

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	8
1.1. Пути совершенствования ограждающих стеновых панелей	8
1.1.1. Используемые материалы для многослойных стеновых панелей	11
1.1.1.1. Бетоны и способы их получения	11
1.1.1.2. Особенности армирования стеновых многослойных панелей	12
1.2. Экспериментальные исследования ограждающих конструкций	12
1.3. Теоретические исследования ограждающих конструкций	13
1.3.1. Исследования по образованию трещин трёхслойных панелей	13
1.3.2. Обзор исследований по деформациям	14
1.4. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций	16
1.4.1. Технологические свойства многослойных ограждающих конструкций с эффективными утеплителями	16
1.4.2. Физико-механические характеристики многослойных стеновых панелей со средним слоем из полистиролбетона	18
1.5. Краткие выводы	21
Глава 2. РАСЧЁТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ	22
2.1. Современные подходы к расчёту железобетонных ограждающих конструкций	22
2.2. Основы расчёта многослойных элементов при сжатии	22
2.3. Расчёт изгибаемых многослойных панелей	25
2.4. Краткие выводы	32
Глава 3. НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРЁХСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	33
3.1. Основы совместной работы слоёв в многослойных ограждающих конструкциях	33
3.2. Влияние связей на работу трёхслойных элементов	33
3.3. Численный анализ напряжённо-деформированного состояния многослойных стеновых панелей	35
3.4. Краткие выводы	40
Глава 4. РАСЧЁТ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	41
4.1. Общие положения. Диаграммы деформирования бетона и арматуры	41
4.2. Расчётная модель трещинообразования изгибаемых многослойных панелей	47
4.3. Расчёт самонесущих стеновых панелей на стадиях проектирования, монтажа и эксплуатации	54
1. Определение расчётных нагрузок	54
2. Определение веса (массы) конструкции	54
3. Расчёт панели на монтаже и при проектировании	55
4. Расчёт на монтажный случай	55
5. Расчёт в эксплуатационной стадии	56
6. Армирование панели	57

Глава 5. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ.....	59
5.1. Теоретические основы прочности конструкционных бетонов.....	59
5.2. Нелинейность деформирования бетонов в многослойных конструкциях.....	62
5.3. Критерии длительной прочности конструкционных бетонов.....	65
5.4. Кинетическая оценка прочности бетона в ограждающих конструкциях.....	68
5.5. Зависимость прочности бетона от условий эксплуатации.....	72
5.6. Краткие выводы.....	74
Заключение.....	75
Библиографический список.....	76

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование методов расчета и проектирования строительных конструкций позволяет использовать более эффективные сечения элементов, уменьшать расход бетона и существенно снижать собственный вес конструкций, что может повысить в дальнейшем конкурентоспособность железобетона с другими современными конструкционными материалами и расширить область его применения.

В большинстве случаев в конструкциях, которые должны быть защищены от разрушительных воздействий внешней среды, бетон находится в напряженном состоянии, вызванном внешними силами. Длительное приложение нагрузки и её величина существенно влияют на прочностные свойства бетона и его деформативность.

В строительной науке теория расчёта железобетонных конструкций является одним из наиболее глубоко исследованных разделов. Современные методы использования математических моделей для расчёта учитывают не только условия работы, но и нелинейный характер деформирования бетона в железобетонной конструкции.

Промышленные программные комплексы позволяют решать конкретные задачи с необходимой точностью лишь с наложением многочисленных дополнительных условий. Тем не менее, строительная практика показывает, что и при проектировании в соответствии с современными нормативными документами возникают случаи значительного снижения несущей способности. Поэтому важной задачей становится исследование таких подходов к прогнозированию поведения строительных конструкций в зданиях и сооружениях, которые уже на ранней стадии эксплуатации конструкций максимально могли бы обеспечить прогноз безопасности и долговечности.

Особую роль здесь необходимо отвести разработке расчётных методов конструктивной безопасности многослойных ограждающих конструкций.

Сегодня развитие технологий, увеличение строительных объёмов и актуальность реконструкции обосновывают необходимость энергоэффективного подхода к строительным материалам и проектированию конструкций ограждений в зданиях временного и постоянного пребывания людей. Наибольшее распространение получили многослойные ограждающие конструкции.

Применение эффективных лёгких бетонов позволяет значительно снизить толщину ограждающих конструкций и соответственно массу зданий.

Также одним из важных направлений в развитии прогрессивных ограждающих конструкций из лёгких и тяжёлых бетонов является повышение термического сопротивления, совершенствование широко распространенных решений панелей наружных стен зданий.

Сегодня одним из наиболее эффективных утеплителей является вспененный полистирол. Он имеет сравнительно низкий коэффициент теплопроводности и малое водопоглощение. Его применение в строительстве возможно в различном качестве, как в насыпной или плитной изоляции, так и в составе полистиролбетона.

Перспектива построения теоретических основ поведения многослойных ограждающих конструкций для любого возраста и при различных условиях эксплуатационных нагрузок в качестве уточнения основных расчётных положений по предельным состояниям строительных конструкций позволит повысить конструктивную безопасность как для проектов нового строительства, так и при реконструкции общественных зданий жилищно-коммунального комплекса.

Авторами рассмотрен подход к оценке длительной прочности и долговечности для бетонов в многослойном сечении ограждающих конструкций численными методами.

До настоящего времени этот вопрос в научной литературе не достаточно изучен. Возможность построения теоретических основ оценки эксплуатационной безопасности многослойных конструкций даст возможность прогнозирования поведения таких конструкций в здании или сооружении и позволит повысить безопасность ограждающих конструкций различных строительных объектов.

В первой главе представлен анализ конструктивных особенностей многослойных ограждающих конструкций. Вторая глава посвящена оценке разработанных методов расчёта ограждающих стеновых конструкций гражданских зданий из железобетона. Третья и четвертая главы посвящены оценке напряжённо-деформированного состояния многослойных конструкций и методам расчёта на этой основе. Пятая глава посвящена оценке долговечности многослойных стеновых панелей из конструкционных бетонов.

Учитывая сложность постановки и решения таких задач авторы рассматривают эту работу как развитие одного из возможных направлений в исследовании многослойных конструкций с монолитной связью слоёв.

Расчётные методы, представленные в монографии, рекомендуются для использования в обучающих программах и научной деятельности студентам, аспирантам и специалистам строительных специальностей.

Глава 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Пути совершенствования ограждающих стеновых панелей

Принципиально новая строительная конструкция — первая трёхслойная стеновая панель, которая получила название «сэндвич», была произведена в США в начале XX века.

Преимущества многослойных конструкций получили признание в мире, и все же они завоёвывали популярность очень медленно — причиной этого являлась высокая стоимость. И только через несколько десятилетий, когда была отработана технология массового производства панелей, использование их стало экономически выгодным и они начали быстро завоёвывать рынки США и Европы.

В российских научных школах работа над трёхслойными конструкциями была основана в тридцатые годы прошлого века, однако из-за отсутствия эффективных решений и материалов широкого применения такие конструкции в то время не получили. Развитию этого направления в проектировании не уделялось большого значения по причине отсутствия значительных объёмов панельного домостроения.

В качестве ограждений зданий применялись разнообразные по конструктивному решению стеновые панели: однослойные, двухслойные и трёхслойные с использованием лёгкого бетона на пористых заполнителях.

Самое незначительное распространение имели двухслойные стены с наружным утепляющим слоем. Строительная практика показала, что эти панели обладают низкими эксплуатационными свойствами, что привело к резкому сокращению их использования.

Наибольшее распространение получили сплошные однослойные и трёхслойные панели.

Однослойные панели выполнялись из ячеистых бетонов или на пористых заполнителях, являлись технологичными в изготовлении и экономичными ограждающими конструкциями, но в связи с не высокими теплотехническими характеристиками область их применения была ограничена.

После Великой Отечественной войны значительно расширилось опытное строительство с применением трёхслойных панелей с утеплителем из минераловатных плит и железобетонными рёбрами связей между наружными слоями. Однако из-за сезонных и суточных колебаний температуры в большинстве климатических районов в наружных стенах возникали достаточно высокие температурные напряжения, что приводило к образованию и раскрытию трещин. Известно, что они являются путями проникновения влаги в тело конструкции, что вызывало увлажнение утеплителя и коррозию арматуры. Также имели место теплопроводные включения и образования конденсата на поверхности вблизи рёбер.

Большого распространения такие конструкции тоже не получили, так как указанные недостатки железобетонных трёхслойных панелей с минераловатным утеплителем и железобетонными рёбрами оказались существенными.

Как видим, эти конструкции имели серьёзные недостатки: однослойные панели являлись весьма материалоемки, а трёхслойные — трудоёмки в изготовлении. Кроме того, возможность повышения теплозащитных свойств стен из однослойных панелей практически была исчерпана, а увеличение толщины панелей наружных стен было экономически нецелесообразно; трёхслойные с «жёсткими» связями промерзали по контуру, что требовало значительных расходов на эксплуатацию зданий.

Использование панельных конструкций в строительстве общественных зданий относится к середине 60-х годов прошлого века, но только с начала 80-х началось их массовое внедрение.

В 1967 году вступил в действие первый (разработанный Госстроем СССР) ГОСТ 11309-65 на все типы крупнопанельных зданий, определяющий все требования к их качеству, устройству стыков и степени точности производства и монтажа изделий.

Наибольшее применение среди многослойных конструкций получили стеновые панели с вкладышами из пенополистирола и обычные ребристые плиты покрытий с комплексным поперечным сечением из тяжелого бетона с утолщённой полкой из конструкционно-теплоизоляционного материала (поризованного керамзитобетона).

Разработанные позднее трёхслойные панели с эффективными утеплителями и гибкими стальными связями являлись технологически более прогрессивными конструкциями, обеспечивающими в различных регионах нашей страны требуемое термическое сопротивление ограждающих конструкций.

Сегодня крупные производители стройматериалов с целью исключить экономические риски тщательно проводят мониторинг тенденций рынка сбыта и заботятся о качестве своих изделий.

Опыт панельного домостроения советских времён оказался печальным, когда скорость и дешевизна застройки с использованием однослойных панелей из железобетона совмещались с низкими качеством и неспособностью держать тепло.

Использование многослойных стеновых панелей является плюсом за счёт простоты и скорости монтажа, отсутствие необходимости в использовании дорогостоящего подъёмного оборудования. Надо только закрепить в нескольких местах и – готова стена.

Фактически на стройплощадку прибывает готовое изделие, не требующее при сборке больших усилий. И все это при неоспоримых достоинствах, таких как отменная теплоизоляция, влагонепроницаемость, шумоизоляция.

Возрождение панельного домостроения в России началось на новом уровне развития технологий и стандартов качества. Современное производство многослойных стеновых панелей имеет тенденцию роста, предлагая рынку всё новые и новые модификации.

Сегодня созданы технологические возможности для того, чтобы обеспечить не только высокое качество продукции, но и ассортимент с учётом различных условий эксплуатации.

Выбор того или иного типа панелей определяется не только климатическими условиями эксплуатации, но и современными требованиями к внедрению энергосберегающих технологий. Необходимо учитывать целый ряд обстоятельств: теплозащитные свойства, материалоемкость и наличие в регионе необходимого для производства сырья.

Как следует из вышесказанного, в зависимости от условий применения и функционального назначения зданий в нашей стране имеется достаточно широкая номенклатура взаимозаменяемых конструкций стеновых панелей, отличающихся используемыми материалами, эксплуатационными параметрами, расходом бетона и стали, технологией изготовления.

Наружный и внутренний слои современных панелей выполняются из бетонов класса не ниже В20. В зависимости от функционального назначения строящегося объекта эффект теплоизоляции достигается применением различных вариантов исполнения среднего слоя: минераловатные плиты или пенополистирол. Так, например, по теплоизоляционным свойствам, трёхслойная панель при толщине 300 мм соответствует кирпичной кладке толщиной 650 мм.

В последние десятилетия распространение получили трехслойные стеновые панели с гибкими связями из металлических стержней вместо жёсткой железобетонной связи между наружными слоями, что является наиболее эффективным благодаря отсутствию теплопроводящих соединительных ребер и высокой однородности температурного поля.

Основными конструктивными особенностями таких панелей являются: экономическая эффективность монтажа в короткие сроки возведения здания; незначительная зависимость строительных работ от погодных условий; увеличивает несущую способность панели за счёт перераспределения нагрузки между бетонными слоями (рис 1.1).

Многослойные ограждающие конструкции с эффективными утеплителями производятся на заводах ЖБИ по различным технологическим схемам.

Традиционные трёхслойные ограждающие конструкции выпускаются с использованием плитных утеплителей.



Рис. 1.1. Многослойная стеновая панель

Предварительная подготовка плитного утеплителя и укладка его в конструкцию панелей связана с затратой ручного труда. Эти панели так же обладают невысокими теплозащитными свойствами и сложной технологичностью их изготовления. Затекаание бетонной смеси в различных местах (расположения каркасов, в стыки между плитами утеплителя и по контуру панелей) снижает сопротивление теплопередаче в целом и говорит о неоднородности на отдельных участках тепло-технических свойств.

В научных исследованиях осуществляется переход к трёхслойным панелям с монолитно связанным внутренним слоем из низкопрочного бетона со слоями из конструкционного бетона. При использовании в качестве теплоизоляционного слоя полистиролбетона в едином потоке формования изделия возможна оптимальная механизация производства трёхслойных панелей.

Разработка принципиально новых технологических решений по изготовлению многослойных панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона имеет значительные преимущества:

- снижение трудоёмкости при устранении ручных операций;
- устранение «мостиков холода», и, соответственно, повышение сопротивления теплопередаче не менее чем на 25...30 % по сравнению с пенопластом;
- снижение затрат на перевозку, хранение плитного утеплителя, снижение пожароопасности на производстве, присутствующей при работах по раскрою пенопласта.

Существующие трудности получения лёгких и прочных конструктивно-теплоизоляционных бетонов обуславливают необходимость изготовления конструкций с монолитной связью слоёв. Однако при внедрении таких панелей имеет место ряд особенностей, связанных с изготовлением, транспортированием и укладкой полистиролбетона в конструкцию трёхслойных панелей.

Многочисленные исследования показали, что указанные недостатки известных решений наружных ограждающих конструкций значительно снижаются за счёт применения трёхслойных панелей со средним слоем из полистиролбетона, что позволит достигать и экономии использования арматурной стали. То есть, рассматриваемые в монографии многослойные стеновые панели представляют собой плоскую железобетонную конструкцию со средним слоем из теплоизоляционного лёгкого бетона, монолитно связанного с наружными слоями из конструкционного бетона. Технология изготовления таких конструкций схожа с однослойными панелями, т.е. последовательная укладка всех слоёв в едином технологическом процессе обеспечит монолитность сечения и надёжное сцепление слоёв.

Ниже представлены, на наш взгляд наиболее значимые экспериментальные исследования многослойных стеновых панелей, предшествующие данному исследованию.

1.1.1. Используемые материалы для многослойных стеновых панелей

1.1.1.1 Бетоны и способы их получения

Современные строительные конструкции из сборного железобетона изготавливаются из различных видов бетона, прочностные характеристики которых должны соответствовать требованиям по капитальности и функциональному назначению здания.

Большой вклад в разработку современной теории прочности бетона внесли работы учёных С.В. Александровского, В.Н. Байкова, В.М. Бондаренко, О.Я. Берга, А.А. Брюшкова, А.А. Гвоздева, А.С. Залесова, А.В. Забегаева, Н.И. Карпенко, Э.Н. Кодыша, В.И. Колчунова, А.Ф. Лолейта, В.И. Мурашова, В.П. Очеретного, А.Г. Тамразяна, В.С. Фёдорова, Ю.Н. Хромца, Ю.В. Чиненкова и многих других российских учёных.

Поризованные легкие бетоны представляют собой сочетание лёгкого бетона с ячеистым. Впервые это сочетание было предложено А.А. Брюшковым в 1931 году. Первые опытные данные были опубликованы Н.А. Поповым в 1939 году. Он предложил поризацию цементного камня.

Широкое изучение поризованных легких бетонов началось в МИСИ им. В.В. Куйбышева с 1956 года Н.А. Поповым и Д.П. Киселевым.

Далее эти работы были продолжены в НИИЖБ, ВНИИЖелезобетона и др. В настоящее время имеется множество работ [15, 17, 35, 44, 52, 55], подтверждающих развивающееся в то время предложение Н.А. Попова о том, что ячеистые бетоны можно сочетать с крупным пористым заполнителем. Это сочетание обеспечило в дальнейшем наилучшую прочность и среднюю плотность.

Впервые в 1963 году Д.П. Киселевым в Москве на заводе № 20 Главмоспромстроя был внедрён керамзитопенобетон.

Исследования НИИЖБ позволили в Красноярске и Ачинске начать выпуск и применение стеновых панелей из керамзитогазобетона. Его производство отличалось сложностью по многим сопутствующим факторам в процессе набора прочности конструкцией.

В.П. Очеретный предлагал снижение средней плотности и улучшение конструктивно-теплоизоляционных свойств керамзитобетона путем поризации растворной части стабилизированной пеной. Так началось развитие ещё одного направления в технологии изготовления легкобетонных изделий, основанное на применении воздухововлекающих пластифицирующих добавок и малоцементных низкомарочных растворах.

В МИСИ, НИИЖБ и ЦНИИПжилища проводились исследования технических параметров и физических свойств различных видов поризованных лёгких бетонов. ЦНИИЭПсельстроем совместно с МИСИ разрабатывалась технология изготовления изделий из керамзитозолобетона, поризованного технической пеной.

Сегодня имеется целый ряд разновидностей лёгких бетонов, поризованных различными добавками: пенообразующими, газообразующими и воздухововлекающими.

При использовании газобетонной технологии были выявлены некоторые недостатки, а именно, зависимость свойств материала от технологических факторов.

Наибольшую эффективность керамзитопенобетонов и их преимущества по сравнению с газотехнологией показал опыт изготовления легких бетонов с поризованной пеной. Однако анализ исследований лёгких бетонов, поризованных технической пеной, и практика применения в ограждающих конструкциях показывают, что широкого применения в массовом строительстве такой бетон не получил. Основной причиной была недостаточность проработки технологии изготовления поризованных пеной лёгких бетонов непосредственно для наружных ограждающих конструкций.

В керамзитобетоне, поризованном воздухововлекающими добавками, прочность бетона не снижается в связи с отрицательным влиянием вовлечённого воздуха. Бетон с воздухововлекающими добавками имеет ряд преимуществ не только вследствие его долговечности, но и в связи с лучшей удобоукладываемостью, поэтому более широкое применение его в будущем весьма целесообразно.

Возможностью получать керамзитовый гравий из глинистого сырья большинства месторождений, не высокая стоимость, а так же относительно высокая прочность керамзитобетона даёт тенденцию к более широкому применению по сравнению с другими лёгкими видами бетонов. В керамзи-

тобетонную смесь добавляется кварцевый песок, что приводит к повышению прочности и модуля упругости такого бетона и позволяет применять его в ограждающих конструкциях зданий.

Решение вопроса улучшения качества наружных ограждающих конструкций из железобетона можно достичь путём повышения однородности структуры и свойств за счёт регулирования деструкционных процессов, в частности, процесса поризации, и, конечно, совершенствования технологии изготовления конструкций из лёгкого бетона. И, на наш взгляд, целесообразно применять такой бетон совместно с конструктивно-теплоизоляционными лёгкими бетонами в многослойных ограждающих конструкциях.

1.1.1.2. Особенности армирования стеновых многослойных панелей

Современные стеновые многослойные панели армируются сварными сетками и пространственными каркасами, количество и класс арматуры которых определяется с учётом действующих нагрузок расчётом.

Невысокое сопротивление растяжению является основным недостатком всех бетонов. Именно совместная работа бетона и арматуры обеспечивает перераспределение усилий и возможность безопасной эксплуатации конструкций при длительном действии растягивающих напряжений. А совместную работу слоёв в трёхслойных панелях принято обеспечивать с помощью связей, основными функциями которых, является перераспределение нагрузок между слоями, а также обеспечение жёсткости и предупреждение прогиба конструкции.

Существуют различные виды связей: армированные бетонные рёбра, отдельные армированные бетонные шпонки, гибкие металлические.

В качестве арматуры всех видов связей в трёхслойных панелях используют стержни или другие соединительные элементы из сталей, имеющие необходимую коррозионную стойкость.

Размещение гибких связей зависит от формы и веса панелей, нагрузок и характеристик по прочности и деформациям.

Также в качестве гибких связей применяют стеклопластиковую и базальтопластиковую арматуру с более низкой теплопроводностью, чем у металлической арматуры.

1.2. Экспериментальные исследования ограждающих конструкций

Многочисленные эксперименты многослойных ограждающих стеновых конструкций проводились на их соответствие требованиям действующих норм: по теплопроводности, прочности, жёсткости, трещиностойкости.

В ЦНИИЭПжилища, НИИЖБе, ЦНИИСКе и других организациях были выявлены особенности влияния гибких связей, вида утеплителя и влияния вертикальной нагрузки на совместную работу слоёв, что отразилось в ряде технических документов для строительства [9–12].

В лаборатории «Лёгких бетонов и конструкций» НИИЖБ проводились исследования прочности изгибаемых трёхслойных балок при плоском изгибе [55]. Там же впервые была разработана методика испытания таких конструкций, наиболее полно отражающая условия их работы. Наружные слои были выполнены из керамзитобетона прочностью 20 МПа внутренний из полистиролбетона прочностью 1МПа. Балки длиной 3,3 м и сечением 50х25см армировались стержнями диаметром 6, 8, 12 мм из стали класса А400. Экспериментальные данные испытанных шести балок — по два образца с каждым диаметром арматуры сопоставлены результатам расчёта по прочности в соответствии с действующими нормами проектирования. Расчёт производился с учётом фактических характеристик материалов и достижения арматурой условного предела текучести. Теоретические значения разрушающих нагрузок оказались выше опытных на 5–21 %.

Проведённые исследования показали, что расчёт по прочности трёхслойных элементов необходимо выполнять в зависимости от положения нейтральной линии, согласно общим положениям норм.

В случае если граница сжатой зоны проходит в пределах наружного слоя, то расчёт производится как для прямоугольного сечения при расположении нейтральной линии в теплоизоляционном слое — как для таврового сечения.

Приведение прямоугольного сечения к тавровому выполняется через отношение величин призмной прочности бетонных слоёв.

Ю.В. Чиненковым, Т.А. Кузьмич и В.В. Полетаевым экспериментально исследованы однослойные стеновые панели из керамзитобетона прочностью 1 МПа при углах наклона силовой плоскости. Сначала панели испытывали в рабочем положении, одновременно загружая вертикальной и горизонтальной нагрузками. Затем по образованию трещин панели рассчитывали как упругие по формулам сопротивления материалов с учётом пластических деформаций растянутого бетона согласно рекомендаций Л.И. Сердюка и М.З. Арафата. В первом случае полученные при испытаниях результаты отличались от расчётных до двух раз во втором и третьем соответственно на 3 % и 17,3 %.

Экспериментальные исследования натуральных образцов, результаты которых представлены в [60], выполнялись на стеновых панелях из керамзитобетона марки М50, длиной 6 м., с целью оценки принятого в нормативных документах расчёта по прочности. Испытано пять панелей армированных равномерно по сечению 10 стержнями диаметром 10 мм из стали класса А300 при углах наклона силовой плоскости к вертикали 0, 15, 30, и 90 градусов и 3 панели с аналогичным армированием стержнями диаметром 10, 12 и 14 мм. Панели загружали в четырёх сечениях по длине сосредоточенными вертикальными и горизонтальными силами. Расчет по прочности панелей был реализован методом итерации при наклоне силовой плоскости от 0 до 90 градусов с любым количеством стержней, расположенных по сечению произвольным образом. Расчёт испытанных панелей подтвердил правильность принятого подхода — различие в теоретических и экспериментальных значениях предельных изгибающих моментов при учёте фактических свойств бетона и арматуры было невелико.

1.3. Теоретические исследования ограждающих конструкций

1.3.1. Исследования по образованию трещин трёхслойных панелей

Предлагались различные методики расчёта по образованию трещин железобетонных элементов сплошного сечения при косом изгибе.

Так, например, в НИИЖБ [58] разработана методика расчёта железобетонных элементов прямоугольного сечения при образовании трещин при косом изгибе с использованием предпосылок, как для плоского изгиба. При выводе расчётных формул учтены нормальные растягивающие усилия, в том числе вызванные усадкой бетона, и дискретное расположение арматуры в сечении. Расчёт по образованию трещин выполнялся методом итераций и реализован при углах наклона силовой плоскости к вертикали от 0 до 90 градусов с любым количеством арматурных стержней, расположенных по сечению произвольно. В работе приведены результаты экспериментальных исследований семи балок прямоугольного сечения из керамзитобетона прочностью 7.5 МПа. Армирование осуществлялось стержнями из стали класса А300 диаметром 8 мм. Углы наклона силовой плоскости изменялись в широком диапазоне. Теоретические значения величины нагрузок при образовании трещин и полученные при испытаниях отличались до 3,3 %.

В.А. Никишкиным в Уральском ПромстройНИИпроекте была разработана методика расчёта по прочности нормальных сечений трёхслойных стеновых панелей при косом изгибе. Для построения данной методики расчёта использовались следующие предпосылки:

- принимались полные диаграммы «напряжение — деформация» для бетона и арматуры;
- учёт коэффициентов, полученных экспериментально;
- за разрушающую нагрузку принята нагрузка при достижении точки экстремума на диаграмме деформаций бетона. Предлагаемый метод расчёта учитывает различие прочностей бетонов слоёв и напряжений в стержнях арматуры по сечению. В этой же работе приведены результаты экспериментальных исследований двух моделей стеновых панелей и пяти натуральных образцов трёхслойных панелей с наружными слоями из керамзитобетона. Опытные образцы армировали стержнями из стали класса А400 диаметром 6, 10, 12 и 14 мм и изготавливали на стенде методом безопалубочного формования. По данным автора, результаты расчёта по предлагаемой методике отличаются до 33 % от полученных при испытаниях.

Экспериментально-теоретические исследования по образованию трещин в многослойных элементах при совместном действии горизонтальной и вертикальной нагрузок представлены в работе [34]. Они основаны на методике расчёта по образованию трещин изгибаемых трёхслойных элементов, разработанной в НИИЖБ.

Величина сжимающих напряжений в теплоизоляционном бетоне определяется произведением напряжений в бетоне наружных слоёв на величину отношения начальных модулей упругости.

Величина напряжений в растянутой зоне принята для бетона каждого слоя равной величине его прочности на растяжение.

Теоретическая величина момента образования трещин определена из условия равновесия внешних и внутренних усилий, воспринимаемых сечением, включая усилия от усадки бетона. Для оценки предлагаемой методики было испытано шесть балок трёхслойного сечения из керамзитобетона прочностью В20 с внутренним слоем из полистиролбетона прочностью 1МПа.

Установлено, что отличие экспериментальных значений моментов при образовании трещин от теоретически найденных по предлагаемой методике составило 2–2,7 %.

Как показал анализ, трёхслойные панели с монолитным средним слоем из полистиролбетона требуют меньших трудозатрат на стадии изготовления и меньшего расхода стали, а также отказа от защиты связей от коррозии, а эффективных утеплителей — от увлажнения и возгорания.

1.3.2. Обзор исследований по деформациям

Процессы деформирования многослойных элементов при совместном действии вертикальной и горизонтальной нагрузки исследованы сегодня недостаточно.

Ниже рассматриваются особенности методик и результаты экспериментальных исследований, проведённых различными авторами.

Традиционно расчёты изгибаемых элементов по деформациям выполняются от нормативных нагрузок и при нормативных характеристиках материалов по правилам строительной механики.

Расчёт по деформациям железобетонных элементов многослойного сечения приводится в работах [34, 48]. Основные предпосылки расчёта сводятся к следующим:

- бетон сжатой зоны рассматривается как упругопластический материал;
- учитывается работа растянутого бетона на участке с трещинами;
- эпюра напряжений в сжатой зоне прямоугольная, на участках с трещинами в растянутой зоне кривизна определяется как отношение суммы средних деформаций крайнего волокна сжатого бетона и предельной растянутой арматуры к рабочей высоте сечения.

В лаборатории «Легких бетонов и конструкций» в НИИЖБ была предложена методика расчёта по деформациям трёхслойных элементов при плоском изгибе.

Экспериментальные данные, полученные в результате испытаний трёхслойных балок со средним слоем из полистиролбетона, свидетельствуют о том, что прогибы трёхслойных элементов допускается определять по [3]. При этом трёхслойное сечение приводится к двутавровому через отношение начальных модулей упругости бетонных слоёв различной прочности. Равнодействующая растягивающих усилий принимается равной произведению площади растянутой арматуры на напряжение в её физическом центре тяжести. Положение нейтральной линии характеризуется коэффициентами, полученными в результате решения системы уравнений равновесия с учётом гипотезы плоских сечений. Для большинства испытанных балок расчётная прогибов отличалась от замеренных при экспериментальных исследованиях до ± 7 %.

О.Ф. Ильиным был предложен расчёт по деформациям при косом изгибе железобетонных элементов произвольной формы поперечного сечения. Бетон рассматривается как упругопластический материал. Упругопластические свойства бетона при растяжении и сжатии оцениваются коэффициентами и полной эпюры напряжений. Учитывается работа растянутого бетона в сечении с трещиной, а эпюры напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона приняты криволинейными. В предлагаемой методике не учитывалась работа растянутого бетона между трещинами, что немаловажно для малоармированных элементов. В расчётной модели используются усреднённые по длине элемента значения сжатой зоны и деформации наиболее сжатого волокна бетона.

Напряжённо-деформированное состояние элемента в эксплуатационной стадии характеризуется полнотой эпюры напряжений, положением равнодействующих сжимающих и растягивающих усилий, краевыми деформациями бетона. Полнота эпюры и координаты точек равнодействующих усилий определяются по линейной интерполяции между двумя их граничными значениями.

Решения системы уравнений равновесия осуществляются от формы поперечного сечения элемента с использованием диаграммы «напряжение — деформация» бетона.

Ю.В. Чиненковым, Т.А. Кузьмич и В.В. Полетаевым [60] экспериментально исследованы однослойные стеновые панели из керамзитобетона. По деформациям панели рассчитывали отдельно в каждой плоскости на действие только горизонтальной или вертикальной нагрузки. Кривизна стеновых панелей определялась по формулам строительных норм и правил. При этом изгибающий момент при образовании трещин в плоскости перемещения находился как при косом изгибе. Было выявлено, что после образования трещин перемещения в панелях, действующие по направлению нагрузок, несколько превышали опытные.

Ю.В. Чиненковым и И.В. Строцким предложена методика расчёта по деформациям железобетонных элементов прямоугольного сечения на основе алгоритма расчёта, позволяющего определять кривизну элемента при любых углах наклона силовой плоскости. Экспериментально предложенная методика расчёта была подтверждена исследованиями семи балок из керамзитобетона и на панелях ленточной разрезки. Для балочных образцов, испытанных на косою изгиб, теоретические величины перемещений соответствуют опытным, отличаясь от них на 5,3–11,5 % при нагрузках 0,6 от разрушающей. При расчёте фактического угла наклона нейтральной линии разница между теоретическим и опытным перемещениями составляла 2,3–6,5 %. Оценка входящих в расчёт коэффициентов, а также угла наклона нейтральной линии, свидетельствует о правильности принятых предположений расчёта при разработке методики.

О.Ф. Ильиным, Ю.П. Гущей и В.Г. Цай в НИИЖБ предложен общий случай расчёта деформаций в рамках методики строительных норм и правил. Распределения напряжений по высоте сжатой зоны было принято линейным. Напряжение в любой точке зоны выражено через краевое напряжение, а деформации в стержнях арматуры - через краевые деформации бетона. Кривизна элементов вычислялась по средним краевым деформациям в бетоне и арматуре при сохранении нормативных коэффициентов. Предлагаемый приём расчёта предназначен для любых форм поперечного сечения и схем армирования. Сравнение результатов расчёта по рассматриваемой методике и норм проектирования даёт во всех случаях отклонение, не превышающее ± 3 %.

В ЦИИПромздании был разработан метод расчёта по деформациям железобетонных элементов при различных силовых воздействиях. Расчётная модель была построена для случая треугольной эпюры напряжений в сжатой зоне. При этом в растянутой зоне эпюра напряжений в сечениях без трещины и над трещиной принята прямоугольной, а напряжения — равными прочности бетона на растяжение. Было предложено два варианта решения. Первый сводился к решению уравнений равновесия внешних и внутренних усилий в сечение с трещиной. Коэффициенты неравномерности деформаций растянутой арматуры и наиболее сжатого волокна бетона были приняты постоянными и равными, соответственно 0,8 и 0,9. С помощью этих коэффициентов осуществлялся переход к средней деформации. Во втором варианте момент, воспринимаемый растянутым бетоном, принимался равным полусумме моментов в сечение с трещиной и в сечение между трещиной. Следует отметить, что принятие допущений, отличающихся от норм проектирования, подтверждено экспериментальными данными.

К.И. Вилковым в Горьковском ИСИ проведены экспериментальные исследования железобетонных балок из конструкционного керамзитобетона. Расчет по деформациям выполнялся в зависимости от нагрузок, действующих в вертикальном и горизонтальном направлениях. Прогиб определялся геометрическим сложением найденных вертикальных и горизонтальных перемещений. Сопоставление результатов расчёта и проведённых экспериментальных исследований выявило превышение теоретических прогибов над опытными. К.И. Вилков экспериментально подтвердил приемлемость такого подхода для определения кривизны и прогибов кососжимаемых элементов (разброс результатов расчёта и опыта не превышал ± 5 %). Однако следует отметить, что правильность определения теоретических перемещений отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях вызывает сомнения, поскольку доказана справедливость применения за-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru