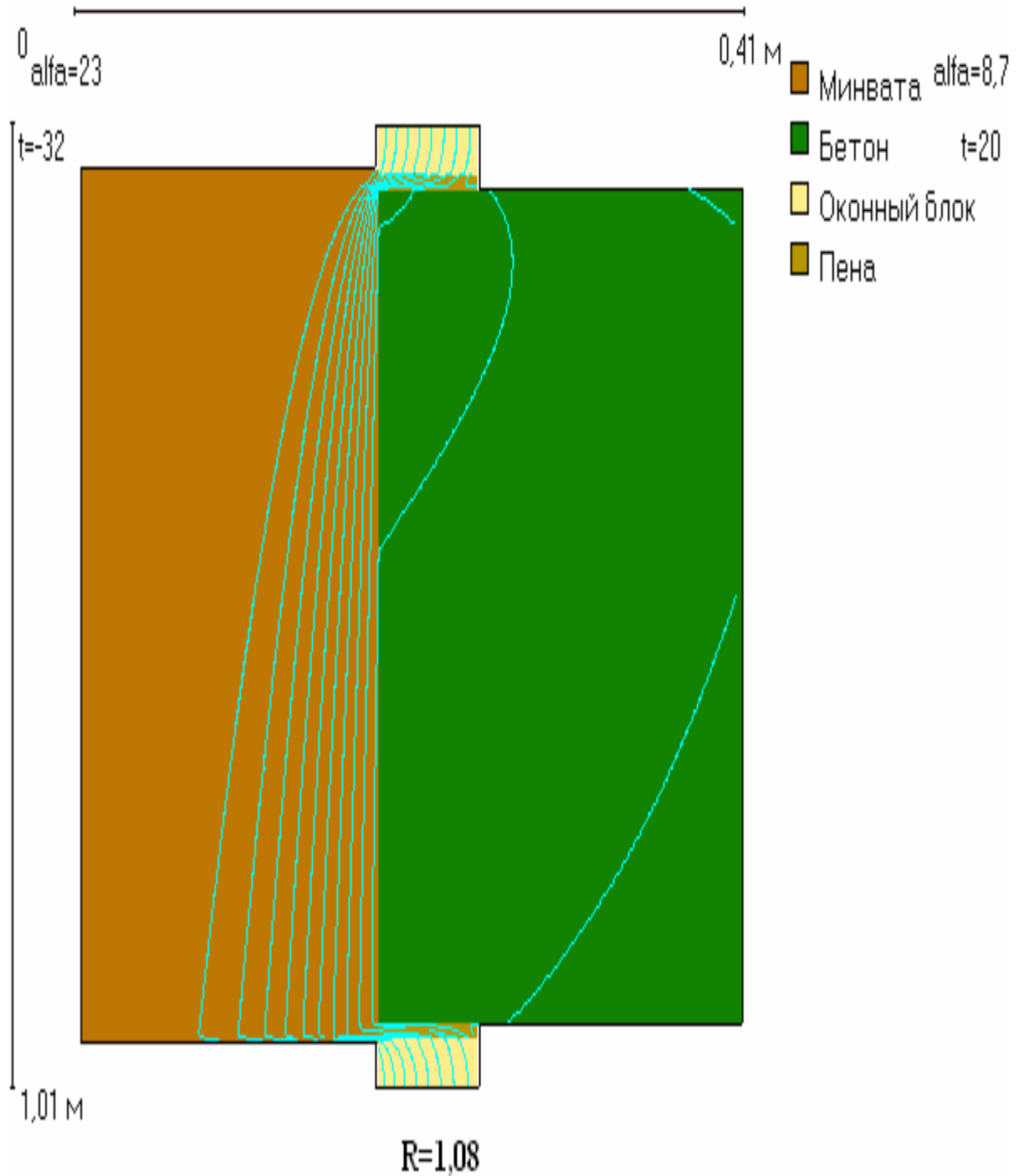


Рис. 15. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 60 м. Длина простенка 900 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) -27,7, -23,3, -19, -14,7, -10,3, -6, -1,7, 2,7, 7, 11,3, 15,7°C

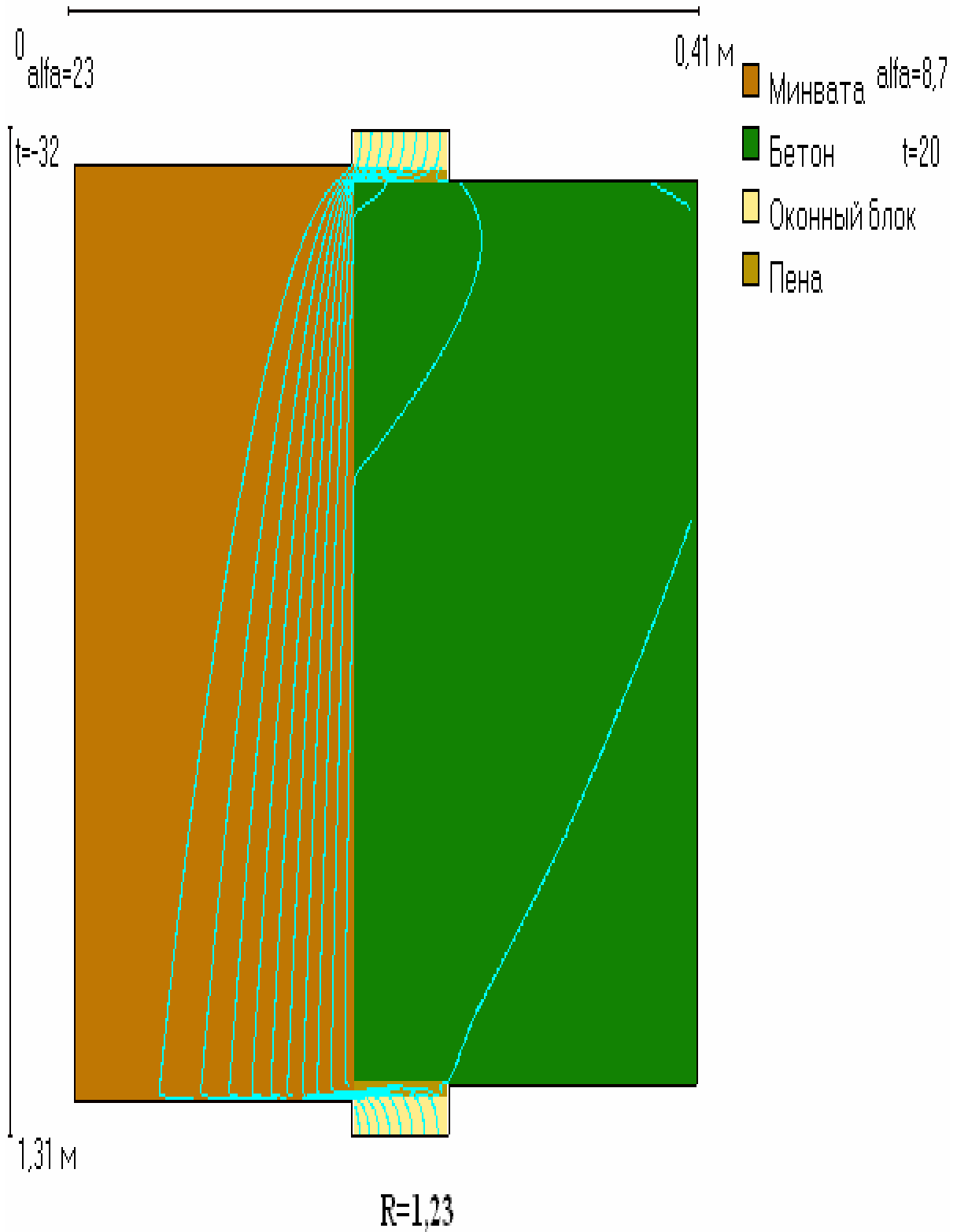


Рис. 16. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 60 м. Длина простенка 1200 мм.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$

