



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.С.ОСИМИ**

На правах рукописи

УДК 624.9

Охунов Зафар Юнусович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
И МОНТАЖА ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

член–корр. НАН КР,

доктор технических наук, профессор

Мавлянов Абдырахман Субанкулович

Бишкек – 2017



ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ВЫБОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ | 11 |
| 1.1. Анализ исследований повышения энергоэффективности зданий..... | 11 |
| 1.2. Существующие методы повышения долговечности пенополистирольных утеплителей..... | 17 |
| 1.3. Факторы, влияющие на теплопроводность и энергоэффективность..... | 25 |
| Заключение по главе I..... | 29 |
| Глава II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 31 |
| 2.1. Методы исследования пенополистирольных плит..... | 31 |
| 2.2. Методика изготовления и физико-механических испытаний опытных образцов торкретбетона..... | 35 |
| 2.3. Применяемые материалы | 37 |
| Заключение по главе II..... | 40 |
| Глава III. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ И ТОРКРЕТ-БЕТОНА ДЛЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ | 42 |
| 3.1. Оптимизация состава бетонной смеси..... | 42 |
| 3.2. Разработка состава и определение физико-механических характеристик торкретбетона..... | 46 |
| 3.3. Разработка технологии приготовления торкретбетона повышенной плотности | 50 |
| 3.4. Математическое планирование и статистическая обработка результатов эксперимента..... | 59 |



| | |
|---|------------|
| 3.5. Исследование пенополистирольных плит низкой плотностью | 61 |
| 3.6. Разработка новой технологии вспучивания пенополистирольных гранул..... | 67 |
| Заключение по главе III..... | 71 |
| Глава IV. РАЗРАБОТКА ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ..... | 73 |
| 4.1. Разработка способа изготовления трехслойных строительных изделий и конструкций двойным бетонным покрытием..... | 73 |
| 4.2. Технология возведения зданий из трехслойной строительной конструкции..... | 84 |
| 4.3. Разработка системы трехслойной строительной конструкции..... | 103 |
| 4.4. Обеспечение жесткости панелей перекрытий с минимальным армированием | 107 |
| 4.5. Обеспечение жесткости соединений стеновых элементов | 113 |
| Заключение по главе IV..... | 124 |
| ВЫВОДЫ..... | 125 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... | 127 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Построение диаграмм по результатам расчетов и стандарта..... | 140 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Определение армирования и конструирования стен | 146 |



ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Возросшие требования к зданиям и сооружениям по энергосбережению, предусматривающие поэтапное увеличение термического сопротивления ограждающих конструкций диктуют необходимость усовершенствования существующих и разработки новых строительных материалов, изделий и конструкций, а также технологии их изготовления и монтажа.

Согласно новым требованиям значение требуемого сопротивления теплопередаче R_{req} стеновых ограждающих конструкций с сентября 1995 г. было увеличено в среднем в 2 раза (1 этап) по сравнению с предыдущим требованием, а с января 2000 г. – на 75 % (2 этап). Позже нормативный документ СНиП РТ 23-02-2009 «Тепловая защита зданий» впервые стал регламентировать классы энергетической эффективности зданий в зависимости от значений расчетных комплексных показателей по расходу тепловой энергии на отопление q_h^{des} .

На практике до 30 % вырабатываемых энергоресурсов расходуется на обогрев зданий. В связи с этим повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий является одним из основных факторов энергосбережения и рационального использования топливно-энергетических ресурсов для отопления зданий и, соответственно, снижения техногенных нагрузок топливно-энергетических предприятий на окружающую среду.

Рост стоимости топливно-энергетических ресурсов и введение новых норм по энергосбережению способствовали созданию и применению в строительстве строительных конструкций с гибкими связями и утеплителем из полимерных материалов. Одним из таких энергоэффективных ограждающих конструкций, в которых одновременно сочетаются несущие и теплозащитные свойства являются «Трехслойные строительные изделия и конструкции» (ТСК), состоящие из пенополистирольного утеплителя и наружных оболочек из торкретбетона, которые соединены между собой арматурными стержнями и



армированы сварными сетками. В настоящее время ТСК находит все более широкое применение в крупнопанельном строительстве.

Однако, недостатками вышеуказанного ТСК являются: естественная деструкция и недолговечность пенополистирольных утеплителей. Кроме этого, к бетонам для ТСК предъявляются жесткие требования по газо-, водо- и паронепроницаемости, т.к. пенополистирольный утеплитель, расположенный между бетонными оболочками могут разрушаться под действием не только внутренних (деструкции), но и внешних факторов (действие жидких агрессивных сред, атмосферные воздействия, влажность и т.д.).

Бетон представляет собой капиллярно-пористый композиционный материал. В капиллярных порах возможны различные перемещения влаги, обусловленные действием диффузионно-осмотических и капиллярных сил, что является причиной не только разрушения бетона и арматуры, но и отрицательно действует на пенополистирольный утеплитель, находящийся в непосредственном контакте с бетоном. При длительном воздействии внешних факторов происходит изменение структуры пенополистирола, и вследствие этого ухудшаются его теплофизические свойства. Увеличение плотности и непроницаемости бетона способствует увеличению долговечности и энергоэффективности ТСК.

Исходя из вышеизложенного, настоящая работа направлена на: исследование и разработку пенополистирольных плит с улучшенными техническими свойствами; разработку состава торкретбетона с высокой газо-, водо- и паронепроницаемости; усовершенствование технологии изготовления и монтажа ТСК.

Целью диссертационной работы являются разработка технологии производства легких изделий и конструкций для обеспечения и повышения энергоэффективности зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование получения торкретбетона повышенной прочности, газо-, водо- и паронепроницаемости на основе местных материалов;



- разработка технологии производства пенополистирольных плит с низкой плотностью и долговечностью;
- разработка новой ТСК повышенной жесткости;
- разработка конструкции узлов креплений и технологии монтажа ТСК;
- технико-экономическое обоснование эффективности строительства зданий и сооружений с использованием ТСК.

Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов, предложенных в работе, подтверждены теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными с применением современных методов и технических средств, а также положительными практическими результатами внедрения теоретических положений.

Научная новизна полученных результатов работы заключается в следующем:

- разработан и оптимизирован состав торкретбетона с повышенной газо-, водо-, и паронепроницаемостью используемой в качестве бетонных оболочек ТСК;
- усовершенствована технология получения пенополистирольных плит низкой плотностью (10 кг/м^3) и долговечностью;
- разработана новая технология производства ТСК горизонтальным способом;
- разработаны конструкции узлов крепления и технология монтажа ТСК;
- разработана методика расчета изгибаемых элементов, работающих на продольный изгиб ТСК;

Практическая значимость полученных результатов:

- внедрена новая технология вспучивания пенополистирольных гранул и технологии производства пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 ;
- разработаны Технические условия «Элементы сборные и сборно-монолитные железобетонные трехслойной строительной конструкции стен и перекрытий с пространственным армированием» ШТ 5800 ЧТ 10326441-001-



2013 (утвержден Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.);

- разработано «Руководство по расчету и проектированию «Трехслойной строительной конструкции» (утвержден Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, ГУП «НИИ строительства и архитектуры», ООО «Тиниал», Душанбе, 2013г.);

- разработаны «Узлы стен жилых и общественных зданий, возводимых в районах сейсмичностью 8 и 9 баллов», Серия ВТУ – ТСК.Т в1, Вып.1. «ТСК панели для наружных, внутренних стен и плит перекрытия» (утвержден Агентством по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.);

- разработано «Руководство по установке «Трехслойной строительной конструкции» (утвержден Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.);

Внедрение результатов работы.

Результаты диссертационной работы внедрены:

- при производстве пенополистирольной плиты плотностью 10 кг/м^3 ;
- при наладке технологии производства ТСК горизонтальным способом;
- при строительстве учебного корпуса Политехнического института Таджикского технического университета им. М.С. Осими в г. Худжанд;
- при строительстве многоэтажных жилых домов в г. Душанбе по улицам: Маяковского 89, Нусратулло Махсум 56, Хисори 42/5, Борбад 64/3.

- при строительстве объектов Управления капитального строительства Согдийской области Республики Таджикистан:

1. Президентский детский сад в г. Худжанд;
2. Плавательный бассейн в г. Худжанд;
3. Дворец спорта в г. Худжанд;
4. Спортивный комплекс в г. Гафуров;
5. Спортивные залы в средних школах Согдийской области;
6. Спортивный комплекс «Далерон» в г. Истаравшан;



7. Спортивный комплекс «Шохин» в г. Кайраккум.

Результаты диссертационной работы:

- учтены ГУП «Научно–исследовательский институт строительства и архитектуры» Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан;
- использованы ООО «Тиниал» при разработке «Руководства по расчету и проектированию ТСК».

Экономическая значимость полученных результатов. Экономический эффект от внедрения предлагаемой ТСК заключается в следующем:

- энергоэффективность ограждающих конструкций увеличивается в 2 раза;
- снижение расчетной сейсмической нагрузки до 50 %;
- общая стоимость строительно-монтажных работ здания снижается на в 1,2-2 раза;
- сокращается срок строительства объектов в 1,5 раза.

Экономический эффект подтвержден актами внедрения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- состав бетонной смеси используемой в качестве бетонных оболочек ТСК;
- технология получения пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 ;
- технология производства ТСК горизонтальным способом;
- разработанные конструкции узлов креплений ТСК;
- технико-экономическое обоснование эффективности строительства зданий и сооружений с использованием ТСК.

Личный вклад соискателя. Личное непосредственное участие автора диссертации в научно-исследовательских, экспериментальных работах и при производстве позволило предложить промышленности эффективную работоспособную технологию вспучивания гранул из полистирола и производства ТСК и конструкций для быстровозводимых зданий. Результаты исследований внедрены в производство при личном участии автора,



разработаны нормативные документы и внесены в действие Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан.

Апробации результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены:

- в Республиканской научной конференции «Современные проблемы энергоэффективности в строительстве», ПИТТУ, г. Худжанд, 2013 г.;

- в X Российской национальной конференции по сейсмостойкой безопасности сооружений и городов и сейсмическому районированию, г. Сочи, 2013 г.;

- в научно-практической конференции организованной Комитетом по архитектуре и строительству Республики Таджикистан «Эффективность применения трехслойной строительной конструкции в строительстве», г. Душанбе, 2014 г.;

- в Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию КГУСТА им. Н. Исанова, г. Бишкек, 2014 г.;

- в Международной научно-практической конференции «Современные высокотехнологичные строительные материалы», г. Душанбе, 2015;

- в Республиканской научной конференции «Проблемы строительства многоэтажных плотных застроек», ПИТТУ, г. Худжанд, 2015 г.;

- в Международной научно-практической конференции-конкурсе научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения», г. Бишкек, 2015 г.;

- в Международной межвузовской научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения», г. Бишкек, 2016 г.;

- в Международной научной конференции «Рахматулинские-Ормонбековские чтения», г. Бишкек, 2017 г.;

- в Республиканской научно-практической конференции «Повешение сейсмической безопасности городов и населенных пунктов», г. Душанбе, 2017г.



Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

По результатам исследования автора разработаны 4 нормативные документы, которые утверждены Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан. По материалам диссертации имеются 13 публикаций, 9 напечатаны в изданиях, рекомендованных ВАК Кыргызской Республики.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, списка использованной литературы. Объем работы составляет 153 страницы, 25 таблиц, 66 рисунков, 2 приложений; библиография содержит 125 наименований.



ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ВЫБОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ

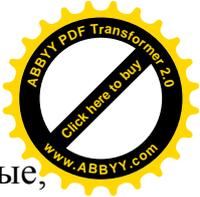
1.1 Анализ исследований повышения энергоэффективности зданий

В настоящее время в мире большое внимание уделяется вопросам энерго- и ресурсосбережения вследствие постоянно растущей рыночной стоимости электроэнергии, экологических проблем, связанных с ее производством и общей ограниченностью ресурсов.

Для экономии энергетических затрат в ЖКХ, потребляющем существенную долю топливно-энергетических ресурсов [100], в Республике Таджикистан за последнее 20-лет был принят ряд мер по снижению расхода тепловой энергии на отопление зданий.

Для решения данной задачи в период с 1995 по настоящее время осуществляется поэтапный переход к новым требованиям по теплозащите наружных ограждающих конструкций. Согласно [85] значение требуемого сопротивления теплопередаче R_{req} стеновых ограждающих конструкций с 1 сентября 1995 г. было увеличено в среднем в 2 раза (1 этап) по сравнению с предыдущим требованием, а с 1 января 2000 г. еще приблизительно на 75 % (2 этап). Позже нормативный документ СНиП РТ 23–02–2009 «Тепловая защита зданий» [56, 85] впервые стал регламентировать классы энергетической эффективности зданий в зависимости от значений расчетных комплексных показателей по расходу тепловой энергии на отопление q_h^{des} .

Согласно работе [27] к теплоизоляционным относят материалы, обладающие теплопроводностью не более 0,175 Вт/м °С при 25 °С и имеющие плотность ρ_0 не более 500 кг/м³. Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируются: по виду основного исходного сырья (органические, неорганические); по структуре (волокнистые, ячеистые, зернистые); по форме



(рыхлые, плоские, фасонные, шнуровые); по возгораемости (несгораемые, трудносгораемые, сгораемые); по содержанию связующего вещества (содержащие и не содержащие связующее звено).

Для обеспечения высоких требований к тепловой защите зданий наиболее широкое применение нашли высокоэффективные утеплители, коэффициент теплопроводности которых ниже 0,05–0,06 Вт/м °С. Применение данного вида утеплителя, является одним из решением, позволяющим выполнять требования [85] при экономически оправданной толщине наружной ограждающей конструкции [19].

В настоящее время наиболее распространенным решением наружных ограждений зданий являются многослойные изделия и конструкции с высокоэффективными утеплителями [99]. Современный анализ строительного рынка показывает [93], что наиболее широкое применение среди всех теплоизоляционных материалов получили изделия из минеральной, стеклянной ваты и пенополистирола (рис.1.1).

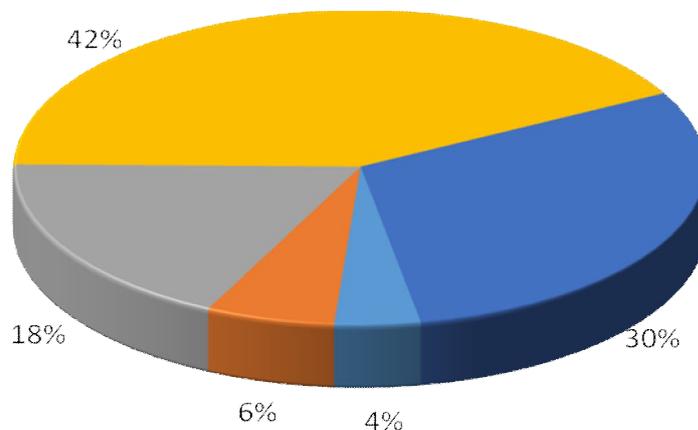
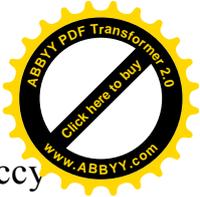


Рис. 1.1. Сегментация объемов потребления теплоизоляционных материалов по их основным видам:

42% – минеральная вата; 30% – стекловата; 4% – пенополистирол экструзионный; 18% – пенополистирол вспененный; 6% – прочие.

Суммарная доля пенополистирольных материалов в Республике Таджикистан составляет более 30% от общего объема потребления



теплоизоляционных материалов. Пенополистиролы относятся к классу пенопластов, основным полимером у которых является полистирол. Пенопласты – класс гетерогенных полимерных материалов, представляющих собой газонаполненные пластические массы ячеистой структуры [69].

Теплоизоляционные свойства наиболее распространенных теплоизоляционных материалов по данным [85] представлены в табл.1.1.

Таблица 1.1 – Теплоизоляционные свойства наиболее распространенных материалов

| Наименование материала | Плотность, ρ_0 , кг/м ³ | Теплопроводность, λ_{eff} Вт/м °С | Расчетный коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации | |
|---|--|---|--|-------|
| | | | А | Б |
| Пеностекло или газостекло | 400 | 0,11 | 0,12 | 0,14 |
| | 300 | 0,09 | 0,11 | 0,12 |
| | 200 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880–94) | 100 | 0,044 | 0,061 | 0,067 |
| | 75 | 0,046 | 0,058 | 0,064 |
| Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499–95) | 45 | 0,047 | 0,060 | 0,064 |
| Плиты из стеклянного штапельного волокна URSA | 75 | 0,040 | 0,043 | 0,047 |
| | 45 | 0,039 | 0,041 | 0,045 |
| | 20 | 0,040 | 0,043 | 0,048 |
| Пенополистирол (ГОСТ 15588–86) | 40 | 0,037 | 0,041 | 0,050 |
| Пенополистирол «Стиропор» | 15 | 0,039 | 0,040 | 0,044 |
| | 20 | 0,037 | 0,038 | 0,042 |
| | 30 | 0,035 | 0,036 | 0,040 |
| Экструзионный пенополистирол STYRFOAM™ | 28 | 0,029 | 0,030 | 0,031 |
| Экструзионный пенополистирол STYRODUR™ | 25 | 0,029 | 0,031 | 0,031 |
| | 33 | 0,029 | 0,031 | 0,031 |
| | 45 | 0,030 | 0,031 | 0,031 |
| Экструзионный пенополистирол «Пеноплэкс» | 35 | 0,028 | 0,029 | 0,030 |
| | 45 | 0,030 | 0,031 | 0,032 |

Из рис.1.2 видно, что наименьшей толщиной обладают пенополистиролы и являются наиболее эффективными утеплителями по сравнению с другими.

Полимерная матрица пенопластов может быть выполнена из большого числа разнообразных природных и синтетических полимеров, но наибольшее распространение получили пенопласты на основе полистирола, поливинилхлорида, полиэтилена, полиуретанов, эпоксидных, карбамидных и кремний–органических смол. В данных материалах газообразной фазой является воздух или различные газы вспенивающих агентов (фреоны, углекислый газ и др.). Известно, что большое значение на свойства пенопласта оказывает не только материал полимерной матрицы и вид газа, заполняющего ячейки, но и соотношение объемов газовой и полимерной фаз, которое может составлять от 10 до 30 [36].

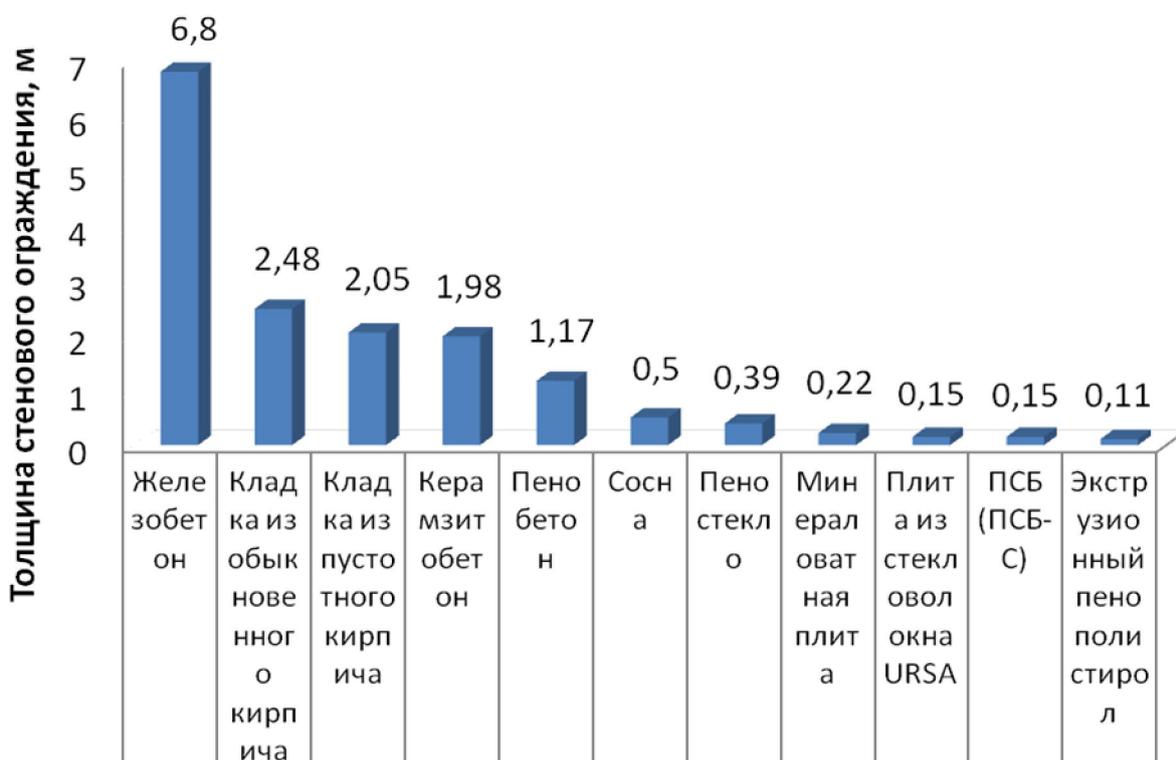


Рис. 1.2. Гистограмма требуемой толщины условного однослойного стенового ограждения согласно требованиям [83] при его исполнении из различных видов строительных материалов

Прессовый метод получения пенопластов на основе термопластичных полимеров был впервые предложен в 1928 г. в Европе. Первопроходцами в



данной отрасли были такие ученые, как А.А. Берлин, А.А. Моисеев, Ф.Х. Абель, которые в 1946 г. разработали и запатентовали общие способы получения пенопластов [14].

Газонаполненные пластмассы за свою более чем 70-летнюю историю получили широкое применение в различных отраслях промышленности (аэрокосмической, строительной, судостроении, машиностроении) из-за своих превосходных тепло- и звукоизоляционных свойств и низкой плотности.

В строительной отрасли, наибольшее применение нашли пенополистирольные плиты плотностью от 15 кг/м³ и выше, т.к. пенополистирольные плиты плотностью ниже 15 кг/м³ легко крошиться.

По технологии производства пенополистиролы подразделяются: на прессовые (ПС-1, ПС-2, ПС-4, ПС-5 и др.) [63]; беспрессовые (ПСБ, ПСБ-С) [26]; экструзионные (STYRODUR™, STYROFOAM™, URSA XPS, THERMITXPS, ПЕНОПЛЭКС, ТЕПЛЕКС, ТИМПЛЕКС, ТЕХНОПЛЕКС, ЭКСТРОЛ и др.) [47, 49, 66, 67, 93, 123].

Основными производителями пенополистирольных плит в СНГ являются:

- ООО «Технологъ», выпускающее изделия из ЭППС (плиты THERMIT XPS, плиты с нанесенной на них армирующей сеткой с полимерцементным составом THERMIT SP, сэндвич-панели THERMIT S);

- ООО «Завод Стирогшаст», производящее выпуск изделий из вспененного пенополистирола (ПСБ, ПСБ-С по [26], несъемная опалубка, теплоизоляционные скорлупы и пр.);

- ЗАО «Фирма Культбытстрой», выпускающее плиты ПСБ и ПСБ-С, основной объем которых направляется на внутренний теплоизоляционный слой собственных наружных стеновых панелей серии 111-97.

Среди пенополистирольных плит наиболее совершенным с технической точки зрения (по данным табл.1.1 и [66, 67, 123]) является ЭППС. В связи с этим в настоящее время во всем мире данный материал получает всё большее распространение, постепенно вытесняя своих конкурентов [93].



Основными областями применения ЭПС в строительной отрасли являются [5, 8, 38]: утепление наружных ограждающих конструкций; производство слоистых ограждающих конструкций; изготовление изделий и конструкций в несъемной опалубке из пенополистирола; теплоизоляция в инверсионных кровлях, скатных крышах и чердачных перекрытиях; теплоизоляция перекрытий и подвальных помещений; дорожное и аэродромное строительство.

Энергоэффективность пенополистирола очень высока, но вместе с этим пенополистирольные утеплители обладают рядом недостатков, к которым можно отнести: пожароопасность, токсичность и долговечность. За последнее время было опубликовано большое количество научных работ, касающихся темы пожарной и экологической опасности применения пенополистирольных утеплителей для теплоизоляции зданий [10, 11, 12, 92]. Здесь следует отметить общемировую тенденцию увеличения объемов потребления пенополистирольных утеплителей, а также наличие различных конструктивных решений, обеспечивающих минимизацию представленных возможных опасностей.

Реально оценить эффективность использования пенополистирольных утеплителей в строительстве можно только после определения безремонтного срока их эксплуатации, в течение которого будет обеспечиваться их работоспособность (долговечность). Как известно, при эксплуатации пенополистирол разрушается под действием внутренних (естественная деструкция полимера) и внешних факторов (действие жидких агрессивных сред и влажность). Для защиты пенополистирола от внешних факторов требуется разработать конструктивное решение, обеспечивающее минимизацию действий жидких агрессивных сред и влажности. Выходом из положения является применение ТСК, в котором пенополистирольный утеплитель бетонируется с двух сторон, обеспечивая надежную изоляцию от внешних факторов.

Однако, недостатками ТСК являются: естественная деструкция и недолговечность пенополистирольных утеплителей. Кроме этого, бетоны в



ГСК должны обладать газо-, водо- и паронепроницаемостью, т.к. пенополистирольный утеплитель, расположенный между бетонными оболочками могут разрушаться под действием жидких агрессивных сред, атмосферных воздействий, влажности и т.д.

Необходимо отметить, тот факт, что бетон относится к капиллярно-пористым материалам. Капиллярная пористость образуются в результате внутреннего водоотделения при седиментации цементного теста или неравномерных усадочных напряжений. в цементном камне. Проникновение в поры бетона воды и агрессивных веществ, дальнейшая их фильтрация по микропорам в местах контактов цементного камня и заполнителей отрицательно действуют как на бетон и арматурные каркасы, так и на утеплителей, т.к. пенополистирольная плита находится в непосредственном контакте с бетоном. При длительном воздействии внешних факторов происходит изменение структуры пенополистирола, и вследствие этого ухудшаются его теплофизические свойства. Встает вопрос и целесообразности использования пенополистирольного утеплителя в многослойных конструкциях, т.к. срок службы бетона и пенополистирола отличаются.

Исходя из вышеизложенного, является актуальным исследование и разработка пенополистирольных плит, отвечающих требованиям по долговечности, не ухудшая теплотехнические характеристики и разработка состава торкретбетона с высокой газо-, водо- и паронепроницаемостью.

1.2 Существующие методы повышения долговечности пенополистирольных утеплителей

Долговечность – это свойство объекта сохранять при установленной системе технического обслуживания и ремонтов работоспособность до наступления предельного состояния (отказа), после которого дальнейшая его эксплуатация невозможна или экономически нецелесообразна. Под предельным состоянием (отказом) понимается состояние объекта, при котором его



дальнейшая эксплуатация в текущем положении должна быть прекращена из-за неустраняемого нарушения работоспособности объекта [4]. Очевидно, что первоочередной задачей использования пенополистирольных утеплителей в многослойных ограждающих конструкциях является обеспечение необходимого уровня долговечности.

К основным техническим свойствам, влияющим на долговечность пенополистирольных плит, относятся: водопоглощение и прочность. Химическим свойствам можно отнести естественную деструкцию пенополистирола.

Одним из проблем в промышленности строительных материалов является то, что нет методики определения долговечности пенополистирольных плит и ограждающих конструкций с его применением. На сегодняшний момент малоизучено влияние пористости материалов ограждающих конструкций (кирпича, бетона, дерева и т.п.) на физико-технические свойства пенополистирола. Для цели определения долговечности можно использовать в качестве критериев: водопоглощение, прочность, размеры ячеек вспененных гранул полистирола и плотность стенки ячеек.

В работах [9, 74, 102] глубоко исследованы вопросы долговечности пенополистирола с позиции изменения прочностных характеристик в процессе эксплуатации в зависимости от температуры и напряжений. Долговечность пенополистирольных утеплителей можно определить с применением термофлуктуационной концепции прочности [41, 74, 75]:

$$\tau = \tau_* \cdot \exp \frac{U}{R \cdot T} \exp(-\beta \cdot \sigma), \quad (1.1)$$

$$\tau = \tau_m \cdot \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_m} \right) \right], \quad (1.2)$$

где τ – время до разрушения (долговечность), с; τ_m , τ_* – периоды колебания кинетических единиц, с; U_0 – энергия активации, кДж/моль; U – эффективная энергия активации, кДж/моль; γ – структурно-механический фактор, кДж/моль·МПа; β – аналог структурно-механической константы, 1/МПа; T_m –

предельная температура существования материала, К; σ – напряжение, МПа; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная.

Результаты определения долговечности плит ЭППС ТЕХНОПЛЕКС 45 по снижению прочностных характеристик в эксплуатационном диапазоне напряжений и температур представлены на рис.1.3 [41].

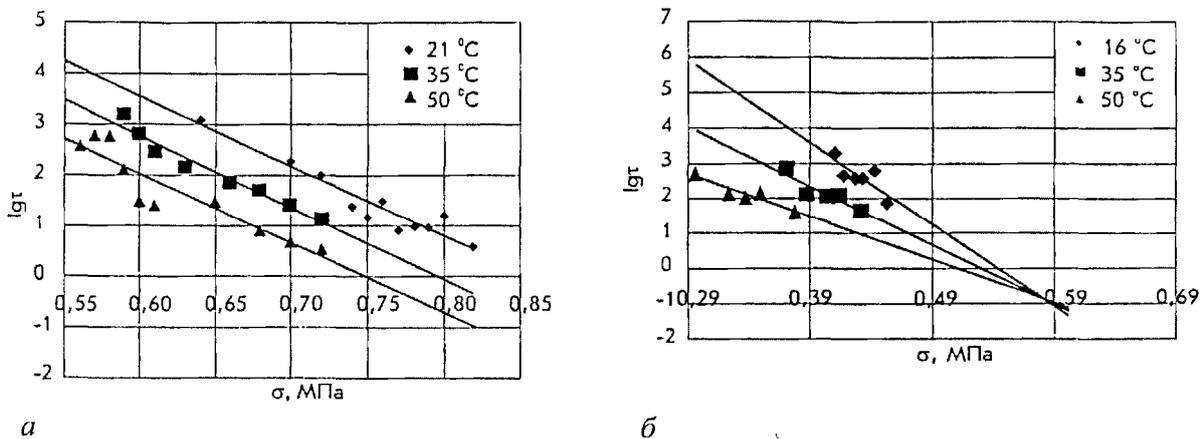


Рис. 1.3. Зависимость логарифма долговечности ЭППС ТЕХНОПЛЕКС® 45 от напряжения и температуры при сжатии до 10 % относительной деформации (а) и изгибе (б)

Долговечность утеплителя по снижению его прочностных характеристик в процессе эксплуатации определяющим образом зависит от конструктивного решения ограждающей конструкции. В настоящее время наибольшее распространение получили ограждения зданий, в которых утеплители испытывают минимальные нагрузки в процессе всего срока эксплуатации (например, в среднем слое трехслойных стеновых панелей или кирпичной кладки). Прочностные характеристики пенополистирола, особенно ЭППС, обеспечивают многократный запас прочности при их эксплуатации в данном виде конструкций (табл.1.2).

Таким образом, при условии обеспечения необходимых прочностных характеристик долговечность эффективных утеплителей при их эксплуатации в слоистых ограждающих конструкциях зданий необходимо определять по параметру сохранности их теплозащитных свойств.



Стоит отметить, что эксплуатационные воздействия на теплоизоляционный материал зависят от конструктивного решения ограждения и поэтому долговечность утеплителя в ряде научных публикаций рассматривается с позиции долговечности всей ограждающей конструкции.

Особые эксплуатационные нагрузки испытывают плиты ЭППС при их использовании в дорожном строительстве в качестве морозозащитного слоя в земляном полотне. Вопрос долговечности плит ЭППС, подвергающихся переменным нагрузкам от подвижного состава, рассмотрены в работах [42, 43, 101].

Таблица 1.2 – Прочностные характеристики пенополистирола

| Наименование материала | Плотность ρ_0 , кг/м ³ | Прочность на сжатие при 10% деформации, МПа | Предел прочности при статическом изгибе, МПа | Источник |
|---|--|---|--|----------|
| Экструз. пенополистирольные плиты THERMIT XPS | 35 | 0,25 | 0,4÷0,7 | [114] |
| | 45 | 0,5 | 0,4÷0,8 | |
| Экструз. пенополистирольные плиты ПЭНОПЛЭКС | 35 | 0,25 | 0,4÷0,9 | [115] |
| | 45 | 0,5 | 0,4÷0,7 | |

Согласно феноменологической методике прогнозирования и расчета долговечности, разработанной д.т.н., профессором С.В. Александровским (НИИСФ РААСН) [4] долговечность наружной ограждающей конструкции по снижению ее теплозащитных свойств определяется по формуле

$$\Theta = \frac{K_R \cdot R_{req} \cdot \lambda_T^2(w)}{[\delta_T - \lambda_T(w) K_R \cdot R_{req}] \Delta \lambda^{av}(w)}, \quad (1.3)$$

где, K_R – допустимая (нормируемая) степень снижения начального приведенного сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции R_0 ; R_{req} – нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по [83], м²·°С/Вт; $\lambda_T(w)$ – коэффициент теплопроводности утеплителя Вт/м·°С; δ_T – толщина слоя утеплителя, м; $\Delta \lambda^{av}$



– повышение теплопроводности утеплителя за один среднестатистический год эксплуатации ограждения Вт/м·°С.

В расчетах определения долговечности основного теплоизоляционного слоя в ограждающих конструкциях д.т.н., профессор С.Александровский использовал значение $K_R=5\%$ и подчеркнул необходимость дополнительных исследований для обоснования величины данного критерия [83].

Позднее Российским обществом инженеров строительства (РОИС) в [90] было предложено, что первый капитальный ремонт наружных ограждающих конструкций из условий недопустимости нарушения санитарно–гигиенических требований и энергосбережения необходимо проводить при снижении R_0 не более чем на 15 % относительно нормативного значения.

Использование при расчетах долговечности различных значений K_R приводит в итоге к несопоставимым между собой результатам. Таким образом, установлена необходимость обоснования значения допустимой степени снижения теплозащитных свойств K_R ограждающей конструкции, которое исходя из формулы (1.4) в наибольшей степени относится к теплоизоляционному слою.

Снижение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_0 в процессе эксплуатации в большей степени обусловлено увеличением коэффициента теплопроводности утеплителя λ_0 , как это видно на следующей формуле [87]:

$$R_0 = \frac{1}{a_{int}} + \frac{\sum \delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_{ext}}, \quad (1.4)$$

где, a_{int}, a_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружного и внутреннего воздуха, Вт/м²·°С; δ_i – толщина i -го слоя конструкции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя конструкции, Вт/м °С.

Требования по прочности к теплоизоляционным материалам могут предъявляться только для восприятия нагрузок от температурных деформаций и нагрузок при транспортировке и монтаже изделий [50].



Проведенный анализ литературных источников по теме долговечности газонаполненных полистирольных материалов свидетельствует о достаточно широком диапазоне сроков работоспособности этого материала с позиции изменения теплозащитных свойств [6, 12, 13, 20, 21, 39, 40, 50, 65, 70, 71, 103, 109, 110, 114, 125].

В работах [50, 104] представлена физико–математическая модель оценки долговечности полимерных теплоизоляционных материалов на основании гипотезы о линейном накоплении повреждений. По представленной методике определены временные интервалы снижения теплозащитных свойств на 30 % плит ЭПС различных марок в результате естественного старения при нормальных условиях эксплуатации, составляющие от 20 лет до 61 года. Авторами также определена долговечность ограждающих конструкций с различными полистирольными утеплителями с учетом циклических температурных воздействий, составляющая от 13 до 43 лет в зависимости от вида конструктивного решения. За отказ принималось снижение теплозащитных свойств теплоизоляционного слоя на 30 %.

Американской компанией Dow® разработана собственная модель прогнозирования изменения теплоизоляционных свойств ЭПС в процессе эксплуатации [110]. Параметром снижения теплозащитных свойств является эффективный коэффициент диффузии газа ВА, используемого при производстве изделия. Результаты расчетов, основанные на многолетних натурных испытаниях плит ЭПС STYROFOAM™ (до 26 лет), показали, что λ_{eff} с течением времени повышается от диапазона значений 0,021 ...0,026 Вт/м–°С до предельных 0,029...0,034 Вт/м–°С в зависимости от вида ВА [125].

В институте исследований в области строительства Национального научно–исследовательского совета Канады (NRC–IRC) разработана альтернативная модель долговременного прогнозирования теплозащитных свойств изделий из газонаполненных полимеров в процессе эксплуатации DIP AC, которая имеет сопоставимость с моделью компании Dow® для плит ЭПС [109].



В зарубежной литературе также отмечаются другие нормативные и факультативные методы определения долговременных теплозащитных свойств закрытопористых газонаполненных полимеров [106, 111, 119].

Проведенные канадскими учеными натурные испытания плит ЭППС, установленных на различных вариантах кровель и покрытых этиленпропиленовой мембраной, в течение 2,5 лет в климатических условиях г. Оттава показали незначительные расхождения по изменению своих теплоизоляционных свойств по сравнению с аналогичными плитами, хранившимися в лаборатории при нормальных условиях [109].

В НИИСФ РААСН д.т.н. А.И. Ананьевым, д.т.н. О.И. Лобовым, В.А. Могутовым и др. были проведены экспериментальные и натурные исследования пенополистиролов [21, 70]. Проведенные натурные исследования пенополистирольных плит в наружных стеновых ограждениях зданий в течение 30...40 лет показали незначительные изменения внешнего вида изделий. Отмечается повышение λ_{eff} ПСБ на 20 % в первые 30 лет эксплуатации и еще на 5... 10 % в последующие 10 лет, что в основном объясняется различными эксплуатационными факторами: увлажнением, диффузией газов ВА, уплотнением и усадкой изделий, нарушением регламента тепловой обработки трехслойных панелей с эффективным утеплителем на заводе. Результаты проведенных в [21] экспериментальных исследований по изменению теплопроводности образцов пенополистиролов в результате воздействий переменного замораживания и оттаивания в воде (110 циклов) представлены в табл.1.3.

Данные табл.1.3 показывают почти полное отсутствие изменения теплопроводности после испытаний у ЭППС, что можно объяснить их закрытопористой структурой. Авторами также отмечается; что испытания, базирующиеся на температурно–влажностных циклических воздействиях, не в полной мере отражают факторы, влияющие на изменение эксплуатационных свойств пенополистиролов.



В работе [21] исследовано влияние различных химических факторов на свойства пенополистиролов, которые могут возникнуть на различных этапах строительства и эксплуатации зданий. Отмечается, что для долговечного использования пенополистирольных плит необходимо полное отсутствие контакта с незатвердевшей битумной гидроизоляцией, клеями и красками на основе агрессивных растворителей, что можно обеспечить различными конструктивными решениями конструкций и специальными организационными мероприятиями. Дополнительно данный вопрос в диссертационной работе не исследовался.

Таблица 1.3 – Изменения теплопроводности после испытаний

| Вид пенополистирола | Плотность ρ_0 , кг/м ³ | Теплопроводность λ_{eff} Вт/м °С | | | |
|---------------------|--|--|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| | | до испытаний | | после испытаний | |
| | | в сухом состоянии | при норм. влажности (по массе) 10% | в сухом состоянии | при норм. влажности (по массе) 10% |
| ПСБ | 17 | 0,039 | 0,04 | 0,04 | 0,042 |
| ПС | 72 | 0,035 | 0,036 | 0,036 | 0,037 |
| ЭППС | 35 | 0,03 | 0,031 | 0,03 | 0,031 |

В работе [57] проведены экспериментальные испытания различных пенополистиролов, базирующиеся на температурно-влажностных циклических воздействиях. Один цикл испытаний проходил по следующей схеме:

1. Понижение температуры t до -40 °С со скоростью 60 °С/ч.
2. Выдержка при $t = -40$ °С в течение 1 ч.
3. Подъем t от -40 °С до $+40$ °С со скоростью 53 °С/ч.
4. Выдержка при $t = +40$ °С в течение 1 ч.
5. Понижение t до -40 °С со скоростью 50 °С/ч.
6. Выдержка при $t = -40$ °С в течение 1 ч.
7. Подъем t от -40 °С до $+20$ °С со скоростью 60 °С/ч.
8. Выдержка в воде в течение 16 ч.



В результате проведения 80 циклов испытаний по представленной схеме λ_{eff} увеличилась на 2,5 %, водопоглощение по объему увеличилось на 6,3 %.

В работах [34, 37, 46] отмечается, что замещение с течением времени газов ВА, первоначально находящихся в порах пенопластов, воздухом является важнейшей причиной увеличения теплопроводности этих материалов в процессе эксплуатации. После протекания данного процесса по данным [44, 57] теплопроводность исследуемых материалов не меняется в течение 50 лет.

Таким образом, в различных литературных источниках имеется большое количество результатов испытаний пенополистиролов по снижению их теплозащитных свойств в процессе эксплуатации, которые требуют проведения обобщений.

В работах [23, 34, 35, 37, 48] рассмотрены изменения эксплуатационных свойств газонаполненных полимеров под воздействием повышенных температур и УФ-облучений, приводящих к деструкции полимера-основы. Деструкционные процессы полистиролов в результате термоокислительных и фотохимических реакций представлены в [64]. Вопрос деструкции плит ЭППС, применяемых в строительстве, требует дополнительных исследований.

1.3 Факторы, влияющие на теплопроводность и энергоэффективность

Механизмы передачи тепла в газонаполненных полимерах хорошо изучены и представлены в работах [35, 36, 39, 45, 51, 98, 113, 120, 121].

Пенополистиролы представляют собой двухфазную систему твердого полимера и газа. Общая теплопроводность системы λ_{eff} будет являться функцией ее составляющих:

$$\lambda_{eff} = f(\lambda_g; \lambda_s), \quad (1.5)$$

где λ_g – эквивалентный коэффициент теплопроводности газообразной фазы, Вт/м·°С; λ_s – коэффициент теплопроводности твердой фазы, Вт/м·°С.



Эквивалентный коэффициент теплопроводности газа λ_g , заполняющего ячейки, согласно принципу аддитивности будет равен:

$$\lambda_g = \lambda_g^{cond} + \lambda_g^{conv} + \lambda_g^{rad}, \quad (1.6)$$

где λ_g^{cond} – коэффициент кондукционной теплопроводности газа, Вт/м·°С; λ_g^{conv} – эквивалентный коэффициент теплопроводности для конвективного переноса тепла, Вт/м·°С; λ_g^{rad} – эквивалентный коэффициент теплопроводности для переноса тепла излучением, Вт/м·°С [36, 77, 91, 98, 121].

Российскими учеными С. В. Александровским, В. Н. Богословским, Р. Е. Бриллином, В. Г. Гагариным, В. М. Ильинским, А. В. Лыковым, К. Ф. Фокиным, И. Я. Киселевым широко изучен вопрос изменения теплопроводности строительных материалов в зависимости от их увлажнения в процессе эксплуатации [4, 16, 17, 18, 22, 46, 51, 54, 77, 96, 97].

В ряде работ [46, 109, 121, 125] отмечается незначительное влияние эксплуатационной влажности на увеличение теплопроводности ЭППС, что можно объяснить крайне низкими параметрами водопоглощения и паропроницаемости данного материала [76]. Таким образом, вклад влаги, которая может находиться в порах пенополистирола в различных агрегатных состояниях, в общую теплопроводность системы можно не учитывать, поэтому в диссертационной работе этот вопрос не рассматривался.

Согласно кинетической теории газов λ_g^{cond} в ячеистых материалах равна:

$$\lambda_g^{cond} = \lambda_0^{cond} \left(\frac{D_0}{D_0 + l_g} \right), \quad (1.7)$$

где λ_0^{cond} – коэффициент теплопроводности газа в объеме много большем, чем объем поры, Вт/м·°С; D_0 – средний диаметр поры; l_g – средняя длина свободного пробега молекул газа, м [124].

Выполненные в [46] расчеты показали, что $D_0 \gg l_g$ и, следовательно, по формуле (1.7) кондукционная составляющая теплопроводности газа λ_g^{cond} в порах газонаполненных полимеров численно равна λ_0^{cond} .



Значения λ_0^{cond} (λ_g^{cond}) для основных видов газов, чаще всего используемых в качестве ВА при производстве исследуемых пенополистиролов, приведены в табл.1.4 по данным [89] (при давлении 0,1 МПа). Стоит отметить, что увеличение значения λ_g^{cond} при повышении температуры T обусловлено возрастанием кинетической энергии молекул [96].

На практике ячейки пенополистирола заполнены смесью газов ввиду особенностей технологического процесса производства (табл.1.4).

Таблица 1.4 – Кондукционная теплопроводность пенополистирола со смесью различных газов

| Наименование газа | Кондукционная теплопроводность λ_0^{cond} , Вт/м·°С, при t , °С | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | -50 | -25 | 0 | +25 | +50 |
| Воздух | 0,0198 | 0,0219 | 0,0243 | 0,0262 | 0,0279 |
| Углекислый газ | 0,0110 | 0,0127 | 0,0146 | 0,0165 | 0,0176 |
| Пары фреона CFC-12 | – | 0,0078 | 0,0089 | 0,0010 | 0,0011 |
| Пары фреона HCFC-142b | – | 0,0094 | 0,0011 | 0,0013 | 0,015 |
| Пары фреона HFC-152a | – | 0,0088 | 0,0011 | 0,0013 | 0,0015 |
| Пары фреона HCFC-22 | – | 0,0089 | 0,0099 | 0,0114 | 0,0126 |
| Водяной пар (H_2O) | – | – | 0,5610 | 0,6073 | 0,6440 |

Таким образом, по формулам (1.5), (1.6) и (1.7) хорошо прослеживается влияние температуры эксплуатации, молекулярной структуры твердой фазы, коэффициента излучения полимерной фазы и вида газа, заполняющего поровое пространство пенопласта, на теплопроводность исследуемых материалов.

Данные по морфологии газонаполненных полимеров впервые были систематизированы А. А. Берлином, Ф. А. Шутовым в [15], где авторы ввели основные морфологические понятия.

Существует 2 основных подхода к изучению морфологии газонаполненных полимеров: формально–графический (на основе изучения геометрии ячеек); физико-химический (на основе изучения химического



строения полимерной основы, компонентов композиции и метода вспенивания).

Пенополистирол относится к классу газонаполненных полимеров (пенопластов) ячеистой структуры и представляет собой дисперсную систему, состоящую из полимерных и газовых фаз.

Основным морфологическим термином является газоструктурный элемент (ГСЭ) — элементарный объем, состоящий из газовой ячейки, полимерных стенок и ребер, с помощью которого можно создать статистически усредненную структуру пенопласта [15]. По виду ГСЭ газонаполненные материалы можно разделить на следующие основные типы [15]: ячеистые; пористые; сотовые; микробалонные (синтактные); капиллярные (волокнистые); со смешанным типом.

По классификации Радужкевича [72, 73] все ячеистые и пористые системы по механизму образования можно разделить на следующие группы: системы роста; системы сложения; смешанные системы. ЭППС является типичным представителем системы роста. Пенополистирол типа ПСБ относится к смешанной системе. В процессе производства ПСБ на первом этапе происходит вспенивание гранул вспенивающегося полистирола (система роста), а на втором этапе производится формование готовых изделий (система сложения).

Основными параметрами макроструктуры полимерных систем являются [15, 81]: плотность; геометрия поровой структуры (размер ячеек, форма ячеек, толщина стенок ячеек, характер распределения ячеек по размерам и форме в объеме); объем открытой и замкнутой пористости в системе (степень замкнутости ячеек).

Плотность пенополистирола является важнейшей характеристикой, довольно точно определяющей соотношение объемов твердой и газообразной фаз в системе. Известно, что методика определения плотности ρ пенополистирола, согласно нормативным документам [26, 28, 33], разработана для определения её средней величины по всему объему изделия ρ_0 . Плотность



пенополистирола у поверхностных слоев может быть в 3...10 раз выше ρ_0 . Также наблюдается для ЭПС уменьшение ρ по высоте изделия ввиду известных физических процессов вспенивания [66].

Заключение по главе I

Из проведенного литературного обзора можно сделать следующие выводы:

1. Среди распространенных теплоизоляционных материалов по значению теплопроводности наиболее эффективными являются пенополистирольные плиты, доля их потребления которых постоянно увеличивается.

2. Пенополистирольный утеплитель могут разрушаться под действием внешних факторов (действие жидких агрессивных сред, атмосферные воздействия, влажность) и для защиты пенополистирола от представленных возможных опасностей требуется разработать конструктивное решение, обеспечивающее минимизацию действий внешних факторов на пенополистирол. Одним из решений является применение трехслойной строительной изделий и конструкций (ТСК), в котором пенополистирольный утеплитель бетонируется с двух сторон, обеспечивая надежную изоляцию от действий внешних факторов.

3. Применение пенополистирольных плит в качестве среднего утепляющего слоя ТСК обусловлено рядом его положительных свойств:

- пенополистирольные плиты обладают малой теплопроводностью и плотностью от 15 кг/м^3 , ограждающие конструкции из которого не только уменьшают нагрузку на фундамент, но и не требуют дополнительного утепления;

- полезное сечение бетона сокращается за счет пенополистирольного утеплителя, которое обладает низкой теплопроводностью и малой величиной гигроскопичности.



4. Бетон относится к капиллярно-пористым материалам. Капиллярная пористость образуются в результате внутреннего водоотделения при седиментации цементного теста или неравномерных усадочных напряжений в цементном камне. Проникновение в поры бетона воды и агрессивных веществ, дальнейшая их фильтрация по микропорам в местах контактов цементного камня и заполнителей отрицательно действуют как на бетон и арматурные каркасы, так и на пенополистирольный утеплитель, т.к. он находится в непосредственном контакте с бетоном. При длительном воздействии внешних факторов происходит изменение структуры пенополистирола, и вследствие этого ухудшаются его теплофизические свойства.

5. При длительном воздействии внешних факторов происходит изменение структуры пенополистирола, и вследствие этого ухудшаются его теплофизические свойства. В связи с этим одной из важных задач строительного материаловедения является всестороннее экспериментальное исследование по оптимизации состава торкретбетона с высокой газо-, водо- и паронепроницаемости используемого в качестве наружных бетонных оболочек ТСК.

6. Существуют опыты применения пенополистирольных плит в качестве утепляющего слоя в многослойных конструкциях, однако изготовление ТСК с теплоизоляционным слоем из пенополистирольной плиты плотностью 10 кг/м^3 отсутствует, т.к. существующая технология изготовления ТСК предусматривает использование пенополистирольных плит плотностью от 15 кг/м^3 .

7. Отсутствуют результаты, отражающие влияние капиллярной пористости бетонов ТСК на долговечность пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 .

8. Разработка технологии получения пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 и его использование в качестве утепляющего слоя ТСК является актуальной ввиду недостаточной изученности.



ГЛАВА II МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основной объем экспериментальных исследований реализован в лаборатории кафедры «Производство материалов, технология и организация строительства» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими. При проведении экспериментальных исследований были использованы стандартные и общепринятые методы, а также приборы и испытательные оборудования, удовлетворяющие требованиям действующих стандартов и прошедшие государственную поверку.

2.1 Методы исследования пенополистирольных плит

Физико-механические свойства пенополистирольных плит определялись в соответствии с ГОСТ 15588-86 «Плиты пенополистирольные. Технические условия» и ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний». В работе применялись образцы с линейными размерами 50x50x50 мм. Для всех образцов выполнялся контроль внешнего вида, и определялись плотность, прочность на сжатие при 10% линейной деформации, предел прочности при растяжении, водопоглощение, теплопроводность и долговечность.

Контроль внешнего вида заключался в визуальном осмотре экспериментальных образцов и линейных измерениях замеченных дефектов. Линейные размеры оценивались штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

Плотность образцов определялась согласно ГОСТ 15588-86.

Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации определялась по ГОСТ 17177-94. Экспериментальная установка представляет собой жесткую раму, на которой установлены реверсоры. Стенд позволяет испытывать несколько образцов одновременно при различных уровнях напряжений.

Образец помещается в реверсор, который жестко прикреплен к балке в верхней своей части, после чего к нижнему крюку прикладывается сила, реализованная в виде груза из набора гирь определенной массы. Деформации образца измеряются индикатором часового типа с точностью до 0,01 мм.

Предел прочности при растяжении определялся в соответствии с ГОСТ 15566-86. Экспериментальная установка (рис.2.1.) состоит из жесткой рамы, которая также закреплена в верхней своей части. Образец (2) приклеивается к отшлифованным поверхностям реверсов (1), после чего к нижней площадке установки прикладывается сила (F), аналогично реализованная в виде груза из набора гирь определенной массы. Деформации образца измеряются штангенциркулем с точностью до 0,01 мм. Для приклеивания пенополистирола использовался универсальный клей на основе акриловой водной дисперсии «Момент Монтаж Экспресс МВ-50».

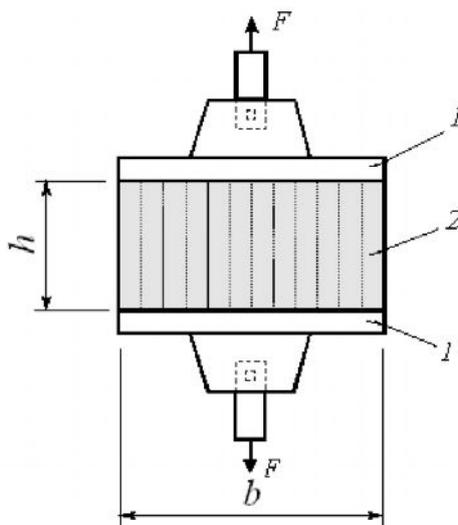


Рис. 2.1. Схема испытания образцов на растяжение:

- h – толщина образца; b – сторона квадратного сечения образца;
- F – растягивающее усилие; 1 – металлические пластины; 2 – образец.

Водопоглощение пенополистирольных образцов осуществлялось в соответствии с требованиями вышеуказанного стандарта. Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной образцами сухого материала после полного погружения их в дистиллированную воду и

удерживания в ней в течение 24 часов. Масса образцов определялась на лабораторных электронных весах с погрешностью в 0,01 г.

Теплопроводность пенополистирольных плит определялась с помощью прибора ИТП МГ4 «Зонд» (рис.2.2). Прибор ИТП-МГ4 «Зонд» предназначен для оперативного определения теплопроводности строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов методом цилиндрического зонда по ГОСТ 30256. Область применения прибора строительная индустрия, научно-исследовательские и строительные лаборатории.

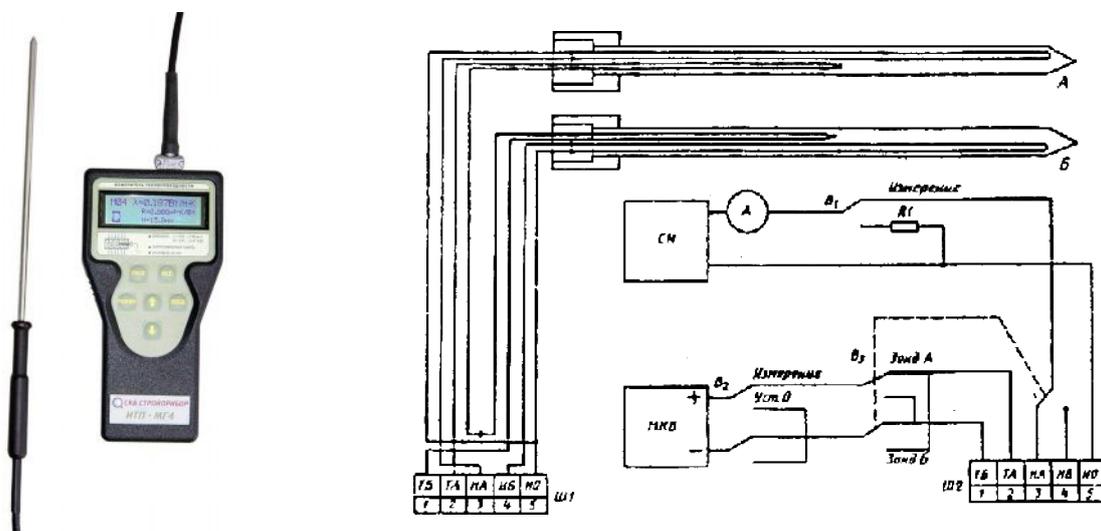


Рис. 2.2. Прибор ИТП МГ4 «Зонд», устройство зонда и электрическая схема соединения приборов

Устройство зонда и электрическая схема соединения приборов при определении теплопроводности показаны на рис.2.3. Прибор ИТП МГ4 «Зонд» позволяет определять теплопроводность материалов на образцах размером не менее 100x100x100 мм или в массиве, в процессе их производства и применения, а также при обследовании зданий и сооружений. Получаемая в процессе измерений информация автоматически архивируется. Рабочий диапазон температур от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность воздуха от 30% до 80%. Принцип работы прибора основан на создании нестационарного теплового режима и измерении скорости изменения температуры зонда, помещенного в образец.



Для определения теплопроводности в изделии (образце) была просверлено отверстие, соответствующее длине и диаметру зонда. Глубина отверстия составляла от 60 до 80 мм. Для надежного термического контакта с материалом образца зонд смазывали тонким слоем пасты теплопроводной кремнийорганической КПТ-8. Зонд вводили в отверстие на образце. Теплопроводность материала в образцах определяли не менее чем на трех образцах. За результат испытания принимали среднее арифметическое значение результатов четырех параллельных измерений.

Вычисляли теплопроводность $\lambda_{л}$ материала в ваттах на метр-кельвин по формуле (2.1) для линейного источника тепла постоянной мощности:

$$\lambda = 0,05516I^2 RE_0 / \Delta E, \quad (2.1)$$

где, I - сила тока нагрева зонда, А; R - сопротивление нагревателя зонда, Ом/м; E_0 - чувствительность термопары зонда, мкВ/К; ΔE - прирост ЭДС термопары зонда, мкВ.

Величину ΔE рассчитывают как разность между средними арифметическими значениями ЭДС, измеренными в промежутках времени 8-12 и 4-6 мин.

С применением средств вычислительной техники определяли уточненное значение теплопроводности λ материала в ваттах на метр-кельвин по формулам (2.2 – 2.5):

$$\lambda = a_1 / \lambda + a_2 + a_3 \lambda + a_4 \lambda^2; \quad (2.2)$$

$$a_i = b_1 / C^2 + b_2 / C + b_3 + b_4 C + b_5 C^2; \quad (2.3)$$

$$b_j = d_1 + d_2 T + d_3 T^2 + d_4 T^3, \quad (2.4)$$

где, $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, \dots, 5$; T - температура, при которой определялась теплопроводность, К; C - объемная теплоемкость материала, Дж/(м³·К).

$$C = p(c + 42W), \quad (2.5)$$

где, c - удельная теплоемкость материала в сухом состоянии, Дж/(кг·К); p - плотность материала в сухом состоянии, кг/м³; W - влажность материала, % по массе.



2.2 Методика изготовления и физико-механических испытаний опытных образцов торкретбетона

Приготовление опытных замесов. Материалы, применяемые при подборе состава торкретбетона, должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на эти материалы. Расчет и подбор состава бетона для торкретирования ТСК, нормального твердения и с пластифицирующими добавками, осуществлялся в соответствии с п.7 «Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов» (к ГОСТ 27006-86).

Производят дозирование материалов путем взвешивания на весах с погрешностью не более 1,0 %. Воду дозируют по объему, используя мерный цилиндр и рабочий сосуд. Приготовление опытных замесов производят вручную на предварительно увлажненном бойке с перемешиванием в течение 3÷5 мин. Работу начинают с перемешивания сухих материалов, а затем постепенно добавляют в замес назначенное по расчету количество воды. На основе визуального контроля удобоукладываемости и связности бетонной смеси допускается вносить изменения в количестве отдозированной воды или песка.

После приготовления бетонной смеси проверяют ее удобоукладываемость по показателю подвижности – осадке конуса (ОК) по ГОСТ 10181.1-81 «Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости». Для определения подвижности бетонной смеси используют металлический стандартный конус. Внутреннюю поверхность конуса перед испытанием увлажняют.

Формование опытных образцов и их испытание. Для определения прочности бетона при сжатии изготавливают стандартные образцы-кубы. После определения плотности бетонную смесь вновь перемешивают и укладывают с некоторым избытком в форму, внутренние поверхности которой должны быть покрыты тонким слоем смазки. Уплотнение бетонной смеси производится на



виброплощадке до прекращения оседания бетонной смеси, выравнивания ее поверхности и появления на ней тонкого слоя цементного теста. Поверхность образцов заглаживают мастерком.

Форму с уплотненной бетонной смесью накрывают влажной тканью, через сутки образцы вынимают из формы, маркируют и помещают в камеру нормального твердения, где поддерживается температура $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и влажность не менее 90 %.

Испытания контрольных образцов производятся через 28 сут нормального твердения по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». В случае необходимости допускается проводить контрольные испытания и в более короткие сроки, но не ранее 3 сут. твердения.

Перед испытанием образцы подвергаются осмотру и измерению. При осмотре образцов-кубов выбирают опорные грани, которые будут прилегать к плитам прессы. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы. По результатам измерения определяют рабочую площадь опорных граней образцов F в см^2 .

Для испытания образец устанавливают одной из заранее выбранных граней (боковых) на нижнюю плиту прессы центрально относительно его оси, пользуясь рисками, нанесенными на плите. Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью $6 \cdot 10^{-1} \pm 7 \cdot 10^{-1}$ Н/с до его разрушения.

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) в МПа вычисляют по формуле для каждого образца:

$$R_{сж} = P/F, \text{ МПа} \quad (2.6)$$

где, P – разрушающая нагрузка, кгс.

По результатам испытания серии образцов-близнецов определяют среднюю величину предела прочности при сжатии:

$$R_{сж} = \Sigma R_{п} / n, \text{ МПа} \quad (2.7)$$



где, R_n – предел прочности при сжатии отдельных образцов серии, МПа;

n – количество образцов в серии.

Определение морозостойкости проводилось на образцах-кубах с размером ребер 10 см в соответствии с требованиями ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Определение водопоглощения производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» путем кипячения серии образцов в воде.

Водонепроницаемость. Как известно долговечность бетонных конструкций зависит от способности материала сопротивляться влиянию различных атмосферных факторов и агрессивных сред, в том числе увлажнению и замораживанию. Проницаемость конструкций зависит от пористости бетона, структуры пор и свойств вяжущего и заполнителей. Мелкие поры и капилляры, к которым относятся поры цементного геля, практически непроницаемы для воды. В более крупных порах происходит фильтрация воды вследствие действия давления, градиента влажности или осмотического эффекта, по этим причинам в конструкциях наблюдается появление мокрых пятен и протечек.

Марка бетона по водонепроницаемости определяется давлением воды, при котором не наблюдается просачивание на четырех из шести образцов при испытаниях по методу «Мокрого пятна» (ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости»). Полученные значения определяют максимальное давление воды, при котором бетон является водонепроницаемым, и не будет пропускать влагу.

2.3 Применяемые материалы

Пенополистирольная плита. Применялось пенополистирольная плита, изготовленная ООО «Тиниал» (г. Душанбе, Республика Таджикистан) по разработанной нами новой технологической линии вспучивания



пенополистирольных гранул. Физико-механические характеристики пенополистирольной плиты приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1 – Физико-механические характеристики пенополистирольной плиты

| Наименование | Показатели |
|---|----------------|
| Объемный вес, кг/м ³ | 10 |
| Время самостоятельного горения плит | не более 4 |
| Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, кг/см ² | не менее 0,35 |
| Теплопроводность в сухом состоянии при (25±5) °С, Вт/(м·К) | не более 0,036 |
| Водопоглощение за 24 ч, % по объему | не более 4 |

Цемент. В качестве вяжущего в составе мелкозернистого бетона при исследований использовался портландцемент ПЦ М-400 производства ООО «Хуаксин-Гаюр (Сугд) Семент» (Согдийская область, Гафуровский район, Республика Таджикистан). Физико-механические свойства и химико-минералогические составы цементов, указанные производителем в документах о качестве, приведены в табл.2.2-2.4.

Цемент ПЦ М-400 ООО Хуаксин-Гаюр (Сугд) соответствует ГОСТ 10178-85 и ГОСТ 31108-2003.

Таблица 2.2 – Химический состав портландцемента, %

| CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO _{св} | SO ₃ |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|-----------------|
| 65,2÷66 | 19,2÷19,9 | 5,0÷5,7 | 3,5÷4,0 | 1,1÷2,8 | до 1,2 | 1,8÷2,4 |

Таблица 2.3 – Минералогический состав портландцемента

| C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ AF |
|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 57÷66 | 7÷15 | 9÷12 | 10÷13 |

Таблица 2.4 – Физико-механические свойства цемента

| Предел прочности на сжатие / изгиб, МПа через 28 дней | Сроки схватывания, мин | | Тонкость помола (прошло через сито 008), % | Удельная поверхность, м ² /кг | Нормальная плотность, % |
|---|------------------------|-------|--|--|-------------------------|
| | начало | конец | | | |
| 49,0 / 9,1 | 161 | 233 | 91,8÷93,0 | 290 | 27 |



Заполнитель. В качестве заполнителя при изготовлении контрольных и опытных образцов был использован гранитный песок фракцией до 4 мм, месторождения «Бободжон» (Гафуровский район Согдийской области, Республика Таджикистан), производимый Чайрухским заводом нерудных материалов. Физико-механические показатели и химический состав заполнителя приведены в табл.2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – Усредненные физико-механические показатели заполнителя

| Объемный вес, г/см ³ | Удельный вес, г/см ³ | Плотность, г/см ³ | Водопоглощение, % | Пористость, % | Объем пор |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| 1,57 | 2,6 | 2,74 | 1,43 | 6 | 2,65 |

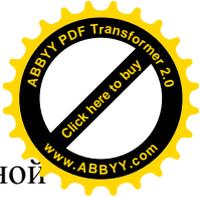
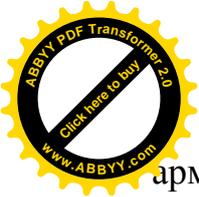
Таблица 2.6 – Химический состав заполнителя

| SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₂ |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|------|------|------------------|-------------------|-----------------|
| 63,32 | - | 11,44 | 4,07 | - | 1,31 | 5,74 | 3,0 | 3,35 | 0,17 |

Вода. Для изготовления и исследования бетонов использовалась вода удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов». Вода не содержит вредных примесей и имеет pH = 6,72. Общая жесткость ее составляет 0,4-0,60 мг-экв./л.

Пластификатор. В работе был использован суперпластификатор СП-3 для снижения водопотребности бетонной смеси при сохранении ее требуемой подвижности. СП-3 – комплексная добавка для бетонов и строительных растворов с небольшим эффектом замедления схватывания на основе пластифицирующего компонента и неорганических солей щелочных металлов.

Применение СП-3 позволяет достичь следующих показателей: увеличить подвижность бетонной смеси без снижения прочности; снизить количество воды затворения от 21% и более (в равноподвижных смесях); увеличить конечные прочностные характеристики бетона на 20% и более (в равноподвижных смесях); 1,5÷1,6 раза увеличить сцепление бетона с закладной



арматурой и металлоизделиями; получить бетоны с повышенной водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Суперпластификатор СП-3 не содержит хлоридов (табл.2.7) и может применяться при изготовлении армированных и предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Таблица 2.7 – Технические характеристики СП-3

| Внешний вид | Порошок коричневого цвета | Жидкость коричневого цвета |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| рН | 8 ± 1 | 8 ± 1 |
| Массовая доля сухого вещества | $\geq 90\%$ | $\geq 32\%$ |
| Плотность при 20 °С | - | $\geq 1,18 \text{ г/см}^3$ |
| Содержание хлоридов | $\leq 0,1\%$ | $\leq 0,1\%$ |

Для приготовления бетона добавляли СП-3 в количестве 0,5 % от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество. В жидком виде добавка СП-3 вводился вместе с водой затворения, добавка в сухом виде предварительно разводили в воде. После введения СП-3 в бетонную смесь обеспечивали достаточное время перемешивания с целью равномерности распределения добавки в соответствии с нормативными требованиями.

Заключение по главе II

1. Для исследования и анализа свойств, состава материалов и разработанных на их основе бетонов использованы современные высокоточные инструментальные методы исследований и установленные стандартами методики определения характеристик сырья, смесей и готовых изделий.

2. Особое внимание было уделено на экологичность применяемых материалов.

3. Изучение теплопроводности разработанного пенополистирольного утеплителя выполнялось с помощью прибора ИТП МГ4 «Зонд».



4. Для изучения возможности изготовления ТСК на основе торкретбетона повышенной непроницаемости применяли местные сырьевые материалы: портландцемент ПЦ 400-Д0 ГУП «Таджикцемент», отсев дробления гранитного щебня месторождения «Бободжон» (Гафуровский район Согдийской области, Республика Таджикистан), производимый Чайрухским заводом нерудных материалов; вода местных трубопроводов. Применяли химический модификатор-суперпластификатор СП-3.



ГЛАВА III ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ И ТОРКРЕТБЕТОНА ДЛЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Оптимизация состава бетонной смеси

К бетонам ТСК предъявляют жесткие требования по газо-, водо- и паронепроницаемости, т.к. пенополистирольный утеплитель, расположенный между бетонными оболочками могут разрушаться под действием не только внутренних, но и внешних факторов. Внешние факторы – это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (влажность). Бетон относится к капиллярно-пористым материалам. Капиллярная пористость образуются в результате внутреннего водоотделения при седиментации цементного теста или неравномерных усадочных напряжений в цементном камне. Проникновение в поры бетона воды и агрессивных веществ, дальнейшая их фильтрация по микропорам в местах контактов цементного камня и заполнителей отрицательно действуют на прочность бетона, на арматурные каркасы, снижая антикоррозийные свойства и на свойства пенополистирольных плит находящиеся в непосредственном контакте с бетоном. При длительном воздействии внешних факторов происходит изменение структуры пенополистирола, и вследствие этого ухудшаются его теплофизические характеристики.

Для получения бетонов с высокой газо-, водо- и паронепроницаемости необходимо обеспечить их более плотную монолитную структуру. Бетон не должен иметь макро капиллярную пористость. Как показывает практика, высокая газо-, водо- и паронепроницаемости бетона достигается при соблюдении следующих определенных приемов и правил:

- активации вяжущего компонента;



- повышенные требования к качеству заполнителей бетонной смеси;
- применение пластифицирующих добавок, обеспечивающих получение плотной структуры бетона при низком водоцементном отношении.

Технические характеристики мелкозернистого бетона (торкретбетона) характеризуется теми же факторами, что и традиционный тяжелый бетон, однако использование заполнителя меньшей крупности и с большей поверхностью по сравнению с традиционным тяжелым бетоном приводит к увеличению водопотребности бетонной смеси и повышению расхода цемента. Увеличение расхода цемента негативно воздействует на физико-технические характеристики торкретбетона, т.к. с увеличением содержания цемента существенно увеличивается усадка и снижается трещиностойкость бетона и повышается его ползучесть.

Для снижения расхода цемента целесообразно использовать пластифицирующие добавки и производить хорошее уплотнение смеси.

Расчет и подбор состава торкретбетона нормального твердения с пластифицирующими добавками осуществлено в соответствии с п.7 «Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов» (к ГОСТ 27006-86). Была поставлена задача, подобрать состав торкретбетона средней прочностью – 40 МПа, подвижностью бетонной смеси по осадке конуса – 7–8 см, применяя следующие материалы: цемент активностью – 400 МПа; песок плотностью 2180 кг/м³; добавка: пластификатор СП-3.

Водоцементное отношение:

$$B/C = 1 / (C/B) = 1 / (300/130) = 0,43 \quad (3.1)$$

Расход воды на 1 м³ начального номинального состава мелкозернистого бетона:

$$B = C \cdot B/C = 300 \cdot 0,43 = 130 \text{ л/м}^3 \quad (3.2)$$

По водоцементному отношению и водопотребности бетона начального состава определено расход цемента торкретбетона с добавкой:

$$C = B / (B/C) = 130 / 0,43 = 300 \text{ кг/м}^3 \quad (3.3)$$



Расход песка в торкретбетоне с добавкой, принимая значение средней плотности в зависимости от заданной удобоукладываемости и модуля крупности песка:

$$\Pi = (p^{\circ}_{\text{см}} \cdot 1) - В - Ц = 2180 \cdot 1 - 130 - 300 = 1750 \text{ кг/м}^3 \quad (3.4)$$

Расчетный начальный состав бетона для торкретирования приведен в табл.3.1. В настоящее время наиболее эффективным и простым способом улучшения физико-механических свойств цементных растворов и бетонов является применение химических добавок. Современные добавки широко используются во всех технологиях производства бетонных смесей. Добавки способствуют развитию новых технологий, таких как производство высокопрочных и самоуплотняющихся бетонов. Добавки вводят в бетон до десятых долей процента от массы вяжущего. При введении добавок существенно меняются технические свойства бетонной смеси, процессы твердения самого бетона и его эксплуатационные свойства.

Таблица 3.1 – Расчетный начальный состав торкретбетона

| Цемент, | Песок, кг/м ³ | Вода, л/м ³ |
|---------|--------------------------|------------------------|
| 300 | 1750 | 130 |

Экспериментальным путем определено оптимальный расход добавки СП-3 в торкретбетоне. Исследования проводились на портландцементе ГУП «Таджикцемент» ПЦ 400-Д0, заполнителе – гранитный песок, фракцией до 4 мм. Для исследования была взята добавка СП-3 в количестве от 0,3% до 1,0%. Состав и прочностные свойства бетонных смесей без добавки и с добавкой СП-3 приведены в табл.3.2.

Как видно из табл.3.2 и рис.3.1 при добавлении СП-3 повышается прочность всех составов (составы №2, №3, №4 и №5). Наибольшее значение прочности показал состав №3 с добавкой СП-3 в количестве 0,5% от массы цемента. Увеличение прочности торкретбетона связано с повышением адсорбции воды на частицах цемента и зернах заполнителя и последующего формирования цементного камня. При увеличении количества добавки СП-3 с



0,8% до 1,0% от массы цемента наблюдается заметное снижение прочности торкретбетона. Уменьшение прочности торкретбетона связано с заметным воздухововлечением при приготовлении бетонной смеси. Результаты исследований показали, что оптимальным количеством добавки СП-3 составляет 0,5% от массы цемента.

Далее проверено начальный номинальный состав на опытном замесе с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси. Для этого изготовлено пробный замес и определено удобоукладываемость по ГОСТ 10181. Опытные испытания показали, что удобоукладываемость отвечает заданным параметрам при осадке конуса ОК = 7 см, следовательно, корректировку расхода песка, цемента, воды не произведено. Фактический удельный вес бетонной смеси составил: $\rho_{б.с.} = 2500 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 3.2 – Состав и прочностные свойства бетонных смесей без добавки и с добавкой СП-3

| Бетонная смесь | Состав бетонной смеси | Кол-во добавки СП-3, % от массы цемента | Возраст бетона, сут. | Предел прочности при сжатии, МПа |
|----------------|--|---|----------------------|----------------------------------|
| №1 | Цемент - 300 кг/м^3 , Песок – 1750 кг/м^3 , Вода – 130 л/м^3 | 0 | 3 | 21,5 |
| | | | 7 | 25,2 |
| | | | 28 | 32,6 |
| №2 | | 0,3 | 3 | 29,3 |
| | | | 7 | 34,8 |
| | | | 28 | 36,1 |
| №3 | | 0,5 | 3 | 32,3 |
| | | | 7 | 35,9 |
| | | | 28 | 40,0 |
| №4 | 0,8 | 3 | 27,4 | |
| | | 7 | 30,7 | |
| | | 28 | 34,3 | |
| №5 | 1,0 | 3 | 23,1 | |
| | | 7 | 24,0 | |
| | | 28 | 29,5 | |

Таким образом, фактический начальный состав торкретбетона следующий: цемент - 300 кг/м^3 , песок – 1750 кг/м^3 , вода – 130 л/м^3 , добавка – $1,5 \text{ л/м}^3$.

Для рациональной организации исследовательской работы применен метод математического планирования и статистическая обработка результатов эксперимента.

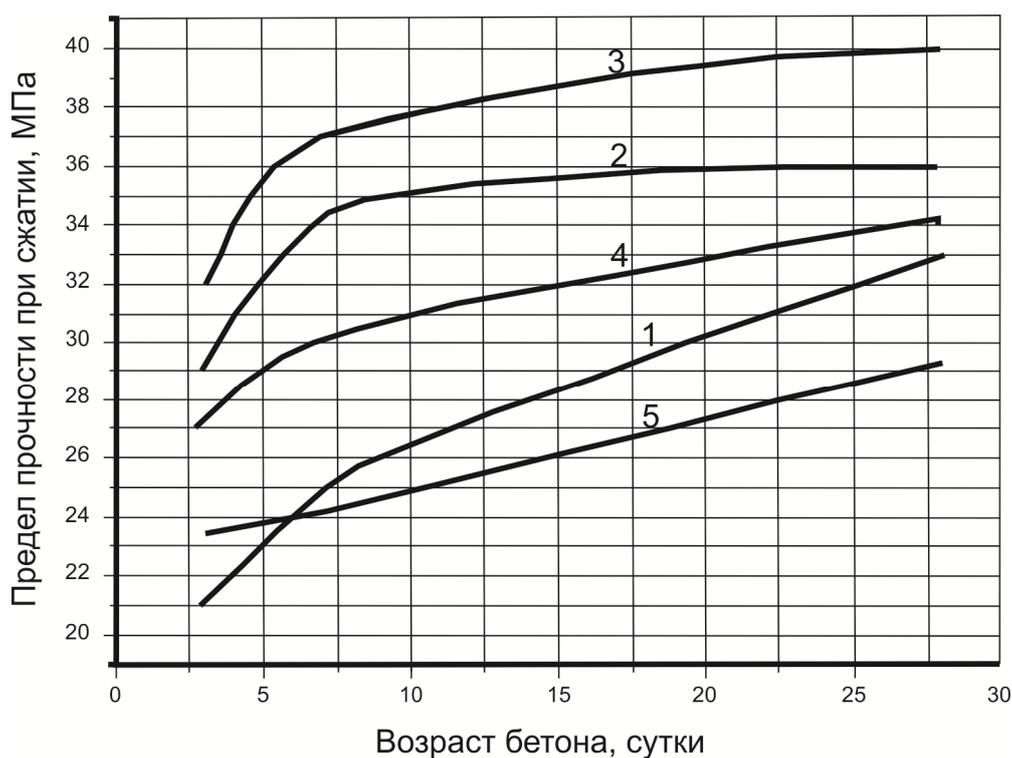


Рис. 3.1. Зависимость предела прочности при сжатии бетона с добавкой и без добавки СП-3 (номера на графике соответствует номерам бетонных смесей в табл.3.2)

3.2 Разработка состава и определение физико-механических характеристик торкретбетона

Водонепроницаемость торкретбетона является одним из важнейших параметров, оказывающих влияние на долговечность пенополистирольных утеплителей. Бетон относится к капиллярно-пористым материалам, и при наличии соответствующего градиента давления, проницаем для воды. Водонепроницаемость торкретбетона зависит от множества факторов, среди



которых основным является степень и характер пористости материала. Чем более плотный торкретбетон, чем меньше в нем пор по количеству и объему, тем выше его водонепроницаемость, соответственно газо- и паронепроницаемость.

В табл.3.3 представлены средние значения определения водонепроницаемости бетонных образцов составы, которых приведены в табл.3.2. Повышенные значения марки по водонепроницаемости образцов №2, №3 и №4, относительно образцов №1 без добавки СП-3 и №5 с повышенным содержанием СП-3, свидетельствуют о повышении плотности структуры торкретбетона при введении добавки СП-3 в количестве 0,3-0,8 % от массы цемента, которая сокращает количество микропор и капилляров, способствующий увеличению непроницаемость торкретбетона.

Таблица 3.3 – Средние значения определения водонепроницаемости бетонных образцов

| Бетонная смесь | Средняя высота капиллярного поднятия (h_0), м | Водонепроницаемость, атм | Марка по водонепроницаемости, W | Водопоглощение по массе, W_m , % |
|----------------|---|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| №1 | 0,024 | 5,5 | 4 | 7,1 |
| №2 | 0,017 | 11,5 | 10 | 4,4 |
| №3 | 0,016 | 12,0 | 10 | 4,1 |
| №4 | 0,019 | 10,7 | 10 | 4,9 |
| №5 | 0,029 | 4,1 | 4 | 7,9 |

Примечание: Состав бетонной смеси соответствует составам бетонных смесей указанных в табл.3.2.

При снижении микропор и капилляров увеличивается долговечность торкретбетона, т.к., чем больше водонепроницаемость торкретбетона, тем меньшее воздействие оказывает на него как сама вода, так и растворенные в ней агрессивные вещества.

Увеличение марки по водонепроницаемости можно объяснить тем, что с добавлением оптимального количества СП-3 повышает адсорбции воды на



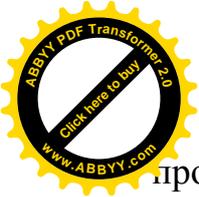
частицах цемента и зернах заполнителя и последующем формировании плотного цементного камня. При добавлении добавки СП-3 в количестве 1,0% от массы цемента наблюдается заметное снижение марки по водонепроницаемости торкретбетона. Увеличение водопроницаемости торкретбетона связано с заметным воздухововлечением и последующим получением на торкретбетонах после твердения сообщающихся микропор. Результаты исследований показали, что оптимальным количеством добавки СП-3 для получения торкретбетона высокой водонепроницаемости составляет 0,5% от массы цемента.

Водопоглощение торкретбетона обусловлено сорбционными и конденсационными процессами, связанными с изменением его температуры и относительной влажности воздуха, а также капиллярным подсосом воды при непосредственном контакте бетона с водой. Основными причинами возникновения пор в торкретбетонах являются не только недостаточная уплотненность бетона, но и наличие излишней воды затворения и уменьшение бетона в объеме при высыхании, т.е. усадка торкретбетона.

Водопоглощение определялось по массе, и результаты испытаний представлены в табл.3.2. Как следует из представленных данных, водопоглощение по массе у образцов №2, №3 и №4 с добавками СП-3 в количестве от 0,3% до 0,8% по массе цемента ниже, чем у образцов №1 (без добавки СП-3) и №5 (содержание СП-3 в количестве 1% от массы цемента).

Как известно [1], водопоглощение зависит от величины и характера пор в бетоне, поэтому, анализируя полученные данные по водопоглощению (табл.3.2), можно сделать вывод, что происходит уплотнение контактных слоев цементной матрицы и заполнителя, и снижение количества сообщающихся микропор, свободных для проникновения воды.

Одной из важных технических характеристик определяющим долговечность бетонных изделий и конструкций наряду с прочностью, водонепроницаемостью и водопоглощению является морозостойкость. Для оценки влияния добавки СП-3 на морозостойкость торкретбетона были



проведены экспериментальные исследования образцов бетонных составов указанных в табл.3.2. Результаты исследований на морозостойкость торкретбетона каждого состава показаны в табл.3.4.

Как видно из представленных данных, увеличение морозостойкости бетонных смесей №2, №3 и №4 в отличие от бетонной смеси №1 заключается в следующем: за счет уменьшения количества воды затворения получается торкретбетон плотной структуры, что в свою очередь увеличивает морозостойкость торкретбетона. Уменьшение морозостойкости бетонной смеси №5 в отличие от бетонной смеси №1 связано с заметным воздухововлечением при приготовлении бетонной смеси, что в свою очередь увеличивает капиллярную пористость. Таким образом, оптимальная концентрация добавки СП-3 в количестве 0,5%, способствует набору необходимой скорости структурообразования системы и формированию прочных структур твердения с определенными эксплуатационными характеристиками.

Таблица 3.4 – Морозостойкость торкретбетона

| Бетонная смесь* | Кол-во добавки СП-3, % от массы цемента | Предел прочности при сжатии, в возрасте 28 сут., МПа | Морозостойкость, цикл |
|-----------------|---|--|-----------------------|
| №1 | 0 | 32,6 | 50 |
| №2 | 0,3 | 36,1 | 65 |
| №3 | 0,5 | 40,0 | 75 |
| №4 | 0,8 | 34,3 | 60 |
| №5 | 1,0 | 29,5 | 30 |

Примечание: * - Состав бетонной смеси: цемент - 300 кг/м³, песок – 1740 кг/м³, вода – 130 л/м³.

Положительное влияние добавки СП-3 на морозостойкость подтверждается результатами испытаний, так морозостойкость образца №3 с добавкой СП-3 в количестве 0,5% от массы цемента превышает морозостойкость образца №1 (без добавки СП-3) в 1,5 раза.



Таким образом, добавка СП-3 обеспечивает повышению долговечности торкретбетона, т.к. увеличивают плотность, прочность и водонепроницаемость, а также снижает водопоглощение торкретбетона и эксплуатационных характеристик, обуславливая уплотнение межфазных слоев цементной матрицы и заполнителя.

Также были проведены работы по влиянию добавки СП-3 на сроки схватывания цемента, т.к. свежеприготовленные бетоны и растворы можно только до начала схватывания. При несоблюдении этого условия прочность растворов и бетонов будет низкой, так как схватившееся цементное тесто утратит клеящую способность. Результаты проведенных исследований приведены на табл.3.5.

Таблица 3.5 – Влияние добавки СП-3 на сроки схватывания цемента

| Кол-во добавки СП-3, % от массы цемента | Начало схватывания, час-мин. | Конец схватывания, час-мин. |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 2-15 | 3-45 |
| 0,3 | 4-35 | 9-05 |
| 0,5 | 0-32 | 3-10 |
| 0,8 | 0-25 | 2-34 |
| 1,0 | 0-19 | 1-59 |

Из табл.3.4. видно, что добавка СП-3 в количестве 0,3 % способствует увеличению начала схватывания цемента, т.е. добавка СП-3 выступает в роли замедлителя схватывания цемента при его малом содержании. При увеличении содержания добавки СП-3 от 0,5% увеличивается начало срока схватывания цемента.

3.3 Разработка технологии приготовления торкретбетона повышенной плотности

В зависимости от необходимой марки бетона в принудительном бетоносмесителе перемешивается в течение 3–4 минут 300 кг бетона с



необходимым количеством воды до того, как насос начнет работать. Данные табл.3.6 подходят для бетона марки В15 ($f_c=10,5$ Н/мм²). Фактическая марка бетона зависит также от кривой просеивания и должно быть определено при помощи тестов (табл.3.6).

Таблица 3.6 – Соотношение состава бетона В15

| Наименование | Показатель |
|-------------------------------|------------|
| Цемент | 300,0 кг |
| Заполнитель, фракцией до 4 мм | 1750,0 кг |
| Вода | 150,0 кг |

Соответствие правильной кривой просеивания является не только необходимым условием для получения торкретбетона хорошего качества, но также является решающим для способности материала к перекачиванию при помощи насоса. Для достижения такого объема перекачки заполнитель должен содержать минимальное количество мелкого заполнителя диаметром 0,125 мм. В сеточном фильтре с гранулами 0,125 мм просев должен быть, по крайней мере, 4–5% и не должен превышать 8–9 % (рис.3.2). Мелкий заполнитель обеспечивает способность бетона удерживать воду и возможность прокачивать его через кожух. Что касается заполнителя, извлекаемого из рек и озер, то количество мелкого заполнителя незначительно.

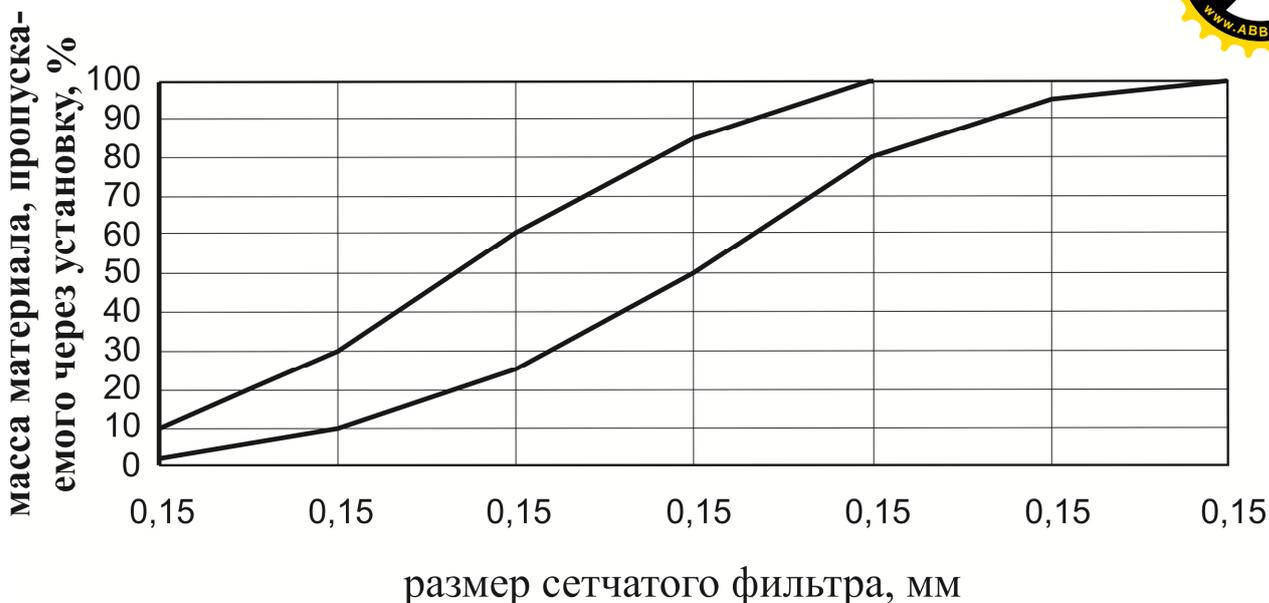


Рис. 3.2. Предельно допустимая градация, рекомендованная [122].

Содержание цемента в торкретбетоне равняется 300 кг/м^3 . Это количество гарантирует необходимую прочность и способность к перекачиванию бетонного раствора. Вследствие большего количества добавляемой воды торкретбетон с большим содержанием цемента склонен к высыханию и, впоследствии, к образованию трещин.

Соотношение между количеством воды и цемента не только влияет на пригодность торкретбетона, но также на прочность и антикоррозийные свойства арматуры. Если содержание воды слишком высоко, образуются воздушные пузырьки и это влияет на качество торкретбетона. Для железобетона рекомендуется следующее соотношение вода/цемент: 0,5 к 0,6 соответственно.

Использование торкретбетона заводского приготовления подтверждает, что это определенно лучшее решение. Кривая просеивания, равно как и качество торкретбетона в этом случае гарантированы в значительной степени. В связи с этим способность к перекачиванию и качество остаются постоянными требованиями в очень жестких рамках.



Готовый торкретбетон поставляется как в мешках, так и, для больших строительных площадок в цистернах. Открытое и незащищенное хранение торкретбетона на строительной площадке должно сводиться к минимуму. Вследствие того, что материал может легко поглотить влагу из воздуха, цемент затвердеет уже после нескольких часов и дальнейшее обеспечение качества торкретбетона будет невозможным. Если материал привезен утром и обрабатывался весь день, качество значительно ухудшится к концу рабочего дня.

Способность к перекачиванию – один из решающих критериев при изготовлении торкретбетона или цементного строительного раствора при использовании метода влажной смеси. Точное измерение характеристики не возможно, но должно быть выявлено опытным путем и пробным перекачиванием. Существуют различные, простые тесты, которые позволяют прогнозировать поведение материала.

Необходим также тест на сжатие. Взять бетонный строительный раствор и сжать ладонь в кулак, так, чтобы материал прошел сквозь пальцы. Если чистый цементный раствор выделится сквозь пальцы, а на ладони останется песочнообразный комок, значит, будет существовать опасность остановки перекачивания. В большинстве случаев это происходит с цементным раствором, сделанным из речного песка. Хорошо перекачиваемый цементный раствор мягко проникает между пальцев и оставляет лишь немного маленьких песчаных комочков в кулаке.

Тест на выступание цементного молока. Наполняют ведро до краев цементным раствором. Через 15 минут на поверхности не должно остаться воды. В противном случае имеет место выступание цементного молока и возникает вероятность остановки процесса перекачивания.

Тест с воронкой. Взять большую воронку для бензина, у которой нижнее отверстие равняется примерно 3 см. Перекачиваемый мягкий цементный раствор пробежит насквозь, когда воронка полностью заполнится.



Использование каменной пыли сравнительно недорогой путь увеличить содержание материала высшего качества. Обычно это тонко измельченный известняк. Примерно 5–10% может быть добавлено к весу конструкции (75–200 кг/м³). Если содержание цемента слишком высоко, его можно в известной мере заменить каменной пылью.

Вся порция материалов высшего качества может быть улучшена добавлением песка, имеющего мелкую структуру частичек. Однако это может содержать опасность того, что кривая просеивания выйдет за пределы рамок градации и, как следствие, вызовет уменьшение конечной прочности бетона, если содержание песка слишком велико.

Некоторые специальные химические добавки (например, SikaPump от Sika или Rheobuild 3520 от Master Builders) могут значительно увеличить способность торкретбетона к перекачиванию. В соответствии с информацией производителя никаких неблагоприятных влияний на прочность не ожидается. Рекомендуемое количество SikaPump – 0,5÷1,0% от массы цемента (1,5÷3,0 кг/м³).

Добавление извести в небольших количествах может существенно увеличить способность торкретбетона к перекачиванию. Во избежание негативных изменений качества торкретбетона добавление извести может быть рекомендовано лишь для отдельных случаев.

Торкретбетон наносится на стены или на нижнюю сторону плиты после окончательного возведения стены или плитной панели. В большинстве случаев это делается посредством бетононасоса поскольку ручное нанесение торкретбетона требует больших временных затрат.

В большинстве случаев применяются маленькие насосы (30÷50 л. в минуту) для нанесения тонкого слоя и из-за небольшого размера помещения. В зависимости от местных характерных особенностей объем используемого материала может равняться 5–15 м³/день.

Главным преимуществом метода сухой смеси является низкая чувствительность насосов к исходному материалу. Материал подается через



шланг посредством сжатого воздуха и смешивается с водой лишь в выпускном отверстии. Этот метод позволяет избежать засорения отверстия. К тому же существует возможность прервать подачу материала на короткое время и перезапустить ее без большого риска. Самый главный недостаток метода сухой смеси в том, что последующая обработка торкретбетона не производится и что достижение гладкой и ровной поверхности является практически невозможным. Поэтому бетонный слой, который наносится этим способом, получается грубым и шершавым. Последний слой должен быть выполнен другим способом, например, использованием для завершения цементного строительного раствора.

Риск, который не следует недооценивать – использование предварительно смешанного материала, который не содержался в мешках или специальном резервуаре. Если материал хранится в открытом виде в течение нескольких часов, он может впитать влагу из воздуха и начать распадаться на части перед использованием. К тому же, качество торкретбетона значительно ухудшится в ходе рабочего дня.

Необходимо использовать высокопроизводительный компрессор, который должен перекачивать 5–7 м³ бетона при единице давления – 6 бар.

Ожидаемый обратный ход – 15–40%. Это вдвое больше, чем при использовании метода сухой смеси. В то время как остаток цементного строительного раствора, подаваемого насосом, может быть перемешан с частями цемента и использован повторно, остаток сухого торкретбетона использоваться повторно не может.

Необходимо использование специальной защитной маски для людей, работающих в условиях пыли, становится необходимым.

Практический опыт показывает, что метод влажной смеси является наиболее предпочтительным вариантом. Становится возможным использовать довольно маленькие и менее дорогостоящие насосы, которые известны также как насосы для цемента (предполагается мягкий переход от строительного раствора к микро бетону). Мощность компрессора также может быть снижена.



При использовании метода влажной смеси единственная задача компрессора подавать торкретбетон в сопло. Последующая обработка менее сложна для мокрого торкретбетона, чем для сухого. Разравнивание и шлифовка бетона легко возможна.

Остаток неиспользованного торкретбетона в два раза меньше, чем при бетонировании методом сухой смеси. Количество образующейся при этом пыли весьма невелико.

Устройства для торкретбетона методом мокрой смеси требуют гораздо большего объема бетона. Важный вопрос в этой связи – способность торкретбетона к перекачке. Для того чтобы достичь этой способности, устройство должно иметь заданный угол решетчатого фильтра. Иначе будет невозможно избежать частого засорения сопла.

Устройства с червячным насосом обычно хорошо подходят для легко перекачиваемых смесей с максимальным размером зерен – 4–5 мм. Плунжерный насос способен пропускать бетон с максимальным размером зерен до 8 мм. Давление при подаче может достигать 40 бар.

При использовании карусельного насоса (валик давит на эластичное сопло и таким образом передается материал) диаметр зерна ограничивается лишь 1,5÷2 мм. Создаваемое давление также несколько ниже, чем в случае с предыдущими двумя видами.

Каменщики изготавливают бетонный строительный раствор традиционным методом. В этом случае качество очень низкое. Использование этого метода имеет смысл лишь для нанесения тонких слоев 5÷10 мм. Изготовление бетона этим способом является альтернативой при низком уровне денежных средств на строительство.

В приспособлении бетон загружается в распылитель 5÷10 л откуда выстреливается посредством сжатого воздуха через сопло на стену или панель. Поскольку бетон не перекачивается возможность к перекачке становится неактуальной. В сравнении с ручным нанесением качество значительно



улучшается. Конечный результат, однако, все еще ниже, чем тот, который получается в результате использования пневмобетонных насосов.

Если дневное производство при помощи распылителя составляет 100 м^2 в случае 2 см слоя на стене, то для нижней стороны панели можно ожидать 70 м^2 бетона, наносимого при помощи распылителя.

Торкретбетон всегда наносится в 2 или 3 слоя. Первый слой дает конструкции (изделию) необходимую прочность, чтобы воспринимать нагрузку во время строительства. Таким образом, если забетонировать верхнюю панель – возможно продолжение возведения стен на этаж выше. Следующий слой, по меньшей мере, 2 см толщиной (измеряется до панельной арматурной сетки). Этот бетонный слой разравнивается вручную, чтобы избежать неровностей, но в то же время оставить его грубым.

При нанесении сухосмешанного бетона полезно нанести первый, более тонкий слой, чтобы ограничить второй толщиной 10–15 мм. В этом случае второй слой служит только для создания гладкой поверхности. В основном, сухосмешанный торкретбетон не должен подвергаться повторной обработке. Потому последний слой изготавливать таким способом не советуется.

Другая функция первого бетонного слоя – выравнивание небольших выемок. В панели, например, могут оказаться 4–5 см зазоры в области арматуры. Выемки такого размера могут быть заполнены бетоном при его нанесении на боковые стороны пенополистирольных плит.

Измерение толщины слоя проблематично особенно для первого слоя. Толщина может быть определена в соответствии с поверхностью пенополистирольных плит. Однако на этом этапе панель еще не совсем жесткая и измерение толщины будет неточным.

Измерение достаточно просто, если первый бетонный слой достиг арматурной сетки. Это подразумевает, что толщина слоя в 2 см уже достаточна для того, чтобы вынести большинство нагрузок в течение строительства.

При использовании слоя тоньше, чем, например, 4 см, необходимо оставлять хорошо заметные отметки, такие как гвозди, вставленные в



пенополистирольные плиты и прикрепленные к арматурной сетке. Их шляпки должны выступать над покрытием пенополистирольных плит на 4 см.

Другая возможность – натянутые металлические провода (также известные как пианинные струны) Они натягиваются горизонтально с промежутками около 1 метра и помогают рабочим осуществлять грубую шлифовку.

Последующий бетонный слой наносится как обычная штукатурка в пределах отметок и шлифуется каменщиком. Если необходимо, возможно нанесение третьего тонкого и гладкого слоя. Этот слой, однако, не имеет структурных функций и потому может быть выполнен не из бетона. Особо рекомендуется наносить этот слой сухого раствора на все еще сырой второй слой бетона. Если поверхность недостаточно влажная, перед этим ее надо как следует намочить.

Тонкие бетонные слои очень чувствительны к просушке. Потому необходима полная последующая обработка. Это включает, по меньшей мере, постоянную просушку в течение первой недели строительства. Рекомендуется покрытие стен, выходящих на солнечную сторону (юг и запад) пластиковой пленкой. Другая альтернатива – использовать мокрые джутовые полотенца. Иначе недостаточная последующая обработка приведет к преждевременному высыханию и появлению трещин.

Тщательно очистите поверхность первого бетонного слоя перед продолжением бетонирования. Иначе нельзя будет обеспечить крепкое соединение слоев. Этот риск имеет особое значение в отношении большого количества пыли при использовании метода сухой смеси.

Помимо традиционных методов существуют следующие:

1. Нанесение защитной смеси от испарения (твердение). Когда наносится смесь, орошение водой более не требуется. Однако наносимое вещество должно быть удалено паровым способом перед тем, как будет положен следующий слой бетона. Эти трудоемкие процедуры замедляют процесс работы и увеличивают стоимость;



2. Внутреннее пропаривание ТСС 735 является новой, практичной и экономичной альтернативой просушиванию. Преимущества этой новой технологии впечатляют:

- больше не требуется длительного по времени нанесения и, в случае если бетон наносится несколькими слоями, удаления просушивающего вещества;
- просушивание гарантировано с начала процесса гидратации;
- не страдает степень сцепления слоев.

После нанесения на стены и на нижние стороны панели первого слоя бетона необходимо установить опалубку верхнего бетонного слоя панели. Это необходимо выполнить также и в области кольцевой балки и швов между стенами и панелью. В большинстве случаев достаточно прикрепить опалубку к арматуре вязальной проволокой. Однако в отдельных случаях необходимо произвести дополнительное крепление. Затем бетон наносится на верхнюю сторону панели, как обычный бетон с максимальным размером зерна 8–16мм. В связи с минимальным расстоянием между панелями необходимо измерять толщину верхнего бетонного слоя напрямую с верхнего угла ППС. Различия в толщине составляющие несколько мм могут быть устранены в законченном здании при устройстве покрытия пола.

Возможность появления трещин и рекомендуемые меры предотвращения приведены в приложении.

Для подведения итога следует упомянуть 3 очень важных момента для практически полного исключения трещин в бетоне:

1. Содержание цемента не должно превышать 300 кг/м³.
2. Соотношение вода/цемент должно находиться в пределах 0,5–0,6.
3. Поверхность должна увлажняться в течение нескольких первых дней.

3.4 Математическое планирование и статистическая обработка результатов эксперимента

При проведении экспериментов с многофакторными системами одной из главных задач является определение влияния каждого фактора на конечное



значение системы. В связи с этим, план эксперимента был составлен таким расчетом, чтобы при проведении минимального количества опытов была получена достаточная информация для анализа изучаемой системы.

Для оценки совместно влияния добавки СП-3 и воды на прочностные характеристики торкретбетона был спланирован и проведен полный центральный ортогональный двухфакторный эксперимент с изменением каждого фактора на трех уровнях, позволяющий получать математические модели путем проведения небольшого количества экспериментов.

В качестве изменяемых факторов приняты расходы добавки СП-3 и вода при постоянном содержании цемента и заполнителя. Рациональные области варьирования факторов были установлены исходя из ранее полученных данных.

Выбранные факторы (СП-3 и вода) были закодированы следующим образом:

X_1 – расход добавки СП-3, кг;

X_2 – водоцементное отношение (В/Ц), %.

Выбранные факторы, их коды, а также значения верхнего, среднего и нижнего уровня приведены в табл.3.7.

Таблица 3.7 – Факторы и интервалы их варьирования

| Код | Значение кода | Исследуемые факторы | |
|-----------------|---------------|---------------------|-------|
| | | X_1 | X_2 |
| Верхний уровень | +1 | 3 | 0,5 |
| Средний уровень | 0 | 1,5 | 0,43 |
| Нижний уровень | -1 | 0,9 | 0,35 |

При проведении экспериментальных исследований водоцементное отношение (В/Ц) варьировалась 0,35 до 0,5. План проведения двухфакторного эксперимента в натуральных и кодированных величинах представлен в табл.3.8.



Таблица 3.8 – План эксперимента и натуральные значения переменных

| Точки плана u | Факторы | | | |
|-----------------|--------------------------------|-------|-------------------------------|------|
| | План в кодированных переменных | | План в натуральных переменных | |
| | X_1 | X_2 | СП-3 | Вода |
| 1 | -1 | -1 | 0,9 | 0,35 |
| 2 | -1 | 0 | 0,9 | 0,43 |
| 3 | -1 | +1 | 0,9 | 0,50 |
| 4 | 0 | -1 | 1,5 | 0,35 |
| 5 | 0 | 0 | 1,5 | 0,43 |
| 6 | 0 | +1 | 1,5 | 0,50 |
| 7 | +1 | -1 | 3 | 0,35 |
| 8 | +1 | 0 | 3 | 0,43 |
| 9 | +1 | +1 | 3 | 0,50 |
| 10 | контрольный | | - | 0,40 |

Определение взаимного влияния выбранных факторов производилось по показателям готового бетона как среднее значение предела прочности на сжатие (Y_1) серии опытных образцов каждого состава.

3.5 Исследование пенополистирольных плит низкой плотностью

В данном разделе приведены результаты экспериментальных исследований по определению основных характеристик пенополистирольных плит: плотность, прочность на сжатие при 10% линейной деформации, предел прочности при растяжении, водопоглощение, теплопроводность и долговечность.

Плотность пенополистирольных образцов определялась согласно ГОСТ 15588-86 и результаты испытаний показаны в табл.3.3.



Прочность пенополистирольной плиты на сжатие при 10% линейной деформации. Прочность пенополистирольных плит зависит от следующих факторов: размеров и форм ячеек, прочности полистирольных пленок, составляющих стенки ячеек. Установить количественную связь между прочностью и параметрами ячеистой структуры пенополистирола достаточно трудно. Из-за специфичности прочностных свойств пенополистирола существует трудность выбора критериев их прочности и деформативности. При испытании пенополистирольных плит на сжатие хрупкое разрушение не происходит и не наблюдается четко выраженный предел прочности. Поэтому, эту характеристику зачастую определяется условно как напряжение, отвечающее заданной деформации материала (2,5 и 10% относительной деформации). Результаты испытаний прочности пенополистирольных плит на сжатие при 10% линейной деформации приведены в табл.3.3.

Предел прочности при растяжении. При растяжении для пенополистирольных плит характерна нелинейная зависимость деформации от напряжения. На предел прочности при растяжении как, и на прочность при сжатии, влияет устойчивость полимерных пленок, образующих стенки ячеек. Прочность пенополистирольных плит на растяжение – это способность выдерживать нагрузку воздействующую на него как сила стремящаяся растянуть образец материала. Результаты проведенных испытаний по определению прочности пенополистирольных плит на растяжение представлены в табл.3.3.

Из табл.3.1 видно, что образец №1, как и образец №3 практически имеют одинаковые прочности при растяжении, но при длительной эксплуатации дают разные показатели по прочности. Так, при длительной эксплуатации пенополистирольные плиты образца №1 показали более высокие результаты (образец №2), чем образцы №3.

Для исследования **водопоглощения** были отобраны образцы пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 изготовленные ООО «Тиниал» (г.Душанбе) по разработанной технологии и образцы пенополистирольных



плит плотностью 15 кг/м^3 полученные по стандартной технологии. В ходе исследования определялись значения водопоглощения по объему в течение 28 суток. Водопоглощение определялось согласно ГОСТ 15588-86 и методика проведения подробно описано в главе 2. Полученные экспериментальные данные водопоглощения представлены в табл.3.3.

Исследования показали, что водопоглощение образца №1 ниже, чем водопоглощение образца №2, а водопоглощение образца №3 ниже, чем водопоглощение образца №4. Наибольшее ухудшение по водопоглощению наблюдается у образца пенополистирольных плит №4, которое находился в длительной эксплуатации.

Таблица 3.3 – Физико-технические характеристики пенополистирола

| Номер образца | Плотность, кг/м^3 | Прочность на сжатие при 10% лин. деформ., МПа | Предел прочности при растяжении, кПа | Водопоглощение (по объему), %, за 24 часа | Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ |
|---------------|----------------------------|---|--------------------------------------|---|--|
| №1 | 10 | 0,07-0,08 | 150-200 | 1,5 | 0,036 |
| №2 | 10 | 0,06-0,07 | 100-150 | 3,5 | 0,036 |
| №3 | 15 | 0,08 | 150-210 | 2,0 | 0,038 |
| №4 | 15 | 0,04-0,06 | 100-120 | 4,9 | 0,04 |

Примечания:

1. №1 – образец пенополистирольной плиты изготовленной ООО «Тиниал» (г.Душанбе) на разработанной нами технологической линии;
2. №2 – то же, находившийся в эксплуатации в течение нескольких лет в качестве наружной теплоизоляции жилых домов в г.Душанбе;
3. №3 – образец пенополистирольной плиты плотностью 15 кг/м^3 полученные по стандартной технологии;
4. №4 – то же, находившийся в эксплуатации в течение нескольких лет в качестве наружной теплоизоляции жилых домов в г.Душанбе.

Исследование структуры образцов №2 и №4 показали, что водопоглощение пенополистирольных плит образца №4 после длительной эксплуатации увеличивается по сравнению с образцом №2. Проведенные

испытания свидетельствует о достаточной долговечности разработанных пенополистирольных плит низкой плотностью. Электронные фотографии структуры образцов №2 и №4 с оптическим увеличением в 140 раз приведены на рис.3.3.

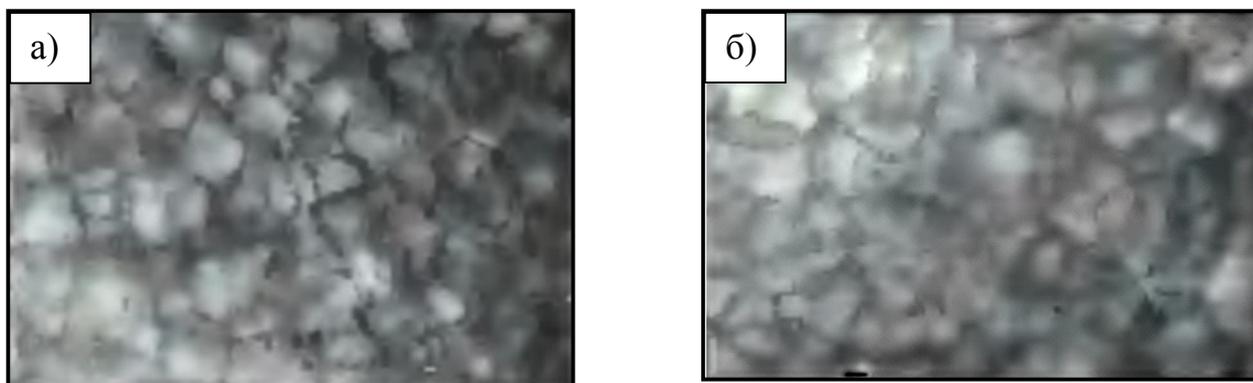


Рис. 3.3. Электронные фотографии структуры пенополистирольных плит после длительной эксплуатации:

- (а) образец №2 – пенополистирольная плита плотностью 10 кг/м^3 изготовленная ООО «Тиниал» (г.Душанбе) на разработанной технологической линии;
- (б) образец №4 – пенополистирольная плита плотностью 15 кг/м^3 полученная по стандартной технологии.

Образцы №1 и №3 имеют одинаковое значение водопоглощения. Однако, на практике известно, что с уменьшением плотности пенополистирольных плит водопоглощение возрастает в основном из-за уменьшения количества закрытых пор в пенополистироле, т.к. пенополистирольные гранулы при меньшей плотности имеют неравномерную структуру и размеры ячеек. Однако, несмотря на меньшую плотность, образец №1 имеет одинаковую структуру, целостность ребер ячеек и достаточное количество закрытых пор, обуславливающее снижение водопоглощения. Данные табл.3.3 показывают почти полное отсутствие изменения теплопроводности у образцов №1 и №2, что можно объяснить их закрытопористой структурой. Электронные фотографии структуры образцов №1 и №3 с оптическим увеличением в 140 раз приведены на рис.3.4.

В связи с вышесказанным технология утепления ограждающих конструкций зданий и сооружений пенополистирольными плитами должна предусматривать устройство механической изоляции пенополистирола от внешних факторов, таких как: попадание прямого солнечного света, атмосферных воздействий, а также эксплуатация пенополистирольных плит с другими разнородными материалами с низкой водопроницаемости.

Так, при воздействии солнечного света в полимерах, в котором и относится пенополистирол, протекают окислительные реакции, приводящие к их деструкции, что приводит к снижению механических и теплотехнических свойств. Наиболее вредное воздействие при воздействии солнечного света оказывает ультрафиолетовое излучение в диапазоне 300÷400 нм. Учеными доказано, что энергия ультрафиолетовой радиации превышает уровень, необходимый для разрушения химических связей в полимерных цепях.

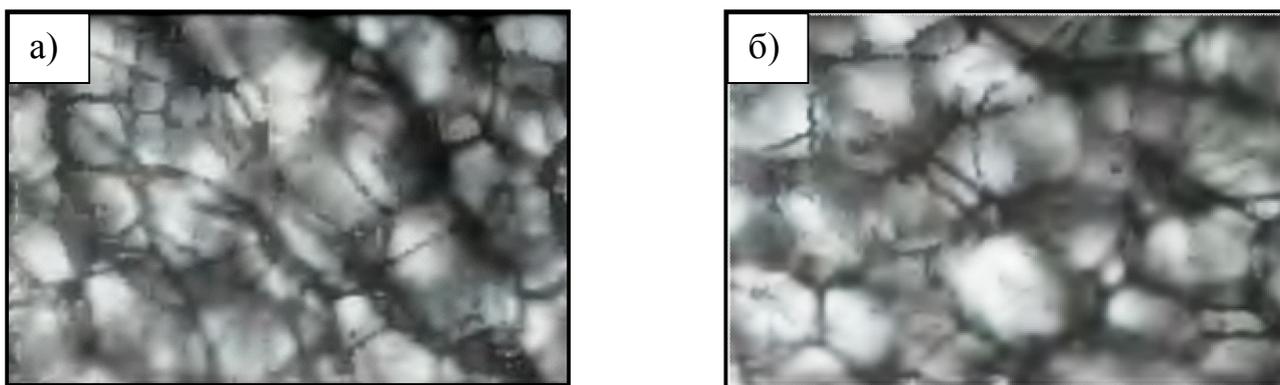


Рис. 3.4. Электронные фотографии структуры:

- (а) образец №1 – пенополистирольная плита плотностью 10 кг/м^3 изготовленная ООО «Тиниал» (г.Душанбе) на разработанной технологической линии;
- (б) образец №3 – пенополистирольная плита плотностью 15 кг/м^3 полученная по стандартной технологии.

Поглощённая полимером энергия ультрафиолетовой радиации вызывает разрушение наиболее слабых химических связей в цепях, вызывая возбуждение макромолекул и образовывая активные свободные радикалы, инициирующие деструкцию полимера. При этом, присутствие атмосферного кислорода и воды ускоряет процесс деструкции.



Действие ультрафиолетовой радиации связано с прямым попаданием солнечного света, в результате которого закрытые (замкнутые) ячейки и плотность пенополистирола снижается. Разрушение стенок ячеек пенополистирола обусловлено действием механического напряжения за счёт перепада давления газа внутри и снаружи ячеек, а также деструкцией полимеров. Исследование деструкции пенополистирола проводилась в течение одного года.

Теплопроводность пенополистирольных плит определялась с помощью прибора ИТП МГ4 «Зонд». Методика проведения работы подробно описано в главе 2.1. Результаты определения теплопроводности приведены в табл.3.3.

Долговечность. Как указано выше, при длительном воздействии внешних и внутренних факторов происходит изменение структуры пенополистирола и, как следствие, его физико-механические свойства. В связи с этим исследования в области определения долговечности пенополистирола как теплоизоляционного материала являются весьма актуальными.

Исследовались пенополистирольные плиты, указанные в табл.3.3, находившийся в эксплуатации более 20 лет в качестве наружной теплоизоляции жилых домов в г. Душанбе и холодильного склада с температурным режимом – 20 °С для хранения шерстяных изделий в г. Ленинабад. Согласно проекту была предусмотрено утепление холодильных складов жёсткими минераловатными плитами толщиной 360 мм. С проектным институтом согласован утепление разработанными пенополистирольными плитами низкой плотностью толщиной 200 мм. В течение 20 лет проводятся натурные исследования, и до сегодняшнего дня не было проведено ремонтных работ по замене пенополистирольных плит, т.к. они не потеряли свои физико-технические свойства.

Результаты исследования физико-механических свойств пенополистирола при выдержке его в нормальных условиях приведены в табл.3.3. Плотность образца №1 с течением времени не изменяется, т.к. плотность образца №2



выдержанного при длительной эксплуатации показал практически те же результаты, что и образец №1. Это объясняется тем, что (рис.3.3) образец №2 имеет более твердую и одинаковую структуру, а также целостность ребер ячеек, чем образец №4. Проведенные исследования образца №2 установленных на ограждающих конструкциях жилых домов и складских помещениях в течение 20 лет в климатических условиях г. Душанбе и г. Ленинабад показали на незначительные расхождения по изменению своих теплоизоляционных свойств по сравнению с образцами №1, хранившихся в лаборатории при нормальных условиях.

Плотность образца №3 при выдержке его в нормальных условиях с течением времени уменьшается. Так плотность образца №4 выдержанный при длительной эксплуатации снизился на 13%, наблюдается коробление и растрескивание поверхности образца, вызывающая увеличению открытой пористости. Плотность материала определялось на высушенных образцах.

Образца №2 не подверглись короблению, форма не изменилась, у образцов №4 произошло отслоение поверхности пенополистирольной плиты. Данные табл.3.3 свидетельствуют о росте водопоглощения и уменьшении прочности на сжатие образца №4, что связано с разрушением структуры пенополистирола.

3.6 Разработка новой технологии вспучивания пенополистирольных гранул

Процесс производства пенополистирольных плит в существующих технологических линиях складывается из следующих последовательных технологических операций:

- вспенивание полистирольных гранул;
- выдержки по времени вспененных гранул;
- формирование блоков из вспененных полистирольных гранул;
- сушка и выдержка по времени блоков из полистирольных гранул;

– резка готовых блоков на пенополистирольные плиты.

Разработанная технологическая линия отличается от существующей технологии в двойном вспенивании пенополистирольных зерен. Первичное вспенивание происходит до объемного веса 15 кг/м^3 , вторичное – до объемов 6 кг/м^3 . На рис.3.5 схематически показан отличие разработанной технологии изготовления пенополистирольных плит от существующих технологий.

Разработан станок, состоящий из паропроизводителя с подачей на технологическую линию набухания пенополистирольных зерен. Набухшие зерна увеличиваются до 70 раз при помощи усовершенствованных технологий. Агрегат для вспучивания пенополистирольных зерен (вспениватель) и емкости для воздухообмена приведены на рис.3.6.

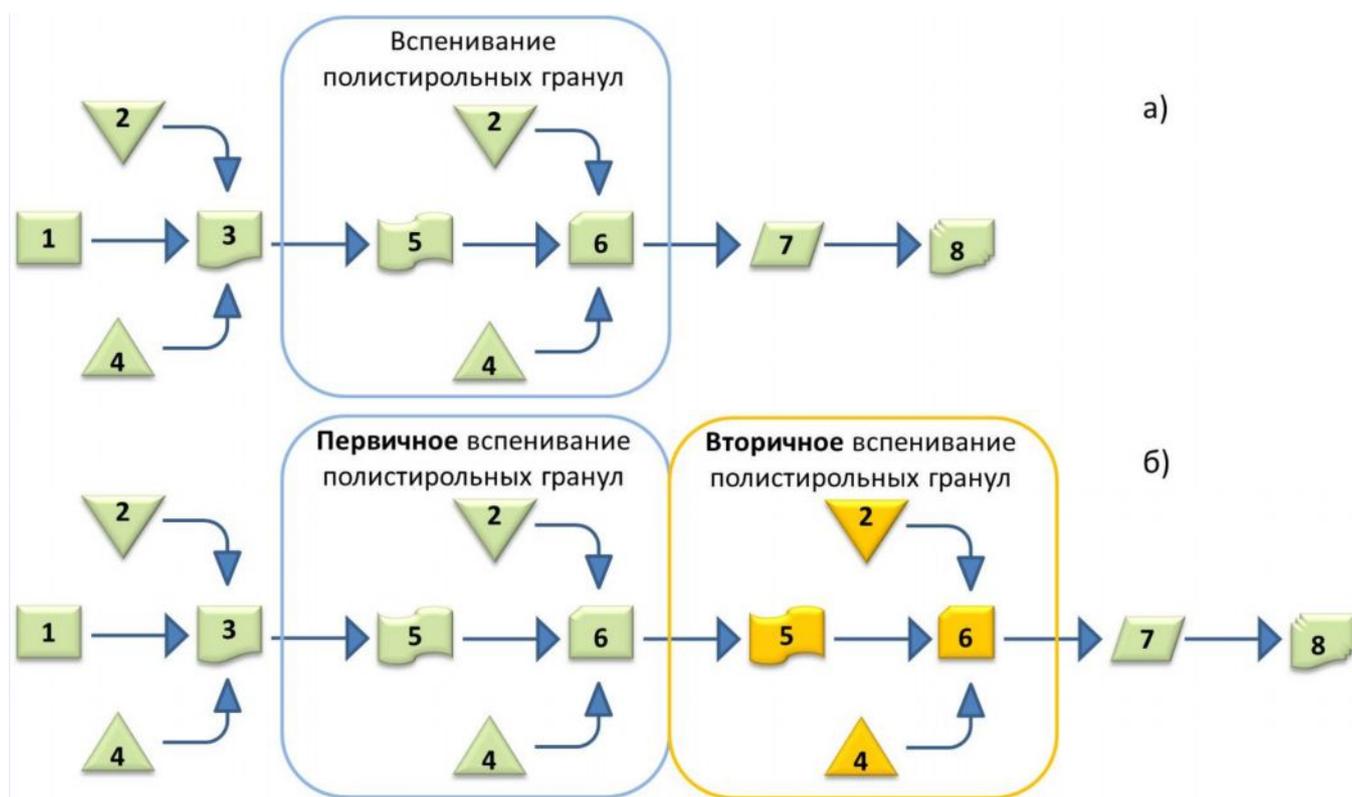


Рис. 3.5. Существующая (а) и разработанная (б) технологическая схема изготовления пенополистирольных блоков и плит:

1 – бункер для подачи сырья; 2 – парогенератор; 3 – агрегат для вспучивания пенополистирольных зерен (вспениватель); 4 – компрессор; 5 – силосные банки и емкости для воздухообмена; 6 – блок формы; 7 – сушилка; 8 – резальный аппарат.

Процесс вспенивания гранул, происходящий в агрегате для вспучивания пенополистирольных зерен, производится с помощью водяного пара при температуре 80–100 °С. Благодаря содержащемуся в гранулах порофору (обычно пентан, изопентан или пентан-изопентановая фракция), повышенной температуре и расширению водяного пара, гранулы многократно увеличивают свой объем и принимают микроячеистую структуру. Во время выдержки по времени вспененных гранул из полистирола происходит процесс диффузии воздуха вовнутрь микро ячеек и выравнивание давления внутри ячеек и атмосферным давлением.



Рис. 3.6. Агрегат для вспучивания пенополистирольных зерен – вспениватель (а) и емкости для воздухообмена (б)

Процесс формирования блоков из вспененных гранул пенополистирола, происходящий в закрытых формах, заключается в выдержке сформированных блоков в блок-форме с постоянным давлением пара в течение 10 минут. Благодаря повышению температуры и выдержки, а также заключенному в порах гранул порофору, воздуху и водяному пару, наступает дальнейшее расширение объема гранул и их взаимное слипание, приводящее к возникновению монолитного блока и снижению крошения пенополистирольных плит. Недостатком существующих технологий -



удержка под давлением пара до 20 секунд. Блок-форма для прессования пенополистирольных блоков приведен на рис.3.7. Сушка пенополистирольных блоков заключается в выпаривании поверхностной влаги в атмосферу.

Плотность пенополистирольных плит полученный по разработанной технологической линии составляет 10 кг/м^3 , что подтверждено проведенными испытаниями, в то время как на стандартном оборудовании можно получить пенополистирольные плиты плотностью от 15 кг/м^3 . На рис.3.8 показана разработанная технологическая схема изготовления пенополистирольных плит.



Рис. 3.7. Блок-форма для прессования пенополистирольных блоков

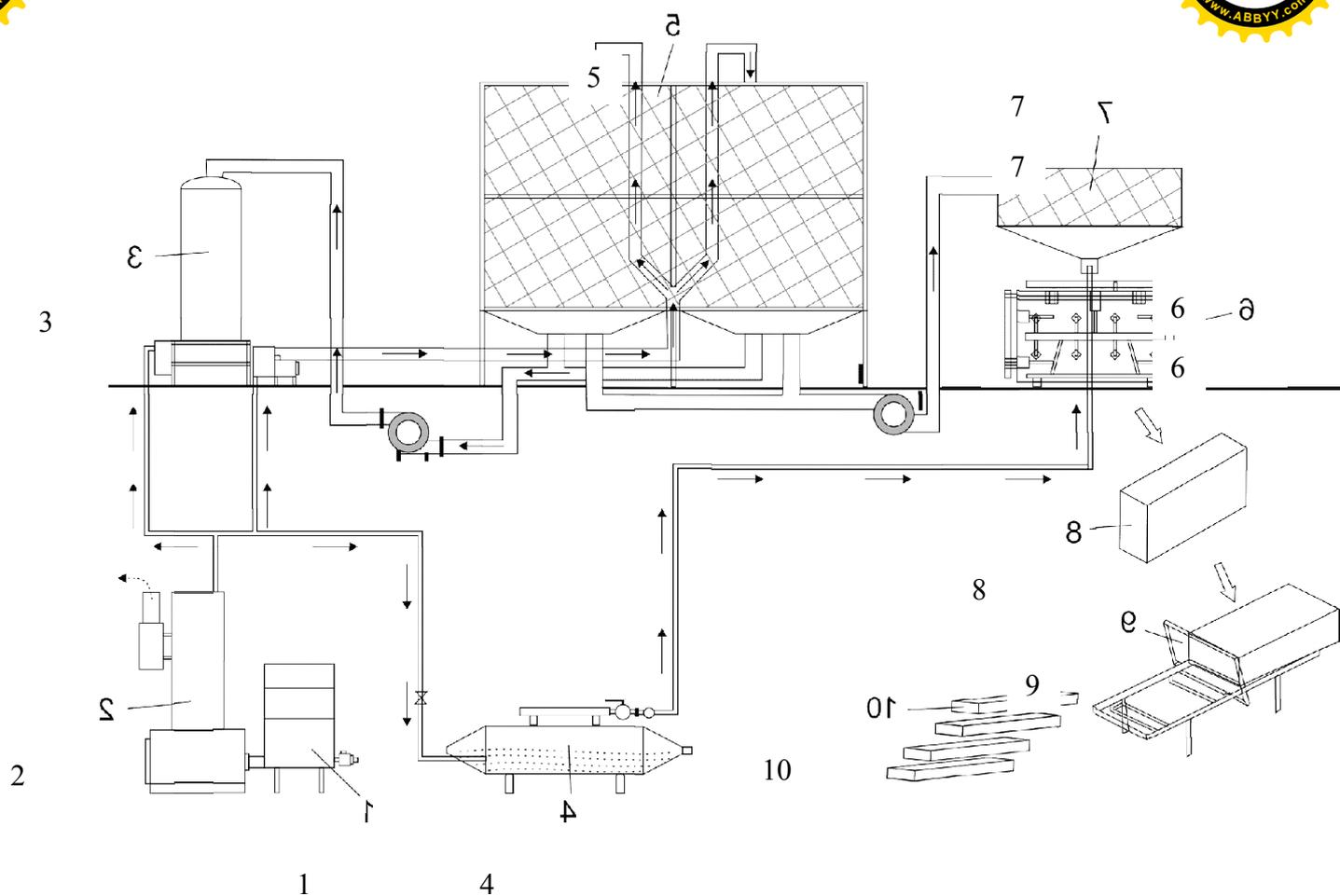


Рис. 3.8. Разработанная схема производства пенополистирольных плит:
 1 – бункер для подачи сырья; 2 – парогенератор; 3 – агрегат для вспучивания пенополистирольных зерен; 4 – компрессор; 5 – силосные банки и емкости для воздухообмена; 6 – блок формы; 7 – промежуточный бункер; 8 – пенополистирольный блок; 9 – линия резки пенополистирольных блоков; 10 – пенополистирольные плиты.

Заключение по главе III

1. Установлено, что при добавлении добавки СП-3 в количестве от 0,3% до 0,8% от массы цемента способствует увеличению прочности и плотности торкретбетона.

2. Отмечено, при увеличении содержания добавки СП-3 более 0,8% от массы цемента снижается прочность образцов бетона, т.к. при добавлении



добавки СП-3 1,0% от массы цемента снижается прочность торкретбетона в 1,4 раза по сравнению с бетоном добавкой СП-3 в количестве 0,3%.

3. Экспериментально установлено повышение марки по водонепроницаемости с W4 (бетон без добавки СП-3) до W10 (бетон с добавкой СП-3 от 0,3% до 0,8% от массы цемента).

4. Установлено снижение водопоглощения по массе бетонов с добавками СП-3 более чем на 30% относительно бетонов без добавки и содержанием в бетоне добавки СП-3 более 0,8%. Установлено повышение марки по морозостойкости с добавлением добавки СП-3 в количестве 0,5% от массы цемента.

5. Теоретически обоснована и экспериментально установлена возможность изготовления пенополистирольных плит плотностью 10 кг/м^3 с требуемыми техническими характеристиками.

6. Предложена новая схема вспучивания гранул полистирола, способствующая получению пенополистирольных плит низкой плотностью. Отличие разработанного технологического процесса от существующей технологии является в двойном вспенивании пенополистирольных зерен. Первичное вспенивание происходит до объемного веса 15 кг/м^3 , вторичное – до объемов 6 кг/м^3 .

7. Благодаря повышению температуры и выдержки блоков в блок-форме с постоянным давлением пара в течение 10 мин., а также заключенному в порах гранул порофору, воздуху и водяному пару, наступает дальнейшее расширение объема гранул и их взаимное слипание, приводящее к возникновению монолитного блока и снижению крошения пенополистирольных плит.

8. Проведенные испытания разработанных пенополистирольных плит низкой плотностью свидетельствует об их достаточной долговечности.



ГЛАВА IV РАЗРАБОТКА ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

4.1 Разработка способа изготовления трехслойных строительных изделий и конструкций двойным бетонным покрытием

Элементы трехмерных панелей, изготавливаемые на заводе для перекрытий и стен, имеют различную конструкцию и требования к бетонированию. Применение стен, изготовленных в заводских условиях, имеет смысл только, если на обе стороны стены наносится полный слой бетона. Кроме того, необходимо уложить более толстый слой бетона на внутреннюю часть наружных стен, в силу требований, предъявляемых к системе, использующей перекрытия, изготовленные на заводе. Длина опирания перекрытий не должна быть по возможности менее 10–12 см. Предпочтительно выполнять всю опорную часть стен на заводе сборного железобетона. Затем стены должны быть перевезены на строительную площадку в виде единого монолита. Для облегчения транспортировки возможная длина такого элемента должна быть ограничена в пределах 12–14 метров. Однако, в этом случае, стена, изготовленная из обычного бетона должна быть очень тяжелой. Следовательно, лучше всего использовать легкий бетон. При соответствующей толщине бетона можно компенсировать более низкую прочность облегченного бетона.

В отличие от вышесказанного, требования к производству в заводских условиях перекрытий совершенно иные. Если возможно перевозить элементы стен в вертикальном положении из-за их формы и высоты, форма и длина половых перекрытий не позволяют транспортировать их целиком. Следовательно, каждое половое перекрытие должно быть разделено на несколько элементов с максимальной шириной 2–2,5 метра. Только нижняя



часть таких элементов бетонруется на заводе (как полуфабрикат в виде половины перекрытия). Качество бетона таких полуфабрикатных элементов легче проверить в условиях завода, нежели торкретировать их на площадке. Бетон для верхней поверхности перекрытий лучше укладывать на строительной площадке. Таким образом, можно добиться значительного эффекта при распределении нагрузки.

Легкий бетон имеет более низкое качество, чем нормальный бетон. Так газовый и пенный бетон часто имеет марку от 5 до 10 Н/мм². В таком случае стена всегда должна быть рассчитана как простая бетонная стена. Для бетона меньшего качества (до 10Н/мм²) фактор безопасности в соответствии с [105] на 0,5% выше, нежели фактор безопасности для бетона марки В15 или выше. В таком случае, мы рекомендуем применять коэффициент безопасности 3,5. Ограничения на использование легкого бетона, определенные в местных стандартах, должны учитываться отдельно.

Несущая способность стен с двойным покрытием, изготовленным из бетона марки В5,0, рассматривается ниже. Конструкция представлена на рис.3.2. В целях эксплуатации и обеспечения защиты от коррозии внешнее бетонное покрытие должно иметь минимальную толщину 6 см.

Несущие стены должны соединяться болтами или другими приспособлениями (рис.4.1) для обеспечения жесткости их крепления. Во время установки необходимо оставлять углубления для стальных элементов. Углубления необходимо заливать бетоном после установки стен. Это должно обеспечить прочность стальных соединений. Для легких внутренних стен достаточно предусмотреть пазы в стальных элементах. Дополнительное соединение при помощи болтов необходимо, если жесткая стена должна отвечать специальным требованиям.

Кольцевая армированная балка неизбежна в перекрытиях для достижения эффекта диафрагмы. В случае железобетонной плиты армированной в двух направлениях достаточно армировать кольцевую балку по месту 2 Ø 8мм. Если



используется полуфабрикатная плита, то минимальное армирование кольцевой балки должно быть 4 Ø 8мм.

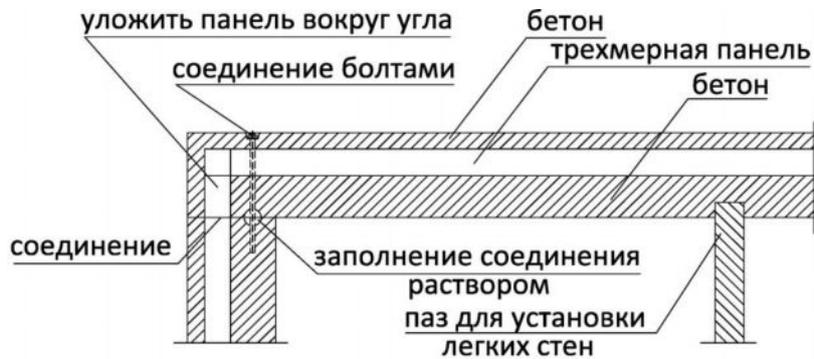


Рис. 4.1. Возможности соединений для стен, изготовленных на заводе (План стены первого этажа)



Рис. 4.2. Конструкция трехмерной стены, изготовленной на заводе из легкого бетона (сечение)

Расчеты основываются на методе [105]. Вследствие того, что расчетный эксцентриситет лежит в основном на оси внутреннего каркаса, внешний каркас может треснуть в любом случае. Следовательно, все дальнейшие исследования распределения напряжения относятся только к внутреннему каркасу. Для того чтобы учитывать нагрузку, прилагаемую в центре, должен учитываться случайный эксцентриситет размером 1/10 от толщины внутреннего каркаса.



Рис. 4.3. Распределение напряжения в трехмерной стене с различной толщиной каркаса, нагруженной на одну сторону. Случайный эксцентриситет равен $t_2/10$.

В отличие от наблюдений, нельзя забывать, что в таком случае коэффициент безопасности равен 3,5.

Табл.4.1 показывает допустимые вертикальные нагрузки на стены согласно методу аппроксимации [105].

Таблица 4.1 – Конструирование стен, нагруженных только на одну сторону

| Внутренний слой бетона, см | 7 | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Рабочая высота стены $\log U, m$ | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] |
| 2,0 | 33,1 | 49,0 | 59,7 | 76,0 | 92,5 | 103,7 |
| 2,25 | 31,8 | 47,3 | 57,8 | 73,7 | 90,0 | 101,0 |
| 2,50 | 30,5 | 45,7 | 55,9 | 71,5 | 87,5 | 98,3 |
| 2,75 | 29,2 | 44,0 | 54,0 | 69,3 | 85,0 | 95,7 |
| 3,0 | 27,8 | 42,3 | 52,1 | 67,1 | 82,5 | 93 |
| 3,25 | 26,5 | 40,6 | 50,2 | 64,9 | 80,0 | 90,3 |
| 3,5 | 25,2 | 38,9 | 48,3 | 62,6 | 77,5 | 87,7 |
| 3,75 | 23,9 | 37,2 | 46,3 | 60,4 | 75,0 | 85,0 |
| 4,0 | 22,5 | 35,5 | 44,4 | 58,2 | 72,5 | 82,3 |

Примечание: Промежуточные значения можно интерполировать линейно.

Табл.4.1 составлена в соответствии со следующей схемой:

- Эксцентриситет равен нагрузке только на одну сторону плюс случайный эксцентриситет;
- Внешний каркас равен слою бетона толщиной 6см;
- Изоляция равен толщине 10 см ППС;
- Марка бетона равна В5,0.

Для определения допустимой вертикальной нагрузки необходимы следующие величины: t_2 – толщина внутреннего каркаса [см]; l_{gU} – рабочая высота стены.

Перекрытия изготавливаются полностью или частично на заводе сборного железобетона и окончательно бетонируются на строительной площадке. Верхняя часть перекрытия бетонируется на площадке для обеспечения необходимого распределения нагрузки в продольном направлении. Бетонирование нижней части перекрытия делается на заводе полностью или частично. Либо укладывается полный слой бетона на нижнюю часть (рис.4.4, левая сторона), либо поверхность перекрытия торкретируется позднее (рис.4.5, правая сторона). Второй вариант может легко выполнять на строительной площадке даже без применения крана. Сначала панели устанавливаются на край плиты верхней частью вниз. Затем укладывается первый слой бетона толщиной приблизительно 3см. Спустя один день можно вручную перевернуть панели.

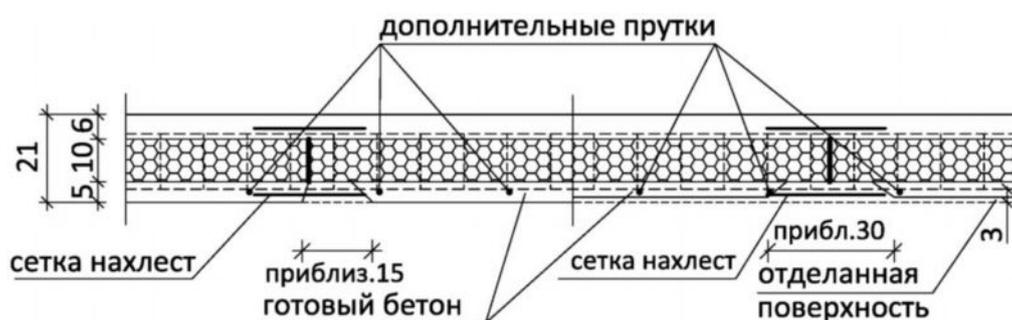


Рис. 4.4. Панели перекрытий частично бетонированные на заводе с нижней стороны



Решения, показанные на рис.4.4 используют армирование перекрытия снизу в поперечном направлении. Однако с конструкторской точки зрения не обязательно соединять панели друг с другом снизу. Поперечное распределение достигается обычно лишь укладкой верхнего слоя бетона. Во избежание дополнительных проблем достаточно замонолитить соединения позднее.

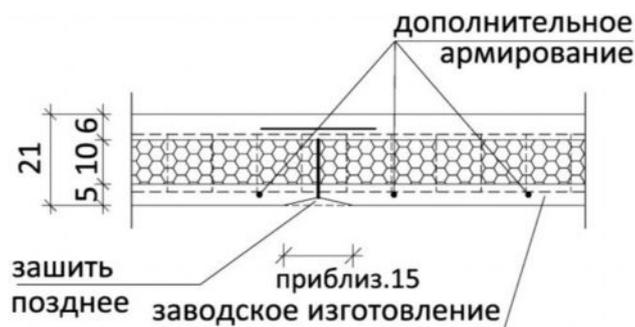
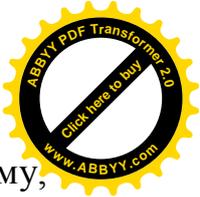


Рис. 4.5. Панели перекрытия с бетонированием снизу полностью на заводе

Перекрытия, изготовленные из трехмерных панелей, значительно ограничены по прочности на разрыв. В зависимости от стандартных типов панелей максимально допустимая прочность на разрыв должна быть от 11 до 14кН/м. Зачастую, эта величина в перекрытиях превышена и, как следствие, необходимо принимать дополнительные меры. Простое решение для достижения более высокой прочности на разрыв состоит в усилении армирования на опорах. Это слегка увеличивает допустимую прочность. Однако если разрывающие силы значительно превышают допустимую прочность, то потребуются другие решения. Такие решения подразумевают применение фермы вдоль всей длины перекрытия.

Такая ферма должна иметь не только значительную прочность на разрыв, но и усиление прочности на растяжение в нижней части. По экономическим причинам рекомендуется применять **решетчатую ферму**, изготовленную на заводе.

Такие типы ферм зачастую используются как часть бетонных элементов, изготовленных на заводе. Они могут представлять собой небольшие бетонные



кессоны шириной 10–12см, которые покрывают только решетчатую ферму, либо широкую бетонную плиту шириной 1–2,5м, в которую вставляются как ферма, так и трехмерные панели.

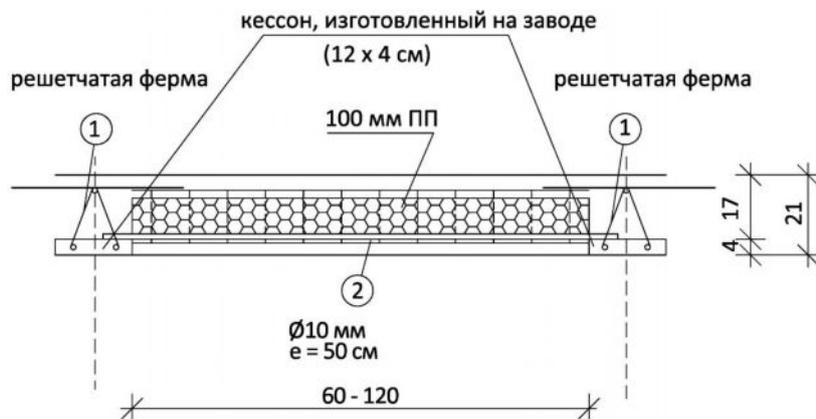


Рис. 4.6. Решетчатые фермы с бетонным кессоном, изготовленным на заводе

В этом примере рассмотрена решетчатая ферма с дополнительным продольным армированием внутри фермы для больших нагрузок на пол. Такие фермы конструируются в соответствии с правилами традиционного армирования. При наличии бетонного кессона, изготовленного на заводе, рекомендуется устанавливать трехмерные панели на бетонные кессоны с помощью арматурных стержней диаметром не менее 10 мм через каждые 50 см. (рис.4.6). Затем снизу наносится бетон с помощью торкрет-пушки. Если расстояние между решетчатыми фермами (ширина панелей) выше 60 см, то необходимо проверять и верхний слой бетона.

В случае перекрытий со значительной нагрузкой и большими пролетами можно использовать несколько решетчатых ферм. Не рекомендуется использовать очень узкие панели менее 60 см. В таком случае лучше устанавливать двойные решетчатые фермы. В любом случае рекомендуется обеспечивать непрерывное верхнее армирование (сварная сетка). Однако, в случае небольших нагрузок на разрыв этим условием можно пренебречь.

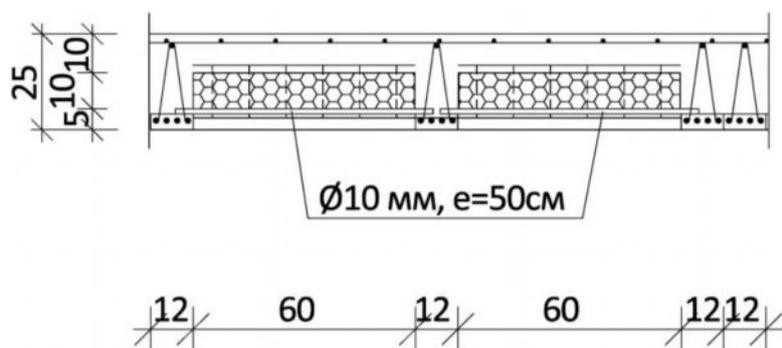


Рис. 4.7. Толстая плита перекрытия с одинарной или двойной решетчатой фермой и трехмерными панелями.

На рис.4.7 представлен пример, уже апробированный на практике. Здесь решетчатые фермы и половинки панелей ($b=60\text{см}$) укладываются поочередно. Для того чтобы уложить панели на решетчатые фермы, вставляются арматурные стержни диаметром 10мм на глубину 50 см между ППС и сеткой. Во избежание смещения панелей сначала необходимо нанести один нижний слой бетона.

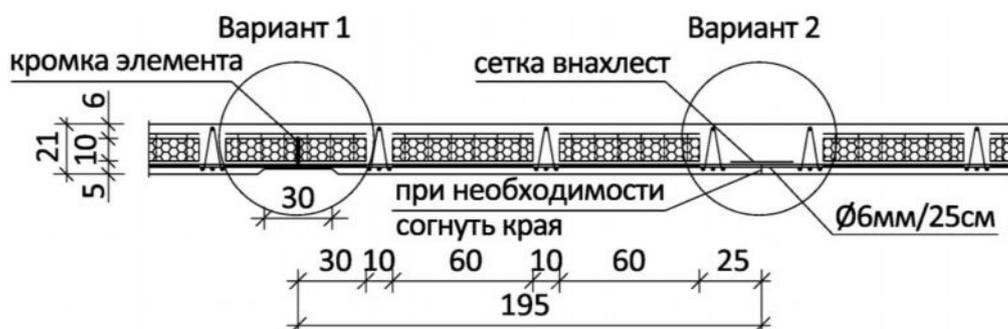


Рис. 4.8. Перекрытие с решетчатыми фермами и трехмерными панелями

Элементы перекрытий с решетчатыми фермами, изготовленные на заводе, требуют обязательного применения крана. Однако это позволяет экономить рабочее время. Особо много времени требует оштукатуривание нижней части перекрытия.

Основной технической проблемой является выполнение соединения между элементами перекрытия. В 1-м варианте бетонный элемент не соединяется с краем трехмерной панели. Соединение между элементами



армируется сеткой внахлест и закрывается торкрет бетоном. Во 2-м варианте край элемента перекрытия делается без панели. Позднее укладывается сетка внахлест на стык и это место торкретируется бетоном. Дополнительно, можно заделывать стык снизу (рис.4.5). Для этого кромки элемента делаются с небольшой фаской. Благодаря этому можно пренебречь продольным армированием, так как это можно считать перекрытием в одном направлении.

Если промежуток слишком большой и общая толщина 20–23см недостаточна, то имеет смысл применять стыки, изготовленные на заводе. Пример, показанный на рис.4.9, может быть использован для промежутков, т.е. прогонов до 8–10 метров. При конструировании элемента на заводе необходимо убедиться, что такая балка может нести любую нагрузку во время возведения и что потребуется лишь незначительное количество подпорок.

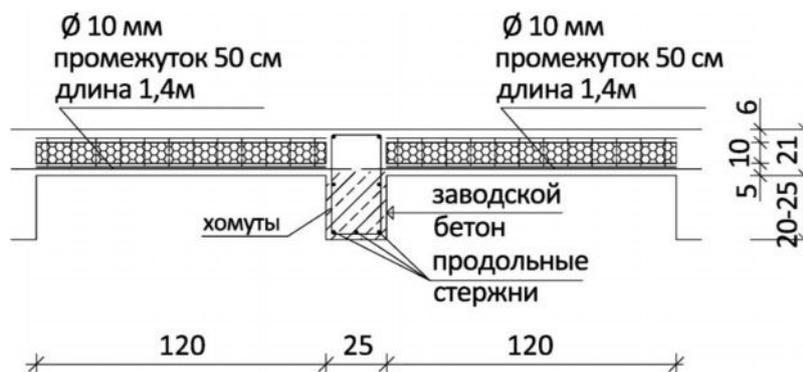


Рис. 4.9. Стык, изготовленный на заводе

По сравнению с простой трехмерной панелью основное различие состоит в определении прочности решетчатой фермы на разрыв. Решающий элемент прочности панели на разрыв расположен на опоре, в то время как конструкция (изделие) решетчатой фермы позволяет определять прочность на разрыв на расстоянии $d/2$ (рис.2.14, левая сторона).

При использовании решетчатых ферм с 2 диагональными стержнями, допустимая прочность на разрыв рассчитывается на основании того, что распорка (откос) в бетоне наклонен под углом 45° :

$$V = 2 \cdot \frac{a_s \cdot f_y \cdot z}{1.75} \cdot (\sin\alpha + \cos\alpha), \quad (4.1)$$



где: a_s – площадь поперечного сечения диагоналей на метр; z – плечо внутренних сил; приблизительно 95% от рабочей высоты; 1,75 – общий коэффициент безопасности в соответствии с [105].

В любом случае, бетонная распорка (раскос) может быть проверена на касательное напряжение τ . Проверьте уровень 1.

$$\tau = \frac{\Delta V}{b_0 \cdot z} \leq \tau_{03}, \quad (4.2)$$

где ΔV – сила разрыва без применения панели; b_0 – ширина поперечного сечения бетона. Для решетчатой фермы это соответствует ширине между панелями около 10–12 см.

В соответствии с [105] напряжение на разрыв не должно превышать величину τ_{03} .

Другая проверка решетчатых ферм требуется на 2-ом уровне. Если верхний пролет фермы не входит в бетонный верхний слой (рис.4.10, правая сторона), то прочность на разрыв на верхней грани решетчатой фермы необходимо рассчитать. В области 2-го уровня сила разрыва должна поглощаться бетоном. Следовательно, прочность на разрыв не должна превышать τ_{01} . Иначе встанет необходимость в укладке дополнительной решетчатой фермы над уже установленной фермой рядом с опорой. Если нет непрерывного армирования верхней части, то необходимо проверить 3-й уровень.

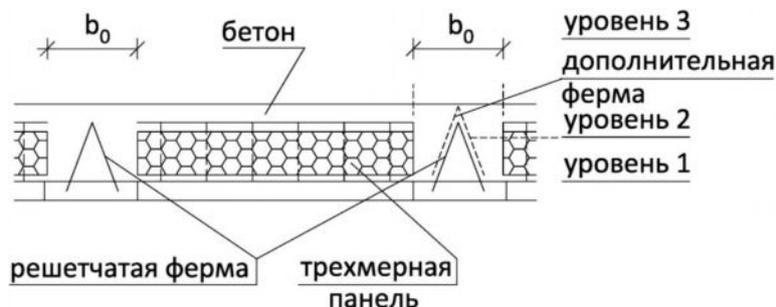


Рис. 4.10. Элементы заводского перекрытия или ребристая плита

Для применения решетчатых ферм необходимо разработать некоторые дополнительные детали для безопасного возведения здания из плит. Это относится, в частности, к конструкциям опор, необходимости поперечных ребер жесткости для больших промежутков и применения дополнительного армирования.

Детали опор

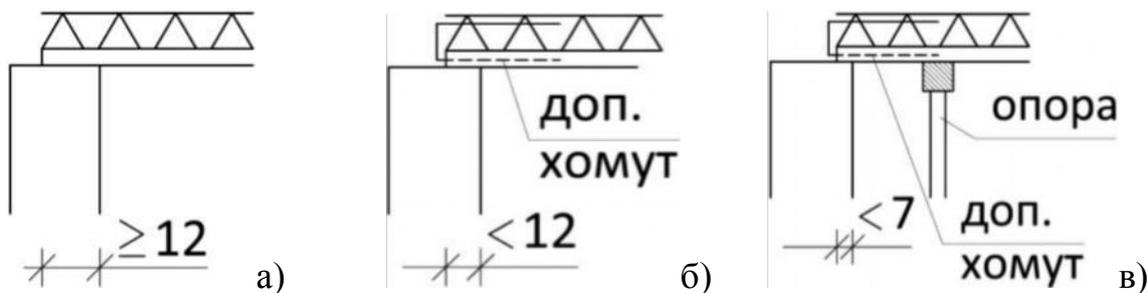


Рис. 4.11. Опора ≥ 12 см(а); < 12 см(б); < 7 см(в)

Если длина опирания решетчатой фермы не менее 12см, то необходимо удлинить нижнее армирование. Самым лучшим решением может быть установка U-образного хомута на бетонном кессоне. Если длина опирания меньше 7см, то решетчатая ферма должна укрепляться во время бетонирования в месте опоры.

Поперечное ребро

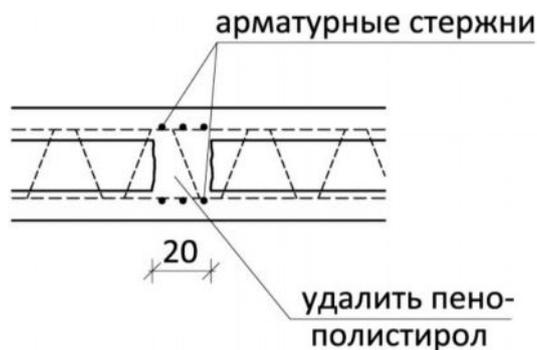


Рис. 4.12. Поперечное ребро жесткости для промежутков свыше 6 метров

В плитах перекрытий с рабочим пролетом выше 6 метров необходимо вставлять поперечное ребро жесткости в середине пролета. Рекомендуется устанавливать одно дополнительное ребро на каждые 1,5 метра. Армирование



Этого ребра (верх и низ) должно соответствовать приблизительно армированию решетчатой фермы, включая дополнительное армирование и должно перекрывать всю ширину плиты. ППС в месте ребра жесткости вынимается.

Распределение дополнительного армирования снизу должно соответствовать приблизительно отношению между прочностью на разрыв панели и решетчатой фермы. В случае плиты перекрытия с требуемой прочностью на разрыв, равной 28 кН/м и прочностью на разрыв панели, равной 14 кН/м, трехмерная панель и решетчатая ферма должны иметь приблизительно половину всей площади продольной арматуры. Если на бетонном кессоне не хватает достаточно места, то можно армировать дополнительно верх кессона. В расчетах необходимо учитывать нижнее значение высоты армирования. Остальное армирование панели производится равномерно. Можно не придерживаться строго к вышеописанному распределению арматуры. Вместо соотношения 50/50 можно использовать отношение 40/40.

4.2 Технология возведения зданий из трехслойной строительной конструкции

Возведение стен зданий в ТСК начинается с поверхности фундамента (либо фундаментной плиты, либо ленточного фундамента). Для возведения стены необходимо наличие арматурных выпусков из фундамента диаметром 10 мм с шагом около 50 см, устанавливаемых с одной стороны стены (для наружных стен – обычно с внутренней). Для достижения точности установки арматурных выпусков рекомендуется предварительно просверлить отверстия под них. Впоследствии отверстия заполняются цементным раствором. Данные арматурные выпуски обычно служат для облегчения монтажа стеновых панелей и не несут горизонтальные усилия или моменты. Для выполнения определенных расчетно–конструктивных условий (таких как восприятие ветровых нагрузок консольными стенами) данные арматурные выпуски должны устанавливаться по обеим сторонам стен с меньшим шагом согласно расчетным

требованиям. В таком случае рекомендуется заполнять отверстия химическими вяжущими веществами (эпоксидная смола). Только в случае значительных нагрузок, таких как сейсмические нагрузки, соединительные выпуски должны предусматриваться при устройстве фундамента.



Рис. 4.13. Узел опирания стеновой панели на фундаментную плиту

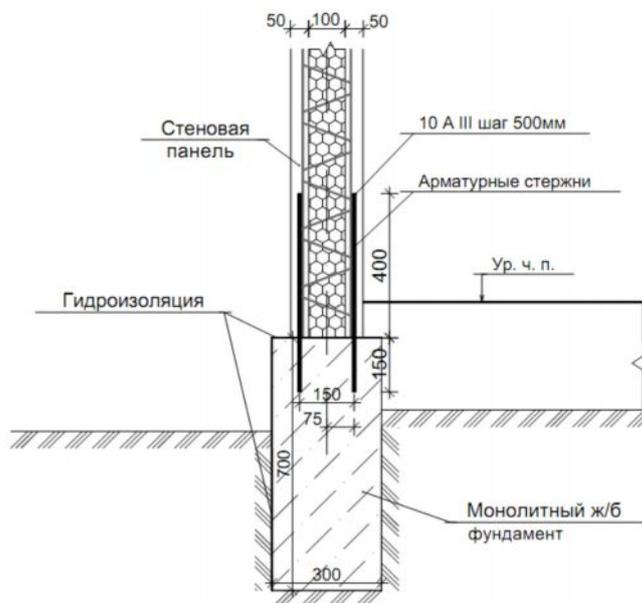


Рис. 4.14. Узел опирания стеновой панели на монолитный фундамент

Возможны варианты возведения стен без соединительных выпусков. При этом могут использоваться, например, U-образные металлические профили по

ширине совпадающие с толщиной пенополистиролового наполнителя, которые крепятся к телу фундамента при помощи специальных болтов. Для такого случая подходят профили минимальной высотой 30 мм из стали толщиной 0,6 – 0,8 мм. При этом рекомендуется использовать в углах стен небольшие куски соединительной сетки (например, 30×30см). Соединительная сетка L-формы закрепляется под U-образным профилем.

Перед установкой панелей поверхность фундамента должна покрываться водонепроницаемым защитным слоем. Эту функцию эффективно выполняет слой битумной краски, нанесенный в местах установки панелей.

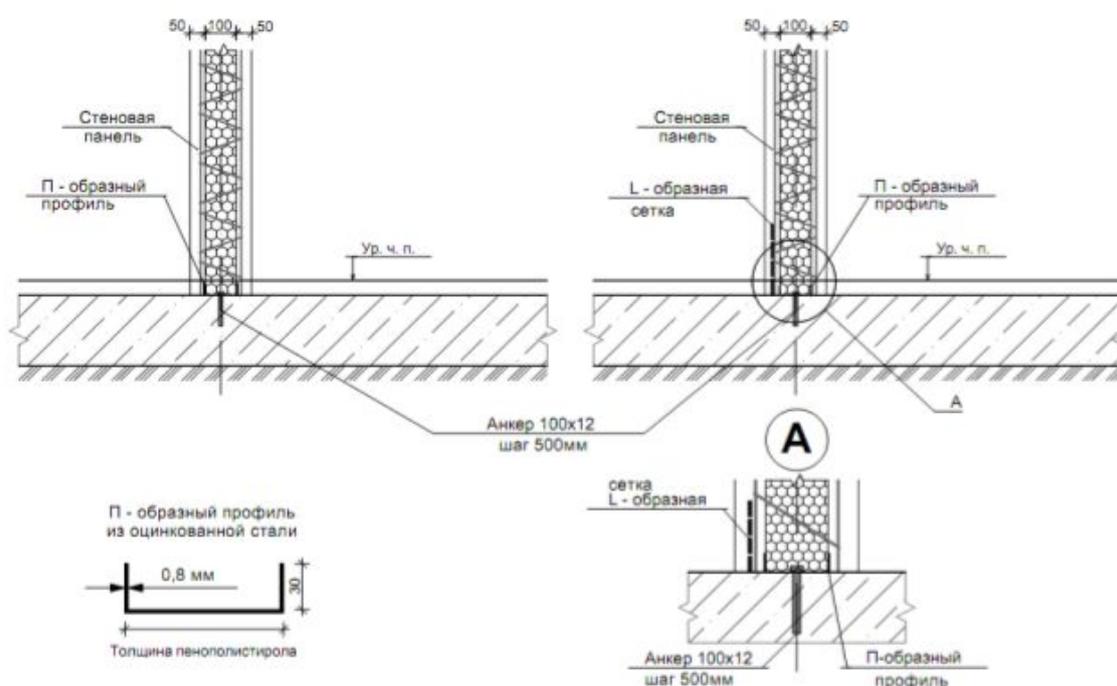


Рис. 4.15. Узел крепления самонесущих стеновых панелей к фундаментам и плитам перекрытия

Возведение стен всегда начинается с угла. Это необходимо для того, чтобы придать конструкции (изделию) достаточную жесткость с самого начала, потому что только таким образом можно расположить стеновые панели вертикально и прикрепить их перманентно к стержням или соединительной сетке. Крепление осуществляется путем вязки панелей к выпускам с помощью вязальной проволоки.

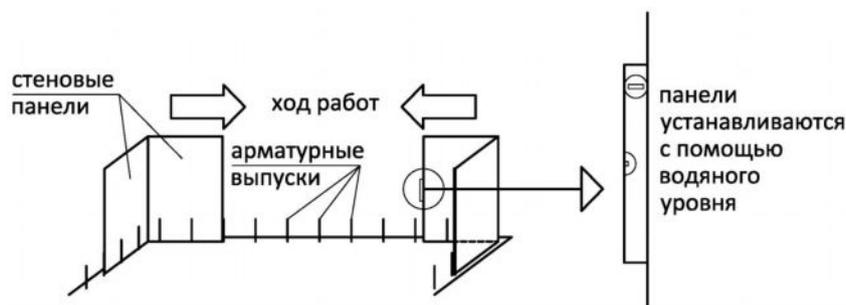


Рис. 4.16. Возведение стеновых панелей

На рис.4.17 показано решение устройства стены с проемами с относительно низкими потерями исходного материала. В данном случае размеры окон обычных габаритов для жилых комнат принимаются в расчет до начала установки панелей. Части панелей (панели-заполнители), оставшиеся при выполнении оконных проемов используются в следующем сегменте стены. Таким образом, на каждый сегмент, в общем, приходится две панели-заполнителя. Для парапетов применяется тот же принцип. В большинстве случаев стеновая панель (2,80–3,00 м) может быть разрезана на 3 участка парапета (80–90 см) с небольшими потерями. Небольшие проемы (под окна в ванной комнате, отверстия для вентиляции) вырезаются после возведения стеновых панелей. Заполнение участков стен высотой до 1,20 м над проемами выполняется из панелей с горизонтальной конфигурацией стержневой фермы (обычно фермы имеют вертикальную конфигурацию).

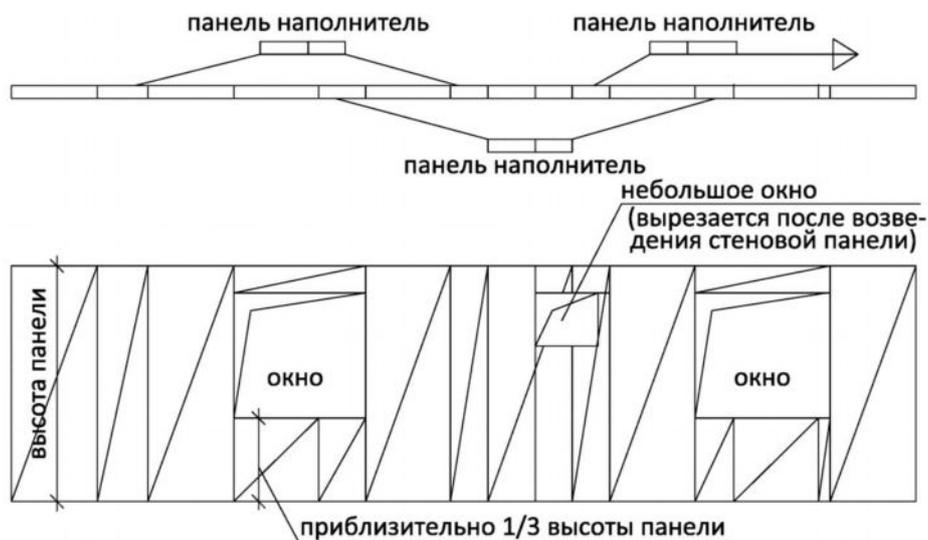


Рис. 4.17. Типичная схема стеновых панелей

Поверхность законченной стены ТСК соответствует поверхности обычной бетонной стены. Окна и двери могут быть установлены таким же образом, как в кирпичных и бетонных зданиях. Если откос изготовлен не из бетона, должна быть использована дверная или оконная коробка (например, деревянная) которая фиксируется в проеме с помощью жесткого пенопласта и имеет такую же ширину, как стена.

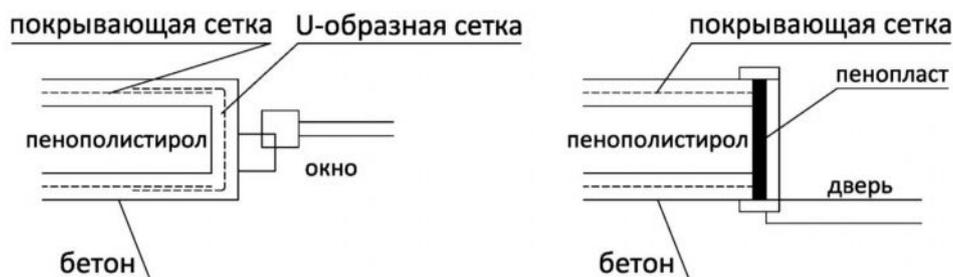


Рис. 4.18. Проемы с бетонным откосом и без него



Рис. 4.19. Технология монтажа стены

Водопроводные трубы и электропроводка прокладываются между пенополистиролом и покрывающей сеткой после возведения панелей. Перед



укладкой труб большего диаметра, возможно, потребуется выжечь канавку в пенополистироле с помощью газовой горелки.

После возведения стен, все стыки панелей перекрываются соединительными сетками в целях достижения сплошной сеточной арматуры (покрывающей сетки).

Для этого соединительной сеткой должны быть покрыты следующие области:

- прямые стыки панелей – прямая соединительная сетка, $b=30-45\text{см}$;
- внешние углы – изогнутая в форме L соединительная сетка, $b=15+30=45\text{см}$;
- внутренние углы – изогнутая в форме L соединительная сетка, $b=2\times 15=30\text{см}$;
- оконные и дверные откосы – изогнутая в форме U соединительная сетка, $b=45\text{см}$;
- углы проемов стены – прямая соединительная сетка, $b=15\text{см}$, закрепленная под углом 45° .

Наибольшего эффекта при выполнении данных операций можно добиться, используя так называемую выгибающую пушку.

Соединительная сетка имеет такие же размеры, как и покрывающая сетка панели ($d=3\text{мм}$, $e=50\text{мм}$).

Требуется следующее количество соединительной сетки:

- соединительная сетка шириной 30см – 45–65% площади поверхности панели;
- соединительная сетка шириной 45см – 15–30% площади поверхности панели.

Соединительная сетка шириной 45см требуется в основном для U -образных арматурных сеток, применяемых для покрытия оконных и дверных откосов. Следовательно, количество соединительной сетки в большой степени зависит от размера и числа проемов. Более того, количество соединительной сетки также зависит от длины свободных ребер, которые требуют окаймления



U-образной сеткой (например, консольные плиты или свободно стоящие стены). Компоненты, в которых требуется шов с широкой нахлесткой по конструктивно-расчетным причинам, являются скорее исключением и лишь незначительно увеличивают общее необходимое количество соединительной сетки.

Для обеспечения сплошного армирования, нужно добиться того, чтобы в перекрывающихся швах сила растяжения передавалась, как минимум, по двум сварочным швам. Если компоненты подвержены изгибу, то длина нахлестки должна быть удвоена в целях обеспечения надежности. В поперечном направлении обычно бывает достаточно 30см. Изгибающие моменты в поперечном направлении, требующие увеличения длины нахлестки, возникают только при сосредоточенной или линейной нагрузке на компоненты.

Таблица 4.2 – Длина нахлестки соединительной сетки

| Область соединения | Длина нахлестки |
|---------------------------------------|-----------------|
| Плиты в поперечном направлении, стены | 2 сварочных шва |
| Компоненты, подверженные изгибу | 4 сварочных шва |



Рис. 4.20. Распределение соединительной сетки

Горизонтальное выравнивание стеновых панелей может осуществляться с помощью деревянных балок сечением 10×10см или стальных балок, расположенных горизонтально. Они привязываются к панелям с помощью вязальной проволоки на высоте примерно 2/3 от общей высоты панелей максимум 2,0–2,5 м и удаляются сразу после затвердевания первого слоя бетона

приблизительно через 2–3 дня после нанесения бетона. Вертикальное выравнивание производится при помощи наклонных распорок (связей), например, опалубочных стоек, длина которых корректируется по месту. Данные распорки или крепятся анкерами к полу с помощью устойчивых к натяжению деталей, или прикрепляются к противоположным стенам. Они удаляются вместе с горизонтальными балками после нанесения первого слоя бетона.



Рис. 4.21. Распределение соединительной сетки. Чтобы избежать 45° трещин в углах дверей и окон, следует устанавливать сетку с 2 сторон.



Рис. 4.22. Крепление соединительной сетки с помощью выгибающей пушки

Другая возможность придания жесткости панелям в поперечном направлении заключается в использовании металлических U-образных профилей, которые крепятся сверху пенополистирола в верхней части панели и

соединяются друг с другом с помощью заклепок. В этом случае могут использоваться те же U-образные профили, что и для крепления панелей к фундаменту. Дополнительное придание жесткости в верхней части может быть произведено по месту с помощью деревянных брусков.

Указанные конструкции в верхней части по мере возведения связываются друг с другом в нескольких точках. Наклонные связи особенно необходимы при устройстве длинных стен, как показано на рис.4.23.

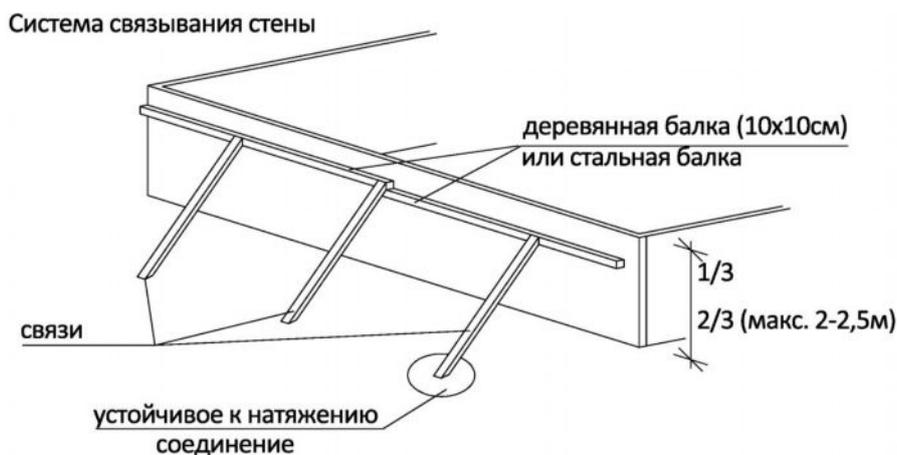


Рис. 4.23. Выравнивание стены ТСК



Рис. 4.24. Стена, раскрепленная связями

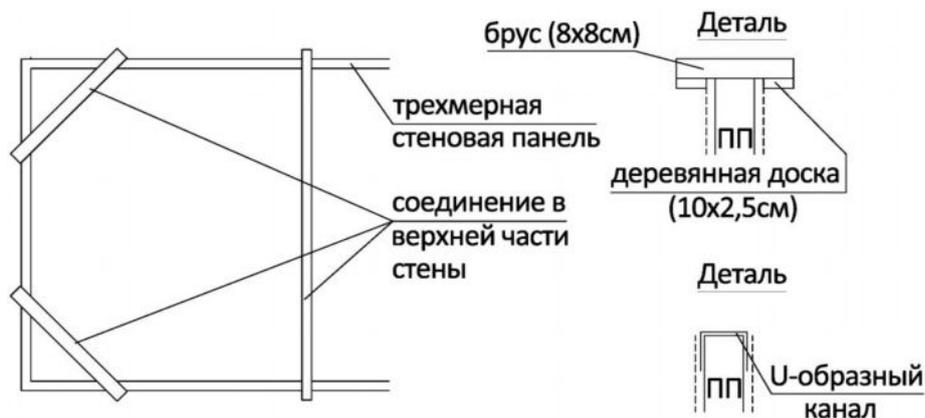


Рис. 4.25. Придание жесткости и выравнивание стены ТСК с помощью конструкций в верхней части

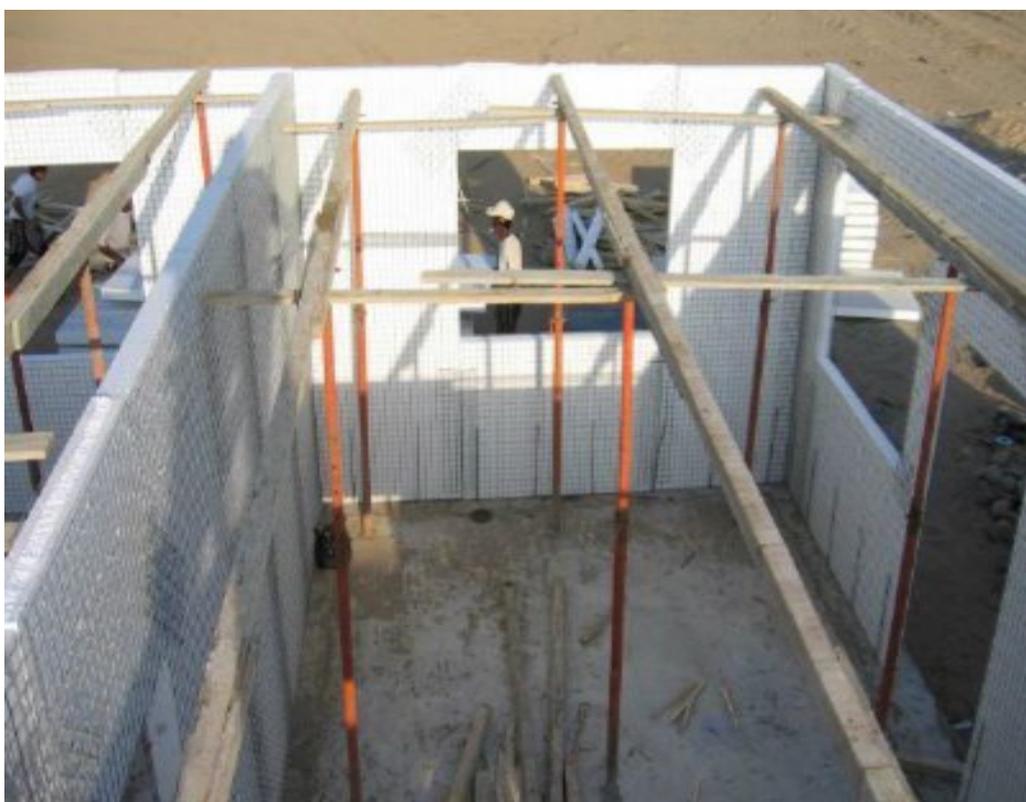


Рис. 4.26. Конструкция в верхней части стены

Если имеется уже выполненная плита перекрытия, изготовленная из панелей ТСК, стена может быть легко установлена на ней и выровнена. В данном случае сначала к стене крепятся L-образные стержни ($\varnothing 10$ мм, длина 2×50 см) с шагом 50 см. Затем, используя шпагат, стены выравниваются и



укрепляются на плите с помощью данных стержней. L-образные изогнутые соединительные сетки $b=2 \times 15 \text{ см}$ используются вместо стержней для ненесущих внутренних стен, на которых располагаются панели.

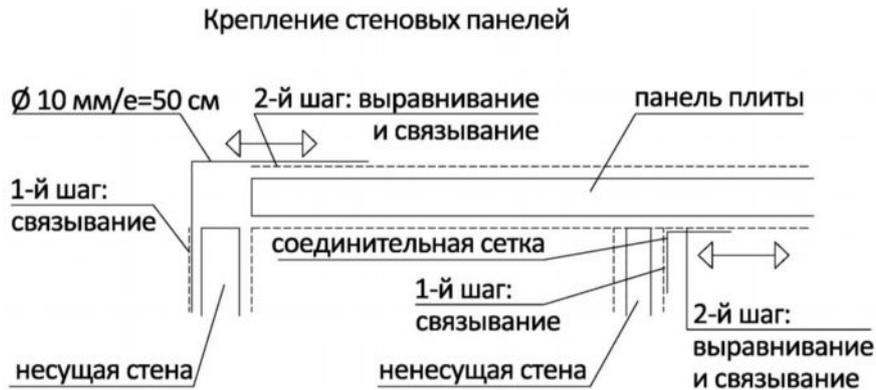


Рис. 4.27. Придание жесткости и выравнивание стен ТСК с помощью плиты ТСК



Рис. 4.28. Выравнивание стены с помощью шнура (шпагата)

Для поддерживающих конструкций плиты рекомендуется использовать стойки легко изменяемой высоты. Данные стойки устанавливаются с помощью

Балок под прямым углом к панелям плиты. При выборе шага между рядами опорных стоек необходимо учитывать устойчивость панелей к изгибу.

Для облегчения работы, уже на полу панели снабжаются необходимой арматурой:

- дополнительная арматура (стержни) в нижней части;
- соединительная сетка в нижней части (с одной стороны);
- арматурные хомуты для фиксации.



Рис. 4.29. Подготовка панелей плиты перед установкой

Затем панели поднимаются на поддерживающие конструкции вручную и связываются между собой с помощью вязальной проволоки. Чтобы избежать трещин с верхней стороны плиты над несущими стенами, панели с верхней стороны дополнительно соединяют с помощью соединительной сетки. Кроме того, к панели в месте расположения над несущей внутренней стеной крепятся дополнительные арматурные хомуты для фиксации.

После укладки панелей, с верхней стороны плиты над несущей внутренней стеной при помощи арматурных хомутов устанавливаются дополнительные стержни для обеспечения непрерывности плиты.

В качестве заключительного элемента армирования после завершения монтажа панельной плиты по всем внешним краям (кольцевая балка) укладываются, по крайней мере, два арматурных стержня $d = 8$ мм.

Так как стеновая панель ТСК без бетона практически не может нести вертикальную нагрузку, все монтажные нагрузки от плиты должны выдерживаться временными подпорками. Плита не должна лежать прямо на панельных стенах. Несущая способность стандартной панели на изгиб (100мм



ППС, сетка диаметром 3мм, 200 диагоналей диаметром 3,8мм/м²) определена
 испытаниями и принимается исходя из следующей величины

$$M_{ADM}=3,0 \text{ кНм/м} \quad (4.3)$$



Рис. 4.30. Крепление дополнительных арматурных хомутов

Отсюда можно рассчитать следующие приемлемые изгибающие моменты
 для других типов панелей:

Таблица 4.3 – Приемлемые моменты изгиба для трехмерных панелей

| Моменты | 100 диагоналей/м ² | 200 диагоналей/м ² |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|
| ПП–50 | 0,50 кНм/м | 1,80 кНм/м |
| ПП–100 | 0,85 кНм/м | 3,00 кНм/м |

С учетом веса верхнего слоя бетона толщиной 50мм действующая
 нагрузка в момент монтажа составляет 1,50 кН/м². В этом случае пролет между
 опорными конструкциями крепления плиты равен 3м, т.е. длине стандартной



плиты. Фактически, расстояние между подпорками должно быть выбрано между 1,60 – 1,80м из-за возникающего прогиба плиты. На рис.4.31 показано оптимальное расположение поддерживающих конструкций.

В этом случае крайняя поддерживающая рама, состоящая из подпорок и горизонтальных балок, устанавливается на расстоянии 50–60см от стены. Это позволяет обеспечивать устойчивость поддерживающих конструкций с помощью треног и значительно облегчает работу по нанесению первого слоя бетона на стене. Без горизонтального выступа плиты или, если этот выступ не привязан к трехмерной стеновой панели, рекомендуется уменьшить пролет креплений до 1,50м.

Как только верхний слой бетона на плите и бетон, нанесенный на стеновые панели, достаточно отвердевают для того, чтобы нести небольшие нагрузки (спустя 1–2 дня после нанесения), крайние поддерживающие рамы можно убрать, а пролет креплений увеличить до 2,25м. Однако, до удаления поддерживающей рамы, убедитесь, что в месте дополнительного армирования нанесен, по крайней мере, первый слой бетона шириной 50см на нижней части плиты для укрепления связи между панелью и дополнительной арматурой. Только в таком случае можно правильно перенести монтажную нагрузку на стены.

Применение максимальных пролетов между поддерживающими конструкциями возможно только при тщательном соединении плиты и стеновых панелей. Иначе, края панелей в местах стыков могут приподняться и увеличиться прогиб плиты во время бетонирования.



Рис. 4.31. Оптимальное расположение поддерживающих конструкций



Рис. 4.32. Законченная панельная стена

Исходя из этих соображений определяется количество рядов поддерживающих конструкций в зависимости от длины плит ППС–100 и ППС–50. Предложенный ниже пролет креплений относится к панелям с 200 диагон./м². В этом случае пролет креплений зависит от прогиба, а не от сопротивления панели на изгиб. В случае с 100 диагон./м² сопротивление на изгиб является решающим. Следовательно, можно непосредственно вычислить пролет креплений. Пролеты принимаются немного меньшими, чем для панелей на 200 диагоналей.

Работая с трехмерными изделиями и конструкциями можно использовать как насосы с сухим ротором, так насосы с мокрым ротором (пушки) для торкретирования. Соблюдается следующий порядок бетонирования:

- 1–й слой торкретбетона на стенах (внутри и снаружи);
- 1–й слой торкретбетона на нижней части плиты. Этот слой бетона должен укладываться, по крайней мере, на кромках плиты;
- бетон на верхней части плиты;
- завершение торкретирования на стенах и на плите.



Рис. 4.33. Работы по торкретированию

Первый слой торкретбетона, наносимый на стену и нижнюю часть плиты должен быть толщиной не менее 2 см вплоть до соединительной сетки и на 1 см меньше общей толщины бетона, т.е., $5-1=4$ см. Этот слой может быть грубым и служит следующим целям:

- перенос нагрузки с плиты на стены;
- образование твердой поверхности для нанесения второго слоя бетона.

Элементы жесткости (ребра жесткости), прикрепленные к стене снимаются через 2–3 дня после укладки первого слоя бетона. Отверстия в бетоне заполняются после укладки второго слоя.



Рис. 4.34. Законченный первый слой, включая маяки.

Второй слой бетона укладывается как вручную, так и с помощью специальных механизмов. Ручная укладка тонкого слоя бетона более предпочтительна. Этот слой укладывается в пределах маяков, выполненных из гипса и удаляемых после завершения работы.

Обычно бетон укладывается без дополнительных операций. Однако необходимо предотвратить бетонную поверхность от преждевременного высыхания после выравнивания. Для этого рекомендуются следующие приемы:

- покрытие пленкой ПВХ;
- периодическое увлажнение бетонных поверхностей.

В случае возведения многоэтажного здания необходимо тщательно выдерживать монтажные нагрузки, особенно, если строительство здания осуществляется в сжатые сроки. Возможно, что выполненная плита все еще слаба для восприятия нагрузки от последующего возводимого этажа. Поэтому необходимо соблюдать минимальные промежутки времени перед удалением подпорок, поддерживающих плиту.

Таблица 4.4 – Последовательность возведения конструкций

| | |
|--|---|
| <p>1.</p>  <p>установочные балки перекрытие стойки стенные панели</p> | <p>Сначала устанавливаются стеновые панели и панели перекрытия первого этажа, включая все установочные стойки для верхнего этажа. Рисунок слева показывает последовательность выполнения комнаты с 3 рядами стоек.</p> |
| <p>2.</p>  <p>установочные балки перекрытие, залитое бетоном 1- слой, снизу стойки стена, 1-слой</p> | <p>Следующий шаг – первый слой бетона укладывается на стены и нижнюю сторону перекрытия. Затем можно бетонировать верхнюю сторону перекрытия. Группа рабочих может начать подготовку второго слоя бетона. Однако рекомендуется подождать, пока не уберут часть стоек.</p> |
| <p>3.</p>  <p>панель перекрытия стойки стенные панели перекрытие, со слоем бетона сверху стена, 1-слой стойки</p> | <p>Третьим шагом будет установка стеновых панелей и панелей перекрытий верхнего этажа. Таким образом, опорные стойки обеих этажей устанавливаются одна за другой.</p> |

| | |
|---|---|
| | <p>На первом этаже можно продолжать бетонирование</p> |
| <p>4. перекрытие, со слоем бетона сверху 1-слой, снизу / макс. 2,25м</p> <p>Эти опорные стойки можно убрать через 2-3 дня после укладки бетона поверх перекрытия над верхним этажом</p> | <p>Следующий шаг – укладка первого слоя бетона на стены и нижнюю часть, а также дополнительного слоя бетона на перекрытие таким же способом, как и на первом этаже.</p> <p>Опорные стойки по краям можно убрать спустя 2–3 дня после укладки верхнего слоя бетона на перекрытии верхнего этажа. Сначала уберите опорные стойки на верхнем этаже. Убедитесь, что расстояние между опорными стойками и стеной не превышает 2,25 метра.</p> <p>После того, как стойки на краях убраны, можно укладывать 2-й слой бетона на обоих этажах.</p> |
| <p>5. перекрытие бетонированное сверху 2-слой, снизу</p> <p>Эти опорные стойки можно убрать через 21 день после укладки бетона поверх перекрытия над верхним этажом</p> | <p>Окончательное бетонирование стен и нижней части перекрытий. Все стойки можно убрать спустя 21 день после укладки верхнего слоя бетона на перекрытии верхнего этажа. Затем заполните все штрабы в местах крепления деревянных балок к стеновым панелям бетоном.</p> <p>В конце уложите, если необходимо, окончательный третий слой раствора</p> |

4.3 Разработка системы трехслойной строительной конструкции

Панели ТСК имеют те же размеры, что и для компонентов других железобетонных изделий и конструкций. Теоретические соображения и стандарты применимы для компонентов ТСК, если учитывать, что полезное сечение бетона сокращается за счет пенополистирольного утеплителя, и что сдвигающее усилие может передаваться только посредством раскосов (рис.4.35). В Республике Таджикистан методики по расчету изделий и конструкций для сравнения с ТСК панелями отсутствует. Поэтому в работе рассмотрим размеры компонентов ТСК в соответствии с различными мировыми стандартами [105, 118, 122], приводя примеры и подчеркивая особенности системы ТСК.

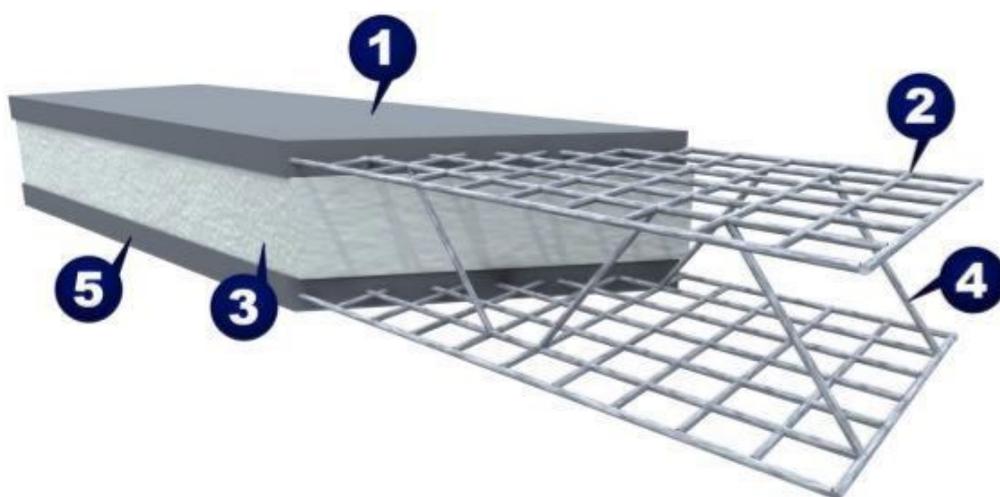


Рис. 4.35. Сечение стены ТСК

Компоненты ТСК – это тонкостенные, железобетонные оболочки, которые передают основные усилия сжатия и сдвига на плоскость стены. Сопротивление перпендикулярному плоскости стены поперечному изгибу ограничено. Поэтому здания, возводимые из ТСК, составляются наподобие коробков, где элементы ТСК соединяются друг с другом таким образом, что швы между плитой и стеной или между стенами не передают или передают незначительные изгибающие моменты. Однако для увеличения сопротивления

изгибу часто применяется жесткое соединение отдельных плит в целях образования сплошной пространственной системы плит.

Силы, оказывающие на здания из ТСК горизонтальные ветровые или сейсмические воздействия активно поглощаются поперечными стенами жесткости ТСК (рис.4.36). При этом должно быть обеспечено соответствующее «коробковое» заполнение зданий стеновыми ТСК панелями в направлениях осей X и Y. Размеры плит ТСК и стен ТСК могут рассматриваться независимо друг от друга. Рамное проектирование ТСК зданий допускается в отдельном ряде случаев, но не рекомендуется к применению.



Рис. 4.36. Передача горизонтальных нагрузок

В системе ТСК применяются армированные в одном направлении плиты, поэтому в поперечном направлении панели ТСК могут поглощать только небольшие сдвигающие усилия и, соответственно, очень небольшие моменты сил. Плиты ТСК с армированием в одном направлении могут рассчитываться в случае их непрерывного соединения как сплошные балки с постоянным поперечным сечением (рис.4.37).



Рис. 4.37. Типы плит

Компонент ТСК представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из панели ТСК и нанесенных на нее с обеих сторон слоев бетона определенной толщины. Оптимальная толщина бетонного слоя несущих компонентов ТСК составляет 50 мм. Бетонный слой толщиной 40 мм может применяться только для стен одноэтажных зданий. Панели ТСК состоят из пенополистиролового наполнителя толщиной 40–100 мм, двух параллельных листов покрывающей арматурной сетки и наклоненной в диагональном направлении арматуры – раскосов, приваренных к стержням покрывающих сеток с противоположных сторон.

Стержни диагональной арматуры, которые пронизывают пенополистироловый наполнитель, необходимо оцинковывать из-за возможного риска коррозии. Если бетонный слой обладает достаточной толщиной, то покрывающую сетку оцинковывать необязательно (рис.4.38).

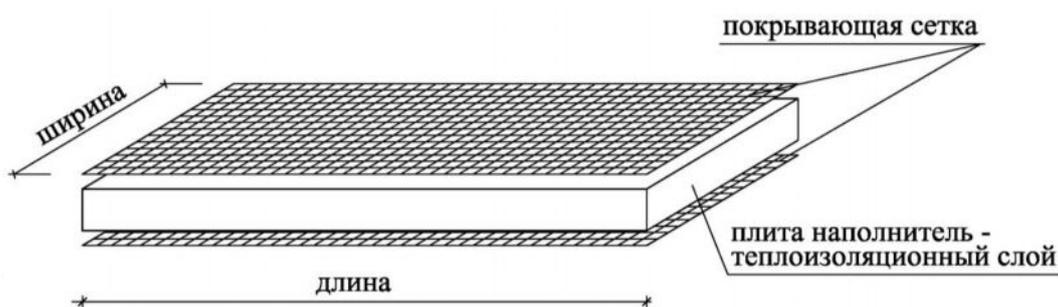


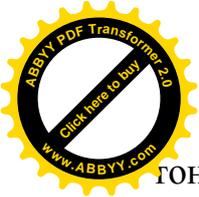
Рис. 4.38. Панель ТСК

Бетон, наносимый с обеих сторон панели ТСК (рис.4.38), выполняет следующие функции:

- воспринимает сжимающие усилия;
- защищает арматуру от коррозии.

Для эффективной защиты от коррозии минимальная толщина бетона составляет 40 мм для внутренних частей здания, для наружных частей эта величина возрастает до 50 мм. Толщина бетонного покрытия плит ТСК составляет примерно 50–60 мм.

На стены и нижнюю сторону плит бетон обычно наносится с помощью торкретирования. Однако, допускается и ручное нанесение, особенно второго



гонного слоя. Верхняя сторона плиты обычно бетонируется при помощи насоса. Содержание цемента в растворе не должно быть меньше $250\text{--}300\text{кг/м}^3$.

Приводим стандартные размеры с учетом раскосов и покрывающих сеток (рис.4.39):

Размер панели:

Длина: минимальная – 2,00 м. Далее допускается любая длина с шагом 10см. Максимальная длина обычно составляет 6,00 м. Теоретически возможно изготовление и более длинных панелей.

Ширина: – 1,20 м (1,00 м)

Пенополистирол толщиной ($d_{ППС}$): – от 40 до 100мм, плотностью примерно 15 кг/м^3 .

Покрывающая сетка:

Диаметр проволоки – 3,0 мм, оцинкованная сталь BST500;

Размер ячейки сетки (e) – 50×50 мм.

Зазор «сетка – пенополистирол» (a) – рекомендуемый 13 или 16 и 19 мм.

Раскосы:

Диаметр стержней – 3,00 мм; оцинкованная сталь BST500. Допускается максимальный диаметр 4,5мм и нержавеющая сталь.

Поперечное расстояние (e_1) – 100 или 200 мм.

Шаг – 100 или 200 мм; в итоге – 67–200 раскосов на м^2

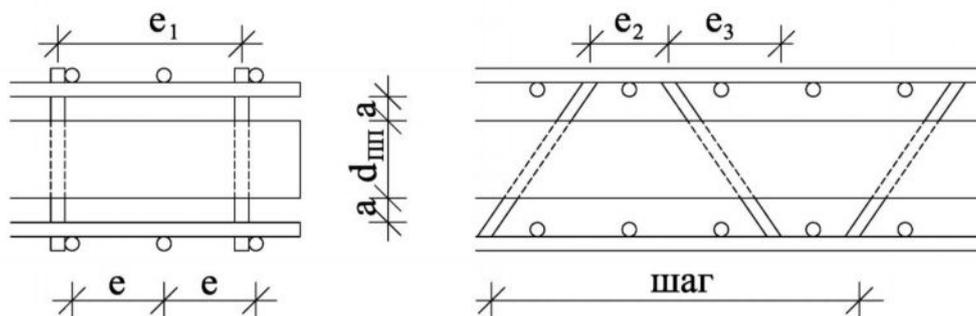


Рис. 4.39. Расположение раскосов и покрывающей сетки



Наклон раскосов зависит от расстояний e_2 и e_3 . По технологическим причинам величина e_2 не должна быть ниже определенного минимума. Сейчас выпускаются панели с 2 различными типами расположения раскосов (табл.4.5).

Таблица 4.5 – Расположение раскосов

| Количество, на м ² | Шаг, мм | e_3 , мм |
|-------------------------------|---------|------------|
| 100 | 200 | 60 |
| 200 | 100 | 40 |

Отсюда угол наклона рассчитывается как:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{d_{\text{шс}} + 2 \cdot a}{e_3}\right) \quad (4.4)$$

Так как значение e_3 может изменяться в пределах нескольких миллиметров, в конструктивных расчетах « a » принимается равным 20 мм независимо от расстояния между сеткой и пенополистиролом.

4.4 Обеспечение жесткости панелей перекрытий с минимальным армированием

Трехмерные панели перекрытий всегда проектируются как свободно опирающиеся по двум сторонам, или непрерывные плиты. Перекрытие, работающее в двух направлениях, не может быть рекомендовано для трехмерных панелей (рис.4.40).



Рис. 4.40. Системы перекрытий

Поэтому перекрытия, изготовленные из трехмерных элементов, всегда требуют наличия непрерывных опор. Там, где непрерывные опоры прерываются, необходимо сформировать опору из балочных лент, выполненных заподлицо; например, над дверями, имеющими такую же высоту, как сама комната.

Обычно перекрытия проектируются как системы с непрерывными опорами (рис.4.41). Этот эффект непрерывности должен приниматься во внимание, если панели отдельных перекрытий между этажами работают в одном и том же направлении. Закрепление на пересечении с другим пролетом не допускается.

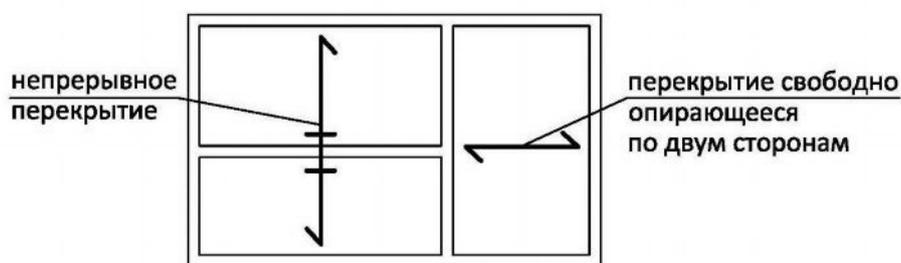


Рис. 4.41. Система перекрытий с непрерывным межэтажным перекрытием и перекрытием, свободно опирающимся по двум сторонам

В некоторых особых случаях возможно присоединение консольной панели перекрытия в области пересечения с другим межэтажным перекрытием. В таком случае, допустимый консольный момент ограничивается очень малой величиной. Если величина этого момента превышает допустимую, возникает необходимость в принятии специальных мер. Приложение сосредоточенной нагрузки также возможно лишь в ограниченных пределах.

Толщина трехмерных перекрытий ограничивается толщиной наполнителя панелей ППС от 40 до 100 мм. С целью уменьшения избыточного собственного веса конструкции толщина нижнего слоя бетона не должна превышать 40–50мм. Верхний слой бетона имеет толщину 50–60 мм. Минимальная толщина нижнего слоя бетона в случае непрерывного перекрытия с возникновением отрицательных моментов равна 50 мм. Если его толщина составляет лишь 40



мм, перекрытие нужно рассчитывать как свободно опирающееся по двум сторонам. Кроме того, при слое бетона толщиной в 40 мм будет сложно выполнить дополнительное армирование.

Марка бетона В25 $f_c=17,5$ Н/мм² подходит в большинстве случаев. Для этой марки бетона в качестве минимального армирования перекрытия достаточно армирование панели. Стандарт [105] требует минимального армирования в соответствии со следующей формулой

$$\mu_{min} = \frac{A_s}{A_{cT}} = \frac{k_0 \cdot f_r}{f_s} \quad (4.5)$$

где A_s – площадь армирования; A_{cT} – площадь бетона в зоне растяжения; k_0 – 0,4 для поперечных сечений в зоне изгиба, 1,0 для поперечных сечений в зоне растяжения; f_r – коэффициент разрушения бетона: $f_r=0,25 \cdot W28 \cdot 2/3$ [Н/мм²], где $W28$ – прочность бетона в кубе через 28 дней; f_s – действительное напряжение в стали в соответствии с [105].

Значение f_s зависит от диаметра и расположения арматурного стержня. Для усиления панели арматурой $\varnothing 3,0$ мм, ST500 оно всегда составляет 400 Н/мм². При использовании марки стали ниже ST500 не должно допускаться значение f_s превышающее 80% от предела текучести. Напряжение f_s , в зависимости от диаметра арматурного стержня можно найти в [105].

Для расчета коэффициента разрушения бетона необходимо учитывать минимальный номинальный предел прочности составляющий 35 Н/мм². Однако для поперечных сечений трехмерных панелей возникает дополнительный риск, так как сечения, испытывающие напряжения изгиба характеризуются треугольной эпюрой напряжений, в то время как напряжения в растянутой зоне трехмерной панели распространяются по трапеции. Поэтому для соблюдения стандартов прочности теоретическая марка бетона должна быть принята на порядок выше, чем фактическая марка бетона. Основываясь на этом положении, обычные размеры нижнего слоя бетона приводят к необходимости следующего минимального усиления:



Табл.4.6 показывает, что армирование панели достаточно в качестве минимального армирования только для толщины бетона 50 или 40 мм. Для более толстых слоев бетона всегда неизбежно дополнительное армирование. Приведенное минимальное армирование вполне соответствует минимальному армированию по стандарту [118].

Таблица 4.6 – Минимальное усиление в $\text{см}^2/\text{м}$

| Слой бетона (мм) | 40 | 50 | 60 |
|-------------------|------|------|------|
| $\leq \text{B25}$ | 1,07 | 1,34 | 1,61 |
| B35 | 1,27 | 1,58 | 1,90 |

Значения, приведенные в табл.4.6, применимы, если центр тяжести поперечного сечения находится внутри пенополистиролового наполнителя. Если при очень толстом верхнем слое бетона центральная ось располагается в верхнем слое бетона, необходимо учитывать общую зону растяжения сечения ТСК для определения минимальной арматуры. Арматуру верхней части панели учитывать не нужно, так как он располагается близко к нейтральной оси. В зависимости от толщины нижнего слоя бетона, максимальная толщина верхнего слоя бетона варьируется от 80 до 90 мм для панелей с толщиной пенополистиролового наполнителя 50 мм, и от 100 до 110 мм – для панелей с толщиной пенополистиролового наполнителя 100 мм в случае применения табл.4.6.

Однако требования к арматуре возрастают в случае применения стержней большего диаметра, так как понижается рабочее напряжение стали f_s . Для стержней диаметром до 8 мм, можно исходить из 350 Н/мм^2 для внешних компонентов, таких как консольные плиты. Значения $1,84 \text{ см}^2/\text{м}$ B25 и $2,17 \text{ см}^2/\text{м}$ B35 должны закладываться в верхний слой бетона толщиной 60 мм.

Повышенные минимальные требования к арматуре относятся и к арматуре на опоре. Обычно для внешней опоры используются арматурные хомуты диаметром 8 мм. Для внутренней опоры рекомендуется использовать



стержни немного большего диаметра 10 мм. Во время возведения конструкции данные прямые стержни используются временно для передачи сжимающих усилий и подвержены напряжению при продольном изгибе.

В некоторых случаях требуется армирование верхнего слоя бетона. Если плита подвержена сосредоточенной нагрузке, толщины верхнего слоя бетона недостаточно для передачи поперечного момента и усилия сдвига. Чтобы решить данную проблему без увеличения общей толщины плиты, необходимо использовать панель с более тонким слоем пенополистиролового наполнителя (50 вместо 100 мм) и с более толстым слоем бетона. Таким образом, поперечная арматура должна удовлетворять минимальные требования к арматуре. Так как данная плита считается стандартной бетонной плитой, панельная арматура будет достаточной для марок бетона вплоть до В35, при условии, что толщина верхнего слоя бетона остается менее 110 мм.

Практическое определение размеров U-образных арматурных стержней на опоре производится в соответствии со стандартом [105]. Согласно этому стандарту половина арматуры плиты должна уходить в опору и надежно закрепляться там с помощью анкеров. Это означает, что поперечное сечение арматурного стержня должно составлять половину от площади арматуры в средней точке.

Если предположить усилия на опоре, что раскос с силой S действует под углом в 45° , то сила натяжения T эквивалентна силе сдвига V . Если принять во внимание воздействие арматуры, примерно то же самое относится и к плите ТСК. Это означает, что арматуру следует рассчитывать, исходя из силы сдвига V .

Поперечные моменты возникают в основном в 3 случаях:

- в консольных панелях у кромки пересечения межэтажного перекрытия;
- на выступе крыши в направлении пересечения панелей;
- в области сосредоточенных нагрузок.

Консольные моменты, которые действуют у кромок пересечения межэтажных перекрытий, могут выдерживаться перекрытием лишь в очень



ограниченных пределах. Они создают проблемы не только в вопросе обеспечения конструкционной прочности, но и вызывают деформацию внутри панели перекрытия. В то время как конструкционная прочность может быть достигнута с помощью дополнительного армирования, деформация в основном зависит от поперечного сечения панели, и повлиять на нее с помощью дополнительной арматуры можно лишь незначительно (рис.4.42).

Сила растяжения консольной панели передается на внутреннюю панель перекрытия. Данная панель работает как балка с приложенной по нижней кромке нагрузкой. Поэтому необходима кольцевая балка. Максимальный допустимый момент невозможно определить точно. Согласно опыту, консольный момент не должен превышать момент, определенный для основного армирования трехмерной панели.

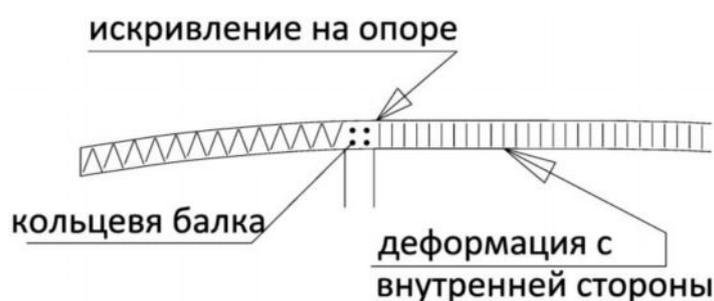


Рис. 4.42. Деформация объемной панели перекрытия от консольного момента

С применением коэффициента запаса прочности 1,75 не должны превышать следующие допустимые величины консольных моментов от рабочей нагрузки при 50–миллиметровом слое бетона с нижней стороны панели перекрытия (зона сжатия):

$$\text{ППС-100} \quad M_{ADM}=6,5 \text{ кНм/м}; \quad (4.6)$$

$$\text{ППС-50} \quad M_{ADM}=4,5 \text{ кНм/м}. \quad (4.7)$$

С внутренней стороны консольное армирование нужно рассматривать аналогично расчету балок с нагрузкой, приложенной к нижней кромке. Следовательно, арматура должна достигать как минимум половины длины внутреннего пролета. Это подразумевает, что панельные соединения с верхней стороны перекрытия должны полностью перекрываться сеткой, соединяемой



знахлестку. Из-за того, что эта область подвержена изгибу необходимо выдерживать перекрывание 4 ячеек сетки. Таким образом, ширина сетки в этой области составляет 45 см. Кроме того, длина консольной арматуры с внутренней стороны должна как минимум в 1,5 раза превышать длину консоли.

Скатные крыши выполняются преимущественно с выступами со всех сторон. Обычно панели устанавливаются стандартным образом до самых карнизов. Таким образом, с торцевой стороны в поперечном направлении панели формируется консоль. Это относится только к нижнему слою бетона. Рабочая глубина слоя составляет лишь $t_l - 15$ мм, т.е. t_l относится к толщине нижнего слоя, которая колеблется в среднем от 40 до 50 мм.

В приложении приведен расчет на неблагоприятный случай опирания перекрытия. Расчеты показывают, что дополнительное армирование на растяжение и изгиб необходимо установить в первом междуэтажном перекрытии. Дополнительное армирование проходит через всю длину панели перекрытия.

4.5 Обеспечение жесткости соединений стеновых элементов

Стены, выполненные из трехмерных элементов, могут рассматриваться как несущие стены. Проектирование стены относительно осевых сил может быть выполнено согласно [122] или [105]. Основные требования для несущей объемной стены:

- Гибкость λ не должна превышать 70;
- Содержание цемента в бетоне должно быть около 300 кг/м^2 ;
- Бетонные оболочки (слои бетона) должны иметь минимальную толщину 40 мм (внутри) или 50 мм (снаружи).

За исключением некоторых случаев, необходимо считать стену свободно опирающейся по двум сторонам. Армированное соединение с перекрытием не проектируется на изгиб. Удерживающий момент в заделке может привести к тому, что конструкция начнет работать как рама. Трехмерные стены не

предназначены для восприятия высоких моментов. Необходимое дополнительное армирование нейтрализует преимущества трехмерной панели и в конечном счете повлечет за собой более высокие затраты. Незначительные моменты, которые могут передаваться посредством обычной арматуры на опоры перекрытия, можно рассматривать как дополнительный эксцентриситет осевой нагрузки.

Трудность проектирования стены заключается в определении длины коробления стены, т.е. рабочей длины. Для простейшего примера подойдет один из 4 основных случаев по Эйлеру. Случаи 2 и 3 на практике вряд ли встречаются. В основном применяются средние значения между жесткими заделками и шарнирными опорами (рис.4.43).

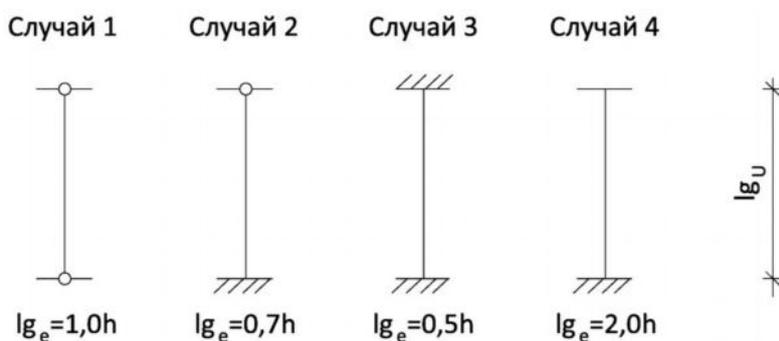


Рис. 4.43. Опорные условия для стен

В первую очередь для объемных стен важны случаи 1 и 4. Длина коробления l_{g_e} в этих случаях равна

Случай 1 $l_{g_e} = 1,0 \cdot l_{g_u}$

Случай 2 $l_{g_e} = 2,0 \cdot l_{g_u}$

Для данной длины коробления нужно определить гибкость

$$\lambda = l_{g_e} / r. \tag{4.8}$$

Величина r относится к радиусу инерции стены. Диаграммы расчетов балок и балок-стенок также включают в себя радиусы инерции наиболее широко используемых трехмерных поперечных сечений. Метод приближения в соответствии с [105] может применяться только в случаях с гибкостью стены $\lambda \leq 70$. Если фактическая гибкость больше 70, существуют несколько способов

проектирования, позволяющих решить проблему без увеличения поперечного сечения.

Еще один параметр использования диаграмм – эксцентриситет e . Эксцентриситет относится к расстоянию между точкой приложения нагрузки и центром тяжести поперечного сечения. Данный эксцентриситет выражает

- расчетные изгибающие моменты;
- случайные ограничения.

Для объемных стен относительно случайных ограничений можно принимать в расчет следующие минимальные эксцентриситеты:

- внутренние стены: $h/6$
- наружные стены: $h/8$

В этой формуле h относится к полной толщине стены. Эти данные пригодны для средних условий. Однако эти значения нужно корректировать для различных обстоятельств. Например, внешняя стена, расположенная под большим консольным перекрытием, внутренняя стена, поддерживающая существенно разные пролеты междуэтажных перекрытий. Для стен выше 3,0 м эксцентриситеты нужно пропорционально увеличивать. Для стен, соответствующих рис.4.44, принимается, что действующая нагрузка всегда приложена в центре тяжести нагруженной бетонной оболочки (в основном внутри). В этом особом случае несущая способность стены может быть значительно увеличена по сравнению с симметричной стеной той же толщины при использовании других толщин бетонной оболочки.

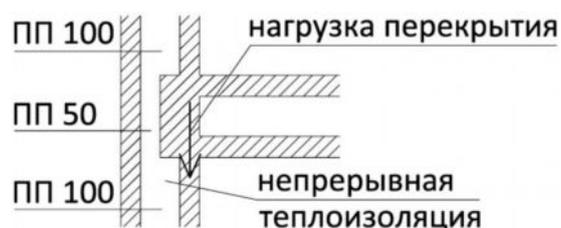


Рис.4.44 Внутренняя стена с пенополистироловым наполнителем. Нагрузка перекрытия передается только внутренней бетонной оболочке



Основываясь на момент M и постоянную силу F , расчетный эксцентриситет e определяется из структурного расчета

$$e_0 = M/F. \quad (4.9)$$

Метод приближения можно применять тогда, когда полный эксцентриситет достигает центра не более чем двух бетонных оболочек. Максимальный эксцентриситет получается в случае со стеной, имеющей непрерывный слой из пенополистирола и, следовательно, нагрузку, приложенную лишь к одной стороне. Это означает, что расчет изгибающих моментов невозможен.

Благодаря жестким при изгибе соединениям между стеной и соседними элементами (перекрытием или фундаментом) становится возможным уменьшить длину коробления до 60–80% от высоты стены. Фактическая длина коробления зависит от жесткости элементов, которые соединяются (рис.4.45). Может случиться, что допустимый максимальный эксцентриситет будет превышен. Стену придется проектировать как рамную каркасную конструкцию.



Рис. 4.45. Жесткое на изгиб соединение стены

Положительное влияние несущей способности стены можно учитывать, если междуэтажные перекрытия, поддерживаемые стеной, имеют очень маленькие пролеты. Применение такой схемы без точного расчета внутренних сил является безопасным в случае, если заделка фундаментной плиты гораздо более жесткая, чем у присоединенной трехмерной стены. Для приближенного

расчета длины коробления трехмерной стены можно принять следующую величину:

заделка в фундаментную плиту: длина коробления $lg_e = 0,9$ х безопорную длину

Для стены с расположенным сверху трехмерным или бетонным перекрытием габаритная высота элемента может быть принята в качестве безопорной длины.

Длина коробления lg_e объемной стены может быть уменьшена также путем укрепления стен в поперечном сечении (рис.4.46). Стены прочности нужно строить как трехмерные или как бетонные стены, а максимальное промежуточное расстояние должно быть 8 м или 12 м, если сверху находится трехмерное перекрытие или армированное бетонное перекрытие. Длина стены прочности должна составлять по меньшей мере 1/5 высоты.

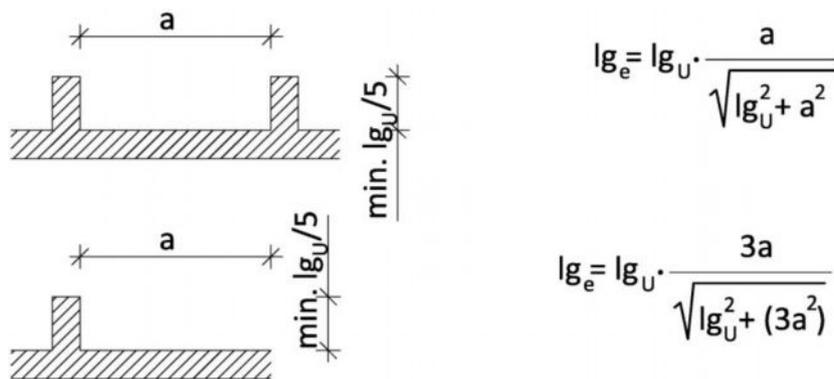


Рис. 4.46. Поперечное укрепление стен

В обоих случаях lg_U относится к безопорной длине стены без поперечного укрепления. Если есть проемы, которые превышают 1/3 от высоты стены (рис.4.47), то стену можно считать прерывистой. Следовательно, мы имеем дело со свободным концом стены в соответствии с рис.4.47 (низ).

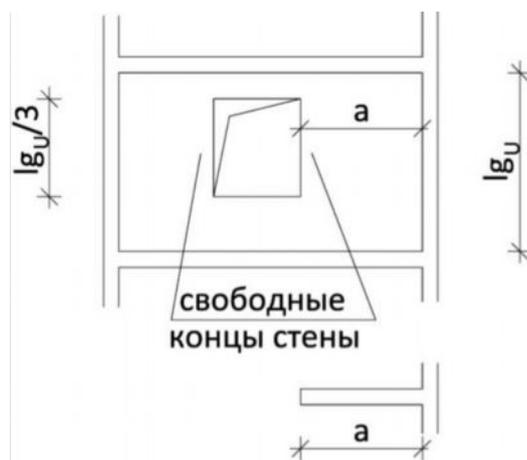


Рис. 4.47. Свободные концы стены возле оконного проема

Первый шаг конструирования – определение опасного сечения стены. В большинстве случаев это свободно стоящая колонна между двумя дверями или секция стены, расположенная рядом с проемом. В этих областях приложены сосредоточенные нагрузки от междуэтажных перекрытий. Для этой тяжело нагруженной области стены определяется ширина распределения для передачи нагрузки. В стене без проемов допустимая нагрузка не может быть превышена.

Нагрузка на стену включает в себя как реактивные силы, действующие от верхних этажей, так и собственный вес стены.

Нагрузки, возникающие от междуэтажных перекрытий, можно увидеть из конструктивного расчета. Для различных величин пролетов соседних этажей важно, чтобы реактивные силы были не ниже минимального значения.

Из-за влияния большего соседнего пролета наружная опора меньшего пролета имеет очень малую реактивную силу в случае непрерывного перекрытия (рис.4.48). Для данного расчета требуется, чтобы в области внутренней опоры перекрытие могло беспрепятственно изгибаться. Если есть препятствия для изгиба, прикладываются реактивные силы.



Рис. 4.48. Эскиз непрерывного перекрытия

Минимальный размер реактивной силы вытекает из рис.4.49.

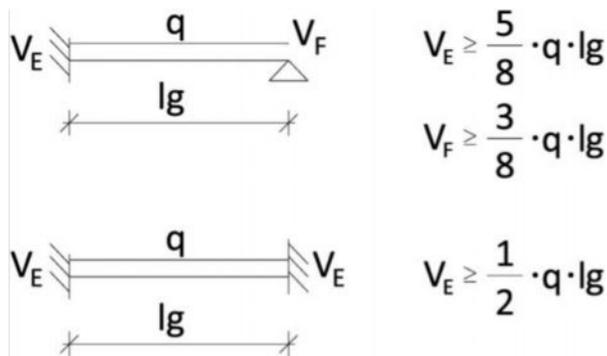


Рис. 4.49. Минимальные реактивные силы

Большинство компьютерных программ для расчета непрерывных балок не учитывают это ограничение.

Для определения собственного веса стены нужно вычесть лишь крупные проемы в стене. Малые и средние проемы должны быть включены в вес стены, чтобы компенсировать некоторые неточности

- Оконные перемычки должны иметь значительную толщину бетона, чтобы компенсировать неточности, возникающие при установке панели;
- Из-за того факта, что невозможно выровнять стеновые панели до идеальной плоскости, фактический слой бетона всегда будет на 2–3 миллиметра толще, чем слой бетона, принятый для структурного анализа.

Для расчета стены принимают, что сосредоточенные вертикальные нагрузки от верхних этажей передаются под углом 45°. Благодаря тому факту, что непрерывная армированная трехмерная стена обладает очень хорошим распределительным эффектом, можно принять значение $l_{gU}/2$ в качестве максимальной ширины распределения для сосредоточенной нагрузки, т.е. теоретическое распределение нагрузки гарантировано до середины пролета стены (рис.4.50). В этой формуле l_{gU} относится к габаритной высоте стены.

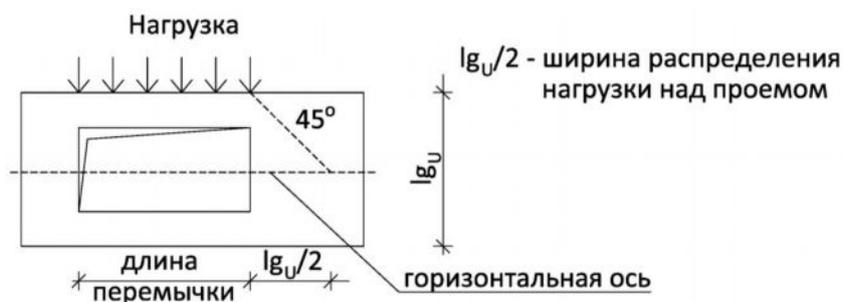


Рис. 4.50. Профиль стены

Повышение несущей способности может быть достигнуто с помощью дополнительного армирования. Однако в случае с трехмерной стеной это не является практичным решением. Чтобы уберечь дополнительную арматуру от коробления необходимо укрепить ее горизонтальными арматурными стержнями. Обычно бетонные слои трехмерных стен довольно тонкие, и, вряд ли возможно установить эти два слоя арматуры. Дополнительное вертикальное армирование необходимо лишь в проектных целях.

Если стена не соответствует требованиям к конструкции, усиление бетона является единственно возможным решением, т.е. необходимо предпринять следующие меры: более толстый слой бетона; более высокая марка бетона.

Кроме того, возможно установить дополнительную железобетонную колонну в особо опасных сечениях. Из-за того, что более высокая марка бетона должна быть использована по всему этажу, а устройство колонн из железобетона может привести к проблемам со средним слоем из пенополистирола, рекомендуется применять панель с более тонким наполнителем ППС (напр., 50 вместо 100 мм) в этой области, не меняя общую толщину стены. Кроме того, будет сложно найти более высокую марку бетона, чем В25 ($f_c=17,5 \text{ Н/мм}^2$). В данном случае бетонные оболочки имеют разную толщину (2x75 или 50+100 мм). Для внутренних стен более толстый слой бетона требуется внутри. Если стена рассчитана с минимальным эксцентриситетом согласно, асимметричная конструкция стены приведет к небольшому увеличению несущей способности, так как влияние зоны большего



Сжатия частично компенсируется пониженным максимальным эксцентриситетом и слегка повышенной гибкостью.

Необходимость в дополнительном горизонтальном армировании над оконными проемами вытекает из расчета перемычки (рис.4.51). Установленные внахлест сетки в углах окна требуются для избежания в этой области возникновения трещин под углом 45° . Вертикальная арматура необходима лишь для замены перекрывающей сетки, которая, к примеру, снята для санитарно–технических работ, пригонки и монтажа проводки (напр., выключателя). Горизонтальная арматура должна устанавливаться конструктивно. Примеры расчетов для армирования и конструирования стен зданий приведены в приложении.

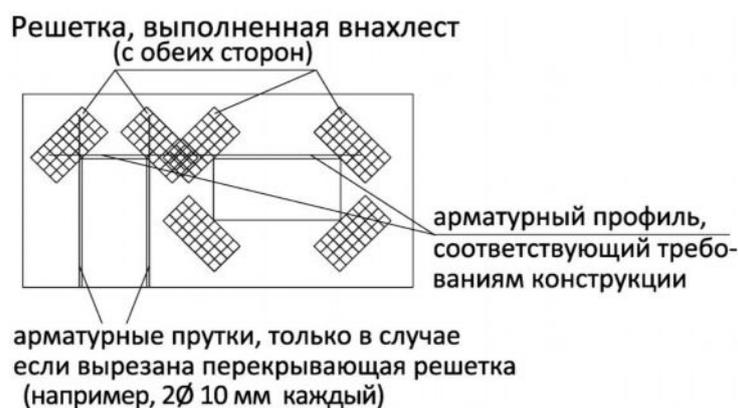


Рис. 4.51. Типовое армирование стены с выполненными внахлест решетками в углах проема

На территории Республики Таджикистан, где высокая сейсмическая активность, трехмерные панели должны передавать не только вертикальные нагрузки, но также и поперечные нагрузки на анкерные механизмы фундамента. Поперечная нагрузка зависит от веса здания и стандартизированной величины горизонтального ускорения. Для наиболее благоприятного случая – района с низким сейсмическим риском – в качестве горизонтальной нагрузки можно принять $1/100$ веса здания. В общем случае система объемных конструкций может рассматриваться как система, выдерживающая поперечные нагрузки, а отсюда – как система, способная выдержать сейсмические нагрузки и ветровые нагрузки.



Согласно [122], объемные стены могут считаться «структурными стенами», т.е. стенами, пропорции которых позволяют выдерживать комбинацию сдвига, моментов и осевых сил, вызываемых силами землетрясения. Объемные перекрытия действуют как «структурные диафрагмы – структурные элементы», такие, как междуэтажные перекрытия покрытия, которые передают силы инерции элементам, способным выдерживать поперечные силы.

Объемные конструкции не являются каркасными конструкциями; в сущности, силы, вызываемые землетрясением, выдерживаются конструктивными стенами, диафрагмами и фермами.

Марка стали решетки – 500 Н/мм^2 , или 70 ksi и отношение «предел прочности при растяжении/предел текучести» 1,10. Тем не менее, мы полагаем, что конфигурация объемных конструкций устойчива к землетрясениям.

Все объемные стены зданий способны выдерживать поперечные нагрузки. Однако на практике лишь немногие стены проектируют как «стены сдвига», т.е. снабжают «граничными элементами». Граничные элементы – это части, расположенные вдоль кромок стены и диафрагмы и укрепленные горизонтальным и поперечным армированием. В армировании граничных элементов, которое может быть представлено как пояс из армированного бетона, работающий на растяжение или сжатие, с объемными элементами для передачи поперечных нагрузок, применяют марку стали требуемой вязкости. Вязкость всей конструкции и, соответственно, способность противостоять сейсмическим нагрузкам, в первую очередь можно отнести к граничным элементам.

Как в конструктивных стенах, так и в диафрагмах объемные элементы выполняют только вторичную функцию, т.е. функцию передачи поперечных нагрузок к граничным элементам. Что касается минимального усиления 0,25% и минимальной толщины слоя бетона 50 мм, все объемные стены отвечают требованиям. Следует заметить, что [122] допускает отклонения, если достаточная несущая способность доказана испытаниями.



Для многоэтажных зданий необходимо принимать во внимание, что поперечная сила усиливается на верхних этажах. Отсюда необходимо неравномерно распределить полную горизонтальную силу. Во множестве систем и стандартов используется нижеследующий метод распределения поперечных сил.

$$H_i = \frac{G \cdot h}{\sum_{i=1}^n G_i \cdot h_i} \cdot \alpha \cdot \sum_{i=1}^n G_i \cdot (1 - \delta_n) \quad (4.10)$$

т.е. H_i – поперечная сила на этаже i ; G – вес этажа; H – высота этажа над уровнем земли; α – горизонтальное ускорение; n – количество этажей; $\delta_n = 0$ (в худшем случае).

На рис.4.52 показана схема расположения арматуры между проемами. Для того чтобы в достаточной степени покрыть арматуру бетоном, необходимо поместить арматурные стержни между решеткой и наполнителем ППС. Безусловно, данное перекрестное армирование требуется с обеих сторон стены.

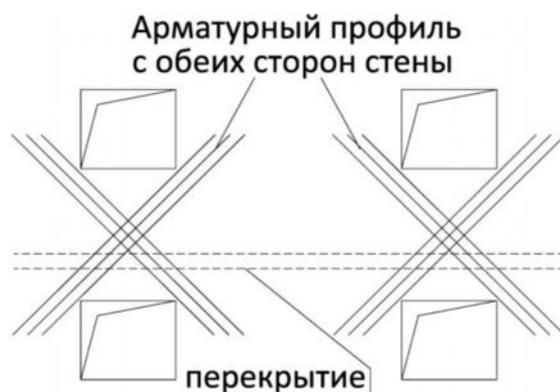


Рис. 4.52 Дополнительное усиление в области проемов

Кроме того, не только вертикальные граничные элементы стен, но также и горизонтальная кольцевая балка в перекрытии должна иметь достаточное армирование (рис.4.53).

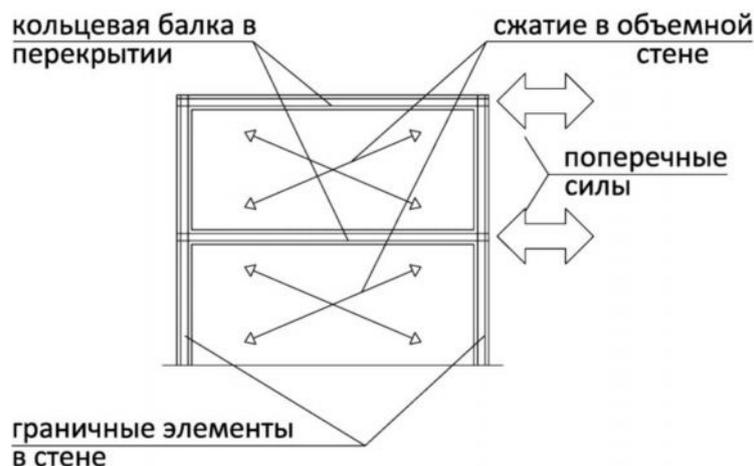


Рис. 4.53. Схема армирования стены в многоэтажном здании

Заключение по главе IV

1. Усовершенствована технология производства и монтажа ТСК.
2. Для равномерного распределения нагрузок принято конструктивное армирование по всему сечению элементов ТСК.
3. Расчетно–аналитическим методом определено количество арматурных стальных соединений для перекрытий – 200, для стен – 100шт/м².
4. На основании экспериментальных исследований разработаны дополнительные детали решетчатых ферм для повышения поперечных ребер жесткости.
5. Экспериментально доказано, что напряжение сжатия уменьшается, когда значение деформации увеличивается сверх 2%.
6. На основе проведенных исследований определены модели изгибаемых элементов ТСК.
7. Предложена усовершенствованная методика расчета по прочности на изгиб ТСК. При этом сжимающее усилие останется таким же до достижения относительной деформации сжатия значения 3,5%.
8. Разработаны узлы сопряжения трехмерных элементов стен в виде балок и балок–стенок.



ВЫВОДЫ

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

- предложена новая технология вспучивания полистирольных гранул, способствующая получению пенополистирольных плит низкой плотностью.

- для Республики Таджикистан налажена технология изготовления пенополистирольной плиты плотностью 10 кг/м^3 по разработанной нами технологии, т.к. существующая технология изготовления предусматривает изготовление пенополистирольных плит плотностью от 15 кг/м^3 ;

- экспериментальными исследованиями оптимизирован состав торкретбетона с высокой газо-, водо- и паронепроницаемости из местных сырьевых материалов используемой в качестве бетонной оболочки ТСК;

- всесторонне изучена ТСК с использованием в качестве утеплителя пенополистирольной плиты плотностью 10 кг/м^3 .

- разработана технология получения ТСК горизонтальным способом и внедрена в производство;

- на основании экспериментальных исследований разработаны дополнительные детали решетчатых ферм для повышения поперечных ребер жесткости.

- на основе проведенных исследований определены модели изгибаемых элементов ТСК.

- предложена усовершенствованная методика расчета по прочности на изгиб ТСК. При этом сжимающее усилие останется таким же до достижения относительной деформации сжатия значения $3,5\%$.

- разработаны узлы сопряжения трехмерных элементов стен в виде балок и балок–стенок.

- разработаны «Узлы стен жилых и общественных зданий, возводимых в районах сейсмичностью 8 и 9 баллов», Серия ВТУ – ТСК.Т в1, Вып.1. «ТСК



панели для наружных, внутренних стен и плит перекрытия» и «Руководство по расчету и проектированию ТСК панелей».

- расчетно-аналитическим методом определено количество арматурных стальных соединений для перекрытий – 200, для стен – 100шт/м² и оптимизирована бетонная смесь для производства легких трехслойных изделий и конструкций;

- разработано «Руководство по расчету и проектированию «Трехслойной строительной конструкции», утвержден Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, ГУП «НИИ строительства и архитектуры», ООО «Тиниал», Душанбе, 2013г.;

- разработаны Технические условия «Элементы сборные и сборно-монолитные железобетонные трехслойной строительной конструкции стен и перекрытий с пространственным армированием» ШТ 5800 ЧТ 10326441-001-2013 и «Руководство по расчету и проектированию «Трехслойной строительной конструкции»;

- разработано «Руководство по установке «Трехслойной строительной конструкции», утвержден Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдыкалыков А.А., Охунов З.Ю. Расчет балок и балок–стенок ТСК–панелей. Труды Международной научной конференции «Рахматулинские–Ормонбековские чтения», посвященной 70–летию чл.корр. НАН КР, лауреата Госпремии КР по науке и технике, проф. Т.О. Ормонбекова. – Бишкек, 2015. – С.121–126.
2. Абдыкалыков А.А., Охунов З.Ю. Теплофизические свойства трехслойной строительной конструкции. Научный и информационный журнал НИИФТПиМ НАН КР. Материаловедение. № 4 (7). – Бишкек, 2014. – С.7–11.
3. Абдыкалыков А.А., Охунов З.Ю. Учет сейсмических нагрузок при расчетах ТСК–панелей. Научный и информационный журнал НИИФТПиМ НАН КР. Материаловедение. № 2 (9). Труды III Международной межвузовской научно–практической конференции–конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения». – Бишкек, 2015. – С.266–269.
4. Абдыкалыков А.А., Охунов З.Ю. Характеристика панелей трехслойной строительной конструкции. Вестник КГУСТА им. Н. Исанова № 3 (45) Т.1. – Бишкек, 2014. – С.10–14.
5. Абелев, М. Ю. Применение экструдированного пенополистирола URSA FOAM при производстве работ по устройству оснований фундаментов в зимнее время [Текст] / М. Ю. Абелев, Р. Р. Бахронов // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 8. – С. 50–53.
6. Авдеев, Г. К. Исследование теплозащитных качеств ограждающих конструкций жилых домов, выполненных с использованием пластмасс [Текст] : дис. ...канд. техн. наук. – М., 1965. – 133 с.



7. Александровский, С. В. Долговечность наружных ограждающих конструкций [Текст] : монография / С. В. Александровский. – М., 2004. – 332 с.
8. Андрианов, К. А. Пенополистирол для ограждающих конструкций [Текст] / К. А. Андрианов, В. П. Ярцев // Жилищное строительство. – 2004. – №2. –С. 12–15.
9. Андрианов, К. А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистирола в ограждающих конструкциях зданий [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Андрианов Константин Анатольевич – Тамбов, 2002.–212 с.
10. Баталин, Б. С. Пенополистирол, его характеристики. Мнение независимых экспертов [Текст] / Б. С. Баталин, Л. Д. Евсеев // Кровля и изоляция. – 2011. № 2–3. — С.18—25.
11. Баталин, Б. С. Хвала и критика пенополистирола. Где же правда? [Текст] / Б. С. Баталин, Л. Д. Евсеев // Строительная газета. – 2010. – № 14.
12. Баталин, Б. С. Эксплуатационные свойства пенополистрирола вызывают опасения [Текст] / Б. С. Баталин, Л. Д. Евсеев // Строительные материалы. – 2009. – № 10. – С. 55–58.
13. Бек–Булатов, А. И. Пенополистирол – история создания и долговечность [Текст] / А. И. Бек–Булатов // Строительные материалы. – 2010. – №3. – С. 92–93.
14. Берлин, А. А. Основы производства газонаполненных пластмасс и эластомеров [Текст] / А. А. Берлин. – М. : Г ос. науч.–техн. изд–во хим. лит., 1954.– 191 с.
15. Берлин, А. А. Химия и технология газонаполненных высокополимеров [Текст] / А. А. Берлин, Ф. А. Шутов. – М. : Наука, 1980. – 503 с.
16. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] : учеб. для вузов / В. Н. Богословский. – 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 416 с.



17. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания [Текст] / В.Н. Богословский. – М., 1979. – 248 с.
18. Бриллинг, Р. Е. Миграция влаги в строительных ограждениях [Текст] / Р. Е. Бриллинг // Исследования по строительной теплофизике: сб. науч. тр. – М.–Л., ЦНИИПС, 1949.–№3.–С. 85–120.
19. В защиту отечественного строительства и промышленности строительных материалов / О. И. Лобов [и др.] // Строительный эксперт. – 2001.–№ 10.–С. 4–5; –2001. –№ 11.–С. 10–12.
20. Васильева, Л. Г. Экспериментальные свойства пенопластов в трёхслойных панелях современных зданий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05.–М., 1982.– 163 с.
21. Влияние технологических и эксплуатационных факторов на долговечность стен и покрытий, утепленных пенополистиролом [Текст] / А. И. Ананьев [и др.] // Строительный эксперт. – 2003. – № 2. – С. 9–16.
22. Гагарин, В. Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.02 ; 05.23.03 / Гагарин Владимир Геннадиевич – М., 2000. – 396 с.
23. Горение, деструкция и стабилизация полимеров : монография [Текст] / ред. Г.Е.Заиков.–СПб.:Научные основы и технологии, 2008. – СПб.–421 с.
24. ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
25. ГОСТ 13015–2003 «Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения».
26. ГОСТ 15588–86. Плиты пенополистирольные. Технические условия [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.
27. ГОСТ 16381–77 (СТ СЭВ 5069–85). Материалы и изделия строительные теплоизоляционные: Классификация и общие техн. требования. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 55 с.



- 28.ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний [Текст]. – М. : Изд–во стандартов, 1996. – 94 с.
- 29.ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности
- 30.ГОСТ 25192–82. Бетоны. Классификация и общие технические требования
- 31.ГОСТ 26633–91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия
- 32.ГОСТ 27006—86. Бетоны. Правила подбора состава
- 33.ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме [Текст]. – М. : Изд–во стандартов, 2000. – 10 с.
- 34.Дементьев, А. Г. Прогнозирование коэффициента теплопроводности пенополиуретанов в условиях длительного старения [Текст] / А. Г. Дементьев, О. Г. Тараканов, М. И. Федотова // Строительные материалы. –1975. –№ 6.–С. 35–36.
- 35.Дементьев, А. Г. Структура и свойства газонаполненных полимеров [Текст] : дис. ... д–ра техн. наук : 05.17.06 / Дементьев Анатолий Георгиевич –М., 1997.–409 с.
- 36.Дементьев, А. Г. Структура и свойства пенопластов [Текст] /А.Г. Дементьев, О. Г. Тараканов. – М. : Химия, 1983. – 176 с.
- 37.Дементьев, А. Г. Термоокислительная деструкция жесткого пенополиуретана [Текст] / А.Г. Дементьев [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1978.–№ 3. – С. 603–607.
- 38.Деменцов, В. Н. Практическое применение высокоэффективного теплоизоляционного материала «STYROFOAM™» [Текст] / В. Н. Деменцов // Строительные материалы. – 1996. – № 6 . – С .18–19.
- 39.Дмитриев, А. Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий с эффективными утеплителями [Текст] : дис. ... д–ра техн. наук: 05.23.01 /Дмитриев Александр Николаевич – М., 1999. – 373 с.



40. Заключение № 169 от 14.05.08 [Текст] / ОАО «Красноярский ПромстройНИИпроект». – Красноярск, 2008.
41. Иванов, Д. В. Исследование долговечности и теплофизических характеристик экструзионного пенополистирола в строительстве [Текст] / Д. В. Иванов, К. А. Андрианов, В. П. Ярцев // Academia. Архитектура и строительство. – М. : НИИСФ РААСН, 2009. – № 5. – С. 559–560.
42. Иванов, Д. В. Оценка теплофизических свойств экструзионного пенополистирола, применяемого в дорожном строительстве [Текст] / Д. В. Иванов, К. А. Андрианов, В. П. Ярцев // Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ: тез. Международ. науч.–техн. конф.. – СПб., 2010. – С. 79.
43. Иванов, Д. В. Применение экструзионного пенополистирола в качестве теплоизолирующего слоя в конструкции автомобильных дорог [Текст] / Д. В. Иванов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов, 2011. – Вып. II. – С. 234–237.
44. К вопросу о стойкости пенопластов и волокнистых утеплителей в ограждающих конструкциях зданий [Текст] / Хлевчук, В. Р. [и др.] // Проблемы строительной физики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: шестая науч.–практ. конф. РААСН. – М., 2001. – С. 255–258.
45. Киселёв И. Я. Расчёт теплофизических характеристик композиционных пенопластов [Текст] / И. Я. Киселёв, А. П. Тимофеев // Пластические массы. – М., 1980. – № 12. – С. 25–27.
46. Киселев, И. Я. Повышение точности определения теплофизических свойств теплоизоляционных строительных материалов с учетом их структуры и особенностей эксплуатационных воздействий [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / Киселев Игорь Яковлевич – М., 2006. – 366 с.



47. Колодкин, А. А. Экструдированный пенополистирол отечественного производства [Текст] / А. А. Колодкин, В. П. Осипович, Г. А. Кудрявцева // Строительные материалы. – 1996. – № 6 . – С. 11–12.
48. Кудрячева, Г. М. Теплофизические характеристики пенопластов при 90–360 К [Текст] / Г. М. Кудрячева, И. Г. Кожевников // Пластические массы. – 1974. – № 5. – С. 39—41.
49. Куприянов, А. В. Российский экструзионный пенополистирол «ПЕНОПЛЭКС» [Текст] / А. В. Куприянов // Строительные материалы. — 2000.—№9.—С. 22–23.
50. Ли, А. В. Долговечность энергоэффективных полимерсодержащих ограждающих конструкций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Ли Андрей Валерьевич. – Хабаровск, 2003. – 143 с.
51. Лыков, А. В. Тепломассообмен [Текст] / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1978. –480 с.
52. Мавлянов А.С., Охунов З.Ю. Технология изготовления изгибаемых и сжатых элементов легких конструкций. Известия вузов Кыргызстана. № 7. – Бишкек, 2017. – С.38–41.
53. Мавлянов А.С., Охунов З.Ю. Технология изготовления решетчатых ферм с бетонным кессоном. Известия вузов Кыргызстана. № 7. – Бишкек, 2017. – С.42–44.
54. Михеев, Д. А. Повышение тепловой эффективности наружных стеновых ограждений на основе анализа тепловизионных исследований [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Михеев Денис Александрович – Красноярск, 2010. – 226 с.
55. МҚС ЧТ 22–07–2007. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования.
56. МҚС ЧТ 23–02–2009. Тепловая защита зданий.
57. Могутов, В. А. Разработка методики комплексных теплотехнических исследований и системы отработки экспериментальных данных в новой климатической камере НИИСФ ЭК–10 [Текст] // Разработка научных



основ долговечности / НИИ строительной физики. – М., 2002. – С. 98–120.

58. Охунов З.Ю. Конструирование и строительство быстровозводимых гражданских зданий из трехслойных панелей. Научный и информационный журнал МУИТ. Наука и инновационные технологии. № 1. – Бишкек, 2016. – С.301–305.
59. Охунов З.Ю. Повышение сейсмической безопасности в строительстве зданий с применением панелей ТСК. Вестник КГУСТА им. Н. Исанова № 3 (45) Т.1. – Бишкек, 2014. – С.14–17.
60. Охунов З.Ю. Разработка методики расчета трехслойной строительной конструкции на изгиб. Научный и информационный журнал МУИТ. Наука и инновационные технологии. № 1. – Бишкек, 2016. – С.296–301.
61. Охунов З.Ю. Расчет сжатых элементов трехслойной строительной конструкции. Научный и информационный журнал МУИТ. Наука и инновационные технологии. № 3. – Бишкек, 2017. – С.177–181.
62. Охунов З.Ю., Охунова М.З. Расчет прогиба ТСК–панелей. Научный и информационный журнал НИИФТПиМ НАН КР. Материаловедение. № 2 (9). Труды III Международной межвузовской научно–практической конференции–конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения». – Бишкек, 2015. – С.269–272.
63. Павлов, В. А. Пенополистирол [Текст] / В. А. Павлов. – М.: Химия, 1973.–240 с.
64. Павлов, Н. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях [Текст] / В. А. Павлов. – М. : Химия, 1982. – 224 с.
65. Полонская М. И. Исследование долговечности, прочности и деформативности пенопластовых заполнителей ограждающих конструкций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1978. – 337 с.



66. Получение материалов из пенополистирола методом экструзии [Текст] / О. А. Фридман [и др.] // Пластические массы. – 1972. – № 11. —С. 35–37.
67. Попова, Т. А. Экструдированный пенополистирол отечественного производства [Текст] / Т. А. Попова // Строительные материалы. – 1999. – №2.–С. 29.
68. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01–84).
69. Прикладная механика ячеистых пластмасс : пер. с англ. [Текст] / под ред. Н. К. Хильярда. – М. : Мир, 1985. – 360 с.
70. Протокол испытаний № 132–1 от 29.10.2001 [Текст] / НИИСФ РААСН.– М., 2001.
71. Протокол испытаний №225 от 25.12.2001 [Текст] / НИИСФ РААСН.–М., 2001.
72. Радушкевич, Л. В. Методы исследования структуры высокодисперсных и пористых тел [Текст] / Л. В. Радушкевич. – М. : Изд–во АН СССР, 1958.
73. Радушкевич, Л. В. Основные проблемы в теории физической адсорбции [Текст] / Л. В. Радушкевич. – М. : Изд–во АН СССР, 1959.
74. Ратнер, С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? [Текст] / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
75. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел [Текст] / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. –М. : Наука, 1974. – 560 с.
76. Рейтлингер, С. А. Проницаемость полимерных материалов [Текст] / С. А. Рейтлингер. – М. : Химия, 1975 – 272 с.
77. Романенков, И. Г. Физико–механические свойства пенных пластмасс [Текст] / И. Г. Романенков. – М. : Госстандарт, 1970. – 170 с.
78. Рузиев Д.Р., Охунов З.Ю. Оценки уязвимости многоэтажных зданий из мелкоштучных элементов по результатам натурных обследований в г.



- Душанбе. Тезисы докладов X Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. – Москва, 2013. – С.139–140.
79. Рузиев Д.Р., Охунов З.Ю. Современные легкие конструкции в сейсмостойком строительстве зданий. Тезисы докладов X Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. – Москва, 2013. – С.117–118.
80. Руководство по расчету и проектированию «Трехслойной строительной конструкции». Агентство по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013 – 176с.
81. Селиверстов П. И. Исследование влияния макроструктуры на физико–механические свойства пенопластов при различных температурах [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. – Владимир, 1974. – 150 с.
82. СН 528–80. Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве.
83. СНиП 23–02–2003. Тепловая защита зданий [Текст] / Госстрой России. – изд. офиц. – М. : Госстрой России, 2004. – 27 с.
84. СНиП 52–01–2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
85. СНиП КР 23–01–2009 «Строительная теплотехника (Тепловая защита зданий)».
86. СНиП КР 20–02:2009 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования».
87. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – М.: ФГУП ЦНС, 2004. – 140 с.
88. СП 52–101–2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
89. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов [Текст] : справ, изд. / Н. Б. Варгафтик [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 349 с.



90. СТО 00044807–001–2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [Текст] / РОИС. – М. : ФГУП ЦПП, 2006. – 67 с.
91. Тараканов, О. Г. Пенопласты [Текст] / О. Г. Тараканов, Ю. С. Мурашов. – М. : Знание, 1975. – 64 с.
92. Теплоизоляционные материалы: нет дыма без огня? [Текст] // КРОВЛЯ. ФАСАДЫ. ИЗОЛЯЦИЯ. – 2007. – № 6. – С. 60–66.
93. Теплоизоляция на основе полистирола: тенденции развития рынка // Кровли. – 2007. – № 4. – С. 46–49.
94. Технические условия «Узлы стен жилых и общественных зданий, возводимых в районах сейсмичностью 8 и 9 баллов», Серия ВТУ – ТСК.Т в1, Вып.1. «ТСК панели для наружных, внутренних стен и плит перекрытия», утвержденный Комитетом по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.
95. Технические условия «Элементы сборные и сборно–монолитные железобетонные трехслойной строительной конструкции стен и перекрытий с пространственным армированием» ШТ 5800 ЧТ 10326441–001–2013, утвержденный Агентством по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, 2013г.
96. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К. Ф. Фокин. – М. : Стройиздат, 1973. –287 с.
97. Франчук, А. У. Определение сорбционной влажности строительных материалов [Текст] / А. У. Франчук // Исследования по строительной теплофизике. –М.: ЦНИИПС. – 1949. –№ 3. –С. 183–192.
98. Черепанов, З. П. Теплопроводность газонаполненных пластических масс [Текст] / З. П. Черепанов, И. В. Шамов // Пластические массы. –1974. – № 10.. – С. 53–55.
99. Шилов, Н. Н. Об экономии энергоресурсов и о материалах для утепления зданий // Н. Н. Шилов / Жилищное строительство. – 2004.—№ 2. — С. 16–18.



100. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства РФ № 1234-р от 28 августа 2003 года / Минпромторг России [Электронный ресурс]. – Электрон, дан. – М., сор. 2004–2010. Режим доступа: <http://www.minprom.gov.ru/docs/strateg/1>.
101. Ярцев, В. П. Прогнозирование долговечности экструзионного пенополистирола в дорожных конструкциях [Текст] / В. П. Ярцев, Д. В. Иванов, К. А. Андрианов // Науч. вестник Воронеж, гос. архитектур.–строит. ун–та. – Воронеж, 2010. — № 3 (19). – С. 99 – 104.
102. Ярцев, В. П. Физико–технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях [Текст] : дис. ... д–ра техн. наук : 05.23.05. – Воронеж, 1998. — 350 с.
103. Ясин, Ю. Д. Пенополистирол. Ресурс и старение. Долговечность конструкций [Текст] / Ю. Д. Ясин, В. Ю. Ясин, А. В. Ли // Строительные материалы. – 2002. – № 5. – С. 33–35.
104. Ясин, Ю. Д. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций [Текст] / Ю. Д. Ясин, В. Ю. Ясин, А. В. Ли // Строительные материалы. – 2002. – № 5. – С. 35–37.
105. ACI, 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI, 318–05) and Commentary. (ACI 318R– 05). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan. 2005.
106. ASTM C1303. Standard Test Method for Estimating the Long–Term Changes in the Thermal Resistance of Unfaced Closed–Cell Plastic Foams by Slicing and Scaling Under Controlled Laboratory Conditions // West Conshohocken, USA. 2000.
107. Bares – Scheiben und Flatten. Диафрагмы и плиты.
108. Bohm, Geiger, Valentin – Stahlbetonbau. Армированные бетонные конструкции).
109. Bomberg, M. Procedures to Predict Long–Term Thermal Performance of Boardstock Foam Insulations & Supplementary Report on Expanded



- Polystyrene. Final Reports on the Joint NRC / M. Bomberg, M. Kumaran / SPI research Project, National Research Council Canada. 1995. 74 p.
110. Booth, J. R. An Evaluation of the Dow Thermal Performance Prediction Model for a Database of XPS/CFC-12 Aged Resistivity and Physical Properties / J. R. Booth // Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes. 17.1993. P.154-170.
111. CAN/ULC-S770-00. Standard Test Method for Determination of Long Term Thermal Resistance of Closed-Cell Thermal Insulating Foams / Underwriters Laboratories of Canada, Ontario. Canada. 2000.
112. Ferguson, Breen, Jirsa. Основы бетонного армирования.
113. Glicksman, L. R. Radiation Heat Transfer in Foam Insulation / L. R. Glicksman, M. A. Schuetz, M. Sinofsky // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1987.
114. Hed, G. Service Life Estimations of Building Components. Munich: I-lanser. Report TR28:1999. Gavle, Sweden: Royal Institute of Technology, Centre for Built Environment. Stockholm. 1999. 46 p.
115. Issues of the Magazine of the Deutscher Ausschufft fur Stahlbetonbau. Немецкая комиссия по армированным бетонным конструкциям.
116. Leonhardt – Vorlesungen über Massivbau. Лекции по армированным бетонным конструкциям.
117. Lohmeyer – Stahlbetonbau. Армированные бетонные конструкции.
118. ÖNORM, 1987. Derived Static Load for Precast, Reinforced and Prestressed Concrete Structures. (Österreichisches Normungsinstitut series B-4200 and B-4600). Austrian Building Code.
119. Polyiso Performs: Advanced Method for Determining Long Term Thermal Resistance (LTTR) // PIMA. 2002.
120. Reitz, D. W. Basic Study of Aging of Foam Insulation / D. W. Reitz, M. A. Schuetz, L. R. Glicksman // Journal Cellular Plastics. P. 104-113.



121. Schuetz, M. A. A Basic Study of Heat Transfer through Foam Insulation / M. A. Schuetz, L. R. Glicksman // Journal Cellular Plastics. 1984. P. 114—121.
122. Standart DIN 1045-1-2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1 Bemessung und Konstruktion, de 185p.
123. Styrodur – экструдированный пенополистирол фирмы BASF A G II Строительные материалы. – 1998. – № 3. – С. 18–19.
124. Verschoor, J. D. Theoretical design requirements for improving the insulating properties of fibrous materials / J. D. Verschoor, P. Greebler // Trans. Am. Soc. Meehan. – 1952. – № 74. – P. 961–974.
125. Vo, C. V. An Evaluation of the Thermal Conductivity of Extruded Polystyrene Foam Blown with HFC-134a or HCFC-142b / C. V. Vo, A. N. Paquet // Journal of Cellular Plastics. 2004. P. 205–228.



Построение диаграмм по результатам расчетов и стандарта [105]

В данном приложении приводятся допустимые вертикальные нагрузки, определенные в соответствии с методом приближения [105]. Все графики определялись исходя из следующих исходных данных:

- коэффициент запаса прочности $\nu=3,0$;
- марка бетона В15 $f_c=10,5 \text{ Н/мм}^2$.

Для определения допустимой вертикальной нагрузки требуются следующие величины

$$\lambda = l g_e / r \quad (\text{П 1.1})$$

где $l g_e$ – свободная длина элементов, работающих на сжатие; r – радиус инерции.

$$E = M / N \quad (\text{П 1.2})$$

где M – изгибающий момент; N – вертикальное усилие.

Точка пересечения графической кривой эксцентриситета e и гибкости λ определяет силу F для принятой марки бетона. Для других марок бетона допустимая нагрузка на стену равняется:

$$F' = \frac{F \cdot f_c}{10.5} \quad (\text{П 1.3})$$

где F – значение силы по графику

Пример. В15, $f_c=10,5 \text{ Н/мм}^2$, коэффициент запаса прочности – 3,0; высота стены – 2,80 м, эффективная длина $l g_e=1,0$, высота=2,80 м; толщина стены $50+100+50 \text{ мм}=200 \text{ мм}$ (2x50мм бетона; 100 мм ПП); внутренняя стена (случайный эксцентриситет $e_l=30$ мм); радиус инерции $r=76,4$ мм; $\lambda=2800/76,4=36,7$; нагрузки $F=120 \text{ кН/м}$, $M=3,00 \text{ кНм/м}$, $e_0=M/N=25$ мм

Общий эксцентриситет равняется $e=e_0 + e_l=30 \text{ мм} + 25 \text{ мм}=55 \text{ мм}$.

Согласно графику максимально допустимое вертикальное усилие равняется примерно 145 кН/м.

$$F_{adm} = 145 \text{ кН/м} > F_{existing} \quad (\text{П 1.4})$$



Следовательно, стена отвечает требованиям по прочности.

Случай 1. Толщина стены=40 + 50 + 40 мм

Радиус инерции $r=46,5$ мм; максимальный эксцентриситет $e_{max}=45$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

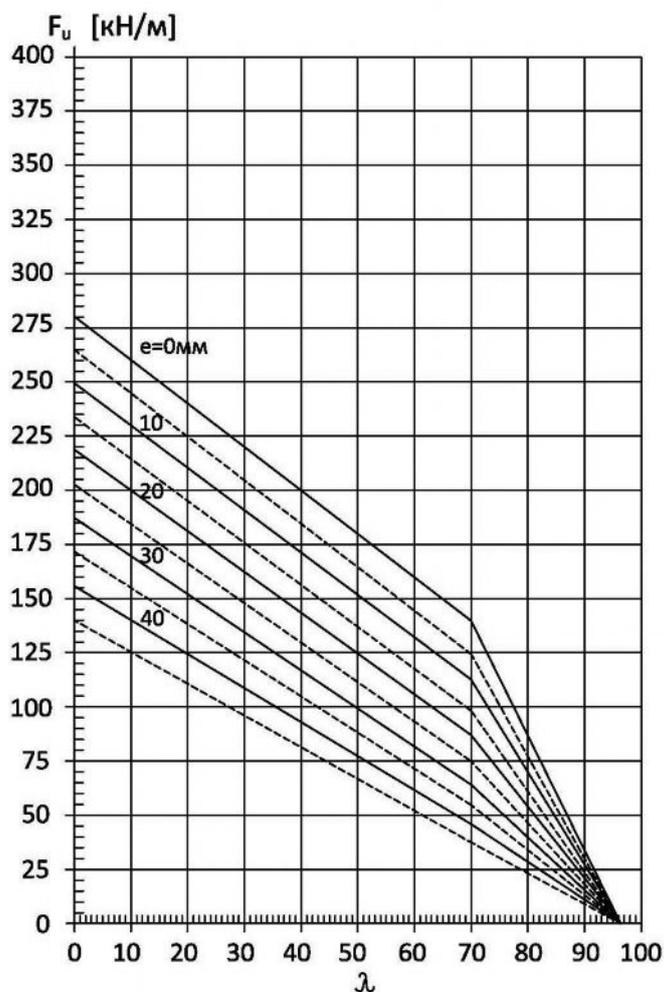


Рис. П 1.1 Допустимая вертикальная нагрузка (40 + 50 + 40 мм)

Случай 2. Толщина стены=50 + 50 + 50 мм

Радиус инерции $r=52,0$ мм, максимальный эксцентриситет $e_{max}=50$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

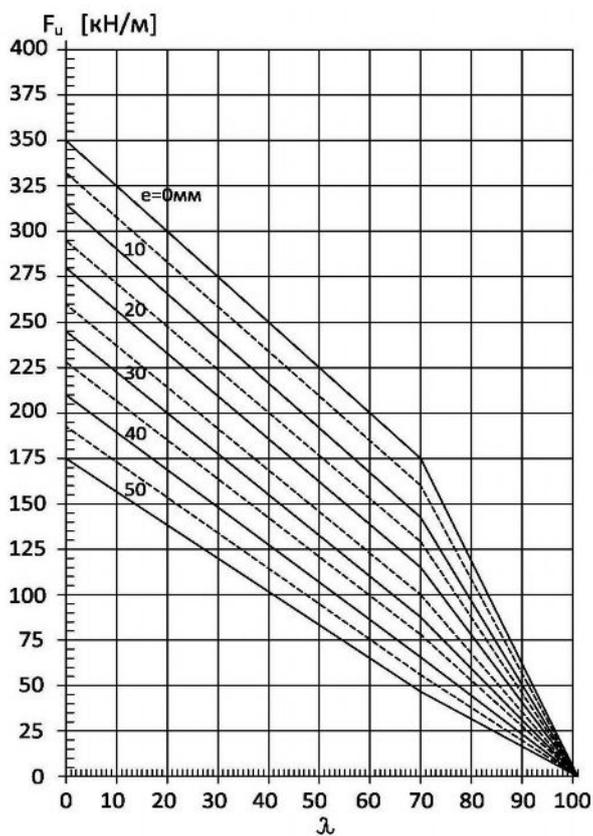


Рис. П 1.2 Допустимая вертикальная нагрузка (50 + 50 + 50 мм)

Случай 3. Толщина стены=40 + 50 + 90 мм

Радиус инерции $r=57,7$ мм, максимальный эксцентриситет $e_{max}=35$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

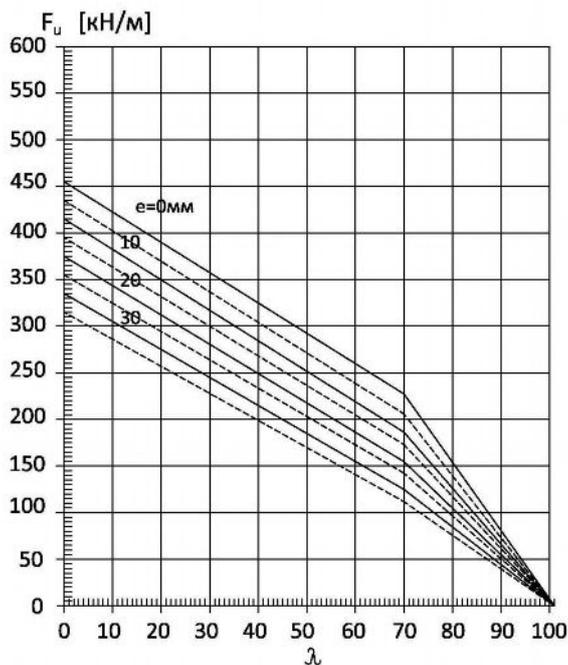


Рис. П 1.3 Допустимая вертикальная нагрузка (40 + 50 + 90 мм)



Случай 4. Толщина стены=50 + 50 + 100 мм

Радиус инерции $r=64,0$ мм, максимальный эксцентриситет $e_{max}=42$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

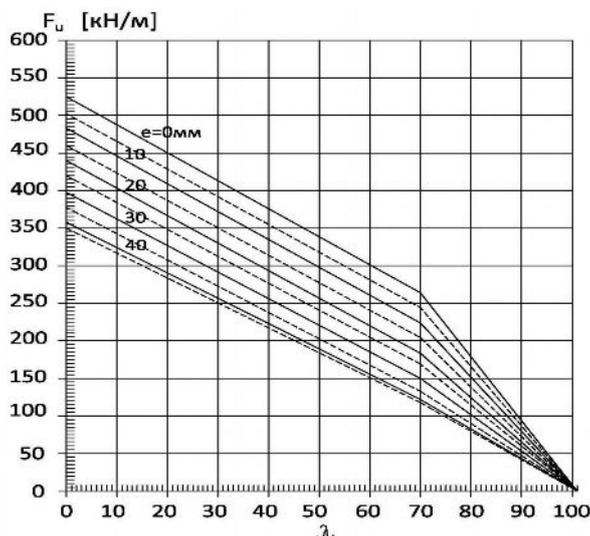


Рис. П 1.4 Допустимая вертикальная нагрузка (50 + 50 + 100 мм)

Случай 5. Толщина стены=40 + 100 + 40 мм

Радиус инерции $r=70,9$ мм, максимальный эксцентриситет $e_{max}=70$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

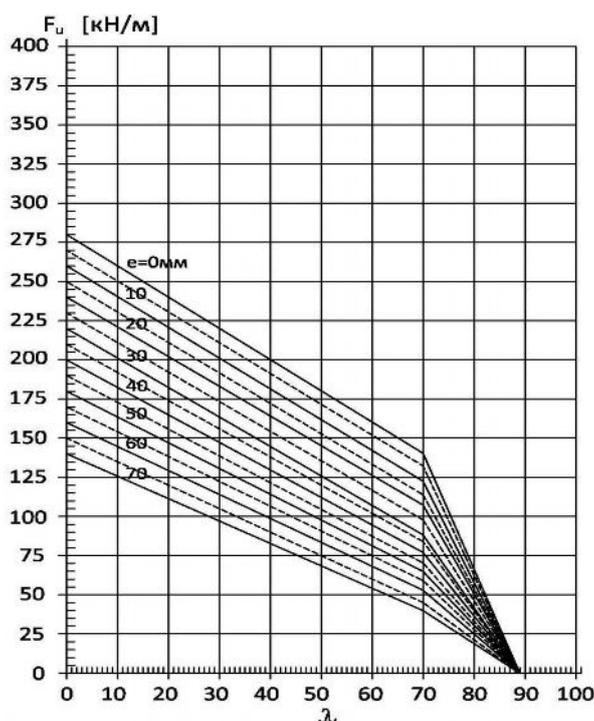


Рис. П 1.5 Допустимая вертикальная нагрузка (40 + 100 + 40 мм)



Случай 6. Толщина стены=50 + 100 + 50 мм

Радиус инерции $r=76,4$ мм, максимальный эксцентриситет $e_{max}=75$ мм.

Вертикальные нагрузки ($f_c=10,5$ Н/мм²; коэффициент запаса прочности=3,0)

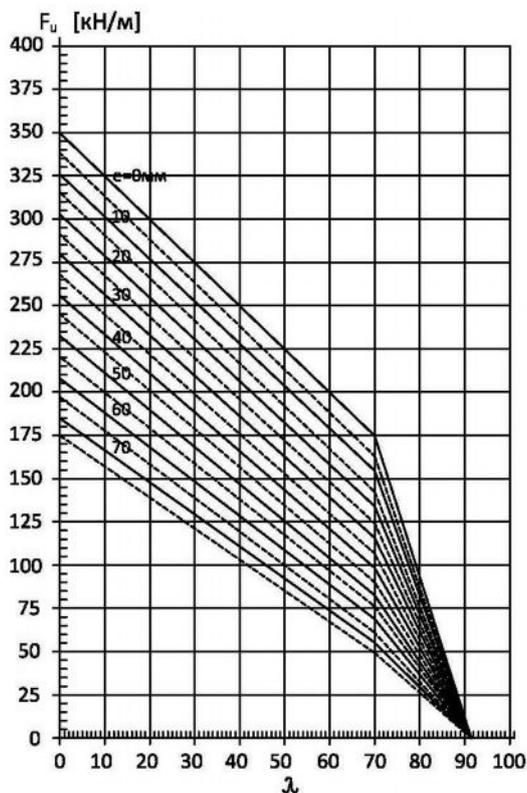


Рис. П 1.6 Допустимая вертикальная нагрузка (50 + 100 + 50 мм)

Следующие сокращенные таблицы относятся к стенам с общим эксцентриситетом 30мм (таблицы П 1.1 – 1.4).

Бетон с пределом прочности при сжатии $14,5$ Н/мм² не применяется в [105], хотя и широко используется. Это бетон марки В20.



Таблица П 1.1 – Допустимая осевая нагрузка для стен толщиной 130 мм

| Марка бетона [Н/мм ²] | Допустимая осевая нагрузка Р [кН/м] для трехмерных стен эффективная длина стены [м] | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.20 | 4.40 | 4.60 | 4.80 | 5.00 | 5.20 |
| 10.5 | 90 | 82 | 75 | 67 | 57 | 46 | 36 | 26 | 17 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14.5 | 124 | 113 | 103 | 93 | 79 | 64 | 50 | 36 | 23 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17.5 | 149 | 137 | 124 | 112 | 95 | 77 | 60 | 44 | 28 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 мм. Бетон + 50мм. пенополистирол + 40мм.бетон | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица П 1.2 – Допустимая осевая нагрузка для стен толщиной 150 мм

| Марка бетона [Н/мм ²] | Допустимая осевая нагрузка Р [кН/м] для трехмерных стен эффективная длина стены [м] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.20 | 4.40 | 4.60 | 4.80 | 5.00 | 5.20 |
| 10.5 | 133 | 125 | 116 | 108 | 99 | 90 | 86 | 84 | 81 | 79 | 77 | 76 | 74 | 73 |
| 14.5 | 184 | 172 | 160 | 149 | 137 | 125 | 119 | 115 | 112 | 109 | 107 | 104 | 102 | 100 |
| 17.5 | 222 | 208 | 194 | 179 | 165 | 151 | 144 | 139 | 135 | 132 | 129 | 126 | 124 | 121 |
| 50мм. Бетон + 50мм. пенополистирол + 50мм.бетон | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица П 1.3 – Допустимая осевая нагрузка для стен толщиной 180 мм

| Марка бетона [Н/мм ²] | Допустимая осевая нагрузка Р [кН/м] для трехмерных стен эффективная длина стены [м] | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.20 | 4.40 | 4.60 | 4.80 | 5.00 | 5.20 |
| 10.5 | 152 | 147 | 142 | 136 | 131 | 126 | 121 | 116 | 110 | 105 | 100 | 95 | 88 | 74 |
| 14.5 | 210 | 203 | 196 | 188 | 181 | 174 | 167 | 160 | 152 | 145 | 138 | 131 | 121 | 102 |
| 17.5 | 254 | 245 | 236 | 227 | 219 | 210 | 201 | 193 | 184 | 175 | 166 | 158 | 146 | 123 |
| 40мм. Бетон + 100мм. пенополистирол + 40мм.бетон | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица П 1.4 – Допустимая осевая нагрузка для стен толщиной 200 мм

| Марка бетона [Н/мм ²] | Допустимая осевая нагрузка Р [кН/м] для трехмерных стен эффективная длина стены [м] | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.20 | 4.40 | 4.60 | 4.80 | 5.00 | 5.20 |
| 10.5 | 200 | 194 | 188 | 182 | 176 | 170 | 163 | 157 | 151 | 145 | 139 | 133 | 127 | 120 |
| 14.5 | 277 | 268 | 260 | 251 | 243 | 234 | 226 | 217 | 209 | 200 | 192 | 183 | 175 | 166 |
| 17.5 | 334 | 324 | 313 | 303 | 293 | 283 | 272 | 262 | 252 | 242 | 231 | 221 | 211 | 201 |
| 50мм. Бетон + 100мм. пенополистирол + 50мм.бетон | | | | | | | | | | | | | | |

Определение армирования и конструирования стен

В данном примере представлен расчет наружной стены трехэтажного жилого здания (рис. П 2.1). Принята нагрузка на перекрытие $6,75 \text{ кН/м}^2$. Стена состоит из объемных панелей с наполнителем ППС 100 мм и слоями бетона $2 \times 50 \text{ мм}$ с маркой бетона В25 ($f_c = 17,5 \text{ Н/мм}^2$).

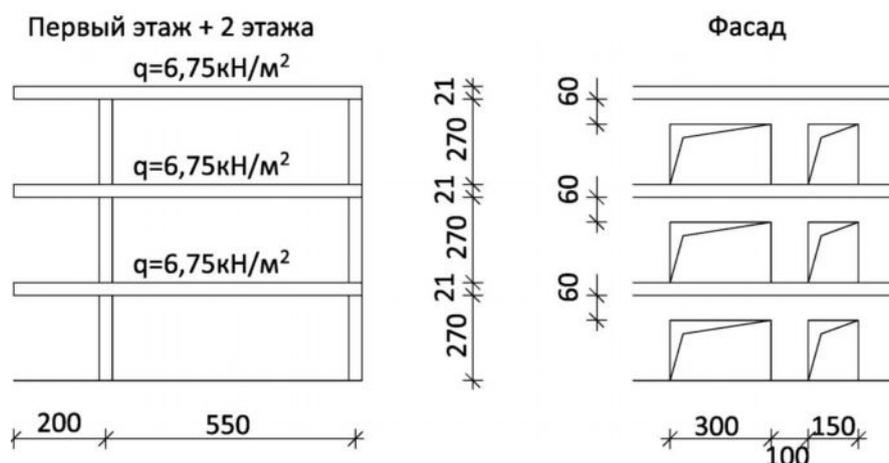


Рис. П 2.1 Поперечное сечение здания и фасад

На практике нагрузку на стену можно определить в соответствии с реактивными силами из расчета перекрытия. Однако для данного примера определим приближенно

$$\text{Нагрузка на перекрытие равна } F_{slab} = 6,75 \times (2,00 + 0,55 \cdot 5,50) = 33,9 \text{ кН/м}$$

$$\text{Нагрузка на стену равна } F_{wall} = 25 \text{ кН/м}^3 \cdot (0,05 + 0,05 \text{ м}) \cdot 2,91 \text{ м} = 7,3 \text{ кН/м}$$

$$\text{Нагрузка на этаж } F_{storey} = 41,2 \text{ кН/м}$$

$$\text{Полная нагрузка } F_{total} = 3 \times 41,2 = 123,6 \text{ кН/м}$$

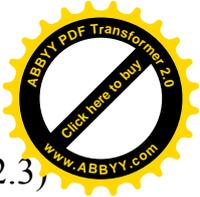
Таким образом, полная нагрузка, действующая на колонну на первом этаже, составляет

$$F_{req} = 123,6 \times (3,00/2 + 1,00 + 1,50/2) = 402 \text{ кН} \quad (\text{П } 2.1)$$

Для диаграмм необходимы следующие исходные величины:

$$h = 50 + 100 + 50 \text{ мм}; \lambda = 2700/76,4 = 35,3; \quad e = 30 \text{ мм}. \quad (\text{П } 2.2)$$

Согласно диаграмме на рис. П 2.6 допустимая нагрузка на стену



$$F_{adm} = 195 \times 17,5 / 10,5 = 325 \text{ кН} < F_{req} \quad - \quad \text{не подходит} \quad (\text{П 2.3})$$

Стена не соответствует расчетным требованиям. Решением может стать колонна с толщиной ППС всего 50 мм, но с той же полной толщиной.

$$H = 50 + 50 + 100 \text{ мм}; \quad \lambda = 2700 / 64,0 = 42,2; \quad e = 30 \text{ мм}. \quad (\text{П 2.4})$$

Согласно диаграмме рис.Б.4 допустимая нагрузка на стену

$$F_{adm} = 250 \times 17,5 / 10,5 = 417 \text{ кН} > F_{req} \quad \text{подходит} \quad (\text{П 2.5})$$

Во внутренней стене имеются две перемычки с полной высотой

$$h = 60 + 21 = 81 \text{ см} \quad (\text{П 2.6})$$

Можно принять рабочую высоту 76 см

Нагрузка от перекрытий $= 33,9 \text{ кН/м}$

Собственный вес $= 1,5 \text{ кН/м}$

Полная нагрузка $= 35,4 \text{ кН/м}$ (рис. П 2.2)

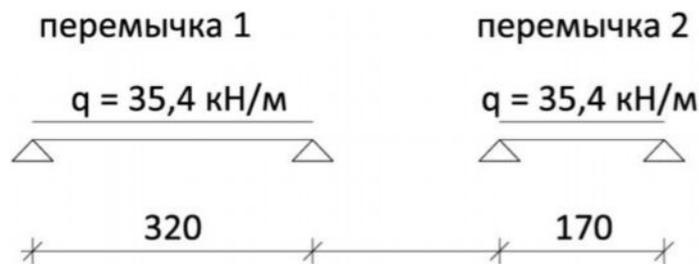


Рис. П 2.2 Схема дверных перемычек

Если считать их свободно опирающимися, обе перемычки можно проектировать как балки. Отношение между высотой панели и рабочей высотой глубиной

$$d_p/d = 55/76 = 0,72. \quad (\text{П 2.7})$$

Допустимый момент

$$M = 80,6 \cdot 0,762 \cdot 0,30 = 13,97 \text{ кНм}. \quad (\text{П 2.8})$$

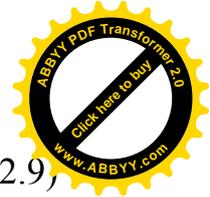
Моменты в середине пролета равны

$$M_1 = 35,4 \cdot 3,202,8 = 45,31 \text{ кНм};$$

$$M_2 = 35,4 \cdot 1,702/8 = 12,79 \text{ кНм}.$$

Только перемычка 1 нуждается в дополнительном усилении.

Максимальная сдвигающая сила в перемычке 1



$$V_I = 35,4 \cdot 3,2 / 2 = 56,64 \text{ кН.}$$

(П 2.9)

Напряжение сдвига (касательное напряжение) равняется

$$\tau = \frac{56,64}{2 \cdot 5 \cdot 0,9 \cdot 76} = 0,083 \text{ кН/см}^2 = 0,83 \text{ Н/мм}^2 \text{ (диапазон сдвига 2 согласно [105])}$$

Говоря об изгибе, армирование панели можно принять во внимание только в диапазоне сдвига 1. Следовательно, армирование на изгиб нужно проектировать для полного момента. Армирование на растяжение равняется

$$A_s = \frac{1,75 \cdot 45,31}{0,9 \cdot 0,76 \cdot 50} = 2,32 \text{ см}^2 \quad (3 \text{ } \varnothing 12 \text{ мм} = 3,39 \text{ см}^2) \quad (\text{П 2.10})$$

Согласно [105] армирование на сдвиг нужно проектировать для напряжения сдвига (касательного напряжения)

$$\tau = \frac{\tau_0^2}{\tau_{02}} = 0,83^2 / 1,80 = 0,38 \text{ Н/мм}^2 (= 0,038 \text{ кН/см}^2). \quad (\text{П 2.11})$$

Необходимое армирование на сдвиг равняется

$$a_s = 100 \cdot \frac{1,75 \cdot 0,038 \cdot 2 \cdot 5}{50} = 2 \times 0,67 \text{ см}^2/\text{м} \quad \text{достаточно перекрывающей сетки.}$$

В данном примере представлен расчет стены трехэтажного жилого здания (рис. П 2.3). Принята нагрузка от перекрытий $6,75 \text{ кН/м}^2$. Стена состоит из объемных панелей со 100–миллиметровым наполнителем ППС и слоями бетона $2 \times 50 \text{ мм}$ с маркой бетона В25 ($f_c = 17,5 \text{ Н/мм}^2$). Дверная перемычка в данном примере не рассчитывается.



Рис. П 2.3 Поперечное сечение здания и вертикальная проекция внутренней стены



Нагрузка, создаваемая перекрытием, была определена с помощью компьютерной программы для непрерывных балок.

$$\begin{aligned}F_{slab} &= 47,4 \text{ кН/м} \\F_{wall} &= 0,25 \text{ кН/м}^3 \cdot (5+5) \cdot 2,91 \text{ м} = 7,3 \text{ кН/м} \\F_{storey} &= 54,7 \text{ кН/м}\end{aligned} \quad (\text{П 2.12})$$

Нагрузки на стену от расположенных выше этажей могут распределяться на ширину 4,0 м до края стены. Для реактивной силы перемычки только на первом этаже ширина распределения составляет $l_{gU}/2=1,35$ м. Следовательно, полная нагрузка на колонну на первом этаже составляет

$$\begin{aligned}F_3 &= 1,35 \cdot 54,7 \cdot (2,4/2 + 4,0) / 4,0 = 96 \text{ кН} \\F_2 &= 1,35 \cdot 54,7 \cdot (2,4/2 + 4,0) / 4,0 = 96 \text{ кН} \\F_1 &= 54,7 \times (2,4/2 + 1,35) = 139 \text{ кН} \\F_{req} &= 331 \text{ кН}\end{aligned}$$

Для расчетов и составления диаграмм требуются следующие входные величины:

$$\begin{aligned}h &= 50 + 100 + 50 \text{ мм} \\l_{ge} &= l_{gU} \cdot \frac{3a}{\sqrt{l_{gU}^2 + (3a)^2}} = 270 \cdot \frac{3 \cdot 400}{\sqrt{270^2 + (3 \cdot 400)^2}} = 263 \text{ см} \\ \lambda &= 2630 / 76,4 = 34,4; \quad e = 30 \text{ мм.}\end{aligned} \quad (\text{П 2.13})$$

С целью компенсировать неточности, допускаемые при возведении многоэтажных зданий выбран тот же эксцентриситет, что и для внутренней стены.

В соответствии с диаграммой рис. П 2.2 допустимая нагрузка на стену

$$F_{adm} = 1,35 \cdot 195 \cdot 17,5 / 10,5 = 439 \text{ кН} > F_{req}. \quad (\text{П 2.14})$$

Стена соответствует расчетным требованиям. В других случаях можно также установить в этой точке обычную армированную бетонную колонну. В отличие от трехмерной стены можно принять коэффициент запаса этой колонны 2,1. Влияние гибкости показано довольно отчетливо. Для стены с наполнителем ППС 50 мм и слоями бетона 2x50 мм несущая способность составит всего около 295 кН.

Составление таблицы – лучший способ определить эти величины. Во-первых, необходимо определить полный вес этажа. Для примера по рис. П 2.4 принимаем горизонтальное ускорение $1 \text{ м/сек}^2 = 0,10g$.

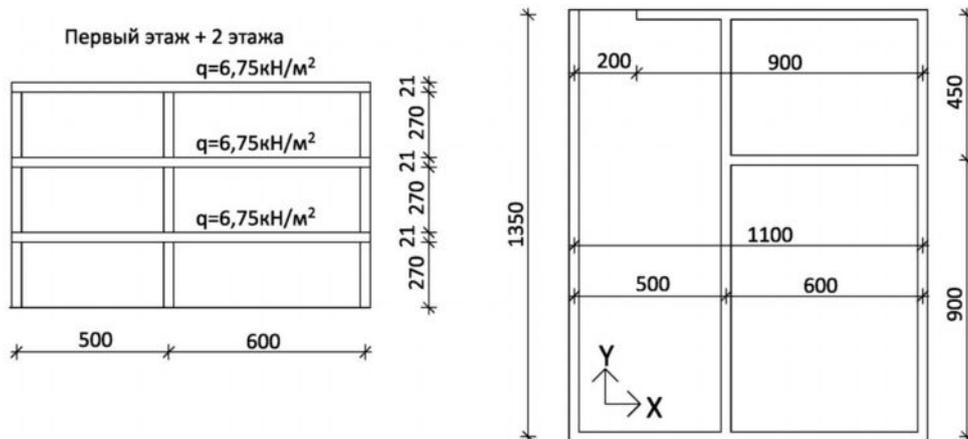


Рис. П 2.4 Сечение и план основания

Данный пример относится только к передаче сил в направлении оси X. Вес этажа определяется путем измерений размеров стены без учета проемов в стене или перекрытии. Нижеследующий расчет показывает пример проектирования согласно [122]. Следовательно, нагрузки умножаются на соответствующие коэффициенты запаса (собственного веса=1,4; динамической нагрузки=1,7).

$$G_{slab} = 13,50 \cdot 11,00 \cdot (1,4 \cdot 4,75 + 1,7 \cdot 2,00) = 1492 \text{ кН} \quad \text{перекрытие}$$

$$G_{wall} = 1,4 \cdot 2,502,91 \cdot (3 \cdot 13,50 + 2 \cdot 11,00 + 6,00) = 698 \text{ кН} \quad \text{стена}$$

$$G_{storey} = 2200 \text{ кН} \quad \text{этаж}$$

Таким образом, полные вертикальная и горизонтальная нагрузки составляют

$$G_0 = \Sigma G = n \cdot G = 3 \cdot 2200 = 6600 \text{ кН}$$

$$H_0 = \Sigma H = \alpha \cdot \Sigma G = 0,10 \cdot 6600 = 660 \text{ кН}$$

Все остальные расчеты сведены в табл. П 2.1.



Таблица П 2.1 – Перечень нагрузок

| этаж | G [кН] | H [м] | Gxh | G_0 [кН] | H_i [кН] |
|--------|----------|---------|-------|------------|------------|
| 3 | 2200 | 8,73 | 19206 | 660 | 330 |
| 2 | 2200 | 5,82 | 12804 | 660 | 220 |
| 1 | 2200 | 2,91 | 6402 | 660 | 110 |
| полная | 6600 | – | 38412 | – | 660 |

С помощью горизонтальных сил можно дать представление о сдвигающих силах и моментах. На рис. П 2.5 показаны моменты и сдвигающие силы.

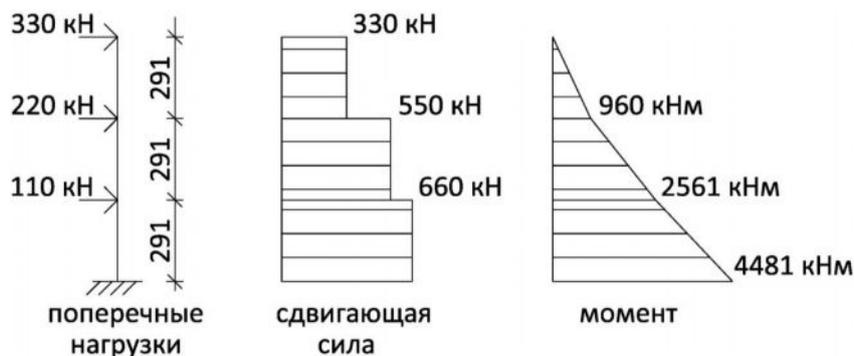
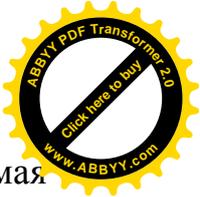


Рис. П 2.5 Внутренние силы, возникающие из-за поперечных нагрузок

Внутренние силы, показанные на рис. П 2.5, должны передаваться отдельным пересекающимся стенам. Для высоких зданий доля отдельных стен примерно соответствует отношению моментов инерции. Для данного расчета необходимо разделить стену, прерываемую дверями, на соответствующее число стен меньшего размера. Ради упрощения принимаем, что дверной проем имеется лишь в одной из 3 стен (рис. П 2.4).

В случае с объемными стенами, имеющими одинаковую толщину, можно сократить момент инерции до

$$\begin{array}{rcccc}
 \Sigma I' = 11,0^3 & + 6,0^3 & + 9,0^3 = & 2276 \text{ м}^3 & \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
 58,5\% & 9,5\% & 32,0\% & 100,0\% &
 \end{array}$$



Следовательно, по отношению к площади сильнее всего нагружена самая длинная стена. Для первой стены (длина=11,0 м) внутренние силы равны

$$V=0,585 \cdot 660=386 \text{ кН}$$

$$M=0,585 \cdot 4481=2621 \text{ кН}$$

Определение сдвигающей силы может быть выполнено согласно правилам [122]. В случае землетрясений действием бетона на общую прочность при сдвиге можно пренебречь. Следовательно, прочность при сдвиге равна

$$V_s = A_s \cdot f_y \cdot d = 2 \cdot 1,41 \cdot 50 \cdot 0,8 = 112,8 \text{ кН/м} \quad (\text{П 2.15})$$

$$V_{wu} \leq \varphi \cdot V_s \cdot l_g = 0,85 \cdot 112,8 \cdot 11,0 = 1054 \text{ кН} > 386 \text{ кН} \quad \text{подходит} \quad (\text{П 2.16})$$

Минимальное сопротивление моменту для стены с равномерно распределенным армированием принимаем

$$M = 80,6 \text{ кН/м} \cdot 0,30 \cdot 11,0^2 = 2926 \text{ кН/м} > 2621 \text{ кН/м} \quad \text{подходит} \quad (\text{П 2.17})$$

Фактически в данном случае мы имеем дело с суммой момента и осевой силы. Осевая сила оказывает влияние на результат со знаком «плюс».

На рис. П 2.6 показан схематичный план жилого здания с двумя квартирами на каждом этаже. Выделенные стены, работающие на сдвиг, составляют примерно половину площади всех стен в направлении оси Y. Однако в то же время их доля в обеспечении жесткости здания составляет более 90%. Следовательно, при проектировании остальными стенами без проблем можно пренебречь.



Рис. П 2.6 Схема расположения стен, работающих на сдвиг, с граничными элементами (направление оси y)



Все стены, работающие на сдвиг, нужно проектировать с армированными граничными элементами, как показано на рис. П 2.7. В то время как внутренние стены не имеют проемов, в каждой из наружных стен есть по два окна. Эти области должны быть усилены арматурным профилем, расположенным под углом 45°.

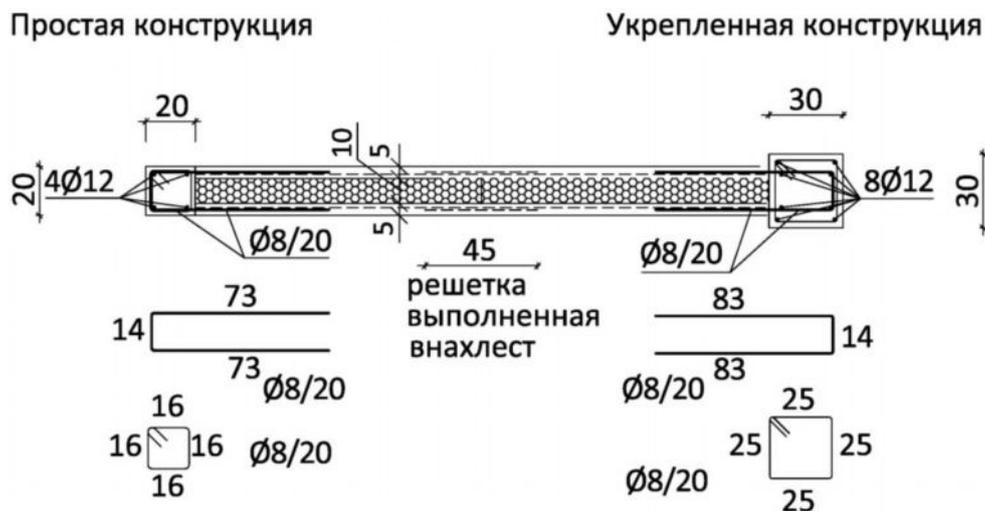


Рис. П 2.7 Граничные элементы

На рис. П 2.7 показаны два варианта конструкции для граничных элементов. Вместо использования более широкого элемента, показанного справа, можно удлинить граничный элемент и расположить его вдоль стены. Однако длина граничного элемента не должна превышать 10% от общей длины стены.



УТВЕРЖДАЮ
 Директор УКС ИОГ В
 Согдийской области



Кудратов Т.Т.

«9» ноября 2016г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Охунова Зафара Юнусовича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – “Строительные материалы и изделия”, на тему: **«Разработка технологии производства и монтажа трехслойных строительных изделий и конструкций»**

Комиссия в составе: председателя – главного инженера Якубджанова Т.Я., членов комиссии - заместителя директора Махмудова Р.П., начальника ПО Дониерова Х.Р. свидетельствует о том, что при строительстве ниже следующих объектов Согдийской области в 2014-2016 годах были использованы легкие панели, изготовленные на основе диссертационной работы Охунова З.Ю.:

1. Плавательный бассейн площадью 8400 м2 в городе Худжанде
2. Дворец спорта площадью 9600 м2 в городе Худжанде
3. Спортивный комплекс в Бободжан Гафуровском районе
4. Спортивные залы в ср.шк. №31 Матчинского района, ср.шк. №22 Шахристанского района, ср.шк. №5 и №61 Истаравшанского района
5. Спортивный комплекс “Далерон” в городе Истаравшан
6. Спортивный комплекс “Шохин” в городе Кайраккум

Были реализованы следующие научные результаты:

- В проектно-сметной документации предусмотрена замена стен и перегородок панелями из легких трехслойных строительных конструкций (ТСК).

Реализация материалов диссертации Охунова З.Ю. позволили:

- Уменьшить общий вес здания и сооружения.
- Повысить устойчивость зданий к сейсмическим воздействиям.
- Увеличить полезную площадь пола за счет уменьшения толщины стен.
- Сокращение трудоемкости выполнения строительных работ.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- Руководство по расчету и проектированию “Трехслойной строительной конструкции”, утвержденной Агенством по Строительству и Архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе 2013г..
- Технические условия: ШТ 5800 ЧТ 10326441-001-2013, зарегистрированный в Госстандарте Республики Таджикистан

По результатам диссертации получен следующий эффект:

- Сэкономлены бюджетные средства в сумме 6,78млн сомони (экв. 1,13млн. \$)
- Сокращен срок строительства и ввод вышеуказанных объектов в эксплуатацию.

Председатель комиссии:

Якубджанов Т.Я.

Члены комиссии:

Махмудов Р.П.

Дониеров Х.Р