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

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

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

По теме:
«Провести комплексное исследование теплофизических свойств ограждающих конструкций с применением щепоцементных блоков несъемной опалубки.
по Договору № 12380 от 01.08.07. с ООО «БиГ»

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

Ответственный исполнитель, младший научный сотрудник И.С. Курилюк

Москва - 2007 г.

# СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

| | |
|---|---|
| В.Г. Гагарин | Зав. лабораторией, д.т.н., проф., разработка технического задания, руководство проведением испытаний и расчётов, составление отчёта, выводы и рекомендации. |
| В.В. Козлов | Ст.н.с., к.т.н., проведение расчётов температурных полей и сопротивления теплопередаче и влажностного режима кладок из различных серий блоков. |
| И.С. Курилюк | Мл.н.с. экспериментальное определение сопротивления теплопередачи кладки из блоков DSs 30/12, составление отчёта. |
| Н.А. Реутова | Инженер I категории экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности, паропроницаемости и сорбционной влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки. |

# СОДЕРЖАНИЕ


| | | стр. |
|---|---|---|
| | Введение. | 5 |
| 1. | Экспериментальное определение теплофизических характеристик щепоцементных блоков несъемной опалубки. | 6 |
| | 1.1. Краткое описание образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки. | 6 |
| | 1.2. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности. | 7 |
| | 1.3. Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости. | 9 |
| | 1.4. Экспериментальное определение сорбционной влажности. | 10 |
| 2. | Экспериментальное определение сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки 30/12. | 10 |
| 3. | Расчёт температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий. | 16 |
| | 3.1. Методика расчёта температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий. | 16 |
| | 3.2. Расчёт температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из блоков щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 30/12 (тип N-стандартный рядный блок покрытие лёгким штукатурным составом (типа Baumit GrundPutz Leicht* ) внутренняя отделка толщиной слоя 10 мм, наружная – 20мм. | 18 |
| | 3.3. Расчёт температурных полей и значения приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 30/12 (тип N-стандартный рядный блок покрытие лёгким штукатурным составом (типа Baumit TermoExtra*) внутренняя отделка толщиной слоя 20 мм, наружная – 40мм. | 20 |

3.4. Расчёт температурных полей и значения приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 37,5/12 (тип N-стандартный рядный блок покрытие лёгким штукатурным составом (типа Baumit GrundPutz Leicht* ) внутренняя отделка толщиной слоя 10 мм, наружная – 20мм. 21

3.5. Результаты расчётов температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий. 23

4. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки для климатических условий Московского и Санкт-Петербургского регионов. 23

4.1. Методика расчёта влажностного режима ограждающих конструкций щепоцементных блоков несъемной опалубки. 23

4.2. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 30/12. 26

4.3. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 30/15. 28

4.4. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 37,5/12. 30

4.5. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии 37,5/14 32

5 Рекомендации по расчётным параметрам теплозащиты ограждающих конструкций с применением щепоцементных блоков несъемной опалубки. 36

6. Анализ результатов испытаний. Выводы. 37

Список литературы. 40

**Введение.**

В настоящее время происходит интенсивное развитие новых строительных материалов и изделий, смена строительных конструкций.

Широкое распространение получили ограждающие конструкции с применением конструкционно-теплоизоляционных изделий – блоков из различных материалов, совмещающих в себе теплоизоляционные и конструкционные (несущие) свойства. Новые ограждающие конструкции и материалы, применяемые в таких конструкциях, требуют тщательного всестороннего исследования, поскольку считавшиеся ранее малозначительными свойства материалов начинают оказывать существенное влияние на эксплуатационные свойства конструкций.

От теплотехнических качеств наружных ограждающих конструкций зданий зависят:

- количество теплоты, теряемого зданием в зимний период, следовательно, количество энергии, потребной на отопление здания, что имеет большое экономическое и социальное значение;

- постоянство температуры воздуха в здании во времени при изменении погоды и неравномерности работы системы отопления;

- защита здания от перегрева;

- температура внутренней поверхности ограждений;

- возможность образования конденсата, крайне отрицательно влияющего на микроклимат помещений и техническое состояние ограждающих конструкций;

- влажностный режим ограждений и.т.д.

В данной работе приведены результаты экспериментов по определению коэффициента теплопроводности, коэффициента паропроницаемости и сорбционной влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки, а также по определению сопротивления теплопередаче кладки из блоков серии DSs 30/12. Выполнены расчёты температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий и расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий для климатических условий Московского и Санкт-Петербургского регионов. Даны рекомендации по расчётным параметрам теплозащиты ограждающих конструкций с применением щепоцементных блоков несъемной опалубки. Работа выполнена по Договору № 12380 от 01.08.07. с ООО «БиГ» и в соответствии с требованиями Технического задания Заказчика.

## 1. Экспериментальное определение теплофизических характеристик щепоцементных блоков несъемной опалубки.

### *1.1. Краткое описание образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки.*

щепоцементные блоки несъемной опалубки - материал, получаемый вибропрессованием древесных частиц (щепы) с цементным вяжущим и химическими добавками. Из этого материала производят мелкие пустотелые блоки различной конфигурации, служащие в качестве несъёмной опалубки и предназначенные для возведения вертикальных строительных конструкций: наружных несущих стен и внутренних несущих стен и перегородок. Залитые бетоном пустоты, расположенные по вертикалям и горизонталям, образуют бетонный каркас, который обеспечивает несущую способность ограждающих конструкций, а сами блоки выполняют функции несъёмной опалубки, частично теплоизоляции и звукоизоляции. В утеплённые серии блоков, в специальные отверстия вставляются вкладыши из пенополистирола. Блоки имеют стандартную длину 500мм и высоту 250мм. Толщина, в зависимости от назначения блоков, составляет для различных серий 150, 220, 300 и 375мм.

Блоки выпускаются по ТУ 5741-253-35354501-2007 «Блоки стеновые мелкие из Щепоцементных блоков несъемной опалубки». [1].

Согласно ТУ, физико-механические свойства щепоцементных блоков несъемной опалубки в блоках должны соответствовать требованиям, указанным в Таблице 1.

Таблица 1.

Физико-механические свойства щепоцементных блоков несъемной опалубки

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Марка по плотности, не более | кг/м$^3$ | 700 |
| 2 | Влажность, не более | % по | 12 |
| 3 | Водопоглощение за 24ч, не более | % по | 45 |
| 4 | Предел прочности при изгибе, не менее | МПа | 0,5 |
| 5 | Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, не более | Вт/(м°С) | 0,15 |
| 6 | Стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям: снижение прочности при изгибе, % (после 20 циклов температурно-влажностных воздействий), не более | % | 10 |
| 7 | Коэффициент размягчения, не менее | | 0,85 |
| 8 | Морозостойкость (снижение массы после 50 циклов), не более | % | 10 |

Образцы щепоцементных блоков несъемной опалубки, представленные на испытания по определению коэффициентов теплопроводности, паропроницаемости и сорбционной влажности, представителями ООО «БиГ», представляли собой плиты размером 250х250мм, толщиной около 400мм. Плотность плит составляла около 600 кг/ м$^3$

Общий вид образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки, представленных на испытания, показан на Фото 1.

Фото 1. Общий вид образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки

*1.2. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности.*

1.2.1. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки проводилось по методике ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». [2] Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Результаты определения коэффициента теплопроводности приведены в Таблице 2.

Среднее значение коэффициента теплопроводности образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки по ГОСТ 7076 в сухом состоянии при температуре 20±5 ºС составляет 0,15 Вт/м ºС.

Таблица2.

Результаты определения коэффициента теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки

| № образца | Влажность, % по массе | Значение коэффициента теплопроводности, Вт/м °С | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Во влажном состоянии | В сухом состоянии | Приращение теплопроводности на 1 % влажности Вт/(м °С%) |
| 1. | 8,5 | 0,183 | 0,150 | 0,003882 |
| 2. | 9,3 | 0,180 | 0,148 | 0,003441 |
| 3. | 8,5 | 0,185 | 0,153 | 0,003765 |
| 4. | 9,0 | 0,175 | 0,142 | 0,003667 |
| 5. | 8,7 | 0,180 | 0,147 | 0,003793 |
| Среднее значение коэффициента теплопроводности. | | | **0,148** | **0,00371** |

1.2.2. По полученным значениям влажности и соответствующим им значениям коэффициента теплопроводности возможно рассчитать значения приращения теплопроводности на 1% влажности материала по формуле:

$$\Delta\lambda = (\lambda_w - \lambda_o)/w. \quad (1)$$

Среднее значение приращения коэффициента теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки на 1% влажности составляет **0,00371** Вт/м °С

Таким образом, коэффициент теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки при расчетной влажности можно определить по формуле:

$$\lambda_1 = \lambda_c + \Delta\lambda w \quad (2)$$

где $w$ – влажность материала.

Значения коэффициента теплопроводности при различных значениях влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки

| Влажность по массе,% | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С | 0,148 | 0,167 | 0,185 | 0,204 | 0,222 |

1.2.3. Пересчет теплопроводности с температуры, при которой выполнялись измерения, на другую температуру производился по формуле [10]:

$$\lambda_0 = \lambda_t/(1+\beta t) \quad (3)$$

где $\beta$=0,0025 $(^oC)^{-1}$

$\lambda_t$ – теплопроводность при температуре $t$, Вт/м °С;

$\lambda_0$ - теплопроводность при 0 °С;
$t$ – температура материала, °С.

Значения коэффициента теплопроводности при различных значениях температуры щепоцементных блоков несъемной опалубки приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры материала щепоцементные блоки несъемной опалубки.

| Температура, °С | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С | 0,141 | 0,143 | 0,145 | 0,146 | 0,148 |

*1.3. Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости.*

1.3.1. Экспериментальное определение сопротивления паропроницанию и коэффициента паропроницаемости щепоцементных блоков несъемной опалубки проводилось по методике ГОСТ 25898-83 «Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию». [4]

Сопротивление паропроницанию изделия – величина, численно равная разности парциального давления водяного пара в Паскалях у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через площадь изделия, равную 1м$^2$ за 1 час проходит 1 мг. водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон слоя.

Паропроницаемость материала – величина, численно равная количеству водяного пара в миллиграммах, которое проходит за 1 час через слой материала площадью 1м$^2$ и толщиной 1м. при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинакова, а разность парциального давления водяного пара равняется 1 Па.

Сущность методов определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию заключается в создании стационарного потока водяного пара через исследуемый образец и определении величины этого потока.

1.3.2. Для проведения испытаний по определению паропроницаемости и сопротивления паропроницанию были представлены образцы толщиной 40мм. Результаты определения сопротивления паропроницанию и коэффициента паропроницаемости образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки представлены в Таблице 5.

Таблица 5.

Результаты определения сопротивления паропроницанию и коэффициента паропроницаемости образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки.

| № образца | Сопротивление паропроницанию, м$^2$·ч·Па/кг | Коэффициент паропроницаемости, мг/м·ч·Па |
|---|---|---|
| 1. | 0,174 | 0,230 |
| 2. | 0,174 | 0,213 |
| 3. | 0,179 | 0,221 |
| **Среднее значение** | **0,176** | **0,221** |

Из данных Таблицы 5 следует, что коэффициент паропроницаемости щепоцементных блоков несъемной опалубки составляет $\mu$ = 0,22 мг/м·ч·Па.

*1.4. Экспериментальное определение сорбционной влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки*

1.4.1. Экспериментальное определение сорбционной влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки проводилось по методике ГОСТ 24816-81 «Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности». [5] Сорбционная влажность характеризует способность материала поглощать пары воды из окружающего воздуха. Численно она равна влажности материала после окончания процесса поглощения водяных паров и определяет теплотехнические свойства материала в процессе эксплуатации. Сущность метода определения сорбционной влажности заключается в доведении предварительно высушенных образцов материала до равновесного состояния в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 40, 60, 80, 90, 97% при температуре 20 ºС., и последующем определении влажности этих образцов путём взвешивания. 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.

Результаты испытаний по определению сорбционной влажности образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки приведены в Таблице 6.

Таблица 6.

Результаты определения сорбционной влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки.

| Относительная влажность воздуха, % | 40 | 60 | 80 | 90 | 97 |
|---|---|---|---|---|---|
| Среднее значение сорбционной влажности, % по массе | 5,4 | 7,3 | 9,3 | 11,5 | 18,0 |

## 2. Экспериментальное определение сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12.

*2.1.Краткое описание образца и методики испытаний.*

Испытания по определению сопротивления теплопередаче фрагмента кладки из блоков щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 проводились по методике ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» [6]

Образец кладки для проведения испытаний изготовлен сотрудниками ООО «БиГ»

Испытываемый образец представлял собой фрагмент кладки размером 1750 х 1000 мм. из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 плотностью около 650 кг/м$^3$, изготовленных по ТУ 5741-253-35354501-2007 [1]. Общая толщина блока составляет 300мм, сквозные продольные отверстия, сориентированные внутрь помещения, заполнены лёгким бетоном, в продольные отверстия, сориентированные наружу помещения, вставлены вкладыши из пенополистирола. Толщина стенок блока составляет 35-40мм, толщина вкладыша из пенополистирола составляет 105мм, толщина заполнения из бетона – 115мм.

Устройство кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 показано на Фото 2. и состояло из следующих основных операций:

На ровную горизонтальную поверхность проёма климатической камеры устанавливался первый ряд щепоцементных блоков несъемной опалубки, на него, вплотную «на сухую» без применения строительного раствора устанавливался второй ряд блоков. Предварительно приготовленную бетонную смесь заливали в соответствующие полости блоков и уплотняли путём штыкования вручную стальным стержнем диаметром 20мм. После устройства кладки, горизонтальные и вертикальные швы были зачеканены строительным раствором.

Устройство кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки показано на Фото 2. Общий вид фрагмента кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 для проведения испытаний по определению сопротивления теплопередаче в климатической камере показан на Фото 3.

Фото2. Устройство кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12.

Фото3. Общий вид кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12.

Проведение испытаний по определению сопротивления теплопередаче проходило согласно методике ГОСТ 26254-84. Сущность метода определения сопротивления теплопередаче кладки состоит в вычислении значений термического сопротивления и сопротивления теплопередаче путём создания постоянного во времени перепада температур по обеим сторонам испытываемой конструкции, измерении температур воздуха и поверхностей кладки, а также теплового потока, проходящего через испытываемую конструкцию в стационарных условиях испытания.

В качестве испытательного оборудования и средств контроля применялись в соответствии с требованиями ГОСТ 26254-84:

- климатическая камера НИИ строительной физики ЭК-12 с тёплым и холодным отсеками, разделёнными испытываемой конструкцией;
- термоэлектрические преобразователи (термохроны);
- измерители теплового потока (тепломеры);
- милливольтметр;
- сосуд Дьюара.

Всё используемое в испытаниях оборудование и средства измерения аттестованы и прошли поверку в установленном порядке.

Измерения температуры и теплового потока проводились единовременно при помощи дистанционных приборов и аппаратуры при установлении стационарного режима теплопередачи. В соответствии с требованиями ГОСТ 26254-84 термохроны и тепломеры были установлены по вертикальным и горизонтальным осям в центрах однородных температурных зон в целях учёта средней температуры поверхности образца.

Влажность фрагмента кладки на момент испытаний составляла в среднем 5 % по массе. Проведение испытаний по определению сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12 проводилось в климатической камере в течение более 190 часов. Снятие показаний температуры поверхности кладки и тепловых потоков – в течение 120 часов. Во время испытаний, температура поверхности кладки колебалась незначительно, в пределах ± 0,5 °С, что свидетельствует о стационарном режиме проведения испытаний.

Обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с требованиями раздела 6 ГОСТ 26254-84.

Поскольку кладка из блоков щепоцементных блоков несъемной опалубки представляет собой сложную, неоднородную в теплотехническом отношении конструкцию, для неё определяется приведённое сопротивление теплопередаче, то есть усредненное по площади расчетной поверхности конструкции значение сопротивления теплопередаче, вычисляемое по формуле

$$R_o^{пр} = \frac{1}{a_н} + \frac{\sum F_i}{\sum \left(F_i / R_{ki}\right)} + \frac{1}{a_в}, \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}, \qquad (4)$$

где $F_i$ — площадь $i$-ой однородной зоны ограждающей конструкции, м$^2$;

$R_{oi}$ — сопротивление теплопередаче $i$-й однородной зоны ограждающей конструкции, м$^2$·°С/Вт.

В испытываемой конструкции кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 можно выделить несколько однородных теплотехнических зон:

- зона 1 технологических пустот блоков, заполненных бетоном и вкладышами из пенополистирола;
- зона 2 перегородки из щепоцементных блоков несъемной опалубки внутри каждого блока;
- зоны 3 стыков (вертикальных и горизонтальных) блоков между собой.

Площади однородных теплотехнических зон для каждого блока имели значения, соответственно:

Первая – 0,032 м$^2$ ≈ 51%;

Вторая – 0,008 м$^2$ ≈ 13%;

Третья – 0,025 м$^2$ ≈ 36%;

Принципиальная схема образца кладки с указанием однородных теплотехнических зон и расстановки теплохронов и тепломеров показана на Рис.1.

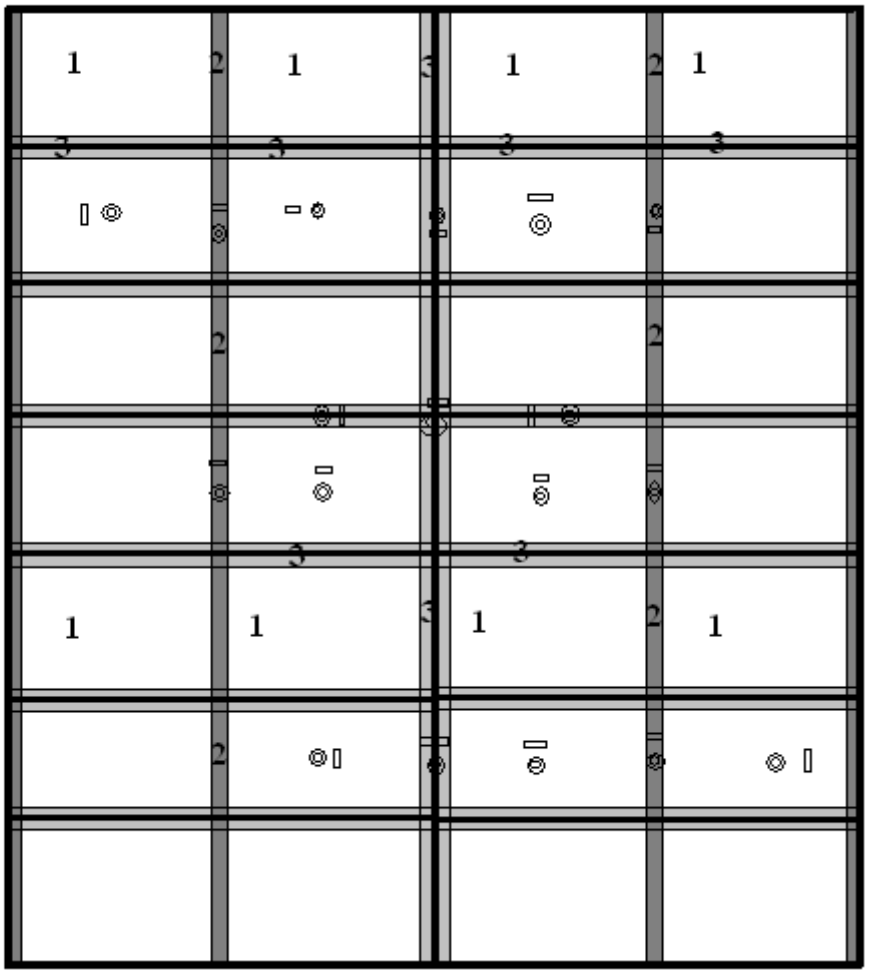

Рис.1. Схема образца кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 с номерами однородных теплотехнических зон и расположением теплохронов и тепломеров

На поверхность кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки, в каждую из однородных теплотехнических зон устанавливались термохроны и тепломеры таким образом, чтобы получить в ходе испытаний значение температуры и интенсивность теплового потока в каждой точке кладки.

Значком □ на схеме обозначены термохроны, значком о тепломеры.

По полученным в ходе испытаний значениям температуры и теплового потока в конкретной точке конкретной *i* –той зоны по формуле:

$$R_k^{пр} = \frac{\sum F_i}{\sum \left(F_i / R_{ki}\right)}, \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{C/Вт}, \qquad (5)$$

определялось усредненное по площади расчетной поверхности неоднородной ограждающей конструкции значение термического сопротивления кладки из блоков щепоцементных блоков несъемной опалубки. Затем, по формуле (4) вычислялось приведённое термическое сопротивление кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12.

*2.2. Результаты определения сопротивления теплопередаче образца кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12.*

Результаты определения сопротивления теплопередаче образца кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12. приведены в Таблице 7.

Таблица 7.

Результаты экспериментального определения значения сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12.

| № зоны | Температура воздуха, °С | Температура поверхности кладки *i* зоны, °С | Среднее значение теплового потока, Вт/ м$^2$ | Термическое сопротивление *i* зоны, м$^2$ °С/Вт | Приведённое сопротивление теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12, м$^2$ °С/Вт |
|---|---|---|---|---|---|

| | Наружн. | Внутр. | Наружн. | Внутр. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | - 25,0 | 19,0 | -24,4 | 14,8 | 16,2 | 2,42 | 2,45 |
| 2 | | | -23,6 | 14,1 | 17,0 | 2,22 | |
| 3 | | | -23,6 | 13,8 | 17,3 | 2,16 | |

Вычисление приведенного сопротивления теплопередаче по формуле (4):

$R_o^{пр}$=1/23+(0,032+0,008+0,025)/((0,032/2,42)+(0,008/2,22)+(0,025/2,16))+1/8,7= =0,043+0,065/(0,0132+0,0036+0,0116)+0,115= 0,043+2,289+0,115= 2,45м$^{2o}$С/Вт

Анализируя результаты определения сопротивления теплопередаче образца кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12 можно прийти к следующим выводам:

-значение приведённого термического сопротивления образца кладки составляет 2,30 м$^2$ $^0$С/Вт;

-значение приведённого сопротивления теплопередаче образца кладки составляет 2,45 м$^2$ $^0$С/Вт,

- полученное значение приведённого сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 , будет удовлетворять действующим нормам по энергосбережению при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

- некоторое снижение полученного значения сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 по сравнению с ожидаемым, равным $R_o^{пр}$=2,83 м$^2$ $^0$С/Вт может быть связано со снижением в условиях эксперимента теплотехничесой однородности кладки. В частности, при производстве демонтажа кладки выяснилось, что вкладыши из пенополистирола по горизонтали разделены тонким слоем строительного раствора, служащим мостиком холода;

- при устройстве кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки рекомедуется оштукатуривать поверхности возводимых стен, что улучшит теплотехнические показатели стен в процессе эксплуатации. Сопротивление паропроницанию слоя штукатурки, наносимого на внутреннюю поверхность стены, должно быть больше, чем сопротивление паропроницанию слоя штукатурки, наносимого на наружную поверхность стены.

## 3. Расчёт температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий.

*3.1. Методика расчёта температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий.*

Приведенное сопротивление теплопередаче для сложных конструкций, состоящих из материалов с различной теплопроводностью, находится по температурному полю, рассчитанному численным методом. Так как коэффициенты теплопроводности бетона и пенополистирола сильно различаются (в 50 раз), исследуемая конструкция считается сложной.

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции находится расчетом двухмерного температурного поля характерного участка конструкции с кладочным швом. Расчет температурного поля позволяет найти приведенное сопротивление теплопередаче конструкции и локальные температуры на внутренней поверхности стены.

Для расчета температурного поля численно решается трехмерное стационарное уравнение теплопроводности. Так как задача требует большой точности, то наиболее эффективным является переход от трехмерной задачи к оси симметричной, которая, описывая трехмерное температурное поле, требует решения двухмерного уравнения. При этом достигается выигрыш во времени для расчета примерно в 1000 раз. Расчеты проводятся на ЭВМ по программе по расчету стационарных двумерных оси симметричных температурных полей. Программа основана на численном решении нестационарного уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах.

$$c_m \gamma_m \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x}) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\lambda_r r \frac{\partial t}{\partial r}) \qquad (М.1)$$

где $c_m$ – удельная теплоемкость, Дж/(кг°С);

$\gamma_m$ – плотность, кг/м$^3$;

$\lambda_x$ , $\lambda_r$ – расчетные коэффициенты теплопроводности по соответствующим направлениям, Вт/(м°С);

$t$ – температура, °С;

$x$ – координата по оси перпендикулярной плоскости стены, м;

$r$ - радиальная координата, м;

$z$ – время, с.

На границах ограждения принимаются стационарные условия теплообмена третьего рода.

*Для двухмерных задач решается двухмерное уравнение теплопроводности:*

$$c_m \gamma_m \frac{\partial t}{\partial z} = \lambda_x \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \qquad (М.2)$$

где $x$, $y$ – координаты, м;

$\lambda_x$ , $\lambda_y$ – расчетные коэффициенты теплопроводности по соответствующим направлениям, Вт/(м·°С).

*Уравнение решается в конечных разностях по явной схеме.* При стационарных граничных условиях в результате решения получается стационарное температурное поле, по которому определяется поток теплоты через узел конструкции, $Q_2$, Вт. Коэффициент теплотехнической однородности конструкции рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{Q_1}{Q_2} \qquad (М2.3)$$

где $Q_1$ – поток теплоты через однородную конструкцию той же площади, Вт.

$Q_1$ находится по формуле:

$$Q_1 = \frac{t_в - t_н}{R_o} \cdot S \qquad (М2.4)$$

где $R_0$ - сопротивление теплопередаче ограждения по глади, (м$^2$·°С)/Вт.

Сопротивление теплопередаче ограждения по глади находится по формулам 3, 4, 5 СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» [8] или:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_н} \qquad (М2.5)$$

где: $\alpha_в$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, м$^2$°С/Вт, (равен 8,7);

$\alpha_н$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, м$^2$°С/Вт, (равен 23);

$\delta/\lambda$ - термическое сопротивление слоя материала, м$^2$ °С/Вт.

Приведенное сопротивление теплопередаче узла конструкции рассчитывается по формуле:

$$R_0^{пр} = \frac{t_в - t_н}{Q_2} \qquad (М2.6).$$

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

*3.2. Расчёт температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 тип N-стандартный рядный блок, покрытие штукатурным составом раствором цементно-песчаным плотностью 1800 кг/м$^2$. Внутренняя отделка толщиной слоя 10мм, наружная – 20мм.*

Общая толщина рассчитываемой конструкции стены составляет 0,33м. Толщина стенок блока составляет 40мм, толщина вкладыша из пенополистирола составляет 105мм, толщина заполнения из бетона – 120мм. Внутренняя и внешняя отделка штукатурным составом раствором цементно-песчаным плотностью 1800 кг/м$^2$ толщиной 0,01 и 0,02м соответственно.

Сопротивление теплопередаче по глади стены определяется по формуле (М2.5) и составляет:

$$R_{o1} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{0,04}{0,16} + \frac{0,12}{1,86} + \frac{0,105}{0,04} + \frac{0,04}{0,16} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,38 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

Расчетная область конструкции составила: 0,33м в толщину и 0,5м в длину. Область была разбита на 6 тысяч шестьсот ячеек (66×100). Результат расчета температурного поля рядового участка стены, показан на рис. 3.1.

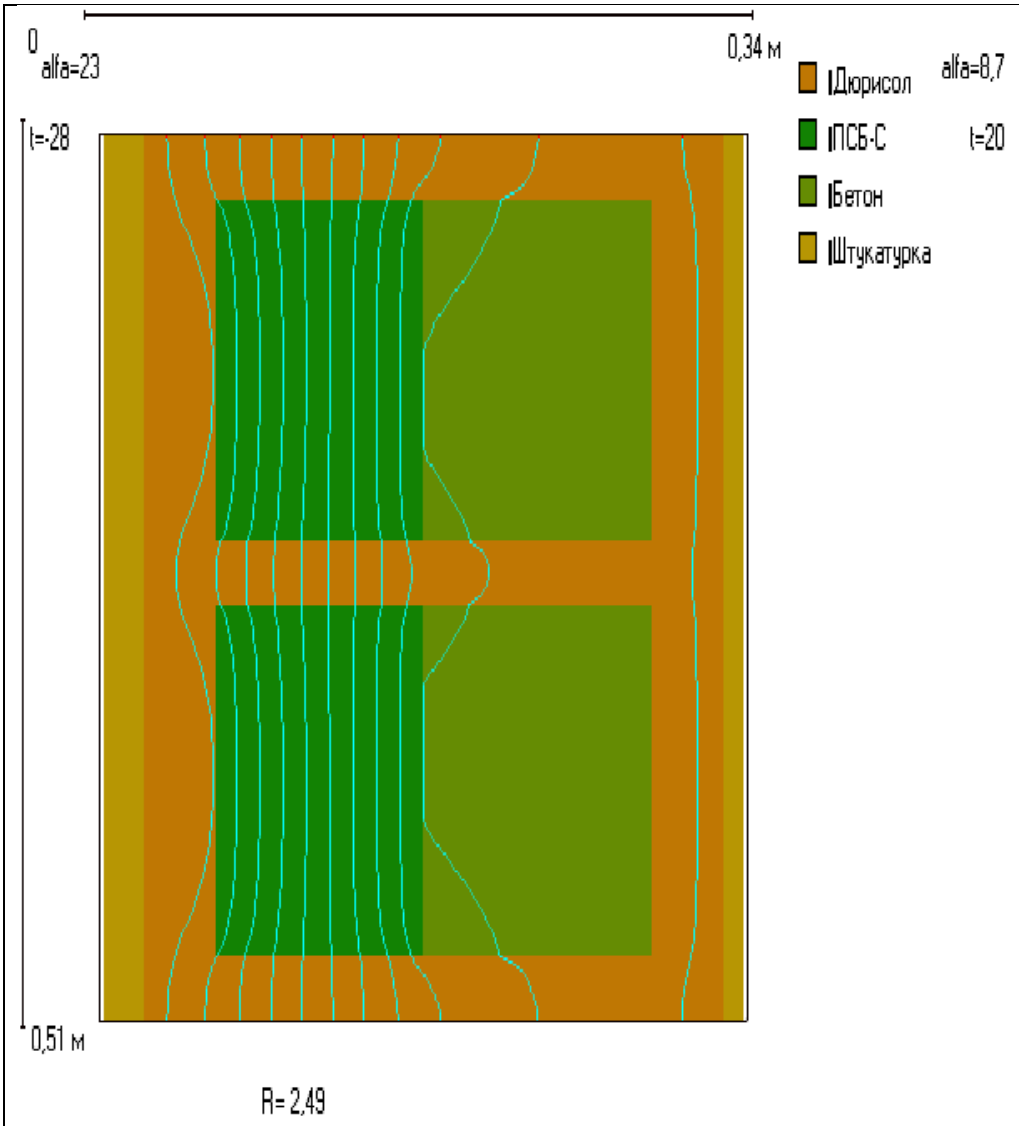


Рис. 3.1. Температурное поле щепоцементных блоков несъемной опалубки с толщиной слоя бетона 120мм и слоя пенополистирола 105мм. Внутренняя отделка цементно-песчаным раствором толщиной слоя 10мм, наружная – 20мм.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены $R_o^{пр} = 2{,}49$ м$^2$°С/Вт .
Коэффициент теплотехнической однородности конструкции r =0,74.
Минимальная температура на внутренней поверхности стены 17,7 °С.

*3.3. Расчёт температурных полей и значения приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 тип N-стандартный рядный блок, покрытие штукатурным составом раствором цементно-песчаным плотностью 1800 кг/м². Внутренняя отделка толщиной слоя 20мм, наружная – 40мм.*

Общая толщина рассчитываемой конструкции стены составляет 0,36м. Толщина стенок блока составляет 40мм, толщина вкладыша из пенополистирола составляет 105мм, толщина заполнения из бетона – 120мм. Внутренняя и внешняя отделка штукатурным составом раствором цементно-песчаным плотностью 1800 кг/м² толщиной 0,02 и 0,04м соответственно.

Сопротивление теплопередаче по глади стены определяется по формуле (М2.5) и составляет:

$$R_{o2} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,04}{0,16} + \frac{0,12}{1,86} + \frac{0,105}{0,04} + \frac{0,04}{0,16} + \frac{0,04}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,41 \ (\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})/\text{Вт}$$

Результат расчета температурного поля рядового участка стены, показан на рис. 3.2. Расчетная область конструкции составила: 0,36м в толщину и 0,5м в длину. Область была разбита на 6 тысяч ячеек (60×100).

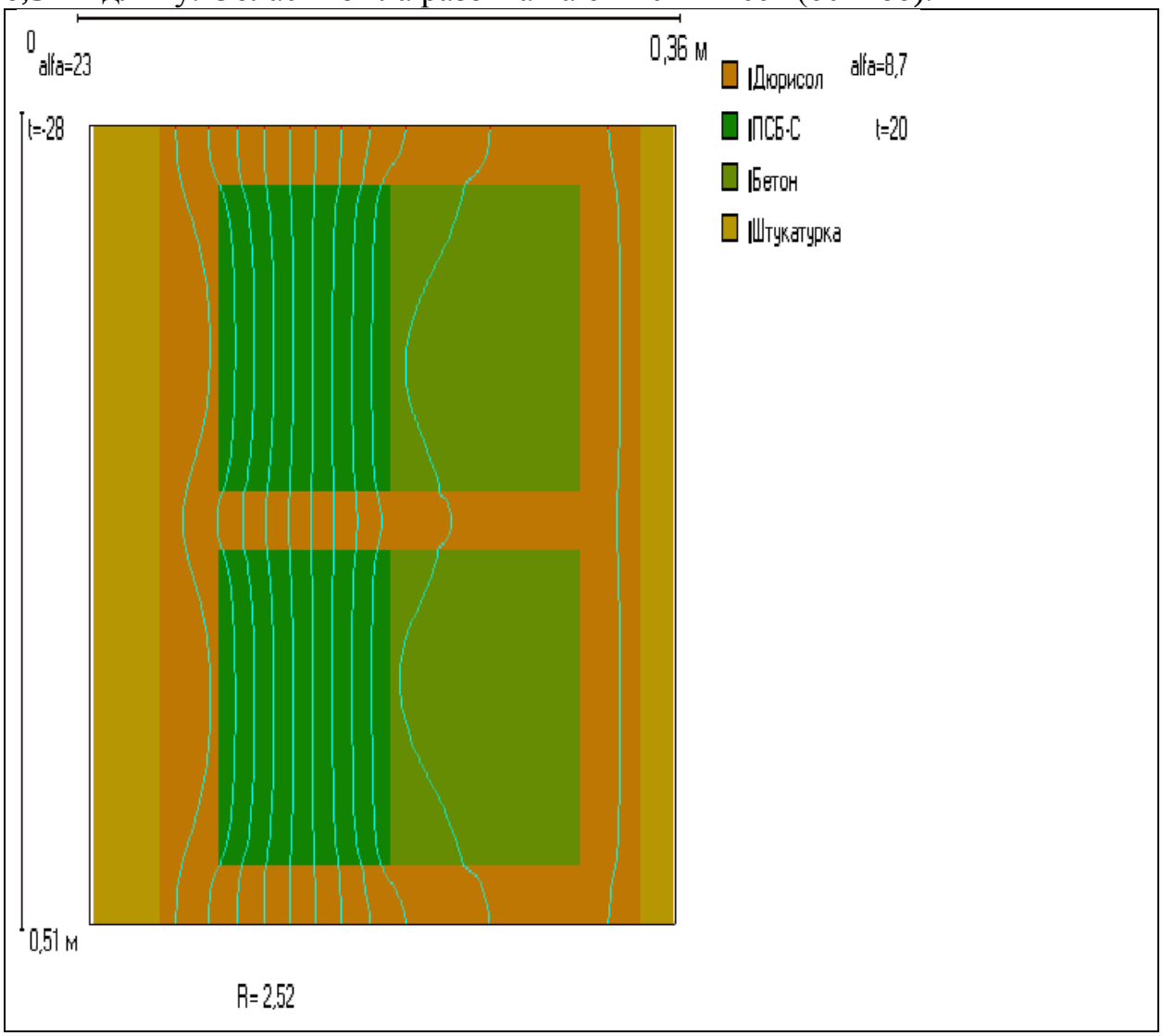

Рис. 3.2. Температурное поле щепоцементных блоков несъемной опалубки с толщиной слоя бетона 120мм и слоя пенополистирола 105мм. Штукатурный слой 20 и 40мм.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены $R_o^{пр} = 2{,}52$ м$^2$°С/Вт .
Коэффициент теплотехнической однородности конструкции r =0,74.
Минимальная температура на внутренней поверхности стены 17,7 °С.

*3.4. Расчёт температурных полей и значения приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12 тип N-стандартный рядный блок, покрытие штукатурным составом раствором цементно-песчаным плотностью 1800 кг/м$^2$. Внутренняя отделка толщиной слоя 10мм, наружная – 20мм.*

Общая толщина рассчитываемой конструкции стены составляет 0,405м. Толщина стенок блока составляет 40мм, толщина вкладыша из пенополистирола составляет 175мм, толщина заполнения из бетона – 120мм. Внутренняя и внешняя отделка раствором цементно-песчаным плотностью 1800кг/м$^2$. Внутренняя отделка толщиной слоя 10мм, наружная – 20мм.

Сопротивление теплопередаче по глади стены определяется по формуле (М2.5) и составляет:

$$R_{o3} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}01}{0{,}93} + \frac{0{,}04}{0{,}16} + \frac{0{,}12}{1{,}86} + \frac{0{,}175}{0{,}04} + \frac{0{,}04}{0{,}16} + \frac{0{,}02}{0{,}93} + \frac{1}{23} = 5{,}13 \ \text{(м}^2\cdot\text{°С)/Вт}$$

Результат расчета температурного поля рядового участка стены, показан на рис. 3.3. Расчетная область конструкции составила: 0,405м в толщину и 0,5м в длину. Область была разбита на 7 тысяч шестьсот ячеек (76×100).

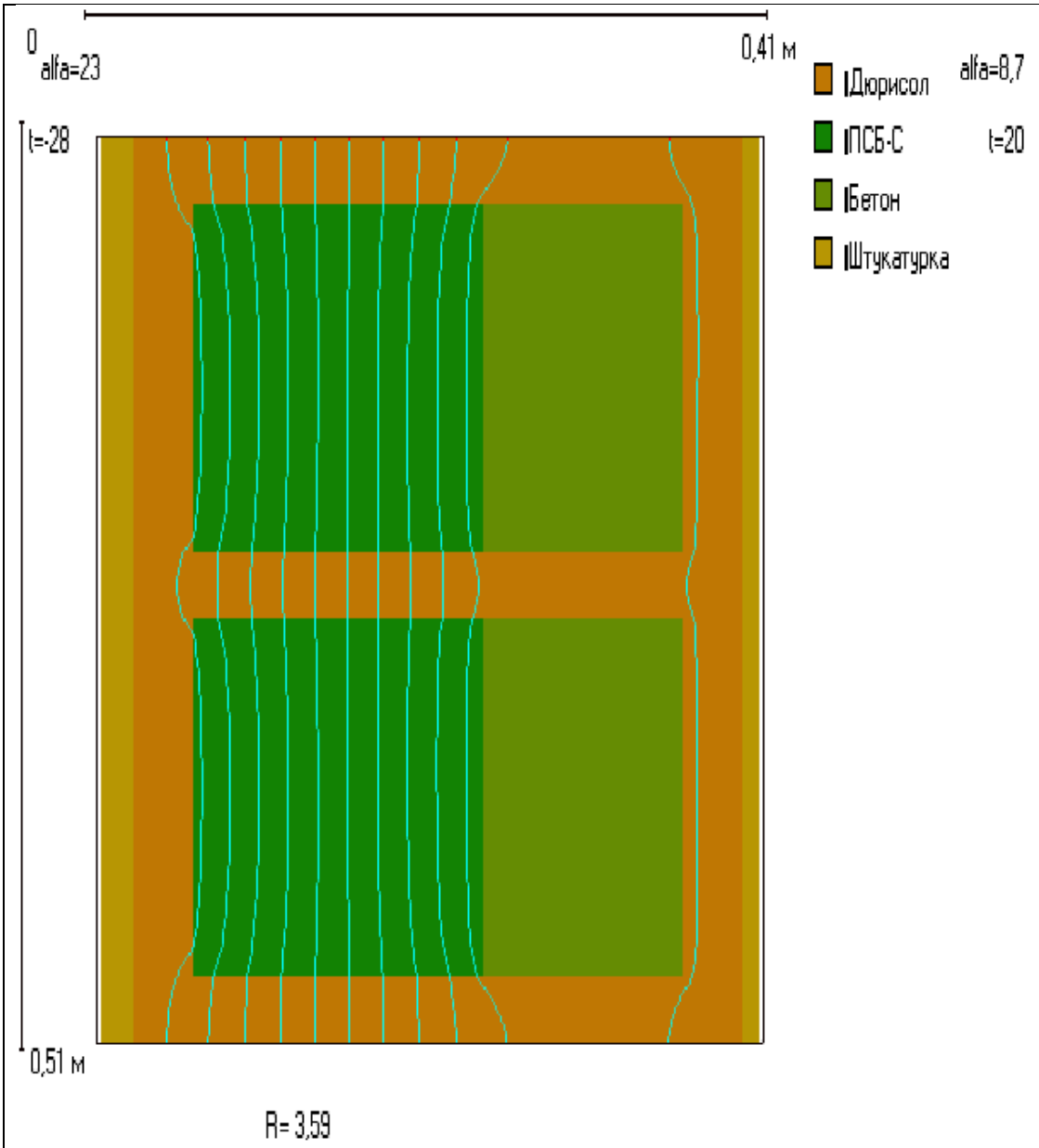


Рис. 3.3. Температурное поле щепоцементных блоков несъемной опалубки с толщиной слоя бетона 155мм и слоя пенополистирола 75мм. Внутренняя отделка цементно-песчаным раствором толщиной слоя 10мм, наружная – 20мм.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены $R_o^{пр} = 3{,}59$ м$^2$°С/Вт .
Коэффициент теплотехнической однородности конструкции r =0,70.
Минимальная температура на внутренней поверхности стены 18,4 °С.

*3.5. Результаты расчётов температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий.*

Результаты расчётов температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий приведены в Таблице 8.

Таблица 8.

Результаты расчётов температурных полей и значений приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки

| Наименование конструкции | Приведенное сопротивление теплопередаче стены, м$^2$°С/Вт | Коэффициент теплотехнической однородности конструкции | Минимальная температура на внутренней поверхности стены, °С |
|---|---|---|---|
| DSs 30/12 со штукатуркой цементно-песчаным раствором 10 и 20мм | 2,49 | 0,74 | 17,7 |
| DSs 30/12 со штукатуркой цементно-песчаным раствором 20 и 40мм | 2,52 | 0,74 | 17,7 |
| DSs 37,5/12 со штукатуркой цементно-песчаным раствором 10 и 20мм | 3,59 | 0,70 | 18,4 |

## 4. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки для климатических условий Московского и Санкт-Петербургского регионов.

*4.1. Методика расчёта влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки*

Расчет нестационарного влажностного режима проводится в соответствии с методикой, разработанной в НИИСФ. Эта методика достаточно полно отражает многочисленные факторы, влияющие на влажностный режим конструкций, и опирается на следующую модель влагопереноса в ограждающей конструкции.

Уравнение одномерного перемещения влаги в материале конструкции имеет вид:

$$\gamma \frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left( \beta \frac{\partial w}{\partial x} + \mu \frac{\partial (\varphi p_s)}{\partial x} \right) \qquad (П3.1)$$

здесь $p_s$ - давление насыщенного водяного пара, зависящее от температуры, Па;

$x$ - пространственная координата, м;

$\beta$ - коэффициент влагопроводности кг/(м ч);

$\gamma$ - плотность материала, кг/м$^3$;

$\varphi$ - относительная влажность воздуха в порах материала, доли единицы;

$\tau$ - время, ч;

$\mu$ - коэффициент паропроницаемости, кг/(м ч Па);

$w$ - влажность материала, кг/кг или %.

Поток влаги через конструкцию всюду непрерывен. При влажности ниже максимальной сорбционной величина $\varphi$ связана с влажностью материала $w$ при помощи изотермы равновесного влагосодержания, т.е. изотермы сорбции или десорбции водяного пара материалом. На стыке двух различных материалов их влажности соответствуют равновесным, в частности в зоне сорбционного увлажнения - по изотермам сорбции, при сверхсорбционном увлажнении они являются пропорциональными среднесуточным скоростям капиллярного всасывания.

На поверхностях конструкции влагообмен с окружающим воздухом описывается уравнениями граничных условий 3-го вида, т.е. поток влаги из внутреннего воздуха в конструкцию равен:

$$G_i = \frac{1}{R_{vi}}\left(p_{si}\ \varphi_i - p_{sis}\ \varphi_i\right) \qquad (П3.2)$$

а поток влаги из конструкции в наружный воздух равен:

$$G_e = \frac{1}{R_{ve}}\left(p_{ses}\ \varphi_i - p_{se}\ \varphi_e\right) \qquad (П3.3)$$

где индексы обозначают:

$s$ - насыщение;

$e$ - наружный;

$i$ - внутренний;

$si$ - внутренняя поверхность;

$se$ - наружная поверхность.

Так как процессы влагопереноса более инерционны, чем теплопереноса, температурное поле в конструкции предполагается стационарным в любой момент времени. Однако, температура и относительная влажность наружного воздуха принимаются переменными в течение года. Причем полагается, что эти величины изменяются одинаково каждый год.

Эта модель была положена в основу при создании численного метода расчета влажностного режима, который реализован в виде программы на ПЭВМ. Метод позволяет проводить расчет нестационарного одномерного влагопереноса в многослойной ограждающей конструкции.

Уравнение (П3.1) решается в конечных разностях по явной схеме. При этом для проведения расчета необходимы данные, которые можно разделить на четыре группы:

1. Данные об условиях эксплуатации конструкции. К ним относятся значения температуры и относительной влажности воздуха, как с наружной, так и с внутренней стороны конструкции. Эти величины принимаются переменными в течение года.

2. Данные о характеристиках материалов, из которых изготовлена конструкция. Эти данные следующие:

- плотность материала в сухом состоянии,
- изотерма сорбции или десорбции водяного пара (т.е. влажность материала равновесная с воздухом различной влажности при увлажнении или сушке материала),
- паропроницаемость в зависимости от влажности материала,
- влагопроводность в зависимости от влажности материала,
- теплопроводность в зависимости от влажности материала,
- среднесуточная скорость капиллярного всасывания.

3. Данные о конструкции. К ним относятся толщина и порядок расположения однородных слоев в конструкции, места расположения пароизоляционных слоев и величина их сопротивления паропроницаемости, значения коэффициентов тепло- и влагообмена на наружной и внутренней поверхностях конструкции, начальная влажность материалов конструкции.

4. Данные об условиях проведения расчета. К ним относятся: месяц, начиная с которого следует проводить расчет, число лет, для которых следует проводить расчет, и периодичность (чаще всего один месяц), с которой следует фиксировать результаты расчета.

Результатами расчета являются распределения влажности по толщине конструкции в любой момент времени ее эксплуатации. Другими словами, в результате расчета определяется эксплуатационная влажность материалов конструкции.

При проведении расчетов характеристики материалов наружных стен принимались в соответствии с СП 23-101-2000 прил. Е и «Руководством по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий».

Кроме перечисленных данных в расчете задаются внутреннее сопротивление влагообмену, которое зависит от внутреннего отделочного слоя, и наружное сопротивление влагообмену, которое зависит от устройства облицовочного слоя.

В качестве начальной принята влажность материалов конструкции, соответствующая их сорбционному увлажнению при относительной влажности воздуха равной 99%.

Расчеты проведены на первые двадцать лет эксплуатации здания.

В результате расчетов получено распределение 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.

*4.2. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12.*

*Для региона г. Москвы.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 105мм;
- бетон 120мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 11,1% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,9 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.1.

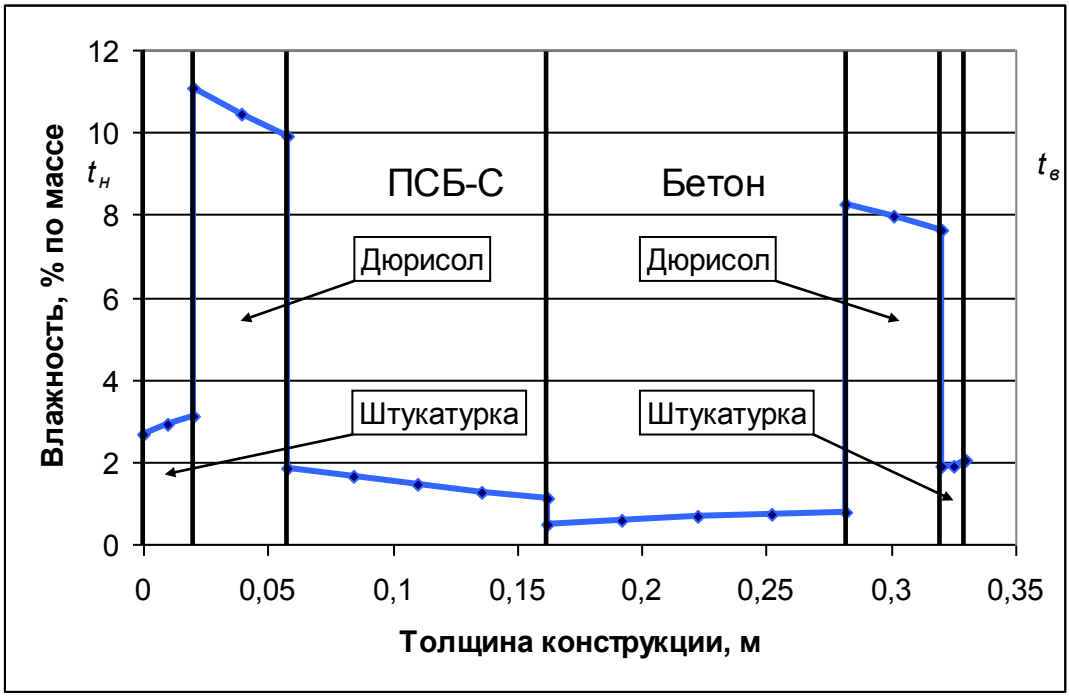


Рис. 4.1. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 в период максимального влагонакопления.

*Для региона г. Санкт-Петербурга.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 105мм;
- бетон 120мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 11,0% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,8 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.1.1.

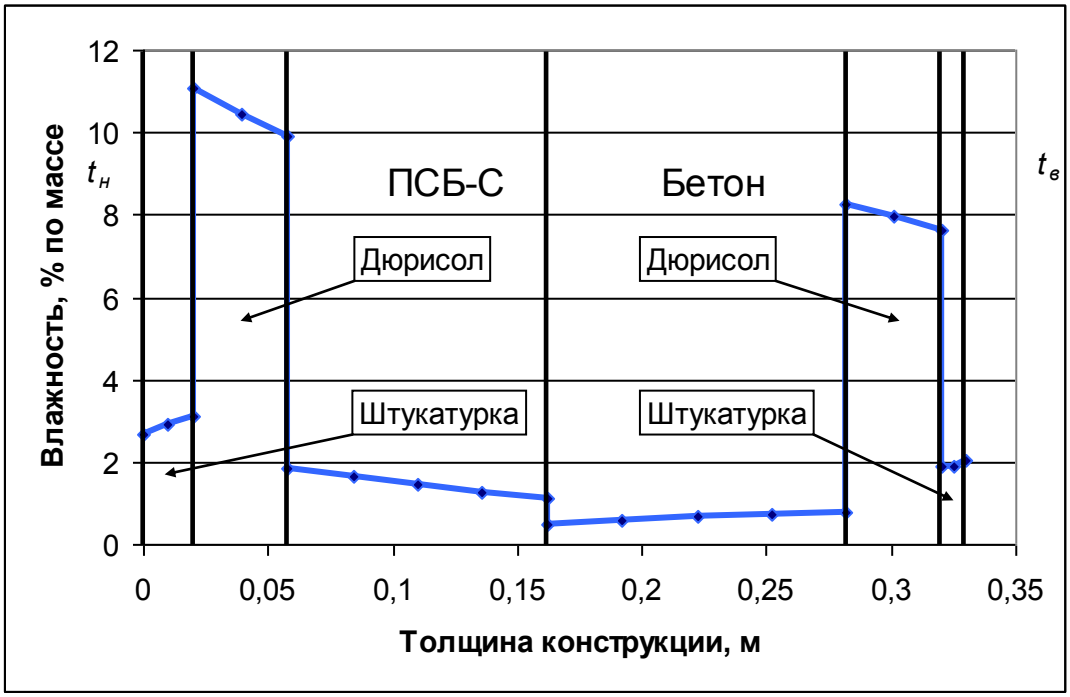


Рис. 4.1.1. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/12 в период максимального влагонакопления.

*4.3. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/15.*

*Для региона г. Москвы.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 75мм;
- бетон 150мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 11,1% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,8 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/15 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.2.

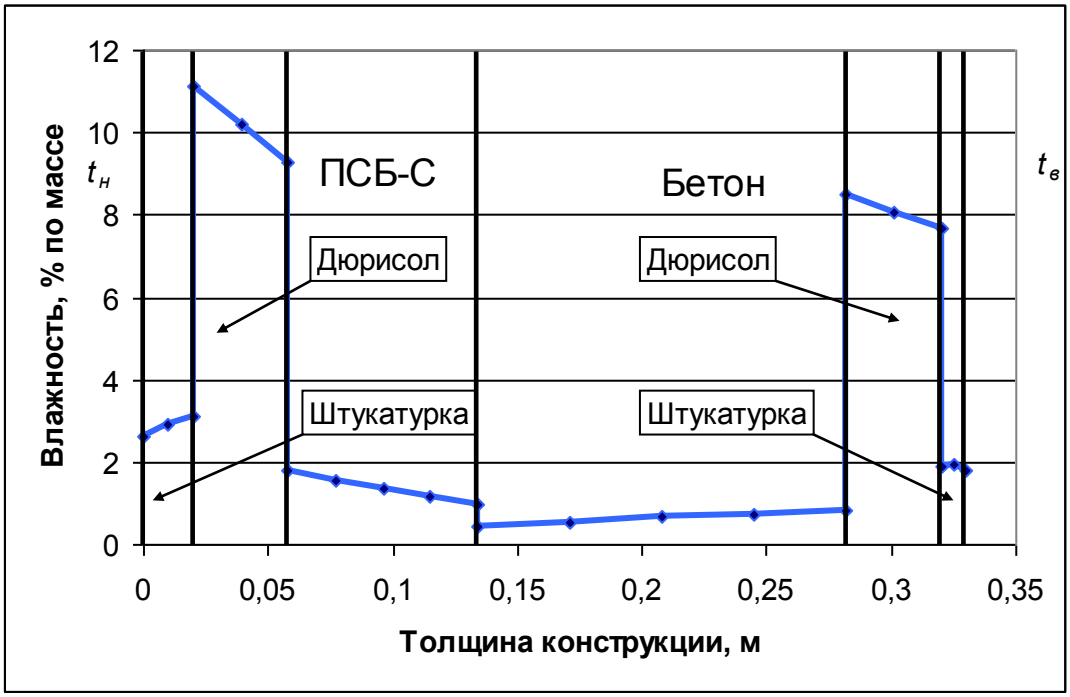


Рис. 4.2. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/15 в период максимального влагонакопления.

*Для региона г. Санкт-Петербурга.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 75мм;
- бетон 150мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 11,0% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,8 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/15 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.2.1.

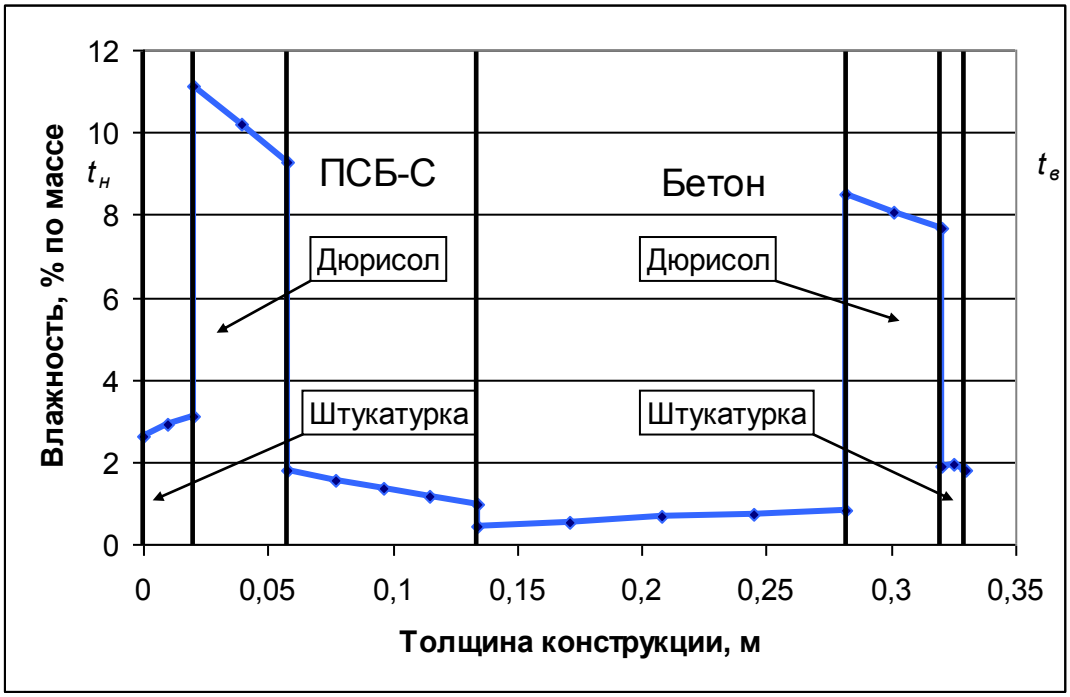


Рис. 4.2.1. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 30/15 в период максимального влагонакопления.

*4.4. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12.*

*Для региона г. Москвы.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 175мм;
- бетон 120мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 10,9% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,9 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.3.

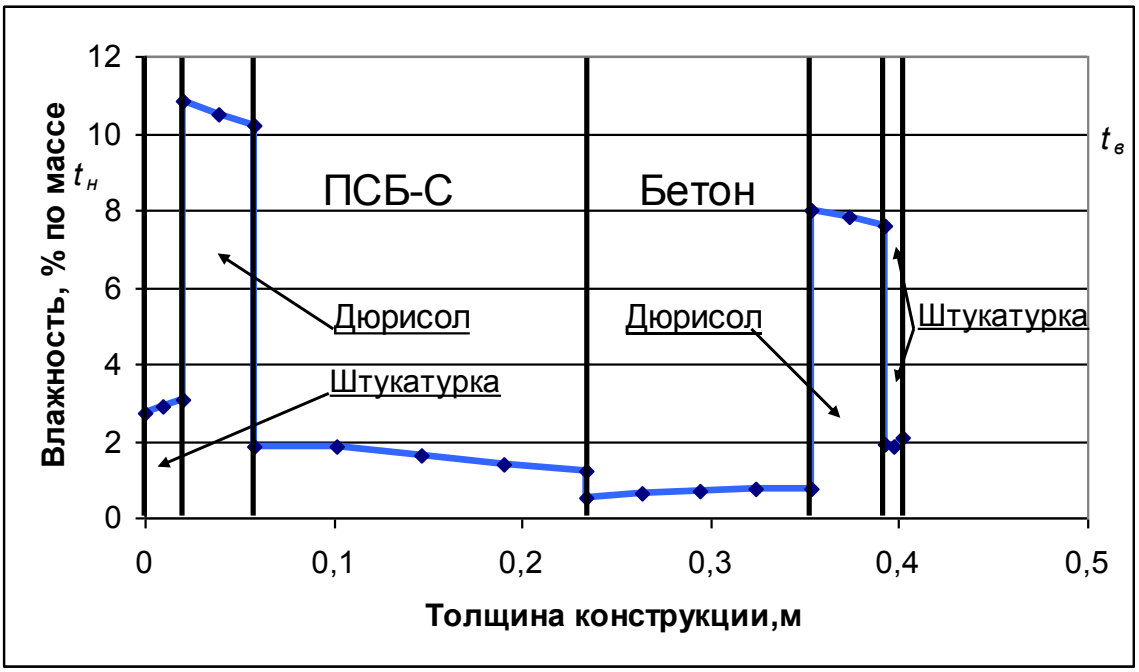


Рис. 4.3. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12 в период максимального влагонакопления.

*Для региона г. Санкт-Петербурга.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 175мм;
- бетон 120мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 10,8% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,9 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.3.1.

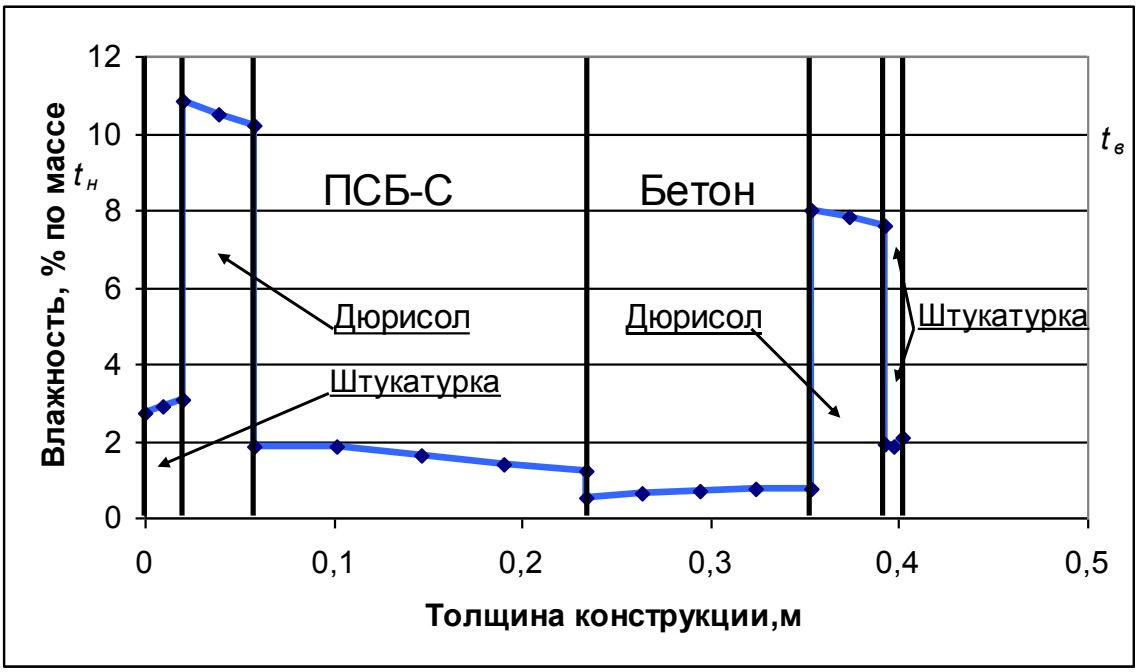


Рис. 4.3.1. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/12 в период максимального влагонакопления.

*4.5. Расчёт влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/14.*

*Для региона г. Москва.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 155мм;
- бетон 140мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 10,9% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,9 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/14 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.4.

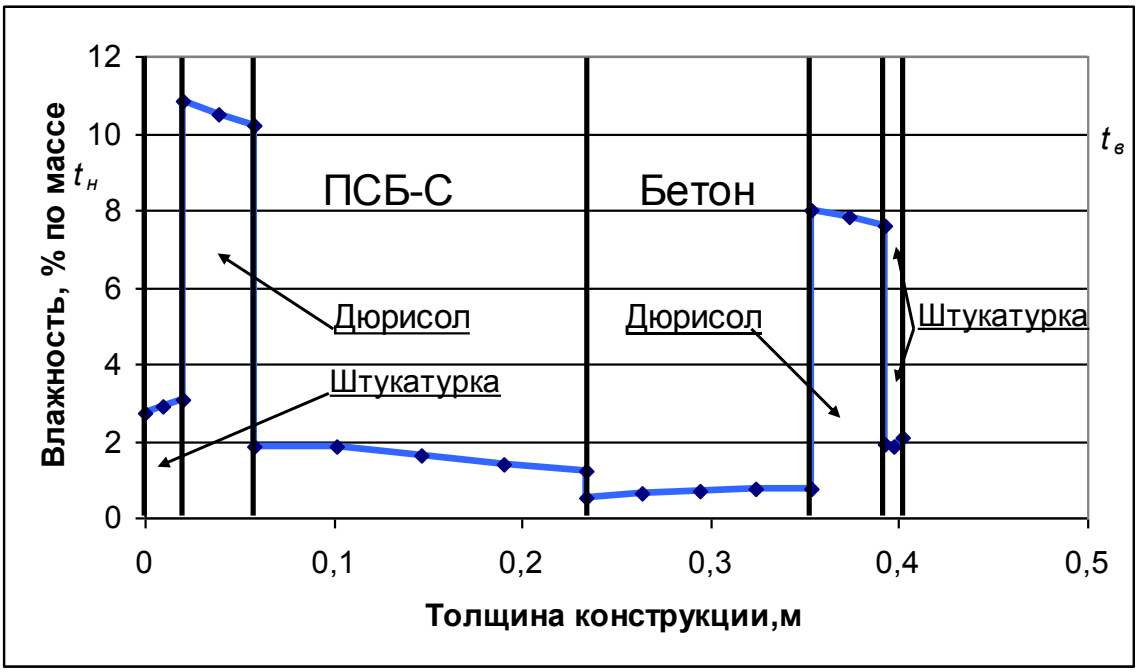


Рис. 4.4. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/14 в период максимального влагонакопления.

*Для региона г. Санкт-Петербурга.*

Состав стены от наружных слоёв к внутренним:

- штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм;
- пенополистирол, 155мм;
- бетон 140мм;
- щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм;
- раствор цементно-песчаный 10мм.

В результате расчётов получено:

Время установления квазистационарного влажностного режима конструкции – 2 года;

Месяц наибольшего увлажнения стены – февраль;

Слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;

Максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) – 10,8% по массе;

Средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 1,9 % по массе.

Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/14 в месяц максимального влагонакопления показано на Рис. 4.4.1.

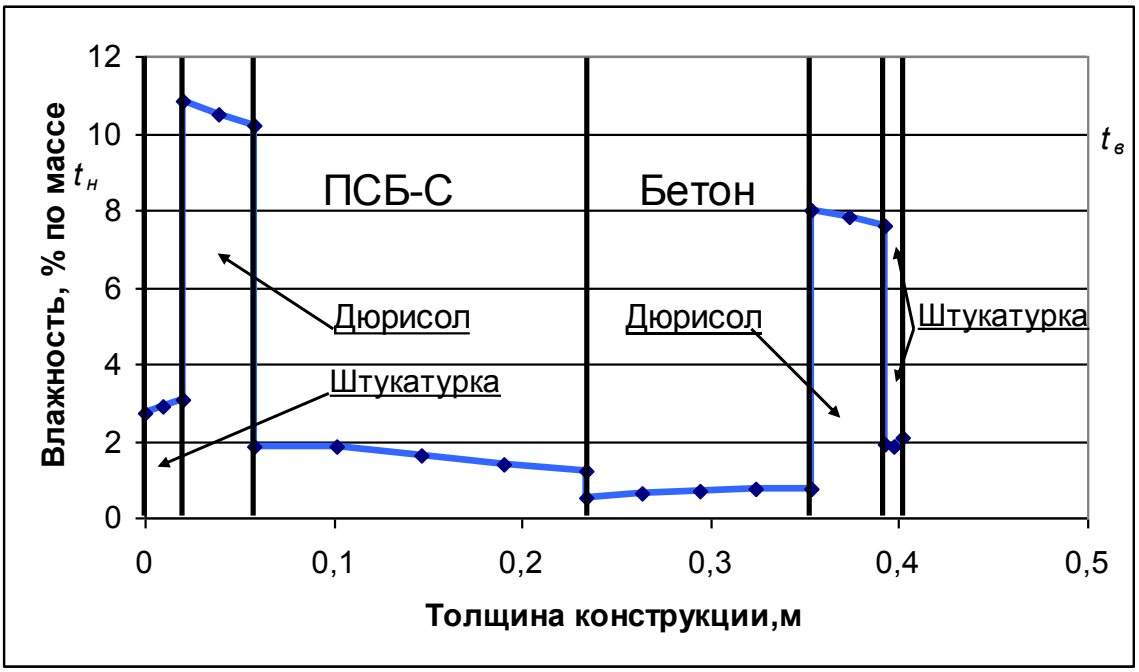


Рис. 4.4.1. Распределение влаги в толще стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки серии DSs 37,5/14 в период максимального влагонакопления.

Был проведен расчет влажностного режима перемычки из щепоцементных блоков несъемной опалубки, соединяющей наружный и внутренний слои блока. Данный расчет следует считать приблизительным, т.к. реальное температурное и влажностное поле не является одномерным. Распределение влаги в перемычке блока щепоцементные блоки несъемной опалубки показано на Рис. 4.5.

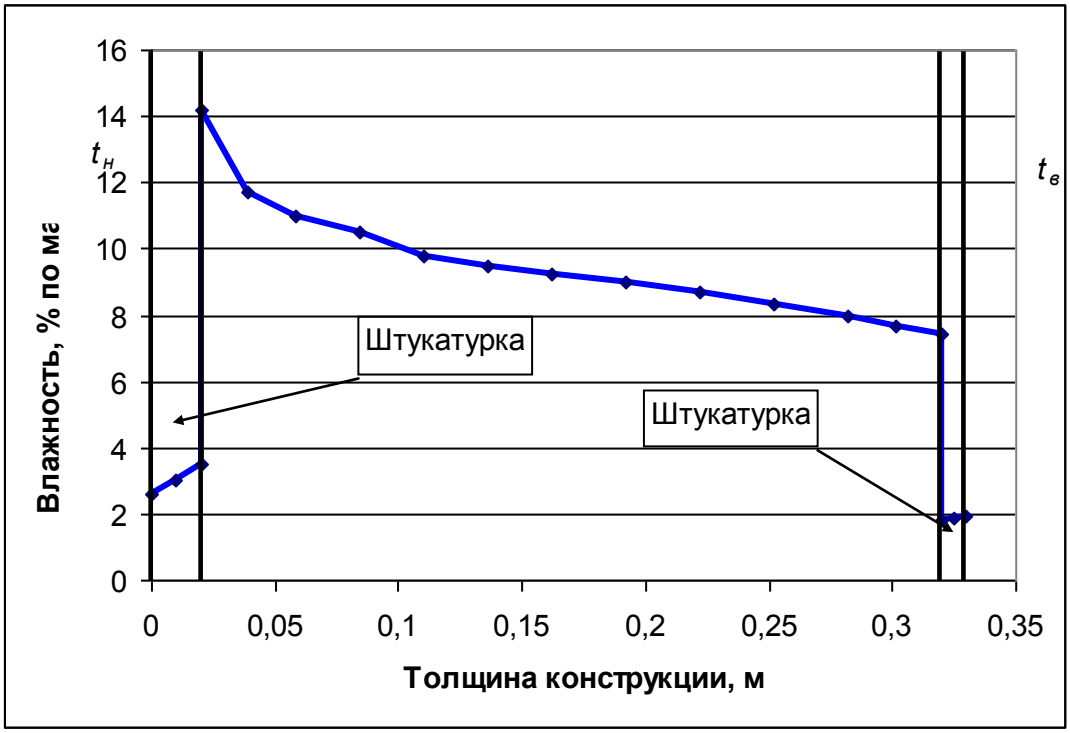


Рис. 4.5. Распределение влаги в перемычке блока щепоцементные блоки несъемной опалубки в период максимального влагонакопления.

Из рисунка следует, что максимальная влажность, достигаемая щепоцементными блоками несъемной опалубки в процессе эксплуатации (начальный период эксплуатации здания не учитывается) – 14,2% по массе.

Также проведено определение возможности образования зоны конденсации в наружной стеновой конструкции из щепоцементных блоков несъемной опалубки на примере блока DSs 30/12.

Методика таких графо-аналитических расчетов приведена в [10]. В соответствии с этой методикой на схематическом изображении конструкции наносится распределение по толщине парциального давления насыщенного водяного пара (*E*) и фактического парциального давления водяного пара (*e*), полученного расчетом. Если эти линии пересекаются, то в зоне их пересечения существует зона конденсации. Если же они не пересекаются, то зона конденсации отсутствует. Уточнение размеров зоны конденсации производится специальным расчетом и не входит в задачи настоящей работы.

Соответствующие расчеты производятся для средней температуры наружного воздуха самого холодного месяца (января), составляющей, в данном случае, -10,2 °С и для относительной влажности воздуха 87%, которая соответствует среднему месячному значению в январе в г. Москве. Температура внутреннего воздуха помещения принимается равной 20°С, относительная влажность 55%.

Размеры конструкции принимаются в соответствии с данными заказчика. Состав стены от наружных слоёв к внутренним: штукатурный слой из раствора цементно-песчаного толщиной 20мм; щепоцементные блоки несъемной опалубки, 40мм; пенополистирол, 105мм; бетон 120мм; щепоцементные блоки несъемной опалубки 40мм; раствор цементно-песчаный 10мм. Результаты расчета этой конструкции приведены на Рис. 5.

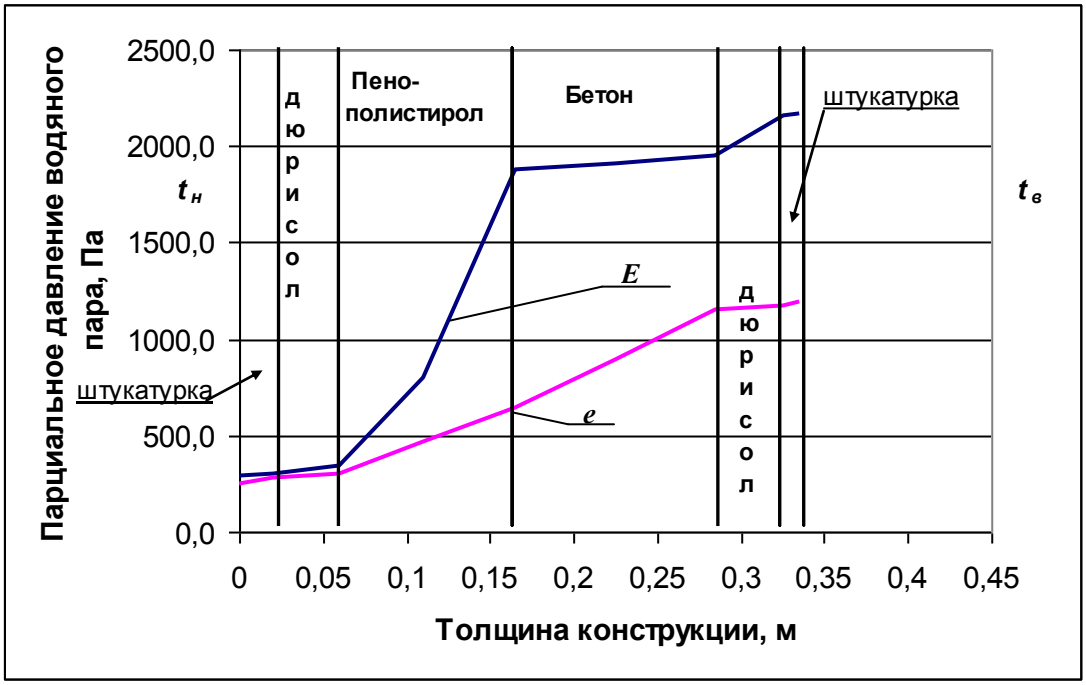


Рис 5. Распределение фактической и максимальной упругостей водяного пара в толще рассчитываемой конструкции при средней месячной температуре наружного воздуха -10,2°С.

Из приведенных на Рис.5 графиков видно, что зона конденсации не образуется. Для улучшения температурно-влажностного режима конструкции рекомендуется внутренние слои штукатурки делать более плотными, паронепроницаемыми, чем внешние.

**5. Рекомендации по расчётным параметрам теплозащиты ограждающих конструкций с применением щепоцементных блоков несъемной опалубки.**

При определении расчетных значений теплотехнических характеристик щепоцементных блоков несъемной опалубки необходимо учитывать два фактора: влажность и температуру материала в конструкциях в расчетный период. Были рассмотрены конструкции из блоков щепоцементных блоков несъемной опалубки различных серий для зданий в климатических условиях городов регионов городов Москвы и Санкт – Петербурга, т.е. для условий эксплуатации Б.

Влажность щепоцементных блоков несъемной опалубки в указанных конструкциях не превышает 14% по массе. В то же время максимальная сорбционная влажность материала составляет 18 % по массе. В качестве расчетной для условий эксплуатации Б принимаем наибольшую из указанных значений, т.е. 18% по массе. В качестве расчетной для условий эксплуатации А принимаем сорбционную влажность, соответствующую относительной влажности воздуха 90% , т.е. 12% по массе.

При определенных таким образом значениях влажности материала значения расчётного коэффициента теплопроводности получаются равными для условий эксплуатации А по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [3]: 0,19 Вт/м °С, для условий эксплуатации Б: 0,22 Вт/м °С.

На основании выполненных теплофизических исследований материала щепоцементных блоков несъемной опалубки и изделий из него, при теплотехнических расчетах рекомендуется использовать следующие теплотехнические показатели этого материала, приведённые в Таблице 9.

Таблица 9.

Расчетные теплофизические характеристики щепоцементных блоков несъемной опалубки

| | |
|---|---|
| Плотность в сухом состоянии, $\rho_o$, кг/м$^3$ | 650 |
| Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, $\lambda_o$, Вт/(м°С) | 0,15 |
| Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации А, % по массе | 12 |
| Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации Б, % по массе | 18 |
| Коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А, $\lambda_А$, Вт/(м°С) | 0,19 |
| Коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации Б, $\lambda_Б$, Вт/(м°С) | 0,22 |
| Удельная теплоёмкость, $c_o$, кДж/(кг °С) | 2,3 |
| Коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч), для условий эксплуатации А, s, Вт/(м$^2$ °С) | 5,02 |
| Коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч), для условий эксплуатации Б, s, Вт/(м$^2$ °С) | 5,51 |

| | |
|---|---|
| Коэффициент паропроницаемости, μ, для условий эксплуатации А и Б, мг/м ч Па | 0,22 |

## 6. Анализ результатов испытаний. Выводы.

6.1. В соответствии с Договором № 12380 от 01.08.07. с ООО «БиГ» и в соответствии с требованиями Технического задания Заказчика проведены экспериментальные исследования щепоцементных блоков несъемной опалубки и расчёты теплотехнических характеристик строительных ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубкив результате которых получено следующее.

6.2. Экспериментально определёно значение коэффициента теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки. В сухом состоянии оно составляет $\lambda$ = 0,15 Вт/м °С.

6.3. Рассчитаны значения коэффициента теплопроводности щепоцементных блоков несъемной опалубки при различных значениях влажности и температуры (Таблица 2 и 3).

6.4. Получены расчётные значения коэффициента теплопроводности при условиях эксплуатации А и Б по СНиП 23-02-2003 $\lambda_А$=0,19 Вт/м °С, $\lambda_Б$=0,22 Вт/м °С.

6.5. Экспериментально определено значение коэффициента паропроницаемости. Расчетный коэффициент паропроницаемости равен $\mu$= 0,22 мг/м·ч·Па.

6.6. Экспериментально определена сорбционная влажность образцов щепоцементных блоков несъемной опалубки. Результаты определения сорбционной влажности приведены в Таблице 6.

6.7. Проведено экспериментальное определение сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12 без отделки. Полученное значение приведённого сопротивления теплопередаче образца кладки составляет $R_o^{пр} = 2{,}45$ м$^2$ $^0$С/Вт.

6.8. В результате расчётов температурных полей и определения по ним значений приведённого сопротивления теплопередаче получено:

- для кладки из блоков DSs 30/12 со штукатуркой цементно-песчатным раствором 10 и 20мм сопротивление теплопередаче $R_o^{пр} = 2{,}49$ м$^2$°С/Вт минимальная температура на внутренней поверхности стены 17,7 °С;
- для кладки из блоков DSs 30/12 со штукатуркой цементно-песчатным раствором 20 и 40мм сопротивление теплопередаче $R_o^{пр} = 2{,}52$ м$^2$°С/Вт минимальная температура на внутренней поверхности стены 17,7 °С;
- для кладки из блоков DSs 37,5/12 со штукатуркой цементно-песчатным раствором 10 и 20мм сопротивление теплопередаче $R_o^{пр} = 3{,}59$ м$^2$°С/Вт минимальная температура на внутренней поверхности стены 18,4 °С.

6.9. Полученные значения приведённого сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 37,5/12 значительно превосходят нормируемые значения по СНиП 23-02-2003.

Полученное значение приведённого сопротивления теплопередаче кладки из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12, хотя и ниже нормируемого значения, но является допустимым, поскольку значительно

превышает величину минимально допустимую по СНиП 23-02-2003 равную 1,97 $м^2{}^oС/Вт$ (0,63 от требуемого значения сопротивления теплопередаче п. 5.13 СНиП). Эти стены будут удовлетворять действующим нормам по тепловой защите зданий при условии выполнения требований по удельному расходу тепловой энергии на отопление здания.

6.10. В результате расчётов влажностного режима ограждающих конструкций из щепоцементных блоков несъемной опалубки серий DSs 30/12, DSs 30/15, DSs 37,5/12 и DSs 37,5/14, оштукатуренных цементно-песчаным раствором толщиной 20мм снаружи и 10мм изнутри, для климатических условий Московского и Санкт-Петербургского регионов получено следующее:

- результаты расчётов влажностного режима всех конструкций не имеют принципиального расхождения;
- время установления квазистационарного температурно-влажностного режима конструкций – 2 года;
- месяц наибольшего увлажнения конструкции наружной стены – февраль;
- слой наибольшего увлажнения – наружный слой Щепоцементных блоков несъемной опалубки, между пенополистиролом и наружным штукатурным слоем;
-максимальная влажность, достигаемая материалом в процессе эксплуатации (период начального увлажнения не учитывается) в зависимости от конструкции,– 10,8 -11,1% по массе;
- средняя влажность слоя утеплителя в месяц наибольшего увлажнения – 2 % по массе.

Полученное значение влажности щепоцементных блоков несъемной опалубки в месяц наибольшего увлажнения – 11% значительно ниже расчетного массового отношения влаги в материале при условиях эксплуатации Б, равного 18%, что обеспечивает для материалов режим эксплуатации более благоприятный, чем предусмотрено расчетными условиями Б.

Проведено определение возможности образования зоны конденсации в наружной стеновой конструкции из щепоцементных блоков несъемной опалубки на примере блока DSs 30/12. Показано, что при средней температуре наружного воздуха самого холодного месяца (января), составляющей, в данном случае, -10,2 $^oС$ и для относительной влажности воздуха 87%, которая соответствует среднему месячному значению в январе в г. Москве, зона конденсации в толщи стены из щепоцементных блоков несъемной опалубки DSs 30/12 отсутствует.

6.11. При проведении проектных работ и теплотехнических расчётов рекомендуется использовать расчетные теплотехнические показатели щепоцементных блоков несъемной опалубки:

| | |
|---|---|
| Плотность в сухом состоянии, $\rho_o$, кг/м$^3$ | 650 |
| Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, $\lambda_o$, Вт/(м$^o$С) | 0,15 |
| Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации А, % по массе | 12 |
| Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации Б, % по массе | 18 |
| Коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А, $\lambda_А$, Вт/(м$^o$С) | 0,19 |
| Коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации Б, $\lambda_Б$, Вт/(м$^o$С) | 0,22 |
| Удельная теплоёмкость, $c_o$, кДж/(кг $^o$С) | 2,3 |
| Коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч), для условий эксплуатации А, s, Вт/(м$^2$ $^o$С) | 5,02 |
| Коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч), для условий эксплуатации Б, s, Вт/(м$^2$ $^o$С) | 5,51 |
| Коэффициент паропроницаемости, μ, для условий эксплуатации А и Б, мг/м ч Па | 0,22 |

6.12. На основании результатов экспериментальных исследований и проведенных расчетов теплофизических свойств ограждающих конструкций блоки щепоцементные блоки несъемной опалубки могут быть применены при строительстве жилых и общественных зданий с повышенными требованиями к комфортности.

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

Ответственный исполнитель,
младший научный сотрудник И.С. Курилюк

## Список литературы.


1. ТУ 5741-253-35354501-2007 «Блоки стеновые мелкие из Щепоцементных блоков несъемной опалубки».
2. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».
3. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
4. ГОСТ 25898-83 «Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию».
5. ГОСТ 24816-81 «Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности».
6. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций».
7. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению».
8. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника».
9. СНиП 23.01-99 «Строительная климатология».
10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М. 2006.