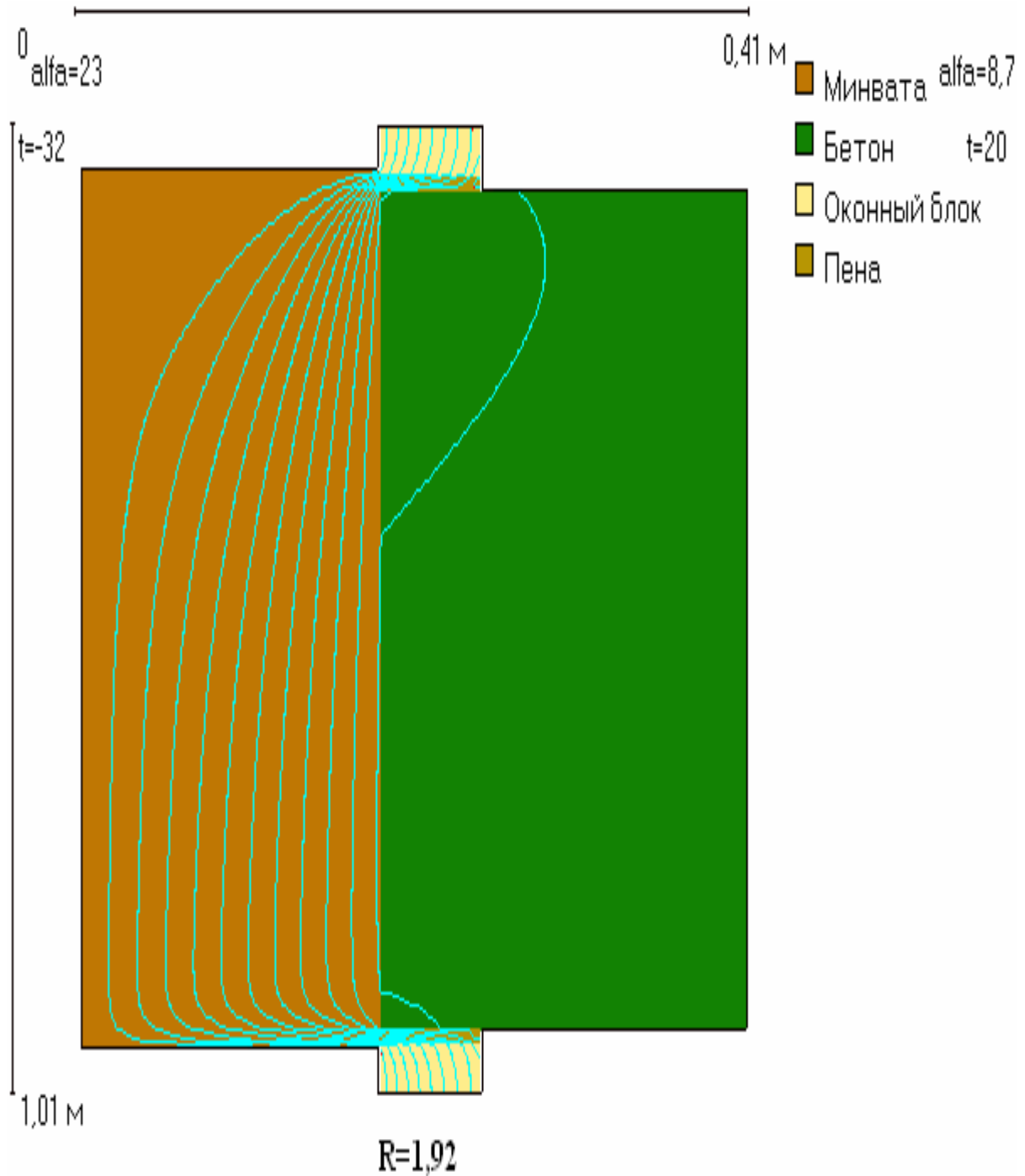


Рис. 17. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 200 м. Длина простенка 900 мм. Установлена ветрозащита.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$



Рис. 18. Температурное поле межоконного простенка с продольной фильтрацией воздуха для наиболее холодных суток на высоте 200 м. Длина простенка 1200 мм. Установлена ветрозащита.

На рисунках температурных полей голубыми линиями изображены изотермы с температурами (считая слева направо) $-27,7$, $-23,3$, -19 , $-14,7$, $-10,3$, -6 , $-1,7$, $2,7$, 7 , $11,3$, $15,7^{\circ}\text{C}$

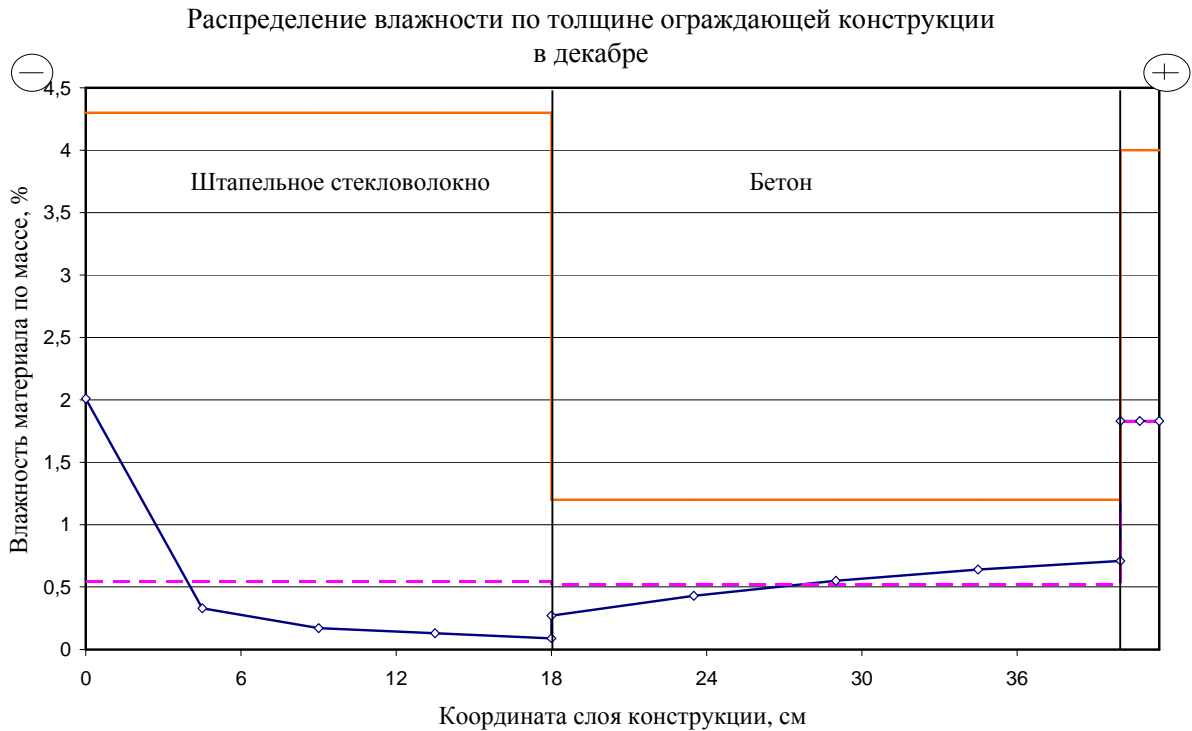


Рис. 19. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наибольшего увлажнения. Стена первого типа без ветрозащиты.

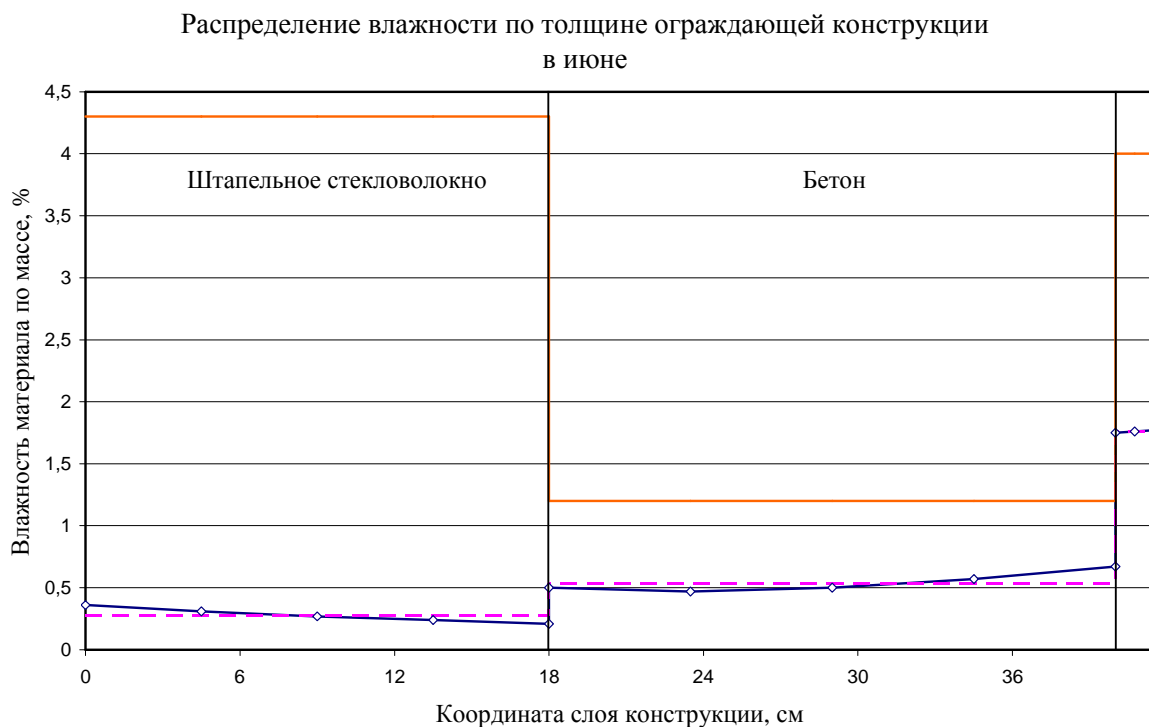


Рис. 20. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наименьшего увлажнения. Стена первого типа без ветрозащиты.

На графиках синяя линия с ромбовидными точками – расчетная влажность материала по массе в %, малиновая пунктирная линия – средние значения влажности для каждого материала, сплошная красная линия максимальная сорбционная влажность материалов.

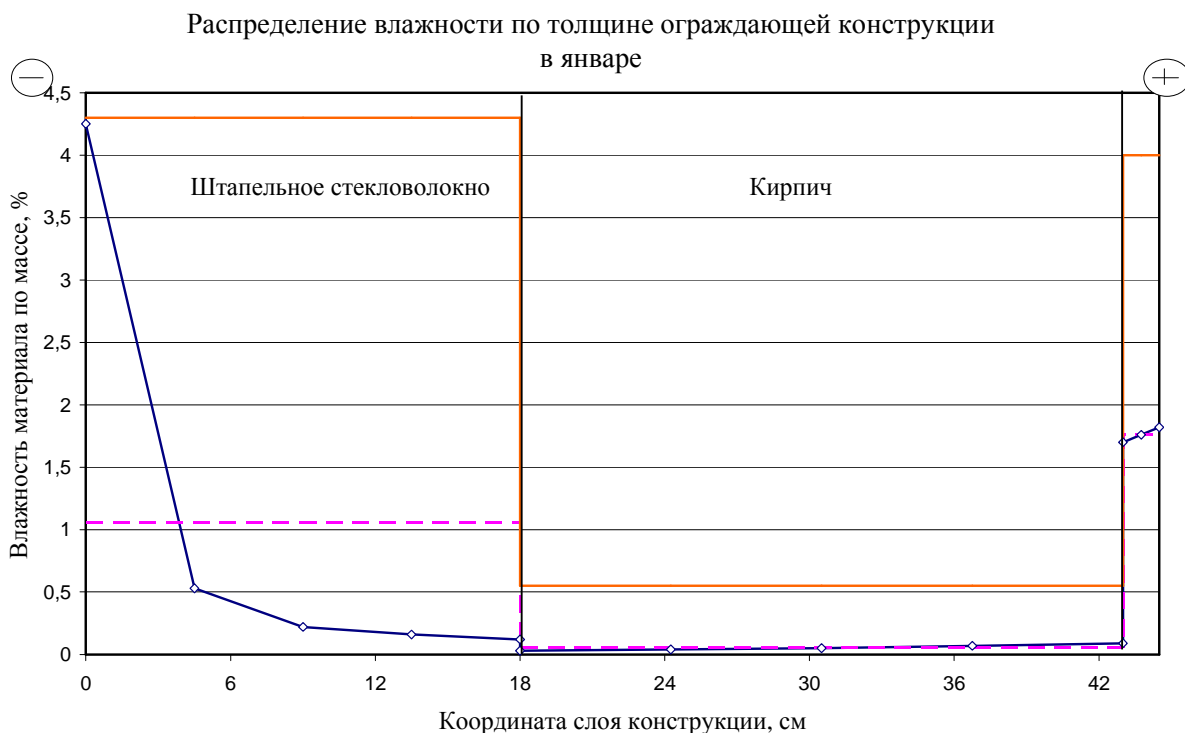


Рис. 21. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наибольшего увлажнения. Стена второго типа без ветрозащиты.

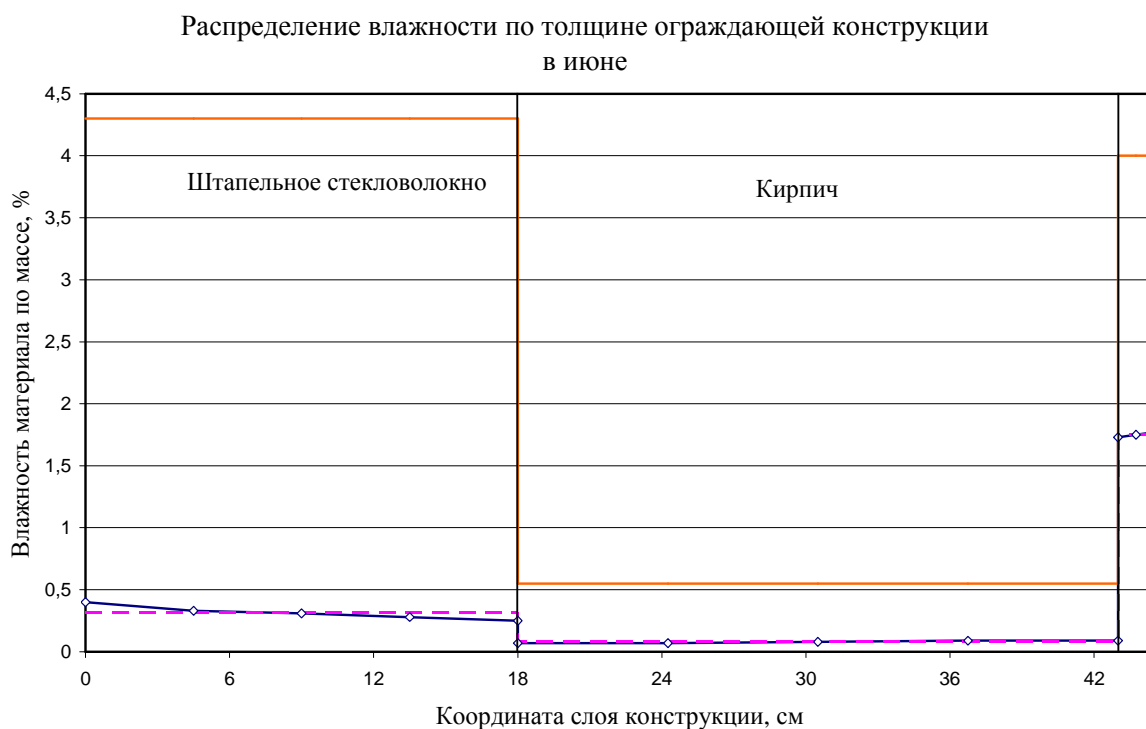


Рис. 22. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наименьшего увлажнения. Стена второго типа без ветрозащиты.

На графиках синяя линия с ромбовидными точками – расчетная влажность материала по массе в %, малиновая пунктирная линия – средние значения влажности для каждого материала, сплошная красная линия максимальная сорбционная влажность материалов.

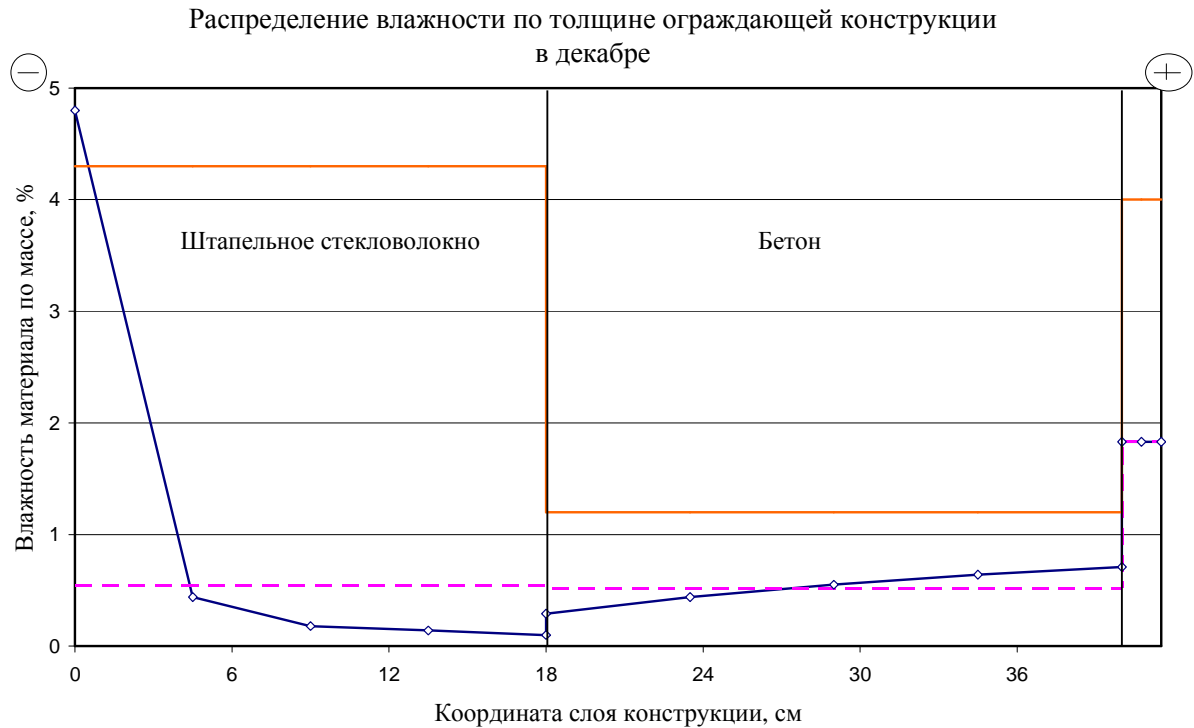


Рис. 23. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наибольшего увлажнения. Стена первого типа с ветрозащитой.

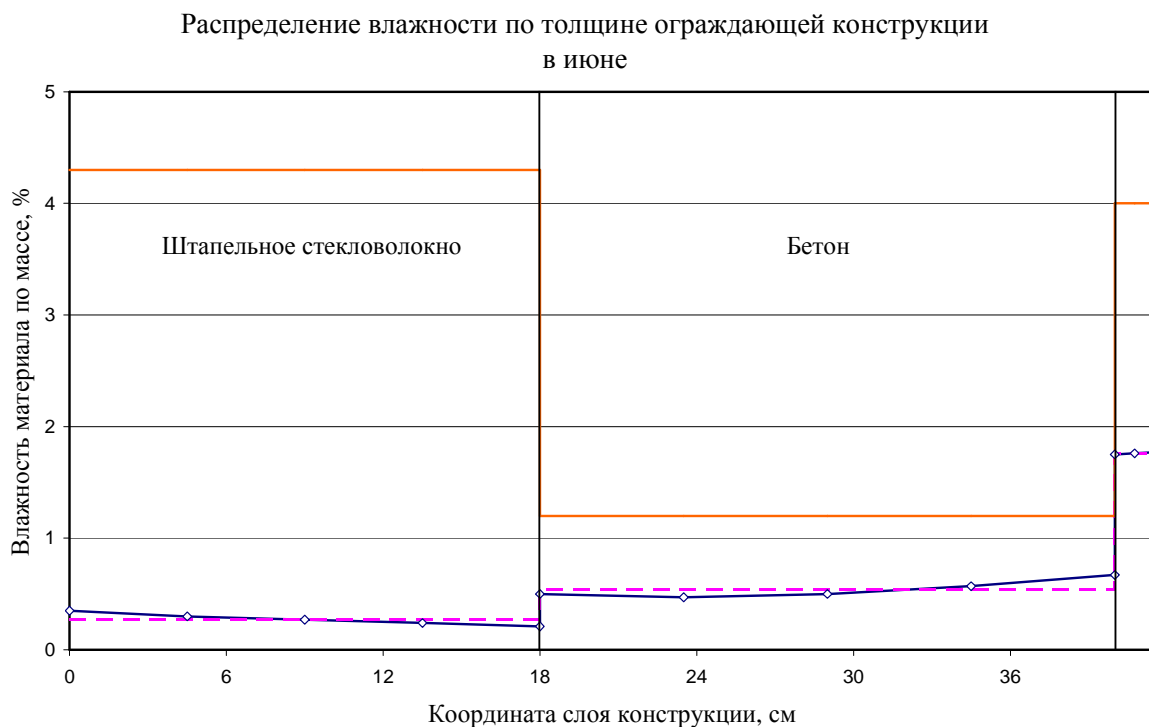


Рис. 24. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наименьшего увлажнения. Стена первого типа с ветрозащитой.

На графиках синяя линия с ромбовидными точками – расчетная влажность материала по массе в %, малиновая пунктирная линия – средние значения влажности для каждого материала, сплошная красная линия максимальная сорбционная влажность материалов.

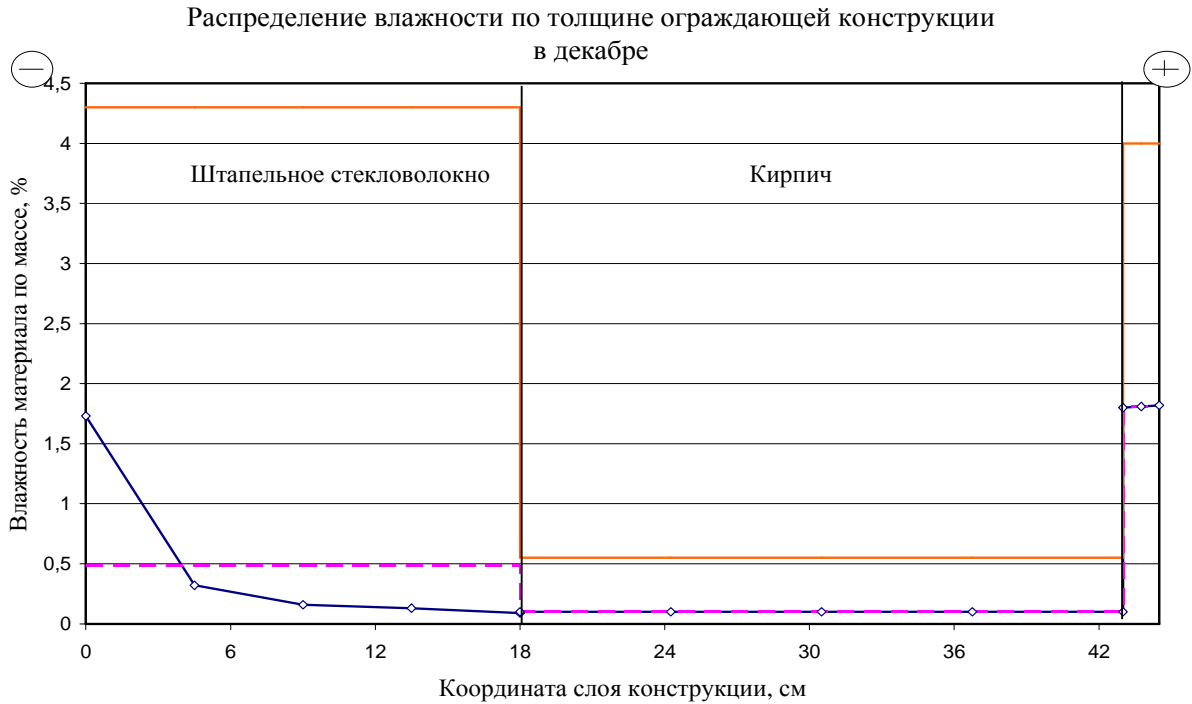


Рис. 25. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наибольшего увлажнения. Стена второго типа с ветрозащитой и пароизоляцией.

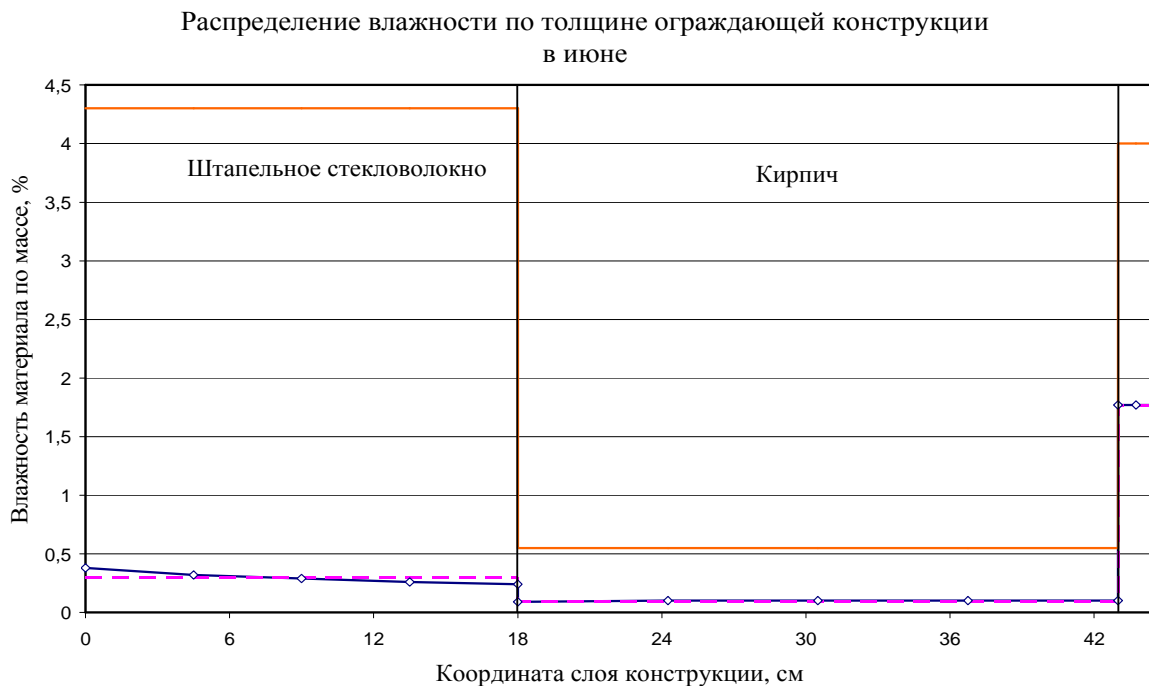


Рис. 26. Распределение влажности материала по толщине стены в месяц наименьшего увлажнения. Стена второго типа с ветрозащитой и пароизоляцией.

На графиках синяя линия с ромбовидными точками – расчетная влажность материала по массе в %, малиновая пунктирная линия – средние значения влажности для каждого материала, сплошная красная линия максимальная сорбционная влажность материалов.

Приложение 2.

Методика расчета температурного поля.

Расчет температурного поля позволяет найти приведенное сопротивление теплопередаче конструкции и локальные температуры на внутренней поверхности стены и на гильзе анкерного дюбеля.

Приложение 3.

Методика расчета нестационарного влажностного режима.

Результаты расчета нестационарного влажностного режима исследуемой стены.

В результате расчетов получено распределение весовой влажности материалов по толщине ограждающей конструкции в различные моменты времени. Основными параметрами, характеризующими конструкцию, являются:

- время установления квазистационарного режима – время, за которое конструкция переходит от начального распределения влажности (чаще всего избыточного увлажнения в результате строительных работ) к распределению влажности вызванному условиями эксплуатации и регулярно повторяющемуся из года в год;
- месяц наибольшего увлажнения;
- слой наибольшего увлажнения;
- максимальная влажность, достигаемая материалом в процесс эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается);
- средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения.