

Раздел 5. Организация процесса проектирования и экспертизы проектных решений по разделу КЖ (АС) проекта

Тема и содержание занятий:

Этапы и стадии проектирования промышленных и гражданских зданий. Разновидности проектных организаций. Состав и содержание проектной документации, в том числе содержание раздела КЖ (АС). Требования к оформлению проектной документации.

Предпроектный этап проектирования: принятие предпроектных организационных и технических решений. Техническое задание на проектирование.

Составление графика разработки проектной документации и контроль за его исполнением.

Выбор архитектурно-строительных и конструктивных решений для проектируемого объекта (проекты повторного применения, индивидуальные проекты) в том числе решений, обеспечивающих формирование безбарьерной среды для инвалидов и других маломобильных групп населения. Оценка технико-экономических показателей проектного решения.

Экспертиза, согласование и утверждение проекта. Авторский надзор.

Виды экспертиз. Цель и основное содержание экспертиз. Субъекты проведения экспертиз и порядок их выбора. Объекты экспертизы. Нормативные документы, регламентирующие проведение экспертизы.

Особенности и порядок проведения экспертизы проектной документации, в том числе экспертизы проектной документации массового (повторного) применения.

Подбор нормативных документов, связанных с разработкой проектной документации конкретного объекта строительства. Система критериев для оценки проектной документации, представленной к экспертизе (перечень вопросов, которые должны быть рассмотрены в ходе экспертизы). Содержание и форма проекта заключения по результатам экспертизы проектной документации.

Вузовская программа дисциплины «Проектирование железобетонных конструкций» предусматривает изучение студентом магистратуры вопросов, связанных с организацией проектирования и разработкой проектных решений в сфере промышленного и гражданского строительства.

5.1. Этапы и стадии проектирования промышленных и гражданских зданий. Разновидности проектных организаций

Проектирование - первый этап в осуществлении строительства. Основной целью проектирования является разработка комплекта технической документации по строительству зданий.

От качества проекта зависят технико-экономические показатели (ТЭП) строительства и эксплуатационные показатели будущего объекта. Проект – это комплекс графических и текстовых материалов, содержащих архитектурно-планировочные и конструктивные решения; решения по технологии и оборудованию будущего предприятия или здания; ТЭП; расчеты; обоснования; сметы.

Разработка проектной документации для строительства осуществляется на основе утвержденных обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий, то есть - при наличии финансирования строительства.

На начальном этапе разработки проектной документации подготавливается технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта, то есть уточняются основные ТЭП строительства, подтверждающие правильность и достаточность выделения инвестиций. На основании утвержденного ТЭО проекта разрабатывается рабочая документация.

Можно выделить 2 этапа проектирования:

1. Предпроектный этап:

- а) организационно-техническая подготовка;
- б) инженерные изыскания.

2. Проектный этап, осуществляемый в одну или две стадии.

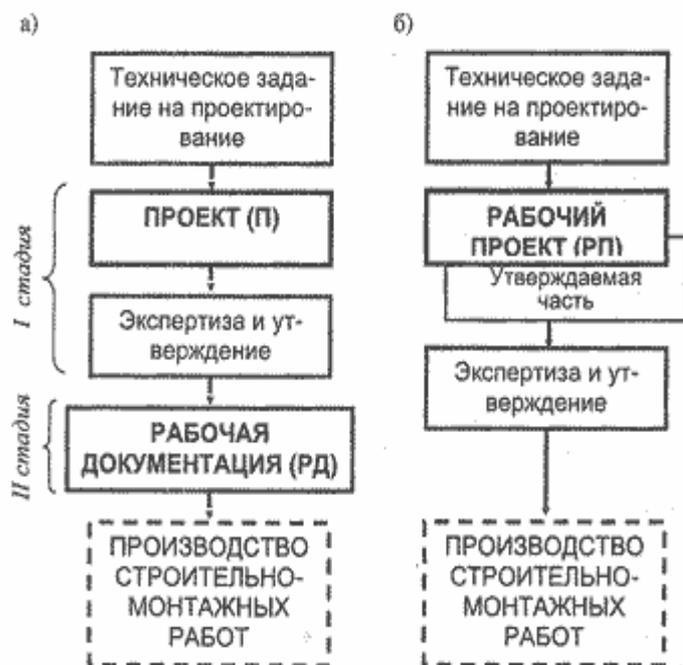


Рис. 5.1. Стадии проектирования

Сущность **двухстадийного проектирования** в том, что необходимая для строительства документация составляется не сразу, а поэтапно: на первом

этапе («I стадия») принимаются решения по общим принципиальным вопросам, затем такие решения всесторонне оцениваются, корректируются, проект утверждается, и только после устранения всех выявленных недостатков составляется подробная рабочая документация для строительства. Преимущество такой системы состоит в сведении к минимуму затрат по переработке проектной документации в случае неудачных общих решений.

Сущность *одностадийного проектирования* в том, что проектная документация подготавливается сразу же в полном объеме и содержит решения всех общих и частных вопросов. Это удобно при небольших объемах проектных работ.

На стадии «Проект» двухстадийного проектирования принимаются без детализации основные архитектурно-планировочные и конструктивные решения (в том числе по генеральному плану), решения по инженерному оборудованию, сетям. Для промышленных предприятий выбираются принципиальные схемы технологических процессов, решаются общие вопросы управления, охраны труда. Выполняются сводные сметные расчеты, решаются вопросы организации строительства. Обязательным элементом проекта является экологический раздел.

Вся эта документация (в том числе результаты инженерных изысканий) выполненная на предпроектном этапе, направляется на экспертизу, которая дает свои замечания и общую оценку проекта. После устранения проектировщиком выявленных недостатков проект рассматривается и утверждается (или отклоняется) органами местной исполнительной власти или другой утверждающей инстанцией. Порядок утверждения зависит от источника финансирования. Если строительство ведется за счет бюджетных средств, утверждающая инстанция - государственный орган. Если оно финансируется конкретным предприятием, фондом или физическим лицом утверждающая инстанция - сам заказчик или инвестор.

После утверждения «Проекта» проводится вторая стадия проектирования «рабочая документация». На этой стадии уточняются и детализируются

решения, принятые на стадии «Проект», составляются рабочие чертежи, локальные сметы и прочая документация, необходимая для производства строительно-монтажных работ. Для выполнения этой стадии проектирования заказываются и выполняются подробные инженерные изыскания. Они должны содержать полную информацию для решения всех частных вопросов и составления рабочих чертежей, не требующих последующей корректировки.

То есть, при двухстадийном проектировании разрабатывается: а) проект (П); б) рабочая документация (РД).

1 стадия (П) включает в себя:

- согласование проектных решений;
- разработку проекта;
- рассмотрение проекта на совете проектной организации;
- оформление проекта;
- экспертизу проекта;
- утверждение проекта.

2 стадия (РД) включает в себя:

- составление рабочих чертежей;
- составление рабочих смет;
- согласование рабочих чертежей и рабочих смет с заказчиком;
- оформление рабочих чертежей и смет;
- передачу заказчику проектно-сметной документации.

Документация стадии РД экспертизе и утверждению не подлежит.

«Рабочая документация» — это те чертежи и текстовый материал, который используется непосредственно на стройке (документация стадии «Проект», как правило, строителям не передается).

При одностадийном проектировании разрабатывается только рабочая документация, называемая «Рабочий проект» (РП), она также должна подвергаться экспертизе и утверждению. *При этом утверждается и подвергается экспертизе не вся документация, а только ее часть (так называемая «утверждаемая часть рабочего проекта»).*

В утверждаемой части проекта рассчитываются технико-экономические показатели и архитектурно-строительные характеристики объекта. В описании проекта должно быть указано, что он соответствует государственным стандартам и нормативам. Это необходимо для дальнейшего прохождения утверждаемой частью регламента в органах государственного надзора на будущее строительство.

Основным методом проектирования в Российской Федерации является двухстадийное проектирование. Одностадийное проектирование применяется лишь для простых объектов или для привязки проектов массового или повторного применения.

В дореформенный период в 50...80-е годы 20 века строительство в нашей стране велось преимущественно по типовым проектам. *Типовой проект* — это проект, обладающий высокими технико-экономическими показателями, принятый в качестве образца для массового применения и утвержденный правительственным органом. Принятию проекта в качестве типового предшествовали обязательные три этапа: научное обоснование; экспериментальное проектирование; экспериментальное строительство.

В настоящее время типовые проекты утратили свою законодательную силу, но многократное применение одного и того же проекта довольно широко практикуется и в настоящее время. Делается это на свободных условиях, т.е. могут использоваться проекты, не утвержденные правительственными органами, а также старые типовые проекты. Такие проекты теперь именуется **«проектами массового применения»**.

Другим случаем применения ранее подготовленных проектов было использование проектов **повторного применения**. Таким проектом мог быть любой проект, обладающий желаемыми технико-экономическими показателями, т.е. утверждения в правительственных органах не требовалось. В настоящее время такие проекты полностью сохранили свое значение и применяются очень широко. Упомянувшиеся выше «проекты массового применения» с правовой точки зрения относятся к этому же виду проектов.

Проекты повторного (массового) применения требуют привязки к местным условиям. Привязка производится всегда в одну стадию.

Индивидуальный проект — это проект, который не повторяет уже готовых решений, а имеет собственные решения архитектурных и конструктивных задач. В период планового хозяйства такие проекты разрабатывались лишь в особых случаях с разрешения Госстроя СССР, в настоящее время, напротив, — это основной вид проектной документации. При этом СНиП 11-01-95 (СП 11-101-2003) требует разработки проектной документации преимущественно на конкурсной основе.

Несмотря на различие характера работы по привязке проектов повторного (массового) применения и составления индивидуальных проектов, инженерные изыскания во всех случаях выполняются одинаково. Это связано с тем, что задачи, относящиеся к размещению здания на генплане, к проектированию оснований и фундаментов, к защите от опасных природных факторов, не зависят от того, каким способом разработан проект. В частности, как бы ни были сходны здания, фундаменты у них все равно на каждой площадке будут различными.

Разновидности проектных организаций

Подготовку проектной документации могут осуществлять застройщик либо привлекаемое на основании договора физическое или юридическое лицо. Такими юридическими или физическими лицами являются территориальные, отраслевые и специализированные проектно-изыскательские организации, а также отдельные специалисты, имеющие соответствующие лицензии.

Проектные организации, как правило, специализируются на проектировании объектов конкретной отрасли строительства - промышленного, гидротехнического, мелиоративного, гражданского, сельскохозяйственного, транспортного и т.д., что обычно отражается в их названиях (Промстройпроект, Гидропроект, ГИПРОводхоз и т.п.). Различие между организациями разных

отраслей обычно состоят в соответствующей специализации их отделов и кадровом составе, организационная же их структура, как правило, мало зависит от отраслевой направленности.

Территориальные институты занимаются вопросами размещения промышленных предприятий и объединения их в промышленные узлы. *Отраслевые институты* ведут технологическое проектирование. *Специализированные институты* разрабатывают строительную часть объектов определенного назначения.

По организационно-правовому статусу мелкие проектные организации чаще всего бывают обществами с ограниченной ответственностью (ООО), средние и крупные - акционерными обществами (ЗАО, ОАО) или унитарными предприятиями (ГУП, МУП).

Проектирование объектов промышленного строительства осуществляют проектные организации:

- комплексные специализируются на комплексном проектировании технологии производственных процессов;
- технологические специализируются на проектировании технологии производственных процессов предприятий в определенных отраслях.
- строительные специализируются на проектировании строительной части определенных видов зданий.

Состав и содержание проектной документации

Состав и содержание проектной документации, форма ее представления, правила составления чертежей регламентируются специальными нормативными документами. В общем виде состав и содержание разделов проектной документации регламентируются Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Проект на строительство зданий, предприятий производственного назначения состоит из следующих разделов:

- общая пояснительная записка с исходными данными для архитектурно-строительного проектирования, с результатами инженерных изысканий, техническими условиями;
- схема планировочной организации земельного участка (генеральный план и транспорт);
- технологические решения;
- организация и условия труда работников;
- управление производством и предприятием;
- архитектурно-строительные решения;
- сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения;
- проект организации строительства;
- проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства (при необходимости);
- перечень мероприятий по охране окружающей среды;
- перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;
- инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- сметная документация;
- заключение об эффективности инвестиций.

Проект на строительство объектов жилищно-гражданского назначения состоит из следующих разделов:

- общая пояснительная записка;
- архитектурно-строительные решения;
- технологические решения;
- решения по инженерному оборудованию;
- перечень мероприятий по охране окружающей среды;
- инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- организация строительства (при необходимости);

- сметная документация;
- заключение об эффективности инвестиций (при необходимости).

Состав документации, разработанной на стадии «проект», должен содержать: сводные сметные расчеты стоимости строительства и, при необходимости, сводку затрат; объектные и локальные сметные расчеты; сметные расчеты на отдельные виды затрат (в том числе на проектные и изыскательские работы).

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» раздел 4 "Конструктивные и объемно-планировочные решения" должен содержать:

в текстовой части

- сведения о топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических, метеорологических и климатических условиях земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства;
- сведения об особых природных климатических условиях территории, на которой располагается земельный участок, предоставленный для размещения объекта капитального строительства;
- сведения о прочностных и деформационных характеристиках грунта в основании объекта капитального строительства;
- уровень грунтовых вод, их химический состав, агрессивность грунтовых вод и грунта по отношению к материалам, используемым при строительстве подземной части объекта капитального строительства;
- описание и обоснование конструктивных решений зданий и сооружений, включая их пространственные схемы, принятые при выполнении расчетов строительных конструкций;
- описание и обоснование технических решений, обеспечивающих необходимую прочность, устойчивость, пространственную неизменяемость зданий и сооружений объекта капитального строительства в целом, а

также их отдельных конструктивных элементов, узлов, деталей в процессе изготовления, перевозки, строительства и эксплуатации объекта капитального строительства;

- описание конструктивных и технических решений подземной части объекта капитального строительства;
- описание и обоснование принятых объемно-планировочных решений зданий и сооружений объекта капитального строительства;
- обоснование номенклатуры, компоновки и площадей основных производственных, экспериментальных, сборочных, ремонтных и иных цехов, а также лабораторий, складских и административно-бытовых помещений, иных помещений вспомогательного и обслуживающего назначения - для объектов производственного назначения;
- обоснование номенклатуры, компоновки и площадей помещений основного, вспомогательного, обслуживающего назначения и технического назначения - для объектов непромышленного назначения;
- обоснование проектных решений и мероприятий, обеспечивающих:
 - соблюдение требуемых теплозащитных характеристик ограждающих конструкций;
 - снижение шума и вибраций;
 - гидроизоляцию и пароизоляцию помещений;
 - снижение загазованности помещений;
 - удаление избытков тепла;
 - соблюдение безопасного уровня электромагнитных и иных излучений, соблюдение санитарно-гигиенических условий;
 - пожарную безопасность;
 - соответствие зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования

оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

- характеристику и обоснование конструкций полов, кровли, подвесных потолков, перегородок, а также отделки помещений;
- перечень мероприятий по защите строительных конструкций и фундаментов от разрушения;
- описание инженерных решений и сооружений, обеспечивающих защиту территории объекта капитального строительства, отдельных зданий и сооружений объекта капитального строительства, а также персонала (жителей) от опасных природных и техногенных процессов;
- перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к конструктивным решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений и сооружений;

в графической части

- поэтажные планы зданий и сооружений с указанием размеров и экспликации помещений;
- чертежи характерных разрезов зданий и сооружений с изображением несущих и ограждающих конструкций, указанием относительных высотных отметок уровней конструкций, полов, низа балок, ферм, покрытий с описанием конструкций кровель и других элементов конструкций;
- чертежи фрагментов планов и разрезов, требующих детального изображения;
- схемы каркасов и узлов строительных конструкций;
- планы перекрытий, покрытий, кровли;
- схемы расположения ограждающих конструкций и перегородок;
- план и сечения фундаментов.

Содержание и состав разрабатываемой *рабочей документации* зависят от требований заказчика (застройщика), которые, в свою очередь, зависят от

степени детализации тех решений, которые содержатся в проектной документации, и включены в задание на проектирование.

В состав разрабатываемой рабочей документации при проектировании и строительстве зданий и сооружений в общем случае включаются: рабочие чертежи, предназначенные для выполнения строительно-монтажных работ; документация на строительные изделия; эскизные чертежи нетиповых изделий, которые выполняются по необходимости; спецификации оборудования, материалов и изделий; объектные и локальные сметы.

При двухстадийном проектировании *в состав утверждаемой части проекта* строительных объектов входят следующие виды документов:

- исходные материалы, включающие исходно-разрешительную документацию и задание на проектирование;
- пояснительная записка ко всем разделам утверждаемой части;
- основные чертежи, к которым относятся генеральный план, ситуационный план, план организации рельефа, компоновочная схема здания, план типового и первого этажа, план озеленения и благоустройства территории, план инженерных систем в топографическом виде, включая подземные коммуникации, сводная ведомость помещений (квартир) по общей площади и набору, строительный генеральный план и рабочий чертеж фундамента (нулевых циклов);
- санитарно-гигиенические требования и охрана окружающей среды;
- основные решения в части обеспечения условий нормальной жизнедеятельности маломобильных групп населения и инвалидов (необходимо только для много жилого многоквартирного здания);
- энергетический паспорт типового рабочего проекта;
- инженерно-технические решения в части гражданской обороны, а также перечень мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- при необходимости – технологические и энергосберегающие решения;

- сводная смета стоимости строительного объекта.

Помимо того, утверждаемая часть рабочего проекта в обязательном порядке должна включать отдельный раздел, который включает подробное описание проекта по технико-экономическим показателям. В состав этого раздела входят следующие материалы и данные: общая площадь застройки; площадь земельного участка (при возведении коттеджа или частного дома); общая и жилая площадь строительного объекта; этажность; общая высота строительного объекта; площадь каждого летнего помещения, если таковые предусматриваются утверждаемой частью; общий строительный объем объекта, в том числе, ниже отметки «ноль» (пол первого этажа при финальной отделке) и выше отметки «ноль»; удельная тепловая мощность отопления.

Последние десятилетия в отечественной практике проектирования ощущается тенденция расширения круга вопросов, охватываемых проектом. В 50...60-е годы 20 века проектировщики часто ограничивались рассмотрением лишь главных вопросов - генерального плана, технологической, архитектурно-строительной частей и инженерного оборудования. Подробные сметы зачастую не составлялись, и оплата строительно-монтажных работ в таких случаях шла по фактическим объемам. В конце 60-х годов 20 века сметы стали обязательным элементом работ, а несколько позже обязательным стал проект организации строительства, без которого не открывалось финансирование. В настоящее время, кроме названных разделов, обязательным для всех проектов является экологический раздел; добавились разделы по организации системы управления, обеспечению условий труда и на будущем промышленном предприятии, разделы, посвященные мероприятиям по гражданской обороне и предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также раздел по уточнению эффективности инвестиций.

Естественно, что для различных объектов строительства проектная документация имеет свои особенности. Некоторые разделы проекта могут быть существенно расширены, другие, напротив, сокращены или могут отсутствовать полностью. Для любых объектов строительства пояснительная записка

должна охватывать все части проекта. Она характеризует природные и хозяйственные условия, рассмотренные и принятые варианты технических решений, конструктивные решения, сводные данные по объемам работ, потребным ресурсам и организации строительства, требуемые инвестиции и технико-экономические показатели. Но для небольших объектов отдельные разделы можно объединять.

5.2. Рассмотрим более подробно состав и содержание проектной документации раздела КЖ (АС). Требования к оформлению проектной документации

В п. 4.8 межгосударственного стандарта ГОСТ 21.501-2018 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений» приведен состав рабочих чертежей строительных конструкций. Такие чертежи должны включать в себя:

1 Архитектурные решения:

1.1 Планы этажей (кроме технических), разрезы, фасады

1.2 Планы кровли, полов, технических этажей

1.3 Фрагменты планов, фасадов

1.4 Узлы

2 Конструктивные решения:

2.1 Схемы расположения элементов конструкций

2.2 Фрагменты и сечения к схемам расположения элементов конструкций

2.3 Узлы к схемам расположения элементов конструкций

2.4 Виды, разрезы и сечения элементов бетонных и железобетонных конструкций, схемы армирования

2.5 Узлы конструкций

3 Чертежи изделий

В соответствии с п.6 межгосударственного стандарта ГОСТ 21.501-2018 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения

рабочей документации архитектурных и конструктивных решений» в состав рабочей документации конструктивных решений должны входить: рабочие чертежи, предназначенные для производства строительно-монтажных работ (основной комплект рабочих чертежей конструктивных решений); рабочая документация на строительные изделия; локальная смета (при необходимости).

Марки и наименования основных комплектов рабочих чертежей конструктивных решений присваивают в зависимости от вида строительных конструкций.

В состав основного комплекта рабочих чертежей конструктивных решений включают: общие данные по рабочим чертежам; схемы расположения элементов конструкций; спецификации к схемам расположения элементов конструкций.

В состав рабочих чертежей монолитных железобетонных конструкций дополнительно включают: схемы армирования монолитных железобетонных конструкций; ведомость расхода стали на монолитные конструкции.

В межгосударственном стандарте ГОСТ 21.501-2018 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений» и в действующем на территории Российской Федерации национальном стандарте ГОСТ Р 21.1101-2013 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации» подробно изложены требования к оформлению проектной и рабочей документации. Они в общем виде состоят в следующем.

Схемы расположения строительных конструкций выполняют в виде планов, фасадов или разрезов соответствующих конструкций с упрощенным изображением элементов.

Эти схемы выполняют для каждой группы элементов конструкций, связанных условиями и последовательностью производства строительных работ. На схеме расположения элементов конструкций указывают в виде условных

или упрощенных графических изображений элементы конструкций и связи между ними.

На схеме расположения конструкций наносят:

- координационные оси здания (сооружения), размеры, определяющие расстояния между ними и между крайними осями, размерную привязку осей или поверхностей элементов конструкций к координационным осям здания (сооружения) или, в необходимых случаях, к другим элементам конструкций, другие необходимые размеры;
- отметки наиболее характерных уровней элементов конструкций;
- позиции (марки) элементов конструкций;
- обозначения узлов и фрагментов;
- данные о допустимых монтажных нагрузках.

На разрезах фундамента или свайного основания здания или сооружения наносят линии геологических разрезов, разграничивающие слои грунта с различными геологическими характеристиками.

Схему расположения панелей стен при многоярусном расположении панелей в пределах этажа выполняют в плоскости стен на виде, при однорядном расположении - в плане. В наименовании схемы расположения, при необходимости, приводят сведения, определяющие положение конструкции в здании (сооружении). В технических требованиях к схеме расположения приводят, при необходимости, указания о порядке монтажа, замоноличивания швов, требования к монтажным соединениям.

Если монолитная железобетонная конструкция состоит из нескольких элементов (балок, плит и др.), на каждый из которых выполняют отдельные схемы армирования, то этим элементам присваивают позиционные обозначения или марки, которые указывают на схеме расположения элементов монолитной железобетонной конструкции.

На схеме расположения дополнительно указывают опалубочные размеры элементов конструкции (толщину плиты, высоту ригеля, сечение балки, колонны и т.п.).

На схемах армирования монолитных железобетонных конструкций наносят:

- контуры конструкций - сплошной толстой основной линией;
- координационные оси здания (сооружения);
- арматурные и закладные изделия - очень толстой сплошной линией (в 1,5-2 раза толще сплошной толстой основной линии);
- позиции (марки) арматурных и закладных изделий;
- размеры, определяющие положение арматурных и закладных изделий, и толщину защитного слоя бетона;
- фиксаторы для обеспечения проектного положения арматуры (при необходимости);
- указания о способе соединения арматурных стержней.

На схемах армирования применяют, при необходимости, упрощения:

- а) каркасы и сетки изображают контуром;
- б) для обеспечения правильной установки в проектное положение несимметричных каркасов и сеток указывают только их характерные особенности (диаметр отличающихся по диаметрам стержней и др.);
- в) если железобетонная конструкция имеет несколько участков с равномерно расположенными одинаковыми каркасами или сетками, то их контуры наносят на одном из участков, указывая номера позиций и в скобках - количество изделий этой позиции. На остальных участках проставляют только позиции и в скобках - количество изделий этой позиции;
- г) на участках с отдельными стержнями, расположенными на равных расстояниях, изображают один стержень с указанием на полке-линии выноски его позиции, а под полкой линии-выноски - шаг стержней;
- д) при изображении каркаса или сетки одинаковые стержни, расположенные на равных расстояниях, наносят только по концам каркаса или сетки, а также в местах изменения шага стержней. При этом под полкой линии-выноски с обозначением позиции стержня указывают их шаг;

е) арматуру элементов, пересекающих изображаемый элемент, как правило, не указывают;

ж) в сложной схеме армирования допускается указывать позиции у обоих концов одного и того же арматурного изделия или отдельного стержня;

и) размеры гнутых стержней указывают по наружным, а хомутов - по внутренним граням;

Рабочие чертежи арматурных и закладных изделий, разработанные для монолитных железобетонных конструкций в качестве самостоятельных документов, в состав основного комплекта рабочих чертежей не включают, а записывают в разделе «Прилагаемые документы» ведомости ссылочных и прилагаемых документов.

Допускается не выполнять чертежи на простые детали, непосредственно входящие в состав монолитной железобетонной конструкции, а все необходимые данные для их изготовления приводить в спецификации и, при необходимости, помещать изображения этих деталей на чертеже монолитной конструкции. При большом количестве деталей данные, необходимые для их изготовления, приводят в ведомости.

Спецификации к схемам расположения элементов конструкций

Спецификации к схемам расположения элементов конструкций составляют по формам, установленным ГОСТ 21.101.2020 Спецификацию к схеме расположения сборных конструкций заполняют по разделам: элементы сборных конструкций; монолитные участки; стальные и другие изделия.

Спецификацию монолитной конструкции, состоящей из нескольких элементов, на каждый из которых выполняют отдельную схему армирования, составляют по разделам на каждый элемент.

Рабочая документация на строительные изделия

В состав рабочей документации на строительное изделие в общем случае включают спецификацию, сборочный чертеж, чертежи деталей и, при необходимости, технические условия. Рабочие чертежи строительных изделий (далее

- изделия) выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.113 и с учетом дополнительных требований настоящего стандарта.

Спецификации на изделия выполняют по формам 7, 8 ГОСТ 21.101.2020

В составе рабочих чертежей железобетонных конструкций допускается выполнять рабочие чертежи следующих металлических изделий: наружные металлические лестницы шириной не более 1,0 м; косоуры лестниц с железобетонными ступенями и площадками; ограждение: на кровле, площадок, проемов, прямков, лестниц (железобетонных, металлических); щиты над каналами шириной до 1,0 м с нагрузкой не более 20 кПа (2000 кгс/м²); щиты над проемами (например, монолитными) площадью до 2 м² с нагрузкой не более 20 кПа (2000 кгс/м²); конструкции козырьков выносом не более 1,5 м; металлические элементы железобетонных конструкций (например, отдельные металлические балки, соединительные изделия, анкеры, выпуски между железобетонными плитами, металлическая гидроизоляция стен, профилированный настил, используемый в качестве опалубки); другие металлические изделия, конструкции, параметры которых аналогичны перечисленным выше.

Применение рабочих чертежей типовых изделий

Если по условиям применения рабочих чертежей типового изделия в них необходимо внести изменения (например, предусмотреть установку дополнительных закладных изделий, устройство отверстий), то в составе рабочей документации здания (сооружения) на это изделие должна быть выполнена дополнительная рабочая документация с учетом следующих требований:

- типовое изделие изображают упрощенно;
- на изображении типового изделия указывают только те элементы и размеры, которые относятся к изменениям. При необходимости наносят другие размеры (например, общую длину и ширину изделия), приведенные в рабочих чертежах типового изделия, которые отмечают знаком «*», а в технических требованиях на чертеже указывают: «* Размеры для справок»;

- в спецификацию измененного изделия записывают типовое изделие как сборочную единицу и другие изделия, устанавливаемые при изменении;

- графы «Поз.» и «Кол.» для типового изделия не заполняют, в графе «Обозначение» указывают обозначение спецификации на типовое изделие, в графе «Наименование» - его наименование и марку.

Измененному изделию присваивают самостоятельную марку, включающую марку типового изделия и дополнительный индекс.

5.3. Предпроектный этап проектирования: принятие предпроектных организационных и технических решений

Предпроектный этап проектирования можно условно разделить на две части: организационно-техническая подготовка и инженерные изыскания.

На этапе организационно-технической подготовки выполняется:

- назначение главного инженера и главного архитектора проекта;
- комплектование новых проектных групп или же формулирование заданий существующим группам;
- выезд на участок строительства;
- сбор исходных данных и изучение архивных материалов;
- разработка ТЭО на проектирование;
- разработка и утверждение задания на проектирование;
- выдача заданий на инженерные изыскания;
- выдача задания на разработку частей проекта;
- оформление отвода участка для строительства.

Вторая составляющая предпроектного этапа – инженерные изыскания – в свою очередь делятся на изыскания экономические и изыскания технические.

Предпроектное решение о ***назначении главного инженера и главного архитектора проекта*** является организационным решением, влияющим на весь процесс и результат проектирования.

Главный архитектор (главный инженер) проекта назначается (и освобождается) приказом руководителя проектной фирмы для организации разработки проектно-сметной документации и технического руководства проектно-исследовательскими работами на протяжении всего периода проектирования, строительства, ввода в действие объекта и освоения проектных мощностей.

При проектировании объектов промышленности, транспорта, энергетики, связи, сельскохозяйственного и водохозяйственного строительства назначается главный инженер проекта, при проектировании же объектов жилищно-гражданского строительства, планировки и застройки городов, поселков и сельских населенных пунктов - главный архитектор проекта.

При проектировании крупных и сложных объектов или объектов предприятий и сооружений, имеющих большое значение для архитектурного облика города, допускается назначение главного архитектора проекта и главного инженера проекта. При этом ведущая роль возлагается на одного из них. Главный архитектор (главный инженер) проекта назначается из числа наиболее квалифицированных специалистов по крупным и сложным объектам - министерствами и ведомствами, по другим объектам - руководителями проектных организаций.

Главный архитектор (главный инженер) проекта является организатором разработки проекта, техническим и творческим руководителем проектных работ на протяжении всего периода проектирования, выпуска проектно-сметной документации (впредь именуемой научно-технической документацией на всех стадиях проектирования), авторского надзора за строительством объекта и ввода его в эксплуатацию.

Главный архитектор (главный инженер) проектов несет установленную законами Российской Федерации ответственность:

- За градостроительную, архитектурно-планировочную, техническую и экономическую целесообразность и высокое качество проекта в целом, высокий технико-экономический уровень и технико-экономические показатели проекта.

- За качество заданий на проектирование, выдаваемых смежным подразделениям проектной фирмы и субподрядным организациям.
- За соблюдение установленных сроков разработки проектно-планировочной документации и ее своевременную, комплектную отправку заказчику.
- За правильность определения сметной и договорной стоимости разрабатываемых проектов.
- За соблюдение в проекте действующего законодательства, требований действующих норм, стандартов, приказов, распоряжений и инструкций, а также за разработку проекта комплексно в должном объеме.
- За правильный расход денежных средств в соответствии со сметой, приложенной к договору на проектирование, и за правильность определения объемов выполненных работ.
- За правильную организацию работ на различных стадиях проектирования.
- За обеспечение в коллективе нормального психологического климата, за соблюдение производственной и трудовой дисциплины.

Комплектование новых проектных групп или же формулирование заданий существующим группам – следующая стадия предпроектного этапа. Эти организационные решения принимаются руководством проектной организации с учетом мнения главного инженера (главного архитектора) проекта. Он будет являться лицом, координирующим деятельность отделов (групп) проектной организации, выполняющих работу по проекту, ведь все эти подразделения должны работать в тесном взаимодействии друг с другом. Именно ГИП (ГАП) обеспечивает формирование состава разработчиков проекта, распределение между ними заданий по разделам и частям проекта, объемов работ с соответствующим фондом заработной платы. ГИП (ГАП) на основании утвержденного задания на проектирование выдает задания на разработку частей проекта, обеспечивает составление графика разработки проектной документации и контроль за его исполнением. Он проводит совещания с начальниками проектных

отделов (групп), на котором уточняются функции каждого отдела (группы), содержание и основные сроки (календарный план) выполнения работ.

На предпроектном организационном этапе разрабатывается *техническое задание на проектирование*, осуществляется выезд на участок строительства, выполняется сбор исходных данных и изучение архивных материалов. ГИП выполняет предварительную оценку исходной информации для планирования работ по проектированию объекта, для чего: изучает техническое задание, знакомится в общих чертах с необходимыми архивными материалами, технической литературой, выезжает на место строительства. На месте строительства ГИП знакомится с природными условиями района, опытом строительства в этом районе, возможностями местных строительных организаций, устанавливает деловые контакты с заказчиком. Далее к работе подключаются руководители основных отделов-исполнителей, которые тоже знакомятся с задачами предстоящей работы и условиями ее выполнения.

5.4. Техническое задание на проектирование

Перед началом проектных работ заказчик заключает договор с проектировщиком и выдает ему **техническое задание на проектирование**, прилагая к заданию основные документы, подготовленные на предпроектной стадии (в первую очередь «обоснование инвестиций» и «архитектурно-планировочное задание»).

Задание на проектирование составляется Заказчиком или по его поручению генпроектировщиком, согласовывается с местными управлениями по архитектуре и экспертизе и утверждается Инвестором или Застройщиком. В нем приводятся как общие, так и специфические требования по проектированию, в том числе выделение пусковых комплексов и очередей возведения объектов. В задании обязательно отражаются требования к архитектурно-строительным и конструктивным решениям, требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны и мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций, особые требования к разработке природоохранных мероприятий.

Застройщик указывает размеры отчислений на содержание технического надзора, страхование СМР, экспертизу проектно-строительной документации, проведение инспекционного государственного архитектурно-строительного надзора, подготовку эксплуатационных кадров и т. д. Кроме перечисленного, по объектам производственного назначения указываются требования по режиму работы предприятия, его перспективному развитию и конкурентоспособности продукции, а по объектам жилищно-гражданского назначения отражаются требования к встроенным или пристроенным помещениям, их площадь, назначение и состав помещений, их пропускная способность и т.д.

Как сказано выше, в разработке технического задания обычно принимает участие и сам проектировщик, но его роль в основном сводится к конкретизации и уточнению задач, которые ставит заказчик, окончательный же текст задания подписывает заказчик.

Содержание технического задания зависит от вида строительства. Оно регламентируется нормами СНиП 11.01-95, где приводится подробный перечень данных и требований к проекту для объектов промышленного и гражданского строительства. В любом случае в техническом задании должны быть указаны: основание для проектирования, особые условия строительства, основные технико-экономические показатели проектируемых объектов, требования к архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, требования по охране природы. Объём, состав и содержание рабочей документации определяются заказчиком (застройщиком) в зависимости от степени детализации решений, содержащихся в проектной документации, и указываются в задании на проектирование.

Техническое задание как правило состоит из следующих разделов.

Общие данные

Этот раздел должен содержать следующие сведения (на усмотрение заказчика):

- Обоснование строительства — приказ руководителя организации-заказчика или другой документ.

- Вид строительства — вновь начинаемое, реконструкция или другое.
- Полное наименование организации-заказчика.
- Сведения об особенностях участка, выделенного под строительство — геологические особенности, тип грунта, расположение грунтовых вод, наличие растительности под вырубку.
- Основные требования к объекту: тип объекта, назначение, этажность, возможность использования типовых проектов или только индивидуального, площадь застройки и допустимость использования подземного пространства участка.
- Очередность строительства — если имеется очередность запуска оборудования или установок на объекте.
- Необходимые сроки начала и завершения строительства. Желаемая дата сдачи объекта. Этот пункт должен присутствовать в любом техническом задании. Дата сдачи объекта должна быть раньше или совпадать с датой заключаемого договора.
- Степень надежности здания (в соответствии с требованиями ГОСТ 54257-2010).
- Характеристика проектирования — количество стадий.
- Наличие исходной документации для строительства, включая все разрешения.

Требования к проектированию

- Полнота градостроительных решений — необходимость наличия благоустройства, озеленения участка. В этом пункте также должны содержаться требования к размещению объекта строительства на участке.
- Архитектура объекта, в том числе решения для фасадов и решения для повышения энергоэффективности здания.
- Особенности конструктивных решений: предполагаемый тип фундамента, стен и перекрытий.

- Отделочные решения: возможность использования местных материалов или привозных, рекомендации по их использованию и по выбору цветовой гаммы.
- Инженерные решения: эффективное расположение коммунальных сетей, в том числе решение по оптимизации водоснабжения и водоотведения.
- Энергообеспечение объекта и его эффективность. В этот пункт можно включить даже необходимое количество розеток в каждом помещении.
- Проектирование освещения.
- Необходимость проектирования систем безопасности (охранно-пожарная сигнализация или и охранная, и пожарная по отдельности), систем передачи данных и других систем (вентиляция, отопление, кондиционирование).
- Инфраструктура объекта и участка - наличие парковок, пешеходных дорожек, благоустроенных подъездных путей.
- Требования заказчика к содержанию проектно-сметных документов и форме их предоставления.
- Необходимость технико-экономических обоснований всех расчетов.

Дополнительные указания

В этом пункте должны быть указаны те требования заказчика, которые не нашли отражения в предыдущих пунктах. Например, необходимость разработки различных паспортов на будущий объект, количество экземпляров проектной документации и др.

На подготовительном этапе проектирования главный архитектор (главный инженер) проекта организывает подготовку заданий субподрядным проектным, изыскательским и другим организациям на выполнение поручаемых им работ, обеспечивает эти организации исходными данными, осуществляет контроль за ходом выполнения субподрядных работ, за своевременным решением всех вопросов, возникающих у субподрядных организаций в процессе разработки проекта, обеспечивает подготовку данных для заключения

договора с заказчиком на выполнение проектно-изыскательных работ, в том числе о стоимости проектирования и изысканий и распределения ее между организациями и подразделениями – участниками разработки проекта и составления графика разработки проектно-сметной документации.

На этом же этапе составляются сметы на выполнение проектно-изыскательских работ, выдается задание на инженерные изыскания. Инженерно-экономические изыскания начинаются при подготовке задания на проектирование. По их результатам должен быть сделан вывод об экономической эффективности строительства конкретного объекта. Последующая разработка проектной документации может осуществляться только при наличии утвержденного решения о согласовании места размещения объекта. Инженерно-технические изыскания должны позволить делать выводы о пригодности площадки, о предпочтительности того или иного вида фундамента (мелко заглубленного, свайного, глубоких опор и т.д.), т.е. позволить решать общие принципиальные вопросы.

На подготовительном этапе осуществляется оформление отвода участка под строительство, если этого не было сделано ранее. Отвод земельного участка оформляется решением администрации местного самоуправления. Заказчик имеет право использовать участок только после утверждения проектной документации и получения разрешения на строительство.

5.5. Составление графика разработки проектной документации и контроль за его исполнением. Выбор архитектурно-строительных и конструктивных решений

На проектном этапе, осуществляемом в одну или две стадии, разрабатываются проект и рабочая документация либо только рабочая документация.

Этот этап может включать в себя и более детальное выполнение изыскательских работ, необходимость которых выявилась на стадии разработки проектной документации.

В начале проектирования выбирается ведущий раздел проекта. Ведущим разделом обычно считается раздел, отражающий основное назначение проектируемого объекта или системы и определяющий содержание остальных разделов. Для промышленного предприятия ведущие разделы - это технологическая часть проекта, для общественного здания - архитектурная часть.

Обычно разрабатывается сначала ведущий раздел проекта в нескольких вариантах, и на основании технико-экономического анализа выбирается наилучший вариант. В соответствии с этим выбором уточняются задания и исходные данные для проектирования остальных разделов проекта. Разработка этих разделов ведется параллельно с детализацией ведущего раздела.

На этом же этапе делается предварительное определение сметной стоимости строительства, составляется общая пояснительная записка. Этап заканчивается оформлением проекта, в том числе – и рабочей документации, и рассмотрением его на техническом совете проектной организации (обычно с приглашением представителей заказчика и других заинтересованных сторон). Следующий (и последний при одностадийном проектировании) этап связан с окончательной корректировкой и утверждением проекта. Он включает, в частности, экспертизу проекта и доработку по замечаниям экспертизы.

Как сказано выше, главный архитектор (главный инженер) проекта является организатором разработки проекта, техническим и творческим руководителем проектных работ на протяжении всего периода проектирования, выпуска проектно-сметной документации.

Он принимает участие в составлении комплексных планов-графиков выполнения изыскательских и проектных работ, координирует эти работы, в том числе и работы субподрядных организаций по всему комплексу проекта, увязывает все части проекта, составляет оперативные графики выполнения работ по закрепленным объектам и осуществляет контроль за их выполнением, отвечает за своевременное выполнение запланированных работ по проектированию объекта, принимает работы и оценивает качество работ исполнителей.

Главный архитектор (главный инженер) проекта отвечает за рациональный выбор типовых и повторно используемых экономичных индивидуальных проектов, унифицированных объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений, узлов, конструкций и изделий с целью широкого применения их при проектировании, выбор наиболее целесообразных и экономичных проектных решений (в том числе решений, обеспечивающих формирование безбарьерной среды для инвалидов и других маломобильных групп населения).

Архитектурно-строительные и конструктивные решения для проектируемого объекта (в том числе для проектов повторного применения, индивидуальных проектов) могут приниматься на основе строительного каталога, типовых строительных деталей, строительных деталей повторного применения.

Доступная среда для инвалидов и других маломобильных групп населения — это, прежде всего, сочетание требований и условий к городскому дизайну, инфраструктуре объектов и транспорта, которые позволяют инвалидам свободно передвигаться в пространстве и получать необходимую информацию для осуществления комфортной жизнедеятельности. Доступная среда для инвалидов и других маломобильных групп населения – это не только пандус для колясочников. Необходимо оснастить объект различными видами доступности для слабовидящих и слепых, для слабослышащих и глухих, для людей с нарушениями опорно-двигательных функций и других маломобильных групп населения. Можно предусмотреть индукционные системы для слабослышащих, которые предназначены для передачи аудио информации лицам с нарушенной функцией слуха, а для ориентации слабовидящих людей в помещении предусмотреть тактильные указатели и тактильные информационные таблички. С помощью свето-звуковых маячков слабовидящему или слепому человеку можно будет передвигаться по зданию, чтобы он без труда смог найти интересующий его объект.

Главный архитектор (главный инженер) проекта также отвечает за обес-

печение соответствия принимаемых проектных решений действующим нормативным документам на проектирование и строительство. Это соответствие удостоверяется подписью главного архитектора проекта (главного инженера проекта) на заглавных листах каждой части (марки) проекта.

5.6. Оценка технико-экономических показателей проектного решения

Оценка технико-экономических показателей проектного решения выполняется после разработки проекта. ГИП (ГАП) должен обеспечить соответствие проекта - заданию на проектирование, технико-экономическому обоснованию, а рабочей документации - утвержденному проекту.

Технико-экономическая оценка запроектированного здания включает в себя оценку его объемно-планировочных и конструктивных решений.

Целями технико-экономической оценки объемно-планировочного решения здания являются - проверка соответствия показателей проекта требованиям задания на проектирование и строительным нормам и правилам для зданий запроектированного типа, сопоставление и сравнительная оценка показателей нового проекта с показателями аналогичных по назначению, вместимости и этажности наиболее прогрессивных и общепризнанных проектов (например, жилых зданий, школ и пр.).

Целью технико-экономической оценки конструктивной части проекта является выявление соответствия показателей проекта по расходу материалов (стали, цемента, кирпича и пр.), удельному расходу тепла, трудоемкости и стоимости строительно-монтажных работ контрольным величинам соответствующих показателей. Контрольные показатели регламентируются ведущими ведомствами (Госстрой РФ, Госкомархитектура Москвы и др.) на основе показателей проектов-аналогов, конструкции которых отвечают передовому уровню современной строительной техники.

Определение наиболее эффективного проектного решения производится путем сопоставления вариантов с эталоном. Для выбора проекта-эталона за ос-

нову, как правило, принимают проект, используемый в массовом строительстве и являющийся при этом наиболее прогрессивным с технической, экономической и социальной точек зрения.

Сравнение нового проектного решения с эталоном следует осуществлять с учетом следующих положений:

- оценка объемно-планировочных решений зданий должна проводиться, как правило, путем сопоставления проектных показателей по зданиям, запроектированным с однотипными конструкциями, а также близким к ним по уровню отделки и оборудования;

- оценка конструктивных решений зданий должна производиться путем сопоставления проектных показателей по зданиям, имеющим наиболее близкую объемно-планировочную характеристику, а также по возможности одинаковым по вместимости и режиму работы предприятий (учреждений) и другим характеристикам.

Например, при задаче сравнить и выбрать наиболее экономичный вариант конструктивных решений должно быть исключено влияние на технико-экономические показатели объемно-планировочных решений. Сравнимые здания становятся как бы подобными одно другому и различаются только своими конструктивными решениями.

Основным методическим требованием к технико-экономической оценке сравниваемых проектных решений является соблюдение их сопоставимости.

Так, например, при сравнении объемно-планировочных вариантов проекта во всех сравниваемых вариантах должны быть приняты одинаковыми строительная и конструктивная системы и одинаковые конструкции. Аналогично сравнение вариантов конструктивного решения ведется применительно к единому объемно-планировочному эталону.

Общими условиями сопоставимости являются:

- единая методология определения технико-экономических показателей, в том числе удельных (в расчете на единицу измерения) строительных и эксплуатационных затрат, на основе использования одинаковых нормативных источников;

- одинаковые условия строительства (климатическая зона, рельеф местности, гидрогеологические и другие условия);

- единые расчетно-конструктивные предпосылки (полезная, снеговая, ветровая нагрузки, внутренняя и наружная расчетная температура воздуха, сейсмостойкость).

При сравнении проектов для конкретных условий строительства необходимо соответствие этих проектов условиям рельефа, геологии, климатическим. При анализе действия отдельных факторов необходимо обеспечить сопоставимость по воздействию других факторов (с помощью соответствующих коэффициентов). При сопоставлении проектов зданий с различными конструктивными решениями необходимо учитывать различия в их характеристике, зависящие от объемно-планировочных и местных условий.

Номенклатура показателей, их классификация

Для оценки проектных решений применяется система технико-экономических показателей, поскольку каким-то одним показателем невозможно выразить экономическую эффективность проектного решения:

- 1) показатели объемно-планировочных и конструктивных решений;
- 2) показатели стоимости строительства;
- 3) показатели текущих (эксплуатационных) затрат;
- 4) показатели затрат труда;
- 5) показатели потребности в основных материалах;
- 6) показатели капитальных вложений в развитие производственной базы;
- 7) показатели социального эффекта.

Показатели выражаются в зависимости от их характера в стоимостном, натуральном или относительном виде (с помощью коэффициентов). По методу выражения показатели могут подразделяться на стоимостные, натуральные и относительные.

Натуральные показатели (расход материалов, трудоемкость, энергоемкость, продолжительность строительства и др.) свидетельствуют о структуре затрат или об условиях, определяющих эти затраты.

Обобщающими показателями количественного и качественного расхода натуральных ресурсов являются *стоимостные* показатели.

Относительные показатели (коэффициент сборности, объемно-планировочные коэффициенты, коэффициент приведения разновременных затрат и др.) обычно не свидетельствуют о величине затрат, а характеризуют экономичность проекта косвенным путем. Применяются они в качестве средств дополнительного анализа.

По роли в технико-экономической оценке показатели делятся на *основные и дополнительные*.

Основные показатели, в первую очередь стоимостные, являются обычно критериями в выборе вариантов (сметная стоимость строительства, эксплуатационные расходы, себестоимость выпуска продукции, капитальные вложения в материально-техническую базу). Остальные натуральные и относительные показатели обычно являются *дополнительными* и только в особых случаях (при недостатке тех или иных материальных, энергетических, трудовых ресурсов) могут играть решающую роль в оценке проектных решений.

И наконец, показатели делятся на *общие и частные*. Первые характеризуют экономичность проекта в целом, а вторые — экономичность отдельных частных задач, решаемых в проекте (объемно-планировочных, технологических, генерального плана, конструктивных решений и др.).

К *общим* показателям относятся следующие: капитальные вложения на строительство здания или сооружения; капитальные вложения в материально-техническую базу строительства и сопряженные отрасли; годовые расходы по

эксплуатации объекта или себестоимости годового выпуска продукции; продолжительность строительства, определяемая проектным решением; затраты живого труда на возведение зданий и на изготовление комплектов сборных элементов для них; расход важнейших строительных материалов (для несущих и ограждающих конструкций); строительный объем здания, отнесенный к единице измерения (на 1 м² общей площади, на 1 ученика, на 1 зрителя, на единицу продукции и т.д.).

К *частным* показателям относятся показатели, характеризующие собственно строительную часть проекта зданий или сооружений, генеральный план застройки или выбор строительной площадки.

Показатели объемно-планировочных решений в проектах зданий характеризуют: соотношение рабочей, вспомогательной и обслуживающей площадей в общественных зданиях, соответственно жилой и вспомогательной площадей в жилых зданиях, производственной и подсобной в промышленных зданиях; соотношение конструктивной площади, площади лестничных клеток, внеквартирных и летних помещений в составе площади застройки; соотношение площади ограждающих конструкций и общей площади; число квартир и общей площади, обслуживаемой одним лифтом и др.

Показатели стоимости строительства определяются отношением сметной стоимости 1 м² общей площади здания к расчетной единице мощности предприятия; то же, затрат на технологическое и хозяйственно-бытовое оборудование здания из расчета на расчетную единицу мощности. К показателям стоимости относятся затраты на инженерное оборудование и благоустройство территории, приходящейся на 1 м² общей площади, из расчета на единицу мощности предприятия.

Показателями текущих (эксплуатационных) затрат, руб/год являются затраты: на восстановление и ремонт зданий; эксплуатацию систем инженерного оборудования зданий; содержание зданий и территорий; административно-управленческие расходы.

Показателями затрат труда, чел.-дн. являются затраты :на изготовление в построечных условиях конструкций и изделий; общие (суммарные) затраты труда на единицу измерения сравниваемой продукции.

Показателями потребности в основных материалах являются потребности в: бетоне и железобетоне (m^3); стали (кг); лесоматериалах (m^3); эффективных термоизоляционных материалах (m^3) на единицу измерения сравниваемой продукции.

К показателям капитальных вложений в развитие производственной базы, руб/год (рассчитываемые на единицу измерения продукции), относятся: удельные вложения в строительство предприятий промышленности строительных материалов, строительной индустрии и смежных отраслей промышленности; удельные капитальные вложения на приобретение строительных машин, транспортных средств и других видов оснащения и оборудования строительных организаций.

К числу дополнительных технико-экономических показателей относятся: уровень сборности зданий; степень унификации изделий заводского изготовления.

Конструктивная характеристика зданий определяется конструктивный типом здания (кирпичное, крупнопанельное, крупноблочное, деревянное), конструктивной схемой здания (с несущим каркасом, с поперечными несущими стенами, с продольными несущими стенами), шагом или пролетом основных несущих конструкций, материалов основных несущих и ограждающих конструкций (фундаментов, наружных стен, внутренних стен, перекрытий, перегородок, крыш).

При помощи *показателей экономичности конструктивных решений* оценивают конструктивную схему здания или сооружения и выбор материалов и конструкций для их отдельных частей: фундаментов, стен, кровли, перегородок, полов, столярных изделий, отделки. К таким показателям относят: трудоемкость, расход основных материалов, энергоемкость, степень сборности, унификации сборных элементов, приведенным на m^2 общей площади.

Материалоемкость и индустриальность конструктивного решения характеризуют показатели массы конструкций (t/m^2), число типоразмеров и марок сборных изделий на объект и число монтажных элементов (штук на $1 m^2$ общей площади). При проектировании полносборных зданий дополнительно определяют количество типоразмеров и марок сборных изделий заводского изготовления.

При оценке экономичности конструктивных решений обычно используется единица измерения элемента конструкции, например, $1 m^2$ поверхности конструкции или $1 m$ ее протяженности. Для фундамента и стен подвала единицей измерения служит 1 пог. м периметра в плане наружных и внутренних стен, для покрытий - $1 m^2$ площади. К основным различиям, обусловленным особенностями конструктивного решения, относятся величина пролета покрытий и строительно-конструктивная схема здания.

В качестве *показателей экономичности генерального плана* применяют: коэффициент использования территории - отношение площади, занимаемой зданиями и сооружениями, дорогами, открытыми складами, ко всей территории участка; коэффициент застройки - отношение площади застройки крытых сооружений к территории участка; объем земляных работ по вертикальной планировке и их стоимость; протяженность коммуникаций всех видов на оцениваемой территории и их стоимость; коэффициент компактности - отношение периметра участка к его площади; затраты на освоение территории на водопонижение, снос строений, компенсацию владельцам за изъятие земель, рубку леса и корчевку пней, плата за изъятие земель и т. п.).

Для характеристики отдельных частных решений проекта (инженерного оборудования, градостроительных решений и др.) применяется своя система показателей, отражающая эффективность того или иного решения.

Расчет показателей осуществляется на расчетную единицу измерения - единицу мощности, вместимости или пропускной способности оцениваемых объектов.

Помимо сравнения вариантов решения здания в целом, связанного с выбором его строительной или конструктивной системы, при проектировании проводят технико-экономическое сравнение вариантов решения отдельных конструктивных элементов здания в целях выбора наиболее экономичного.

При разработке типовых проектов массового применения с полносборными конструкциями определяют также показатели капитальных затрат на строительство или реконструкцию предприятий, изготавливающих промышленные конструкции.

При выборе вариантов решений отдельных конструкций учитывают величину затрат на них в структуре сметной стоимости конструкций дома в зависимости от его этажности.

Стоимостные показатели являются важнейшими обобщающими показателями, характеризующими экономичность проектных решений, и отражающими затраты общественного труда в целом. Стоимостные показатели требуют учета единовременных затрат - стоимости строительства и капитальных вложений в производственную базу строительства, а также годовых эксплуатационных расходов по выстроенным зданиям и сооружениям.

При этом желательно учитывать и социальный эффект (повышение комфорта обслуживания, рациональное использование свободного времени населения и др.), достигаемый в процессе эксплуатации здания. Необходимо учитывать и эксплуатационные затраты, так как по строительным затратам здание может оказаться дешевым, но зато очень дорогим в эксплуатации. Также необходимо учитывать капитальные вложения в производственную базу, так как затраты на ее создание резко меняются в зависимости от выбранных для строительства конструкций (скажем, стен из кирпича или железобетонных панелей). Только суммарный учет этих затрат позволяет получить объективную оценку экономичности принятых в проектах конструктивных решений.

5.7. Экспертиза, согласование и утверждение проекта. Авторский надзор

Разработка и согласование проектной документации осуществляется в соответствии с требованиями Положения о порядке проведения государственной экспертизы и утверждения градостроительной, предпроектной и проектной документации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2000 г. №1008.

Обязанность согласования разработанного проекта лежит на проектной организации. При этом ведущая роль отводится главному инженеру (главному архитектору) проекта. Он обязан организовать согласование проекта с соответствующими организациями в части энергоснабжения, противопожарной безопасности, защиты окружающей среды и др. ГИП (ГАП) отвечает, в том числе, за согласование документации, выполненной с обоснованными отступлениями от действующих норм, правил и инструкций, касающихся этих сооружений, с органами государственного контроля и заинтересованными организациями, утвердившими их.

Но ГИП (ГАП) не только отвечает за организацию согласования, он принимает непосредственное участие в рассмотрении и согласовании научно-технической документации, в защите разработанных проектов в утверждающих инстанциях и органах экспертизы.

Согласование проектной документации, как правило, осуществляется при участии заказчика, в рамках вопросов, относящихся к ведению участников подготовки проекта. Процедура проводится по конкретным разделам. По ее результатам выдается лист согласований проектной документации.

После разработки и взаимной увязки в комплексном рабочем проекте отдельных его частей, проектировщики согласовывают проект с заказчиком, органами государственного надзора, а в части сметной стоимости - с подрядными строительными организациями.

Заказчик согласовывает с генподрядчиком раздел рабочего проекта «Организация строительства и производства работ». Подрядная строительная организация рассматривает этот раздел рабочего проекта, основные решения

проекта, сводный сметный расчет стоимости строительства и представляет заказчику замечания в срок не более чем 45 дней со дня получения этих материалов. При неполучении замечаний в этот срок рабочий проект считается согласованным и может быть утвержден. По поручению заказчика проектная организация вносит в проектно-сметную документацию изменения, вытекающие из принятых заказчиком замечаний от подрядной строительной организации. При одностадийном проектировании на согласование, соответствующих инстанций, проектировщики представляют рабочие проекты со сводными сметами к ним, а при двухстадийном - проекты со сводными сметами и рабочую документацию на отдельные объекты, работы и затраты, входящие в соответствующую очередь осуществления проекта, а также сводки затрат.

Указанным выше Положением о порядке проведения государственной экспертизы и утверждения градостроительной, предпроектной и проектной документации предусмотрено обязательное согласование проектной документации следующими органами и должностными лицами:

- Главным архитектором населенного пункта (района). С ним согласовываются объемно-планировочные и архитектурные решения.
- Комитетом по государственному использованию и охране памятников (КГИОП). Эта организация утверждает объемно-планировочные и архитектурные решения объектов, которые находятся в зоне особо охраняемых недвижимых культурно-исторических памятников.
- Центром госсанэпиднадзора. Эта структура выдает санитарно-эпидемиологическое заключение по результатам соответствующей экспертизы.
- Управлением ГИБДД. С инспекцией согласовываются въезды/выезды на магистрали и городские улицы, схемы движения пешеходов и транспорта, в том числе на период ведения работ в сложных условиях (для объектов, предусматривающих интенсивный транспортный поток).

- Управлением садово-паркового хозяйства, Комитетом по благоустройству. Эти структуры выдают акт для сноса/сохранения зеленых насаждений, определяют объем, место и характер компенсационного озеленения. В Комитете по благоустройству также согласовывается технологический регламент обращения со строительным мусором.

Согласование проектной документации по благоустройству в пределах отведенных под соответствующие цели участков земли, а также функциональное назначение помещений встроенного типа, в случае их приобретения исполнительными госорганами осуществляется с Администрациями районов населенного пункта.

Порядок согласования проектной документации на строительство по специальным технологиям предусматривает обязательное ее представление эксплуатирующей организации. В частности, когда речь идет об объектах спорта, здравоохранения, образования, зрелищных учреждениях и пр.

После согласования проект подвергается **экспертизе**. Назначение, содержание и порядок проведения экспертизы проектной документации будут рассмотрены на отдельных занятиях, предусмотренных учебной программой.

Заключение экспертизы направляется организации, утверждающей проект, и проектному институту.

Проектная документация утверждается соответствующим органом в зависимости от источников финансирования объектов строительства:

а) по объектам, строительство которых осуществляется за счет средств федерального бюджета, - Государственным комитетом Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу или в порядке, устанавливаемом этим Комитетом совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти;

б) по объектам, строительство которых осуществляется за счет бюджетов субъектов Российской Федерации, - в порядке, устанавливаемом органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации;

в) по объектам, строительство которых осуществляется за счет собственных средств заказчика (инвестора), включая привлеченные средства, в том числе средства иностранных инвесторов, - заказчиком (инвестором).

Защита проекта в утверждающих инстанциях по поручению заказчика производится проектными организациями.

Авторский надзор

Авторский надзор является частью строительного контроля, который проводится, как правило, на протяжении всего периода строительства и ввода объекта капитального строительства в эксплуатацию. При необходимости, в оговоренных договором на осуществление авторского надзора случаях, он осуществляется в начальный период эксплуатации объекта при доведении предприятия или сооружения до проектной мощности.

Авторский надзор является обязательным для всех работ по строительству, реконструкции, капитальному ремонту зданий и сооружений, за исключением работ, связанных с техническое перевооружением, консервацией и ликвидацией объектов капитального строительства, консервацией и реставрацией объектов культурного наследия.

Проведение авторского надзора регламентируется сводом правил СП 246.1325800.2016 «Положение об авторском надзоре за строительством зданий и сооружений», утвержденным приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 февраля 2016 года № 98/пр. Оно, как правило, возлагается на организацию, разработавшую рабочую документацию. Авторский надзор осуществляется на основании договора (контракта), заключенного между застройщиком, заказчиком и проектировщиком (генпроектировщиком), или организационно-распорядительного документа в случае, если проектировщиком является одно из структурных подразделений заказчика или подрядчика. Руководителем группы авторского надзора назначается, как правило, главный инженер проекта (главный архитектор проекта), о чем сообщается заказчику.

Основными задачами авторского надзора являются:

- а) контроль за соответствием выполнения строительного-монтажных работ проектной и разработанной на ее основе рабочей документации;
- б) своевременное решение всех технических вопросов по проектной и разработанной на ее основе рабочей документации, возникающих в процессе строительства;
- в) решение вопросов, связанных с внесением изменений в рабочую документацию и (или) проектную документацию, необходимость которых выявилась в процессе строительства, в объеме, порядке и сроки, установленные договором подряда на выполнение проектных и изыскательских работ или дополнительным соглашением к этому договору.

Для обеспечения выполнения задач авторского надзора лицо, его осуществляющее, наделяется следующими функциями:

- а) проведение авторского надзора на договорной основе или на основании организационно-распорядительного документа (в случае, если проектировщик является структурным подразделением застройщика (заказчика) или лица, осуществляющего строительство);
- б) участие в освидетельствовании геодезической разбивочной основы объекта капитального строительства;
- в) принятие решения об осуществлении геодезических наблюдений за перемещениями и деформациями (осадками, сдвигами, кренами) оснований фундаментов зданий и сооружений, необходимость в проведении которых выявилась в процессе осуществления авторского надзора за строительством зданий и сооружений, в том числе существующих объектов капитального строительства, расположенных в непосредственной близости от строящихся объектов;
- г) согласование совместно с заказчиком замены предусмотренных проектом грунтов, материалов изделий и конструкций, входящих в состав возводимого сооружения или его основания;

- д) участие в проверке качества и соблюдения технологии выполнения работ, которые оказывают влияние на безопасность объекта капитального строительства;
- е) участие в подписании актов освидетельствования скрытых работ, актов промежуточной приемки ответственных конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения. Перечень основных видов скрытых работ, ответственных конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения, в освидетельствовании которых принимает участие проектировщик, определяется договором на осуществление авторского надзора;
- ж) ведение журнала авторского надзора за строительством;
- з) осуществление контроля за своевременным и качественным выполнением всех требований и указаний, согласованных с заказчиком и внесенных в журнал авторского надзора за строительством;
- и) информирование заказчика о несвоевременном и некачественном выполнении указаний специалистов, осуществляющих авторский надзор, для принятия оперативных мер по устранению выявленных отступлений от рабочей документации;
- к) оформление в письменной форме замечаний о выявленных недостатках выполнения работ при строительстве объекта;
- л) решение вопросов, связанных с внесением изменений в проектную, в том числе – в рабочую документацию, необходимость которых выявилась в процессе строительства, осуществление контроля за исполнением;
- м) своевременное решение всех технических вопросов по проектной документации, возникающих в процессе строительства;
- н) участие в приемке объекта капитального строительства в эксплуатацию, оказание помощи в освоении проектной мощности на основании отдельного договора или дополнительного соглашения.

В ходе ведения авторского надзора представителю проектной организации подрядчиком предоставляется доступ во все строящиеся объекты капи-

тального строительства, а также иные места производства строительного-монтажных работ и при этом обеспечивается выполнение всех мероприятий по охране труда. Требования специалистов, осуществляющих авторский надзор, об устранении выявленных ими недостатков являются обязательными для исполнения лицами, осуществляющими строительство. Выезд специалистов группы авторского надзора на строительную площадку осуществляется в установленные планом-графиком сроки.

По результатам посещения строительной площадки специалистами группы авторского надзора составляются отчеты о проделанной работе. В них конкретизируется работа, выполненная в ходе авторского надзора, указываются выявленные дефекты и отклонения от установленной технологии проведения строительного-монтажных работ, дается оценка выявленных дефектов и указываются причины их появления и сроки устранения. По окончании строительства проектной организацией составляется сводный отчет по результатам осуществления авторского надзора за строительством.

При осуществлении авторского надзора за строительством зданий и сооружений ведется журнал авторского надзора, передаваемый после окончания работ заказчику. Он заполняется руководителем группы авторского надзора или специалистами, осуществляющими авторский надзор, а также уполномоченными лицами заказчика и подрядчика. Контроль за выполнением указаний, внесенных в журнал, возлагается на специалистов авторского надзора.

Специалисты авторского надзора участвуют в решении вопросов, связанных с внесением изменений в рабочую документацию. Это может иметь место в следующих случаях:

- а) при принятии новых (изменении действующих) законодательных и нормативных правовых актов, технических регламентов, содержащих правовые и технические нормы, обязательные для исполнения;
- б) при изменении (пересмотре) исходных данных и исходно-разрешительной документации, а также технических условий на проектирование;

- в) при выявлении в ходе строительства ошибок и недоработок в рабочей документации или в результатах инженерных изысканий, повлекших необходимость уточнения технических решений, принятых в рабочей документации;
- г) при появлении новых работ, неучтенных в рабочей документации, потребность в выполнении которых могла быть выявлена только в процессе строительства (замена грунтов оснований, материалов, конструкций, изделий, арматурной стали и каркасов и т.п.);
- д) при получении предписаний об устранении нарушений при строительстве объекта капитального строительства органа государственного строительного надзора в случае, если устранение нарушений требует внесения изменений в рабочую документацию в соответствии с требованиями.

Однако внесение изменений в рабочую документацию заказчиком допускается в только случае, если вызываемые этим дополнительные работы по стоимости не превышают десяти процентов указанной в смете общей стоимости строительства и не меняют характера предусмотренных в договоре строительного подряда работ.

Изменения вносятся в проектную документацию по письменному заданию заказчика на основании дополнительного договора на проектные работы или дополнительного соглашения к нему.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

5.8. Виды экспертиз. Цель и основное содержание экспертиз. Субъекты проведения экспертиз и порядок их выбора. Объекты экспертиз. Нормативные документы, регламентирующие проведение экспертизы

Согласно российскому законодательству, документы, относящиеся к реконструкции, капитальному ремонту или строительству нового здания должны пройти обязательную экспертизу. Исключение составляет проектная документация на несложные объекты, для которых не требуется получение разрешения на строительство:

- отдельно стоящие жилые дома с количеством этажей не более чем три, предназначенные на одну семью;

- многоквартирные дома с количеством этажей не более чем, три состоящие из блоков;

- отдельно стоящие объекты капитального строительства с количеством этажей не более чем два.

Экспертиза строительного проекта является комплексным исследованием, которое затрагивает различные аспекты строительного проекта. Она изучает безопасность вводимых в эксплуатацию объектов, затрагивает финансовую целесообразность использования определённых технологий и материалов, подтверждает грамотность заполнения документов, предоставленных для экспертизы, их соответствие градостроительным и техническим регламентам и государственным стандартам. Это исследование позволяет получить экспертные выводы для повышения безопасности объекта, подтверждает обоснованность строительных решений, рациональное использование трудовых, природных, энергетических ресурсов, подтверждает соблюдение архитектурного единства и эффективность использования объёмов и площадей.

Виды и классификация экспертиз

По субъектам проведения экспертизы она подразделяется на:

- государственную экспертизу;

- негосударственную экспертизу.

Вообще, проектная экспертиза – это комплексная проверка проектной документации, которая оценивает её соответствие требованиям законодательства, техническим регламентам, строительным и другим нормам, правилам и стандартам.

Результаты оценки в последующем служат основой мероприятий по повышению безопасности вводимых в эксплуатацию объектов, решений о целесообразности финансирования проекта. Экспертиза служит страховкой от различных рисков, как технических, так и финансовых, которые могут возник-

нуть в ходе воплощения проекта. Она позволяет избежать ошибок в реализации инженерных и архитектурных концепций, рационально использовать ресурсы и контролировать строительство в целом.

Экспертиза учитывает экологические, градостроительные, инженерно-геологические факторы, подтверждает соответствие требованиям взрывопожарной безопасности, санитарным нормам и правилам охраны труда. Это способствует рентабельности проекта, поскольку на основании объективной и достоверной информации можно удостовериться в эффективности инвестиций, оптимизировать расходы, принимать взвешенные решения по безопасности, энергосбережению и повышению энергоэффективности.

Таким образом, *целью экспертизы проектной документации является оценка соответствия проектной документации требованиям технических регламентов, а также результатам инженерных изысканий.*

Сам процесс оценки соответствия проектной документации требованиям технических регламентов, а также результатам инженерных изысканий является содержанием экспертизы проектной документации

Результатом экспертизы проектной документации является заключение о соответствии (положительное заключение) или несоответствии (отрицательное заключение) проектной документации требованиям технических регламентов и результатам инженерных изысканий, а также требованиям к содержанию разделов проектной документации.

Субъекты проведения экспертиз и порядок их выбора. Объекты экспертизы

С 01.04.2012 экспертиза проектной документации и/или экспертиза результатов инженерных изысканий проводятся в форме государственной экспертизы либо в форме негосударственной экспертизы. Экспертиза проектов – как государственная, так и негосударственная имеет одинаковую юридическую силу. Застройщик или технический заказчик имеет право выбирать, к кому обратиться за экспертизой проектной документации.

Государственная экспертиза проводится органом исполнительной власти субъекта РФ или подведомственным ему государственным учреждением

по месту нахождения земельного участка. Порядок организации и проведения в Российской Федерации *государственной экспертизы* проектной документации и результатов инженерных изысканий, порядок определения размера платы за проведение государственной экспертизы, а также порядок взимания этой платы определяется Положением, утверждённым Постановлением Правительства РФ от 05.03.2007 № 145.

Негосударственная экспертиза проводится юридическими лицами, соответствующими требованиям, установленным статьей 50 Градостроительного Кодекса Российской Федерации: в штате должно быть не менее пяти аттестованных на данный вид деятельности сотрудников; должен иметься официальный сайт компании с опубликованным регламентом деятельности.

Негосударственную проверку проектной документации вправе осуществлять лишь аккредитованные Росаккредитацией компании. В свидетельстве об аккредитации компании должны содержаться: данные компании; перечень видов экспертных услуг, на которые аккредитована организация; подпись должностного лица и печать Росаккредитации. На момент проведения экспертизы свидетельство об аккредитации компании должно быть действительным (непросроченным).

Порядок организации и проведения в Российской Федерации *негосударственной экспертизы* проектной документации и результатов инженерных изысканий определяется Положением, утверждённым Постановлением Правительства РФ от 31.03.2012 № 272.

Порядок аттестации физических лиц на право подготовки заключений экспертизы, а также порядок аккредитации юридических лиц на право проведения негосударственной экспертизы устанавливаются соответственно Статьями 49.1 и 50 Градостроительного Кодекса Российской Федерации.

В России имеется специализированная организация – ФГУ Главгосэкспертиза России, выполняющая государственную экспертизу проектной документации для следующих видов объектов:

объекты, строительство или реконструкцию которых предполагается осуществлять на территориях двух и более субъектов Российской Федерации, посольств, консульств и представительств Российской Федерации за рубежом;

- объекты, строительство или реконструкцию которых предполагается осуществлять в исключительной экономической зоне Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах и в территориальном море Российской Федерации;

- объекты обороны и безопасности, иные объекты, сведения о которых составляют государственную тайну (за исключением объектов обороны и безопасности, находящихся в ведении Минобороны России, Росгвардии, ФСБ России, ФСО России);

- объекты культурного наследия (памятники истории и культуры) федерального значения (в случае если при проведении работ по их сохранению затрагиваются конструктивные и другие характеристики надежности и безопасности таких объектов);

- особо опасные и технически сложные объекты, а именно:

- объекты использования атомной энергии (в том числе ядерные установки, пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, пункты хранения радиоактивных отходов);

- гидротехнические сооружения первого и второго классов, устанавливаемые в соответствии с законодательством о безопасности гидротехнических сооружений;

- сооружения связи, являющиеся особо опасными, технически сложными в соответствии с законодательством Российской Федерации в области связи;

- линии электропередачи и иные объекты электросетевого хозяйства напряжением 330 киловольт и более;

- объекты космической инфраструктуры;

- объекты авиационной инфраструктуры;

- объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования;
- метрополитены (за исключением объектов метрополитена, размещаемых на территории города Москвы);
- морские порты (за исключением объектов инфраструктуры морского порта, предназначенных для стоянок и обслуживания маломерных, спортивных парусных и прогулочных судов);
- тепловые электростанции мощностью 150 мегаватт и выше;
- подвесные канатные дороги;
- опасные производственные объекты, подлежащие регистрации в государственном реестре в соответствии с законодательством Российской Федерации о промышленной безопасности опасных производственных объектов, а именно:
 - объекты I и II классов опасности, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества;
 - объекты, на которых получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 килограммов и более;
 - объекты, на которых ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;
 - уникальные объекты – объекты капитального строительства, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:
 - высота более чем 100 метров;
 - пролеты более чем 100 метров;

- наличие консоли более чем 20 метров;
- заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 метров;
- автомобильные дороги федерального значения;
- объекты, используемые для обезвреживания и (или) захоронения отходов I - V классов опасности;
- объекты, строительство или реконструкцию которых предполагается осуществлять на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения;
- иные объекты капитального строительства, строительство (реконструкция, капитальный ремонт) которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета, средств юридических лиц, созданных Российской Федерацией, и юридических лиц, доля Российской Федерации в уставном (складочном) капитале которых составляет более 50 процентов (за исключением объектов, государственная экспертиза в отношении которых отнесена указами Президента Российской Федерации к полномочиям федеральных органов исполнительной власти, а также объектов, государственная экспертиза в отношении которых отнесена в соответствии с абзацем седьмым подпункта «б» пункта 2 постановления Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 г. № 145 к полномочиям органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации).

Для остальных объектов, для которых проведение проектной экспертизы является обязательным, государственная экспертиза выполняется органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации России (по месту расположения объекта). Для этих же объектов равноценной альтернативой государственной может являться негосударственная экспертиза.

В некоторых регионах Российской Федерации функция проведения государственной экспертизы может быть возложена на специально созданные ор-

ганизации. Так, проведение государственной экспертизы в Московской области в соответствии с постановлением Правительства Московской области от 22.06.2001 № 188/21 возложено на «Центр государственной вневедомственной экспертизы и ценообразования в строительстве», (Мособлгосэкспертиза), за исключением документации, экспертиза которой проводится Экспертным советом при Правительстве Российской Федерации или Главным управлением государственной вневедомственной экспертизы при Государственном комитете Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Главгосэкспертиза).

Нормативные документы, регламентирующие проведение экспертизы

Проведение экспертизы проектной документации регламентируется в Российской Федерации следующими основными нормативными документами:

Градостроительный кодекс Российской Федерации, глава 6, статья 49. Экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий, государственная экологическая экспертиза проектной документации объектов, строительство, реконструкцию которых предполагается осуществлять в исключительной экономической зоне Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море Российской Федерации, в границах особо охраняемых природных территорий, на Байкальской природной территории.

Положение об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий, утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 г. № 145.

Требования к составу, содержанию и порядку оформления заключения государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий, утвержденные приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 9 декабря 2015 г. № 887/пр.

Положение об организации и проведении негосударственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий, утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 марта 2012 г. № 272.

Постановление Правительства Российской Федерации «О порядке аттестации на право подготовки заключений экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий» от 31 марта 2012 г. № 271.

Существует *Регламент проведения негосударственной экспертизы проектной документации и (или) инженерных изысканий*, разработанный в соответствии с указанными выше нормативными актами, а также с Положением о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008г. №87, Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 02.04.2009 г. №107 «Об утверждении формы заключения негосударственной экспертизы» и другими нормативными актами, регулирующими деятельность организаций по проведению негосударственной экспертизы.

Регламент детализирует порядок организации и проведения негосударственной экспертизы проектной документации и инженерных изысканий, определяет правила взаимодействия с заказчиками, застройщиками или уполномоченными кем-либо из них лицами, обратившимися с заявлением о проведении негосударственной экспертизы.

Кроме указанных выше *основных* нормативных документов существуют и другие нормативные документы, которые вносят изменения и дополнения в существующие акты, детализируют их.

5.9. Особенности и порядок проведения экспертизы проектной документации, в том числе экспертизы проектной документации массового (повторного) применения

Порядок действий, обязательных для прохождения процедуры экспертизы проектной документации, включает несколько последовательных шагов.

Застройщик подает заявление на проведение государственной или негосударственной экспертизы, к которому прилагается пакет документов, состоящий из технической документации и копии задания на проектирование объекта.

Экспертиза осуществляется на основании заключенного между сторонами договора, в котором указываются все существенные условия проведения экспертизы, в том числе: сроки проведения экспертизы; стоимость оказываемой услуги; права и обязанности сторон; перечень необходимых для проведения проверки документов.

Минимальный список необходимой для проведения экспертизы документации состоит из: заявления на проведение экспертизы; проектной документации; задания на проектирование; документа, подтверждающего полномочия представителя заказчика; описи приложенных документов.

Сама экспертиза проходит в несколько этапов:

- проверка соответствия представленных документов действующим строительным стандартам и техническим условиям;
- ознакомление заявителя с выявленными недочетами;
- исправление ошибок и внесение корректив с целью соблюдения требований, предъявляемых к проектной документации;
- проведение повторной процедуры, необходимость в которой возникает в случаях изменения технических параметров, от которых зависит безопасность эксплуатации конструкции; завершение процедуры и выдача заключения.

Максимальный срок проведения экспертизы составляет 60 дней.

Рассмотрим более детально особенности и порядок организации и проведения экспертизы проектной документации.

Как сказано выше, экспертиза проектной документации *проводится по инициативе застройщика, заказчика либо лица, осуществляющего на основании договора с застройщиком или заказчиком подготовку проектной документации.*

На экспертизу представляется не вся проектная документация, а ее часть. Так, при двухстадийном проектировании экспертизе и утверждению подлежит только документация стадии «Проект», документация стадии «РД» экспертизе и утверждению не подлежит.

При одностадийном проектировании («Рабочий проект») утверждается и подвергается экспертизе не вся документация, а только ее часть (так называемая «утверждаемая часть рабочего проекта»).

В утверждаемой части проекта рассчитываются технико-экономические показатели и архитектурно-строительные характеристики объекта. Также в описании проекта должна быть запись о его соответствии государственным стандартам и нормативам. Это необходимо для дальнейшего прохождения утверждаемой частью регламента в органах государственного надзора на будущее строительство.

Перечень документации стадии «Проект» или «Рабочий проект» (утверждаемая часть, передаваемой для экспертизы, приведен выше в разделе «Организация проектирования».

Помимо того, утверждаемая часть рабочего проекта в обязательном порядке должна включать отдельный раздел, который включает подробное описание проекта по технико-экономическим показателям. В состав этого раздела входят следующие материалы и данные:

- общая площадь застройки;
- площадь земельного участка (при возведении коттеджа или частного дома);
- общая и жилая площадь строительного объекта;
- этажность;
- общая высота строительного объекта;
- площадь каждого летнего помещения, если таковые предусматриваются утверждаемой частью;
- общий строительный объем объекта, в том числе, ниже отметки «ноль» (пол первого этажа при финальной отделке) и выше отметки «ноль»;

- удельная тепловая мощность отопления.

Экспертиза проводится на основании договора между заявителем и организацией, проводящей экспертизу. В договоре указываются: объект капитального строительства (реконструкции, капитального ремонта), объект проведения экспертизы (проектная документация, разделы проектной документации), размер платы за выполнение экспертизы, сроки проверки документации, ответственность сторон, другие условия.

На экспертизу заявитель должен представить следующие документы:

а) заявление о проведении экспертизы, в котором указываются:

- идентификационные сведения об исполнителях работ – лицах, осуществлявших разработку проектной документации и выполнявших инженерные изыскания (фамилия, имя, отчество, реквизиты основного документа, удостоверяющего личность, почтовый адрес места жительства индивидуального предпринимателя, полное наименование, место нахождения юридического лица);

- идентификационные сведения об объекте капитального строительства, проектная документация и результаты инженерных изысканий, в отношении которого представлены на экспертизу (наименование объекта (объектов) предполагаемого строительства (реконструкции, капитального ремонта), почтовый (строительный) адрес объекта (объектов) капитального строительства, основные технико-экономические характеристики объекта (объектов) капитального строительства (площадь, объем, протяженность, количество этажей, производственная мощность и т.п.);

- идентификационные сведения о заявителе (фамилия, имя, отчество, реквизиты основного документа, удостоверяющего личность заявителя – физического лица, почтовый адрес его места жительства; полное наименование юридического лица, идентификационный номер налогоплательщика, место нахождения заявителя – юридического лица). В случае, если застройщик (технический заказчик) и заявитель не одно и то же лицо, указанные выше сведения представляются также в отношении застройщика и заказчика;

б) проектную документацию и результаты инженерных изысканий в объеме, необходимом для проведения экспертизы, который определяется в договоре;

в) копию задания на проектирование;

г) результаты инженерных изысканий в соответствии с требованиями законодательства;

д) копию задания на выполнение инженерных изысканий;

е) документы, подтверждающие полномочия заявителя действовать от имени застройщика, технического заказчика (в случае, если заявитель не является заказчиком и (или) застройщиком), где полномочия заявителя на заключение, изменение, исполнение, расторжение договора должны быть оговорены специально;

ж) заверенные копии свидетельств о допуске к соответствующим видам работ по подготовке к проектной документации и инженерным изысканиям, выданные саморегулируемой организацией.

Заявление о проведении экспертизы должно быть подписано уполномоченным лицом и заверено печатью заявителя.

Проектная документация представляется на бумажном и электронном носителях.

В течение 3-х рабочих дней со дня получения от заявителя документов, осуществляется проверка их комплектности, а в течение 5 рабочих дней с момента окончания проверки, заявителю направляется проект договора с расчетом размера платы за проведение экспертизы, либо мотивированный отказ в принятии документов, представленных для проведения экспертизы.

Основаниями для отказа в принятии проектной документации и результатов инженерных изысканий, представленных на негосударственную экспертизу, являются:

а) несоответствие разделов проектной документации и результатов инженерных изысканий требованиям к содержанию разделов проектной доку-

ментации, установленным Положением о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, утвержденным постановлением Правительства РФ от 16.02.2008г. №87;

б) несоответствие результатов инженерных изысканий требованиям к их составу и форме, установленным в соответствии с частью 6 статьи 47 Градостроительного кодекса РФ Правительством РФ (постановление Правительства РФ от 19.01.2006г. №20 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства»);

в) представление не всех документов и сведений, необходимых для проведения экспертизы.

Проведение экспертизы начинается после предоставления заявителем подписанного экземпляра договора и внесения им платы за проведение экспертизы в соответствии с условиями указанного договора.

Срок проведения экспертизы определяется договором. Рекомендуемый срок проведения экспертизы - 30 рабочих дней. Максимальный срок – 60 рабочих дней.

При выявлении в проектной документации и результатах инженерных изысканий в процессе проведения экспертизы недостатков (отсутствие или неполнота сведений, описаний, расчетов, чертежей, схем и т.п.), которые не позволяют сделать однозначные выводы в отношении предмета экспертизы, об этом незамедлительно уведомляется заявитель, при этом устанавливается срок для устранения этих недостатков.

Результатом экспертизы является заключение, содержащее выводы о соответствии (положительное заключение) или несоответствии (отрицательное заключение) проектной документации нормативным требованиям.

Застройщик или технический заказчик вправе направить повторно проектную документацию и результаты инженерных изысканий на экспертизу после внесения в них необходимых изменений. Повторная экспертиза осуществляется в порядке, предусмотренном для проведения первичной экспертизы.

При проведении экспертизы проектной документации массового (повторного) применения существуют свои особенности.

Напомним, что термин «проектная документация массового (повторного) применения» появился относительно недавно, в 2016 году. До этого широко использовался термин «типовая проектная документация». Однако в последние несколько лет были внесены ряд изменений в законодательство, оказавших влияние на ее статус. Понятие «типовая проектная документация» претерпело значительные изменения, соответственно, изменился и порядок ее применения.

Само определение «типовая проектная документация» (ТПД) до 2002 года упоминалось в разных нормативных документах по строительству. Так, согласно СНиП 11-03-2001, типовой проектной документацией считались разработанные на основе унификации и типизации объемно-планировочные решения и включенные в Федеральный фонд документации в строительстве комплекты документов на создание зданий и сооружений, конструкций, изделий и узлов для многократного применения в строительстве, содержащие текстовые и графические материалы. Затем приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 09.07.2007 № 62 было введено другое определение, согласно которому типовой проектной документацией признавалась проектная документация (ПД) в целом на объект, а не на отдельные узлы и конструкции.

После принятия постановления Правительства Российской Федерации от 27.09.2011 № 791 к ТПД стала относиться проектная документация, получившая положительное заключение *государственной* экспертизы проектной документации и применяемая повторно.

Затем Федеральным Законом от 28.11.2011 № 337-ФЗ в Градостроительный кодекс Российской Федерации было внесено изменение, согласно которому к типовой проектной документации стала относиться проектная документация объектов капитального строительства, получившая положительное

заключение *государственной экспертизы или негосударственной экспертизы* и применяемая повторно.

До 2016 года понятие ТПД оставалось без изменений. А после вступления в законную силу Федерального закона от 03.07.2016 № 368-ФЗ "О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации", понятие «типовая проектная документация» в Градостроительном кодексе больше не встречается. На смену ему пришло понятие «проектная документация повторного использования».

Что касается типовых строительных конструкций, изделий и узлов, то в соответствии с ГОСТ Р 21.1101-2013, их допускается применять в рабочих чертежах со ссылкой на документы, содержащие рабочие чертежи этих конструкций и изделий. Таким образом, понятие типовых конструкций, изделий и узлов содержится в действующем законодательстве, но в случае разработки организацией своей проектной документации на конструкции, изделия и узлы, это будет не типовая проектная документация, а авторская, и при ее экспертизе может потребоваться документ, подтверждающий право застройщика на использование данной авторской проектной документации.

Раньше экспертиза типовой проектной документации заключалась в проведении повторной проверки ПД. Теперь же, *если не будут затрагиваться конструктивные и другие характеристики безопасности объекта капитального строительства, (а для экономически эффективной проектной документации повторного использования – не будет увеличена строительная смета) можно вносить изменения в проектную документацию без направления ее на повторную экспертизу.* При этом необходимо получить заключение о модификации.

То есть если не производилась корректировка надземной части повторно применяемого проекта многоэтажного жилого дома, а также по другим объектам серий массового применения, прошедшим сертификацию, на экспертизу разрешается представлять: исходно-разрешительную документацию; паспорт

проекта; документы согласования; генеральный план; архитектурно-строительную часть в объеме нулевого цикла; проект инженерных коммуникаций.

Повторная экспертиза потребуется, если изменения в проектной документации касаются несущих конструкций, сетей, систем инженерно-технического обеспечения, влияющих на безопасность объектов, а также затрагивают качественные и количественные характеристики строительных материалов и изделий.

5.10. Подбор нормативных документов для экспертизы. Система критериев для оценки проектной документации, представленной на экспертизу. Содержание и форма проекта заключения по результатам экспертизы

Как указано выше, содержание экспертизы проектной документации состоит в проверке ее соответствия техническим регламентам, то есть требованиям строительных норм. В самом общем виде в ходе экспертизы проектной документации осуществляется проверка ее соответствия требованиям норм, приведенных в:

- а) технических регламентах (в том числе норм санитарно-эпидемиологических, экологических, государственной охраны объектов культурного наследия, пожарной, промышленной, ядерной, радиационной и иной безопасности);
- б) результатах инженерных изысканий;
- в) градостроительных регламентах;
- г) градостроительному плану земельного участка;
- д) национальных стандартах;
- е) сводах правил;
- ж) стандартах организаций;
- з) задании на проектирование и проведение инженерных изысканий,
- и) установленных сметных нормативах, в части оценки сметной документации, разработанной в составе проектной документации;

к) иных требованиях, по согласованию с заказчиком.

Таким образом, для проведения экспертизы необходимо подобрать комплект нормативных документов, положения которых и будут использоваться в качестве обязательных требований.

При проведении экспертизы особое внимание обращается на содержание, объем и оформление проектной документации. Комплектность и содержание проектной документации устанавливается *Постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. N 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию».*

В межгосударственном стандарте ГОСТ 21.501-2011 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений» приведен обязательный состав рабочих чертежей строительных конструкций.

Комплект проектно-сметной документации включает текстовую часть и графическую часть. Текстовые проектные материалы должны содержать сведения об объекте строительства, перечень принятых инженерно-технических решений, пояснительную записку, ссылки на нормативно-технические документы, регламентирующие подготовку проектной документации, а также проектные расчеты, обосновывающие принятые решения. Графическая часть содержит чертежи, на которых отображаются принятые проектно-технические решения в виде схем, планов и других документов в графической форме.

При проведении экспертизы обращается внимание на то, кем выполняются разделы проектной документации, оказывающие влияние на безопасность объектов капитального строительства. Эти разделы должны выполняться только индивидуальными предпринимателями или юридическими лицами, имеющими выданные саморегулируемой организацией свидетельства о допуске к таким видам работ. Перечень видов работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства, утверждён *Приказом Минрегиона от 30.12.2009 № 624*. Иные же виды работ по подготовке

проектной документации могут выполняться любыми физическими или юридическими лицами.

В межгосударственном стандарте ГОСТ 21.501-2011 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений», также в действующем на территории Российской Федерации национальном стандарте ГОСТ Р 21.1101-2009 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации» подробно изложены требования к оформлению проектной и рабочей документации.

Содержание технического задания зависит от вида строительства и также строго регламентируется строительными нормами (СНиП 11.01-95).

Содержание и порядок проведения авторского надзора регламентируется сводом правил СП 246.1325800.2016 «Положение об авторском надзоре за строительством зданий и сооружений», утвержденным приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 февраля 2016 года № 98/пр.

Проектирование (расчет и конструирование) строительных конструкций регламентируется соответствующими строительными нормами, например:

СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.

СП 52-103-2007. Железобетонные конструкции монолитных зданий.

СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования.

СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.

СП 20.13330. 2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений и др.

Как указано выше, рабочие чертежи, в том числе разделы КЖ, КМ экспертизе не подлежат. Однако в указанных СП и СНИП приводятся требования и рекомендации по выбору конструктивных систем и конструктивных схем, которые являются основой для расчета конструкций, по выбору материалов для строительных конструкций, по армированию конструкций, по уточнению их геометрических размеров и формы.

Перечень нормативных документов, применяемых в ходе экспертизы проектной документации, во многом зависит от самого объекта строительства.

Для оценки проектной документации, представленной на экспертизу, на практике используется сложившаяся детализированная система нормативных критериев, реализованная в виде вопросов, которые необходимо обязательно рассмотреть при составлении заключения экспертизы.

Поступившая на экспертизу документация проверяется на комплектность, полноту и правильность составления и оформления представленных материалов. Так, в *сопроводительном письме* должна быть отражена просьба заказчика (инвестора) о проведении экспертизы по проекту или рабочему проекту на строительство объекта, указывается источник финансирования, прилагается перечень представляемой на экспертизу проектной документации; приведены банковские реквизиты заказчика, сведения о государственной регистрации организации заказчика (инвестора). Сопроводительное письмо подписывается руководителем и главным бухгалтером организации заказчика (инвестора).

В представляемых на экспертизу материалах должна иметься карточка проекта и копии лицензий организаций, участвующих в реализации рассматриваемого проекта строительства на соответствующие виды деятельности.

Во всех случаях представляемая на экспертизу документация должна содержать необходимые согласования по проекту строительства, также приведенные выше в разделе «Организация проектирования».

Документы должны иметь запись главного инженера (архитектора) проекта о соответствии разработанной проектной документации Государственным нормам, правилам, стандартам, исходным данным, а также техническим условиям и требованиям, выданным органами государственного надзора и заинтересованными организациями при согласовании места размещения объекта (согласно СНиП 11-01-95) в общей пояснительной записке и общих данных каждого основного комплекта чертежей.

В представляемой документации должны также содержаться технические условия, справки на подключение к инженерным сетям: водопровода; канализации; газоснабжения; теплоснабжения, горячего водоснабжения; электроснабжения; телефонизации и радиофикации; диспетчеризации, автоматизации, сигнализации; кабельного телевидения (при наличии сети).

Также должны иметься разрешение энергосетей на подключение мощности; разрешение органов госэнергонадзора на использование электроэнергии в термических целях; разрешение на отпуск сжиженного газа (при его использовании); разрешение на использование определенного вида топлива (при проектировании котельных); справка ГУП "Геоцентр" Роскомнедр об отсутствии на участке строительства полезных ископаемых (при необходимости); справка соответствующих организаций о пригодности по радиационной обстановке земельного участка для строительства; ситуационный план с указанием точек подключения внешних сетей и схемами трасс, согласованный с органами, выдавшими соответствующие технические условия; технологическое задание на разработку технологических разделов проекта.

В общей пояснительной записке должны быть приведены основания для разработки проекта и исходные данные для проектирования.

Задание на проектирование составляется заказчиком с привлечением генерального проектировщика, согласовывается и утверждается инвестором в установленном порядке. Содержание задания на проектирование приведено выше в разделе «Организация проектирования».

Раздел пояснительной записки *Архитектурно-строительные решения* должен содержать:

Для стадии «Проект»: сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях площадки строительства, в том числе прогноз потенциальной подтопляемости; краткое описание и обоснование архитектурно-строительных решений; мероприятия по электро- и пожаробезопасности, защите строительных конструкций, сетей и сооружений от грунтовых вод и коррозии; планы, разрезы и фасады зданий и сооружений со схематичным изображением основных несущих и ограждающих конструкций.

Для стадии «Рабочий проект» (утверждаемая часть) - комплект чертежей, в объеме утверждаемой части.

В случае применения типового проекта представляются на экспертизу каталожный лист (паспорт) типового проекта, чертежи «нулевого» цикла здания, привязанные к местным инженерно-геологическим условиям.

При внесении изменений в типовой проект, в соответствии с действующими положениями или заданием, представляются чертежи, отражающие эти изменения.

Для подтверждения экономической эффективности и эксплуатационной надежности оснований и фундаментов зданий и сооружений, необходимо в проекте (утверждаемая часть рабочего проекта) подтвердить правильность выбора типа фундаментов технико-экономическим сравнением различных вариантов, дать таблицу итоговых данных расчета оснований и фундаментов (расчетное сопротивление грунта основания, давление под подошвой, осадки). Применение конструкций, изделий и материалов, а также оборудования в проектной документации должно быть обосновано в целях обеспечения безопасной для людей эксплуатации зданий и сооружений и предотвращения материального ущерба от их разрушения из-за неправильного учета и нарушений требований нормативных документов.

Обоснование подтверждается: применением типовых конструкций по Перечню проектной документации типовых строительных конструкций, изделий и узлов зданий и сооружений для всех видов строительства, (утвержденного Госстроем России); указанием сертификатов проектной продукции массового применения и повторного применения.

Для подтверждения эксплуатационной надежности строительных конструкций, обеспечения требуемого уровня теплозащиты необходимо в проекте (рабочем проекте) отразить решение следующих вопросов: о соблюдении повышенных требований к теплозащитным качествам наружных ограждений зданий; о конструктивных решениях стен, покрытий, окон, балконных и наружных дверей, которые должны соответствовать требуемому приведенному сопротивлению теплопередаче. В Общих данных проекта необходимо указывать значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и требуемые сопротивления теплопередаче.

Для подтверждения противопожарной безопасности в проекте (рабочем проекте) должны соблюдаться требования соответствующих действующих СНиП.

В разделе «Инженерное оборудование, сети и системы» должны быть отражены: решения по водоснабжению, канализации, теплоснабжению, газоснабжению, электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха; инженерное оборудование зданий и сооружений, в том числе: электрооборудование, электроосвещение, связь и сигнализация, радификация и телевидение, противопожарные устройства и молниезащита и др.; диспетчеризация и автоматизация управления инженерными системами.

В проектах реконструкции необходимо представлять документы по обследованию существующих сетей, в т.ч. наружных, для определения возможности использования их после реконструкции.

Состав и содержание *проектов организации строительства* могут изменяться с учетом сложности и специфики проектируемых объектов. Для ста-

дии проект приводятся следующие данные: особенности организации (строительный план) и сроки осуществления строительства исходя из норм его продолжительности; основные мероприятия по организации строительства; объемы основных строительного-монтажных работ, потребность в важнейших строительных материалах и механизмах, трудоемкость строительства, определяемые по укрупненным нормативам и показателям.

Сметная документация и экономическая часть проектов представляются на экспертизу в обязательном порядке по объектам, финансируемым полностью или частично из бюджетных средств, либо по желанию заказчика (инвестора).

Для стадии проект представляются: пояснительная записка; сводка затрат (при необходимости); сводный сметный расчет; объектные и локальные сметные расчеты; сметы на проектные и изыскательские работы.

Для стадии рабочий проект (утверждаемая часть) представляются на экспертизу: пояснительная записка; сводка затрат, сводный сметный расчет; объектные и локальные сметы; сметы на проектно-изыскательские работы; справка об источниках финансирования строительства (включается в сопроводительное письмо).

Оценка эффективности инвестиций производится с точки зрения интересов предприятия (чистая прибыль, рентабельность, срок окупаемости и пр.) и с позиций национальной экономики (улучшение использования природных ресурсов, прирост количества рабочих мест, экономия валютных затрат и др.). В случаях бюджетного финансирования проектов или при наличии государственной поддержки инвестиций данный раздел должен содержать Заключение государственного уполномоченного органа по инвестициям.

Все указанные выше вопросы, рассматриваемые как система нормативных критериев к проектной документации, должны быть отражены в Заключении по результатам экспертизы в объеме, зависящем от объекта строительства.

Приказом Министра регионального развития Российской Федерации от 02 апреля 2009 года № 107 рекомендована форма заключения негосударственной экспертизы.

Утверждена
Приказом Министра регионального
развития Российской Федерации
от 2 апреля 2009 г. N 107

ФОРМА ЗАКЛЮЧЕНИЯ НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

(полное наименование экспертной организации, регистрационный номер
свидетельства об аккредитации)

"УТВЕРЖДАЮ"

(должность, Ф.И.О., подпись, печать)

"__" _____ 20__ г.

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ (ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ) ЗАКЛЮЧЕНИЕ
НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

N

X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	-	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(указывается номер заключения негосударственной
экспертизы <1>)

Объект капитального строительства

(наименование, почтовый (строительный) адрес объекта (этапа) капитального
строительства)

Объект негосударственной экспертизы

(результаты инженерных изысканий; проектная документация без сметы;
проектная документация, включая смету; проектная документация без сметы
и результаты инженерных изысканий; проектная документация, включая смету,
и результаты инженерных изысканий; раздел (ы) проектной документации)

Предмет негосударственной экспертизы

(оценка соответствия: техническим регламентам, результатам инженерных
изысканий, сметным нормативам, градостроительным регламентам,
градостроительному плану земельного участка, национальным стандартам,
стандартам организаций, заданию на проектирование, заданию на проведение
инженерных изысканий)

1. Общие положения

1.1. Основания для проведения негосударственной экспертизы (перечень
поданных документов, реквизиты договора о проведении негосударственной
экспертизы, иная информация):

1.2. Сведения об объекте негосударственной экспертизы с указанием вида
и наименования рассматриваемой документации (материалов), разделов такой
документации:

1.3. Сведения о предмете негосударственной экспертизы с указанием

наименования и реквизитов нормативных актов и (или) документов (материалов), на соответствие требованиям (положениям) которых осуществлялась оценка соответствия:

1.4. Идентификационные сведения об объекте капитального строительства:

1.5. Техничко-экономические характеристики объекта капитального строительства с учетом его вида, функционального назначения и характерных особенностей:

1.6. Идентификационные сведения о лицах, осуществивших подготовку проектной документации и (или) выполнивших инженерные изыскания:

1.7. Идентификационные сведения о заявителе, застройщике, заказчике:

1.8. Сведения о документах, подтверждающих полномочия заявителя действовать от имени застройщика, заказчика (если заявитель не является застройщиком, заказчиком):

1.9. Иные сведения, необходимые для идентификации объекта и предмета негосударственной экспертизы, объекта капитального строительства, исполнителей работ по подготовке документации (материалов), заявителя, застройщика, заказчика:

2. Описание рассмотренной документации (материалов)

2.1. Сведения о задании застройщика или заказчика на выполнение инженерных изысканий (если инженерные изыскания выполнялись на основании договора), иная информация, определяющая основания и исходные данные для подготовки результатов инженерных изысканий:

2.2. Сведения о задании застройщика или заказчика на разработку проектной документации (если проектная документация разрабатывалась на основании договора), иная информация, определяющая основания и исходные данные для проектирования:

2.3. Сведения о выполненных видах инженерных изысканий:

2.4. Сведения о составе, объеме и методах выполнения инженерных изысканий:

2.5. Топографические, инженерно-геологические, экологические, гидрологические, метеорологические и климатические условия территории, на которой предполагается осуществлять строительство, реконструкцию объекта капитального строительства с указанием выявленных геологических и инженерно-геологических процессов (карст, сели, сейсмичность, склоновые процессы и другие):

2.6. Перечень рассмотренных разделов проектной документации:

2.7. Описание основных решений (мероприятий) по каждому из рассмотренных разделов:

2.8. Основные сведения, содержащиеся в смете на строительство и входящей в ее состав сметной документации, в том числе:

общая стоимость строительства в ценах, предусмотренных действующей сметно-нормативной базой (базисный уровень цен), и в ценах на дату выдачи заключения негосударственной экспертизы (текущий уровень цен), с разбивкой на стоимость проектно-изыскательских, строительного-монтажных работ, оборудования, прочих затрат

;
 данные сводки затрат (при ее наличии), данные, содержащиеся в объектных и локальных сметных расчетах, сметных расчетах на отдельные виды затрат

информация об использованных документах в области сметного нормирования и ценообразования для определения сметной стоимости, а также примененных индексах для перевода сметной стоимости из базисного уровня цен в текущий уровень цен

2.9. Иная информация об основных данных рассмотренных материалов инженерных изысканий, разделов проектной документации, сметы на строительство

3. Выводы по результатам рассмотрения

3.1. Выводы о соответствии или несоответствии в отношении рассмотренных результатов инженерных изысканий <2>

3.2. Выводы о соответствии или несоответствии в отношении рассмотренных разделов проектной документации <3>

3.3. Выводы о соответствии или несоответствии принятых в смете на строительство и входящей в ее состав сметной документации количественных, стоимостных и ресурсных показателей сметным нормативам, а также техническим, технологическим, конструктивным, объемно-планировочным и иным решениям, методам организации строительства, включенным в проектную документацию <4>

3.4. Общие выводы о соответствии или несоответствии объекта негосударственной экспертизы требованиям, установленным при оценке соответствия

3.5. Рекомендации организации, проводившей негосударственную экспертизу (при наличии)

Эксперты

(наименование должности)	(Ф.И.О.)	(подпись)
(наименование должности)	(Ф.И.О.)	(подпись)
(наименование должности)	(Ф.И.О.)	(подпись)

Примечания: 1. Номер заключения негосударственной экспертизы:

Номер заключения негосударственной экспертизы оформляется арабскими цифрами и имеет следующую структуру:

N

X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	-	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

в первом квадрате указываются сведения об объекте негосударственной экспертизы (результаты инженерных изысканий; проектная документация без сметы; проектная документация, включая смету; проектная документация без сметы и результаты инженерных изысканий; проектная документация, включая смету, и результаты инженерных изысканий; раздел(ы) проектной документации);

в третьем квадрате - сведения о предмете негосударственной экспертизы (оценка соответствия: техническим регламентам и (или) результатам инженерных изысканий; сметным нормативам; техническим регламентам и (или) результатам инженерных изысканий и сметным нормативам; иным документам);

в пятом квадрате - результат заключения негосударственной экспертизы (положительное; отрицательное);

в седьмом - десятом квадрате - порядковый номер выданного заключения (присвоение номера заключениям осуществляется последовательно, по истечении текущего календарного года происходит его обнуление, нумерация начинается с номера 0001);

в двух последних квадратах - последние две цифры года выдачи заключения.

При этом:

а) сведения об объекте негосударственной экспертизы оформляются:

результаты инженерных изысканий - цифрой 1;

проектная документация без сметы - цифрой 2;

проектная документация, включая смету - цифрой 3;

проектная документация без сметы и результаты инженерных изысканий - цифрой 4;

проектная документация, включая смету, и результаты инженерных изысканий - цифрой 5;

раздел(ы) проектной документации - цифрой 6;

б) сведения о предмете негосударственной экспертизы оформляются:

оценка соответствия техническим регламентам и (или) результатам инженерных изысканий - цифрой 1;

оценка соответствия сметным нормативам - цифрой 2;

оценка соответствия техническим регламентам и (или) результатам инженерных изысканий и сметным нормативам - цифрой 3;

оценка соответствия иным документам - цифрой 4;

в) результат заключения негосударственной экспертизы оформляется:

положительное заключение - цифрой 1;

отрицательное заключение - цифрой 2;

г) порядковый номер выданного заключения оформляется цифрами, которые проставляются, начиная с крайнего правого квадрата, при этом в оставшихся свободными квадратах проставляется цифра 0.

2. Каждый вывод о несоответствии должен быть мотивирован и содержать ссылку на конкретный нормативный акт и (или) документ, его раздел, статью, пункт и т.д.

3. Каждый вывод о несоответствии должен быть мотивирован и содержать ссылку на конкретный нормативный акт и (или) документ, его раздел, статью, пункт и т.д. или содержать ссылку на соответствующие результаты инженерных изысканий.

4. Каждый вывод о несоответствии должен быть мотивирован и содержать ссылку на конкретный нормативный акт и (или) документ, его раздел, статью, пункт и т.д. или содержать ссылку на соответствующие разделы проектной документации.

5. Сведения, предусмотренные разделом 2 "Описание рассмотренной документации (материалов)" и разделом 3 "Выводы по результатам рассмотрения", не относящиеся к установленному в конкретном договоре на проведение негосударственной экспертизы объекту такой экспертизы, не указываются в соответствующем заключении.

В общем виде Заключение экспертизы по проекту и смете на строительство (реконструкцию) предприятия, здания, сооружения должно содержать следующие разделы: краткую характеристику проекта предприятия, здания и сооружения, описание основных проектных решений и таблицу технико-экономических показателей; замечания и предложения по проектным решениям, технико-экономическим показателям и сметам; общие выводы с оценкой качества проекта (включая сметную документацию), позволяющие рекомендовать проект к утверждению или принять решение о возвращении его для доработки, а по экспертизе проектов в порядке выборочного контроля позволяющие одобрить проект или установить необходимость его переутверждения.

Заключение экспертизы направляется организации, утверждающей проект, и проектному институту.

После этого проектная документация утверждается соответствующим органом в зависимости от источников финансирования объектов строительства.

Самостоятельно рассмотрите примеры заключения экспертизы по двум реальным объектам, в том числе по архитектурно-строительным и конструктивным решениям этих объектов, обратив внимание, как в них реализуется система нормативных критериев оценки проектной документации, представляемой на экспертизу.

Раздел 6. Экспериментальные (в том числе – компьютерные) исследования железобетонных конструкций

Тема и содержание занятия:

Место и роль экспериментальных исследований в выполнении научно-технических работ. История развития экспериментальной базы исследований. Цель и задачи экспериментальных исследований. Виды экспериментальных исследований.

Системный подход к исследованию. Основные этапы экспериментального исследования. Методика эксперимента, средства и методы измерений, программа экспериментальных исследований.

Научно-технические возможности Головного регионального центра коллективного пользования научным оборудованием и установками НИУ МГСУ (оборудование и его основные технические характеристики, измерительная аппаратура).

Физический и математический методы моделирования. Компьютерное моделирование работы строительных конструкций как частный случай математического моделирования. Особенности моделирования работы железобетонных конструкций в ПК ЛИРА-САПР. Назначение (выбор) расчетной схемы. Обработка, анализ, систематизация и оценка достоверности результатов эксперимента (в том числе – компьютерного моделирования).

Представление результатов эксперимента (в том числе – компьютерного моделирования) в научно-техническом отчете, докладе, статье, учет этических норм.

6.1. Место и роль экспериментальных исследований в выполнении научно-технических работ. История развития экспериментальной базы исследований

В «Тезисах о Фейербахе» Карл Маркс отметил, что «практика - критерий истины». Этой фразой Маркс подчеркнул, что не только природа, но и общество поддаются научному познанию. Можно привести множество примеров тому, как имевшие место аварии при эксплуатации строительных конструкций заставляли глубже разобраться в физическом характере процессов разрушения конструкций.

Так, например, когда в 1879 году, в Англии, через 19 месяцев после начала эксплуатации, от воздействия горизонтальной ветровой нагрузки обрушился мост, рассчитанный на вертикальную нагрузку с двадцатикратным запасом прочности, эта катастрофа послужила толчком для уточнения расчетов на ветровую нагрузку.

В мае 1891 года, также в Англии, после эксплуатации в течение 31 года обрушился железнодорожный чугунный мост пролетом 9 м. Было установлено, что причиной аварии послужила хрупкость чугуна. После этой аварии чугун для строительства мостов не применяют.

В 1905 году в Петербурге обрушился Египетский мост, когда по нему проезжала конница. Обрушение произошло в результате резонанса, порожденного ритмичным шагом большой массы конницы, в результате стали учитывать возможность возникновения резонанса.

28 января 1922 года в Вашингтоне обрушилось покрытие над зрительным залом кинотеатра. Причиной аварии послужили перегрузка перекрытия снегом и низкая температура наружного воздуха, вызвавшие дополнительные сжимающие напряжения в верхних поясах стропильных ферм. После этого проектировщики стали больше внимания уделять температурным воздействиям.

В 1940 году в США обрушился висячий мост через реку Такома. Обрушение произошло через 4 месяца после начала эксплуатации, в результате динамических колебаний, вызванных ветром. В настоящее время динамический характер ветровых воздействий учитывается строительными нормами.

В 1965 году в США разрушилось здание склада размером 350х42м высотой 27 м с покрытием из трехшарнирных арок. Разрушение произошло в результате сдвига фундаментов, вызванного распором в опорах арок. Причиной аварии явилось неудачное проектное решение - не была предусмотрена установка затяжек в уровне опор арок.

Как видно, к авариям приводят разнообразные причины, которые могут возникнуть на всех этапах создания и эксплуатации объектов. Иногда они являются результатом недостаточного уровня знаний о работе конструкций, а иногда - халатности и недобросовестности строителей и эксплуатационников. Увеличение надежности и улучшение конструктивных решений базируется на опыте строительства и на научных исследованиях, в том числе - экспериментальных. Накоплению опытных данных содействует создание и непрерывное совершенствование экспериментальной базы.

Первые лабораторные исследования строительных материалов были направлены на определение их прочности при сжатии, растяжении и изгибе. Испытания выполнялись при непосредственном нагружении образцов вплоть

до разрушения без измерения деформаций. Такой метод испытаний не раскрывал полностью физических процессов, протекающих при сопротивлении материала действию внешних сил.

Позже для нагружения образцов стали применять машины, основанные на использовании рычажного принципа. Они постоянно совершенствовались и со временем стали способны создавать с большой точностью как небольшие усилия, измеряемые в граммах, так и огромные, измеряемые в десятках и тысячах тонн. Постепенно были созданы также приборы для измерения деформаций, твердости и других характеристик материалов.

Для испытания материалов, конструкций, сооружений стали создавались специальные лаборатории. Одну из первых лабораторий для испытания металлов создал Реамюр, она была оснащена испытательной машиной, построенной специально для этих целей. В 1722 году он описал методику проведения механических испытаний металлов. Этот год считается началом механических испытаний металлов. В 1790 г. в Германии была построена машина для испытания металла, используемого в пушках.

В России первые испытательные машины появились на петербургских заводах. В 1823 году на механическом заводе была сконструирована и построена самая мощная в Европе цепепробная машина для испытания цепей висячих мостов с разрывным усилием до 60т, а в 1850 г. - мощностью 100 т.

Первые испытания пробной нагрузкой строительных конструкций натуральной величины были проведены в России в 1831г. при строительстве в Санкт-Петербурге драматического театра (ныне театра драмы им. А.С. Пушкина). Были испытаны металлические фермы покрытия пролетом 30м. Затем испытывались стропильные фермы для покрытия Зимнего дворца при восстановлении здания после пожара 1837 года.

Испытания натуральных конструкций не всегда дают желаемую полноту информации. Они, как правило, очень сложны, приводят к большим затратам времени и средств. Испытания на моделях позволяют выяснить действительное напряженно-деформированное состояние и надежность конструкций, не

производя теоретических расчетов, уточнить принятую расчетную схему или обнаружить новые закономерности.

Первые испытания на моделях были выполнены в 1732г. французским ученым Данизи, который проводил опыты с небольшими моделями арок и установил действительный характер их разрушения. В 1772-1776 годах И.П. Кулибин провел испытания модели моста через р. Неву пролетом 298м, выполненную в 0,1 натуральной величины. Заслуга Кулибина в данном случае состоит в том, что он первый применил испытания модели конструкции и этим указал на большие возможности опытной проверки прочности сооружений по испытаниям на моделях.

В связи с развитием железнодорожного транспорта и необходимостью строительства железнодорожных мостов возникла потребность определять механические свойства применяемых материалов. Поэтому создаются механические лаборатории, оборудованные комплексом испытательных машин и приборов, позволяющих проводить более детальные исследования в широких масштабах. Первые такие лаборатории возникли при высших учебных заведениях, а в 60-70-х годах XIX столетия такие лаборатории стали создавать и при заводах. Они осуществляли контроль качества применяемых на заводах материалов. Первая механическая лаборатория такого типа была организована в 1847 году в Лондонском университете. В 1852 г. в Берлине, в Промышленной Академии, была создана станция по испытанию металлов при повторных нагрузках.

В России первая механическая лаборатория была организована проф. П.И. Собко (1819-1870) при Петербургском институте инженеров путей сообщения. Вскоре руководителем этой лаборатории стал Петербургский инженер, ученый профессор Н.А. Белелюбский (1845-1922). В 1875-1876 гг. он преобразовал лабораторию в испытательную станцию по строительным материалам. Н.А. Белелюбский впервые в мире применил литое железо для строительства

мостов. По его инициативе и при его участии создан первый метрический сортament прокатного железа. Он провел ряд испытаний железобетонных конструкций, способствовавших массовому применению железобетона в России.

В 1900 г. была создана механическая лаборатория в Санкт-Петербургском институте гражданских инженеров. В ней проводились учебные занятия и выполнялись научно-исследовательские работы по изучению механических свойств строительных материалов, выполнялись заказы строителей. С 1926 года лаборатория стала проводить испытания строительных конструкций в полевых условиях. В настоящее время эта лаборатория работает при кафедре железобетонных и каменных конструкций СПбГАСУ.

Большой вклад в развитие экспериментальных исследований материалов, конструкций и сооружений внесли наши соотечественники, особенно в советский период. Петербургский инженер, ученый С.В. Кербедз (1810-1899), автор проекта моста Шмидта через Неву, изучал работу заклепочных соединений. В результате им было установлено, что соединения с продавленными отверстиями выдерживают усилия на 9-13% меньше, чем соединения с рассверленными отверстиями. Результаты этих исследований используются и в настоящее время.

Русский учёный-механик и инженер, специалист в области мостостроения и строительной механики Д.И. Журавский (1821-1891) впервые разработал методику теоретического расчета прочности деревянных мостов из ферм системы Гау. С помощью простейшей модели он доказал, что усилия в раскосах и стяжках однопролетных мостов возрастают по мере приближения к опорам, тогда как в то время считалось, что наибольшие усилия в них возникают в середине пролета. Он же на модели двутавровой балки, сделанной из картона, определил, что установка ребер жесткости на 70% увеличивает несущую способность балки.

Русский учёный-механик, основатель и первый ректор Харьковского технологического института и Киевского политехнического института профессор. В.Л. Кирпичев (1845-1913) положил начало применению оптического

метода изучения деформации, внес серьезный вклад в теорию моделирования. По написанному им учебнику «Сопротивление материалов» училось много поколений инженеров.

Петербургский ученый-механик, основатель научной школы строительной механики, автор трудов по теории упругости, проектированию и реконструкции железнодорожных сооружений Ф.С. Ясинский (1856-1899) создал теорию расчета сжатых стержней на устойчивость. Дальнейшее развитие методов испытаний связано с деятельностью таких выдающихся ученых, как русский и советский математик, механик и кораблестроитель академик А.Н. Крылов (1863-1945), русский и советский учёный-механик и инженер, работавший в области сварки, мостостроения и строительной механики, создатель и руководитель Института электросварки Е.О. Патон (1870-1953), советский учёный в области теории прочности, профессор, член-корреспондент АН СССР Н.М. Беляев (1890-1944).

Советский учёный, физик, механик; академик, профессор Н.Н. Давиденков (1879-1962) много сделал для применения акустического метода определения деформаций. Вместе с основателем и заведующий кафедры физики прочности МИФИ профессором Я.Б. Фридманом (1911-1968) он разработал объединенную теорию прочности. Выдающийся российский и советский физик, организатор науки, создатель научной школы, давшей многих выдающихся советских физиков академик А.Ф. Иоффе (1880-1960) внес большой вклад в изучение прочности материалов с позиции физики твердого тела.

Советский учёный-механик, специалист в области строительных конструкций и мостостроения; член-корреспондент АН СССР проф. Н.С. Стрелецкий (1885-1967) создал методику экспериментальных исследований мостовых сооружений. Большие работы, способствовавшие развитию полевых методов испытаний, проделаны советским учёным в области теории железобетона проф. А.А. Гвоздевым (1897—1986). А.А. Гвоздев — организатор первой в СССР лаборатории железобетонных конструкций и её бессменный руково-

датель на протяжении почти 60 лет. Он является одним из основателей отечественной научной школы расчета и проектирования железобетонных конструкций, разработчиком метода расчёта по предельным состояниям и теории расчёта статически неопределимых линейных и плоскостных железобетонных конструкций методом предельного равновесия.

За годы существования Советского Союза испытания сооружений получили большое развитие. Для их обеспечения был создан ряд научно-исследовательских институтов: Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций, Всесоюзный научно-исследовательский институт бетона и железобетона и др.

Большой вклад в обеспечение экспериментальных исследований испытательными приборами внесли проф. Н.Н. Аистов, Н.Н. Давиденков, Н.Н. Максимов, Л.М. Емельянов и многие другие.

В настоящее время техника испытательного дела развита настолько, что позволяет проводить натурные испытания сложных крупноразмерных конструкций. Контрольные испытания конструкций, изготавливаемых серийно на заводах железобетонных конструкций, являются обязательной составной частью технологического процесса. При моделировании для измерения деформаций используют поляризационно-оптический метод, способ тензосеток, стереофотограмметрический метод и др. Многие научно-исследовательские институты и в нашей стране, и за рубежом широко применяют моделирование при проектировании и исследованиях конструкций. Широко используется моделирование при проектировании сложных конструкций в Италии, Португалии, США, Англии, Франции, Польше, Германии и других странах.

Таким образом, экспериментальные методы исследования составляют надежную материальную базу для современной науки и практики.

6.2. Цель и задачи экспериментальных исследований. Виды экспериментальных исследований

В основе экспериментальных исследований лежит эксперимент. Эксперимент – это действие, направленное на создание условий в целях воспроизведения того или иного явления, по возможности, чистого, т. е. не осложняемого другими явлениями.

Основной целью эксперимента является выявление свойств исследуемых объектов, а также проверка справедливости выдвинутых гипотез. Если говорить о строительной отрасли, то здесь основной целью экспериментальных исследований является выявление напряженно-деформированного состояния элементов конструкций или сооружений под нагрузкой, определение возможности их нормальной эксплуатации, проверка качества строительных материалов и работ.

Типичными задачами эксперимента в строительстве являются определение деформаций, прогибов, разрушающей нагрузки, размеров раскрытия трещин, момента образования трещин, потери устойчивости и др.

Так, при экспериментальном исследовании строительных конструкций могут быть поставлены следующие задачи:

- определение несущей способности конструкции;
- определение напряженного состояния;
- определение действительных деформаций;
- изучение работы новой конструкции;
- установление влияния дефектов и отступлений от проекта на действительную работу сооружения;
- изучение работы существующей конструкции с целью выявления объемов усиления при реконструкции или ремонте;
- разработка методов расчета;
- установление расчетной схемы или скрытых резервов прочности.

В зависимости от выбранных критериев экспериментальные исследования можно классифицировать следующим образом. По условиям проведения

экспериментальные исследования можно разделить на естественные эксперименты, искусственные эксперименты, вычислительные эксперименты, лабораторные эксперименты, натурные эксперименты.

Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования (как правило- люди), в условиях, которые максимально приближены к обычной деятельности людей. Таким образом, в естественном эксперименте создаются условия для полноценного изучения всех свойств объекта. Естественный эксперимент можно подразделить на производственный и полевой эксперименты.

Основными методами в естественном эксперименте являются наблюдение за исследуемым объектом, беседа с ним, количественный и качественный анализ результатов.

Производственный эксперимент проводится в привычных для исследуемого объекта (лица) условиях профессиональной деятельности, однако участники могут не знать об организации исследования или принимать в нем активное участие. Производственные экспериментальные исследования имеют целью изучить процесс в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов производственной среды. В ходе такого эксперимента часто применяется метод анкетирования.

Полевой эксперимент — это естественный эксперимент, в котором объектом эксперимента является оборудование предприятий, а участников (людей) информируют о проведении исследования.

Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий для его проведения.

Искусственный эксперимент имеет такие достоинства, как возможность обеспечить достаточные условия для устранения побочных факторов. Однако при этом часто возникает проблема возможности распространить результаты конкретного исследования на весь класс подобных явлений (объектов).

Вычислительный эксперимент – это исследования, основанные на применении прикладной математики и электронно-вычислительных машин как

технической базы. Вычислительный эксперимент основывается на создании и последующем исследовании математических моделей изучаемых объектов, которые формируются с помощью некоторой математической структуры, способной отражать свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях.

Однако эти математические структуры превращаются в модели лишь тогда, когда устанавливается соотношение между параметрами математической структуры и экспериментально определенными свойствами объекта, когда в математической форме объективно отражаются существующие в природе зависимости, связи и законы. Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда проведение натурных экспериментов и построение физической модели оказываются невозможными или слишком дорогостоящими.

Компьютерное моделирование какого-либо процесса является вычислительным экспериментом, когда физическая модель описывается современными программными комплексами, ориентированными на расчеты и исследование строительных конструкций с использованием метода конечных элементов.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением приборов, стендов, оборудования и т. д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец (модель). Этот эксперимент позволяет с достаточной повторяемостью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда с достаточной точностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурального эксперимента.

По теоретической схеме лабораторные испытания строительных конструкций можно подразделить на: линейные (растяжение, сжатие); плоские (изгиб); пространственные.

По характеру внешних воздействий испытания строительных конструкций различаются на: испытания статической нагрузкой; испытания динамической нагрузкой.

В первом случае конструкции загружаются неподвижными нагрузками в определенном порядке с нарастающим увеличением этих нагрузок. Динамические испытания проводят при переменных или пульсирующих (вибрационных) нагрузках, создаваемых с помощью специальных вибромашин, перемещающихся грузов или ударных нагрузок.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Практически во всех случаях основная научная проблема натурального эксперимента - обеспечить достаточное соответствие (адекватность) условий эксперимента реальной ситуации, в которой будет работать впоследствии создаваемый объект. Поэтому главными задачами натурального эксперимента являются: изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект; идентификация статистических и динамических параметров объекта; оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

В зависимости от содержания научного исследования объем любых экспериментов может быть разным. В лучшем случае для подтверждения рабочей гипотезы достаточно лабораторного эксперимента, но иногда приходится проводить целую серию экспериментальных исследований: предварительных (поисковых), лабораторных, полигонных, в том числе - на эксплуатируемом объекте.

6.3. Системный подход к исследованию. Основные этапы экспериментального исследования. Методика эксперимента, средства и методы измерений, программа экспериментальных исследований

Системный подход — это подход, при котором любой объект исследования рассматривается как система, то есть совокупность взаимосвязанных,

взаимодействующих элементов, как система, имеющая обратную связь с внешней средой.

Основные принципы системного подхода заключаются в следующем:

- любой объект — это открытая система, взаимодействующая с внешней средой (макросистемой);
- эффективность функционирования системы определяется ее системными качествами и условиями окружающей среды;
- элементы системы рассматриваются в их взаимосвязи и в развитии.

Системный подход к исследованию включает в себя: анализ и описание принципов построения и работы системы в целом; анализ особенностей всех компонентов системы, их взаимозависимостей и внутреннего строения; установление сходства и различия изучаемой системы и других систем; перенос по определенным правилам свойств модели на свойства изучаемой системы.

В конечном итоге все исследования посвящены решению системных задач, в которых объект исследований представляется в виде системы. Сущность системного подхода состоит в следующем: формулировка задачи исследования; выделение объекта исследования как системы из окружающей среды; установление свойств и компонентов, присущих системе; определение или постановка целей перед компонентами, исходя из результата всей системы в целом; разработка модели системы и проведение на ней исследований.

Системный подход позволяет строить процесс исследования напряженно-деформированного состояния сложных строительных конструкций и сооружений в виде шаговых процедур (этапов), ведущих к достижению поставленной цели. Прежде, чем приступить к экспериментальным исследованиям, необходимо разработать методологию эксперимента.

Методология эксперимента – это общая структура (этапы) эксперимента, то есть постановка и последовательность выполнения экспериментальных исследований.

Постановке эксперимента предшествуют:

- разработка гипотезы, подлежащей проверке;

- создание программы экспериментальных работ;
- определение способов и приемов вмешательства в объект исследования;
- обеспечение условий для выполнения экспериментальных работ;
- выбор средств и методов фиксирования хода и результатов эксперимента;
- подготовка средств эксперимента (приборы, установки, модели и т. д.),
- обеспечение эксперимента необходимым обслуживающим персоналом.

В самом общем виде подготовка к экспериментальному исследованию и само исследование включают в себя следующие этапы:

- анализ объекта исследований, уточнение проблемы;
- формулирование цели и разработка общей программы исследований;
- декомпозиция (разделение) объекта исследования на подсистемы;
- разработка расчетной модели, выявление неизвестных параметров;
- предварительные численные исследования. Получение уравнений для получения неизвестных параметров;
- экспериментальные исследования. Определение неизвестных параметров;
- разработка, изготовление и экспериментальные исследования физической модели;
- проверка адекватности расчетной модели;
- обработка и анализ полученных данных.

Исследование строительных конструкций начинается с подробного анализа объекта исследований и состояния вопроса по данной проблеме. На этом этапе изучаются рабочие чертежи и другая документация, относящейся к исследуемому объекту; выполняется анализ условий работы и функционального назначения объекта; выявляются отличительные признаки и особенностей данного объекта по сравнению с аналогичными, ранее исследованными; осуществляется ознакомление с методиками и результатами проведенных ранее исследований. На основании проведенного анализа оцениваются актуальность

и новизна проблемы. Уточняются цель и задачи исследований с учетом имеющихся ресурсов, а также потребности в них. Работа исследователя на этом этапе заключается в выполнении следующих задач: разбить общую цель на несколько более конкретные подцели; при определении цели назначить параметры, позволяющие в наиболее явной и конкретной форме представить результат; по возможности сформулировать несколько вариантов целей в зависимости от потребности в ресурсах для их достижения, провести анализ и оценку распределения имеющихся ресурсов.

После формулировки окончательной цели разрабатывается общий план (программа) исследований - методы организации работы и решения поставленных задач. Затем выполняется анализ функциональных связей и особенностей работы отдельных элементов сложного объекта для возможной декомпозиции сложной системы на некоторое количество более простых подсистем. Для каждой подсистемы формулируются частные цели и задачи исследований. В соответствии с этим для каждой подсистемы выбираются наиболее подходящие расчетные модели и определяется своя система воздействий и параметров напряженно-деформированного состояния.

Затем проводятся экспериментальные исследования отдельных подсистем - элементов и узлов, а также экспериментально определяются параметры напряженно-деформированного состояния, необходимые для последующего определения неизвестных параметров соответствующих расчетных моделей.

На расчетных моделях подсистем проводятся предварительные численные исследования. С использованием данных эксперимента определяются неизвестные параметры расчетных моделей. Синтезируется общая расчетная модель объекта исследований. На основании метода функционального подобия разрабатывается физическая модель всего объекта исследований, соответствующая расчетной, проводятся ее экспериментальные исследования.

Затем проверяется адекватность общей расчетной модели путем статистического сопоставления результатов эксперимента и численных исследований. Если проверка дала положительный результат, переходят к следующей

процедуре; в противном случае анализируются причины неадекватности и уточняется общая расчетная модель вплоть до новых вариантов расчетных моделей отдельных подсистем.

После того, как адекватность расчетной модели установлена, выполняются численные исследования в объеме, необходимом для ответа на поставленные перед исследователями вопросы.

Результаты исследований оформляются в установленном порядке. Как правило, исследования заканчивают рекомендациями по совершенствованию исследуемого объекта.

В зависимости от характера исследований некоторые этапы могут отсутствовать или, наоборот, могут появиться новые, может измениться их порядок. Но стратегия, заключающаяся в выборе и построении расчетной модели объекта, адекватной натуре, остается неизменной.

В вычислительном эксперименте, частным случаем которого является математическое моделирование, можно выделить следующие этапы:

- Для исследуемого объекта строится модель, обычно сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих в рассматриваемом явлении факторов на главные и второстепенные. Второстепенные факторы на этом этапе исследования, отбрасываются. Одновременно формулируются допущения и условия (границы) применимости модели, в которых будут справедливы полученные результаты. Модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений. Создание математической модели в виде программы выполняется специалистами, хорошо знающими данную проблему, а также математиками, представляющими себе возможности решения математической задачи.

- Разрабатывается метод расчета сформулированной математической задачи. Эта задача представляется в виде совокупности алгебраических формул, по которым должны проводиться вычисления, и условий, показывающих последовательность применения этих формул. Набор таких формул и условий носит название *вычислительного алгоритма*.

- Разрабатываются алгоритм и программа расчета на ЭВМ.
- При проведении расчетов на ЭВМ результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую далее необходимо расшифровать.
- Выполняются обработка результатов расчетов и их анализ, подготавливаются выводы.

Методика эксперимента – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. Она должна в общем виде включать следующие составные элементы:

- проведение предварительного целенаправленного наблюдения над изучаемым объектом или явлением с целью определения исходных данных (гипотез, выбора варьируемых факторов);
- создание условий, при которых возможно экспериментирование (подбор объектов для экспериментального воздействия, устранение влияния случайных факторов);
- определение пределов измерений;
- систематическое наблюдение за ходом развития изучаемого явления в процессе эксперимента и точное описание фактов;
- систематическая регистрация измеряемых величин различными средствами и способами;
- создание повторяющихся ситуаций, изменение характера условий, создание усложненных ситуаций с целью подтверждения или опровержения ранее полученных данных;
- переход от эмпирического изучения к логическим обобщениям, к анализу и теоретической обработке полученного фактического материала.

Выбрав методику эксперимента, исследователь должен удостовериться в ее практической пригодности. Рассмотрим основные составные части методики. Перед экспериментом надо выбрать варьируемые факторы, т. е. установить основные и второстепенные характеристики, влияющие на исследуемый

процесс, проанализировать расчетные (теоретические) схемы процесса. Основным принципом установления степени важности характеристики является ее роль в исследуемом процессе. Для этого процесс изучается в зависимости от какой-то одной переменной при остальных постоянных. Такой принцип проведения эксперимента оправдывает себя лишь в тех случаях, когда таких характеристик не более трех. Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа.

Необходимо также обосновать набор средств измерений, оборудования, машин и аппаратов. Для этого экспериментатор должен быть хорошо знаком с выпускаемой измерительной аппаратурой (например, при помощи каталогов, по которым можно заказать те или иные средства измерений). Естественно, что в первую очередь следует использовать стандартные, серийно выпускаемые машины и приборы, работа на которых регламентируется официальными документами.

В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов, установок, стендов. Для этих целей желательно использовать готовые узлы выпускаемых приборов или реконструировать существующие. При этом целесообразность изготовления нового оборудования должна быть тщательно обоснована как теоретическими расчетами, так и практическими соображениями.

Важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех цифр, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи – таблицы, графики, формулы, позволяющие быстро сопоставлять и анализировать полученные результаты. Размерность всех параметров должна соответствовать единой системе физических величин.

Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных, в том числе установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьируемыми характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов.

При регистрации величин в ходе одного и того же процесса повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы. Отклонения объясняются различными причинами – неоднородностью свойств изучаемого тела, погрешностью приборов, субъективными особенностями экспериментатора и др.

Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше расхождения значений, получаемых при измерениях. Это ведет к необходимости повторных измерений. Установление потребного минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку дает возможность получения наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств. Оно должно обеспечить устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности.

Средства измерений

Средство измерений - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики. Формальное решение об отнесении технического средства к средствам измерений принимает Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Все многообразие средств измерений подразделяется на типы и виды.

Тип средств измерений - совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной технической документации. На каждый тип средств измерений, зарегистрированный в Госреестре (Государственном реестре средств измерений) содержится следующая информация: наименование СИ; регистрационный номер, состоящий из порядкового номера государственной регистрации и двух последних цифр года утверждения типа; назначение СИ; страна производства; изготовитель и его реквизиты;

наименование Государственного центра испытаний; срок действия сертификата; межповерочный интервал; методика поверки.

Вид средства измерений - совокупность средств измерений, предназначенных для измерения данной физической величины. Вид средств измерений может включать в себя несколько их типов. Например, амперметр является видом средства измерений для измерения силы тока. Средства измерений могут быть классифицированы следующим образом:

1. По техническому назначению:

- *мера физической величины* - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. При измерениях с использованием мер сравнивают измеряемые величины с известными величинами, воспроизводимыми мерами. К мерам относятся стандартные образцы, которые представляют собой специально оформленные тела, одно из свойств которых является величиной с известным значением. Например, образцы твердости, шероховатости;

- *измерительный прибор* - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительный прибор представляет измерительную информацию в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. По способу индикации различают показывающие и регистрирующие приборы. По действию измерительные приборы разделяют на интегрирующие и суммирующие, аналоговые и цифровые, самопишущие и печатающие;

- *измерительный преобразователь* - техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Преобразуемая величина, поступающая на измерительный преобразователь, называется входной, а результат преобразования - выходной величиной.

Соотношение между ними задается функцией преобразования, которая является его основной метрологической характеристикой. По характеру преобразования ИП могут быть аналоговыми, аналого-цифровыми (АЦП), цифро-аналоговыми (ЦАП), то есть, преобразующими цифровой сигнал в аналоговый или наоборот;

- *измерительная установка (измерительная машина)* - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте;

- *измерительная система* - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях. Измерительные системы, как правило, являются автоматизированными;

- *измерительно-вычислительный комплекс* - функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

2. По степени автоматизации:

- автоматические;
- автоматизированные;
- ручные.

3. По стандартизации средств измерений:

- стандартизированные. Стандартизированное средство измерений изготавливается и применяется в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта. Стандартизированные средства измерений обычно подвергаются испытаниям и вносятся в Государственный реестр;

- нестандартизированные. К нестандартизированным средствам измерений обычно относят узко специализированные средства измерений, изготовленные в единичных экземплярах и не предназначенные для массового производства. Измерительные задачи, решаемые с помощью таких средств измерений, носят ограниченный и локальный характер. Как правило, такие средства измерений используются на одном или нескольких предприятиях для вспомогательных измерений.

4. По положению в поверочной схеме:

- эталоны. Эталон — это средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера другим средствам измерений;

- рабочие средства измерений, предназначенные для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

5. По значимости измеряемой физической величины:

основные средства измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;

вспомогательные средства измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

Средства измерений можно использовать только тогда, когда известны их метрологические характеристики. Сведения о метрологических характеристиках приводятся в технической документации на средства измерений или указываются на них самих. Со средствами измерений непосредственно связаны такие понятия, как диапазон измерений и погрешность измерений.

Диапазон измерений средств измерений - область значений величины, в пределах которой нормированы его допускаемые пределы погрешности. Для мер это их номинальное значение, для преобразователей -- диапазон преобразования. Различают нижний и верхний пределы измерений, которые выражаются значениями величины, ограничивающими диапазон измерений снизу и сверху.

Погрешность средств измерений - разность между показанием средства измерений - $X_{п}$ и истинным (действительным) значением измеряемой величины - $X_{д}$. Существует распространенная классификация погрешностей средств измерений.

Абсолютная погрешность средств измерений - погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой величины: $X = X_{п} - X_{д}$. Абсолютная погрешность удобна для практического применения, т.к. дает значение погрешности в единицах измеряемой величины. Но при ее использовании трудно сравнивать по точности приборы с разными диапазонами измерений. Эта проблема снимается при использовании относительных погрешностей.

Относительная погрешность средств измерений - погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средств измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной величины: $= X / X_{д}$. Относительная погрешность дает наилучшее из всех видов погрешностей представление об уровне точности измерений, который может быть достигнут при использовании данного средства измерений. Однако она обычно существенно изменяется вдоль шкалы прибора, например, увеличивается с уменьшением значения измеряемой величины. В связи с этим часто используют приведенную погрешность.

Приведенная погрешность средств измерений - относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины X_N , которое называют нормирующим, то есть X/X_N .

Относительные и приведенные погрешности обычно выражают либо в процентах, либо в относительных единицах (долях единицы). Приведенные погрешности позволяют сравнивать по точности средства измерений, имеющие разные пределы измерений, если абсолютные погрешности каждого из них не зависят от значения измеряемой величины.

Погрешности по своему происхождению разделяются на систематические и случайные.

Систематическая погрешность СИ - составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся. Систематические погрешности являются в общем случае функциями измеряемой величины и влияющих величин (температуры, влажности, давления, напряжения питания и т.п.).

Случайная погрешность СИ - составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом. Случайные погрешности средств измерений обусловлены случайными изменениями параметров составляющих эти СИ элементов и случайными погрешностями отсчета показаний приборов.

Установление рядов пределов допускаемых погрешностей позволяет упорядочить требования к средствам измерений по точности. Это упорядочивание осуществляется путем установления *классов точности* средств измерений.

Класс точности средств измерений - обобщенная характеристика данного типа средств измерений, отражающая уровень их точности. Класс точности применяется для средств измерений, когда нет необходимости или возможности выделить отдельно систематические и случайные погрешности. Класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений.

Конкретные методы измерений определяются видом измеряемых величин, их размерами, требуемой точностью результата, быстротой процесса измерения, условиями, при которых проводятся измерения, и рядом других признаков.

Каждую физическую величину можно измерить несколькими методами, которые могут отличаться друг от друга особенностями как технического, так и методического характера. Для прямых измерений можно выделить несколько основных методов: метод непосредственной оценки, дифференциальный метод, нулевой метод и метод совпадений. При косвенных измерениях

широко применяется преобразование измеряемой величины в процессе измерений.

Метод непосредственной оценки дает значение измеряемой величины непосредственно без каких-либо дополнительных действий со стороны лица, проводящего измерение, и без вычислений, кроме умножения его показаний на постоянную измерительного прибора или цену деления. Наиболее многочисленной группой средств измерений, служащих для измерений методом непосредственной оценки, являются показывающие приборы, в том числе - стрелочные приборы: манометры, динамометры, барометры, амперметры, вольтметры, ваттметры, и другие.

Разностный или дифференциальный метод характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и величиной, значение которой известно. Разностный метод позволяет получить результаты с высокой точностью даже при применении относительно грубых средств для измерения разности. Однако осуществление метода возможно только при условии воспроизведения с большой точностью известной величины, значение которой близко к значению измеряемой.

Нулевой метод заключается в следующем. Измеряемую величину сравнивают с величиной, значение которой известно. Последнюю выбирают таким образом, чтобы разность между измеряемой и известной величинами равнялась 0. Совпадение значений этих величин отмечают при помощи нулевого указателя (нуль-индикатора).

Метод совпадения характеризуется использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов. По принципу метода совпадения построен нониус штангенциркуля и ряда других приборов.

Программа экспериментальных исследований

При проведении экспериментальных исследований строительных конструкций составляется план (программа) исследований - основной методический документ, в котором излагаются цели и методика испытаний, порядок их проведения, используемая аппаратура и др.

В плане (программе) должны быть отражены тема исследования; рабочая гипотеза; цель и задачи эксперимента; методика эксперимента; выбор варьируемых факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; обоснование средств измерений; описание проведения эксперимента; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента; перечень необходимых материалов, приборов, установок; список исполнителей эксперимента; календарный план работ и смета на выполнение эксперимента. В ряде случаев в план-программу включают работы по конструированию и изготовлению приборов, аппаратов, приспособлений, методическое их обследование, а также программы опытных работ на предприятиях.

Программа испытания строительных конструкций должна включать в себя:

- обмерные чертежи испытываемой конструкции с фактическими геометрическими размерами, жесткостными характеристиками, ведомостями дефектов и повреждений;
- результаты проверочного расчета конструкции на испытательные нагрузки с учетом фактических размеров элементов. При этом необходимо вычислить ожидаемые величины перемещений, усилий, моментов и деформаций в точках измерения, определить значение нагрузки, при которой меняется характер работы конструкции, величину разрушающей нагрузки;
- определение количества ступеней нагружения и разгрузки и величин приращения измеряемых при испытании параметров;
- установление сечений, узлов и конкретных точек, в которых будут выполняться измерения;
- определение требуемой точности измерения и подбор измерительной аппаратуры с необходимыми параметрами точности и диапазона.

В программе испытаний конструкций должны быть также предусмотрены мероприятия по технике безопасности, включающие в себя: инструкцию по проведению испытаний с четким распределением обязанностей членов бри-

гады исследователей и их взаимодействия; план испытательного стенда с указанием размещения агрегатов, опасных зон, пульта управления; наличие и размещение страхующих устройств, предотвращающих обрушение испытываемой конструкции и падение грузов, устройств аварийного сброса нагрузки; нагружения и разгрузки, исключающие возможность травмирования персонала.

Экспериментальные исследования проводятся в соответствии с утвержденным планом (программой) и методикой эксперимента. Приступая к эксперименту, окончательно уточняют методику его проведения, последовательность испытаний.

При проведении экспериментальных исследований необходимо соблюдать следующие принципы и правила. Особое значение имеет добросовестность при проведении экспериментальных работ; недопустима небрежность, что приводит к большим искажениям, ошибкам. Обязательным требованием проведения эксперимента является ведение журнала. Форма журнала может быть произвольной, но должна наилучшим образом соответствовать исследуемому процессу с максимальной фиксацией всех факторов. В журнале отмечают тему НИР и тему эксперимента, фамилию исполнителя, время и место проведения эксперимента, характеристику окружающей среды, данные об объекте эксперимента и средствах измерения, результаты наблюдений, а также другие данные для оценки получаемых результатов.

Журнал нужно заполнять аккуратно, без каких-либо исправлений. При получении в одном статистическом ряду результатов, резко отличающихся от соседних измерений, исполнитель должен записать все данные без искажений и указать обстоятельства, сопутствующие указанному измерению. Это позволит установить причины искажений и квалифицировать измерения как соответствующие реальному ходу процесса или как грубый промах.

Одновременно с измерениями исполнитель должен проводить предварительную обработку результатов и их анализ. Такой анализ позволяет контролировать исследуемый процесс, корректировать эксперимент, улучшать

методику и повышать эффективность эксперимента. Результаты измерений сводятся в таблицы по варьирующим характеристикам для различных изучаемых вопросов. Уточняются сомнительные цифры, устанавливается точность обработки опытных данных. Особое место отводится анализу эксперимента – завершающей, творческой части исследования, на основе которой делается вывод о подтверждении гипотезы научного исследования.

6.4. Научно-технические возможности Головного регионального центра коллективного пользования научным оборудованием и установками НИУ МГСУ (оборудование и его основные технические характеристики, измерительная аппаратура)

В НИУ МГСУ имеются условия для проведения экспериментальных исследований строительных материалов, а также строительных конструкций зданий и сооружений. Эти исследования могут проводиться в Головном региональном центре коллективного пользования научным оборудованием и установками НИУ МГСУ.

Головной региональный центр коллективного пользования научным оборудованием и установками (далее - ГР ЦКП) не является самостоятельным юридическим лицом, а представляет собой научно-организационную структуру, созданную на базе ведущих научно-исследовательских, научно-образовательных и научно-технических подразделений НИУ МГСУ. В структуру ГР ЦКП входят научно-образовательные, научно-исследовательские и научно-технические подразделения НИУ МГСУ, оснащенные современным научным оборудованием и программным обеспечением. В соответствии с Положением об этом Центре, утвержденном ректором НИУ МГСУ А.А. Волковым 15 ноября 2017 года, пользователями услуг ГР ЦКП могут являться:

- сотрудники учебных и научных подразделений НИУ МГСУ, докторанты, аспиранты, а также иные обучающиеся и сотрудники, вовлеченные в научно-исследовательскую деятельность НИУ МГСУ (внутренние пользователи);

- сторонние физические и юридические лица (внешние пользователи)

Доступ к научному оборудованию, установкам и программному обеспечению ГР ЦКП осуществляется в формате предоставления услуг заинтересованным пользователям. Актуальный перечень типовых услуг ГР ЦКП, форма заявки и форма типового договора публикуются в открытом доступе на сайте НИУ МГСУ в разделе grckp.mgsu.ru.

Основными задачами ГР ЦКП являются:

- оказание услуг по проведению исследований и испытаний на современном техническом уровне с использованием имеющегося оборудования, программного обеспечения и научных установок ГР ЦКП;

- повышение уровня загрузки оборудования, программного обеспечения и научных установок ГР ЦКП;

- развитие базы оборудования, программного обеспечения и научных установок ГР ЦКП для обеспечения поддержки реализации приоритетов научно-технологического развития, в том числе в кооперации с ведущими мировыми научными центрами;

- расширение перечня и комплексности оказываемых услуг, а также круга пользователей для обеспечения эффективного участия в реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации;

- обеспечение внедрения упрощенной модели доступа и использования оборудования ЦКП научными и образовательными организациями вне зависимости от их ведомственной принадлежности и формы собственности;

- участие в подготовке специалистов и кадров высшей квалификации (магистров, аспирантов, докторантов) на базе оборудования и программного обеспечения ГР ЦКП;

- развитие практических навыков при выполнении исследовательских работ у магистрантов, аспирантов, преподавателей и иных научно-педагогических работников НИУ МГСУ;

- обеспечение единства и достоверности измерений при проведении научных исследований на оборудовании и программном обеспечении ГР ЦКП;

- предоставление информации о возможностях оборудования и программного обеспечения ГР ЦКП заинтересованным пользователям;
- реализация мероприятий программы развития ГР ЦКП.

Головной региональный центр коллективного пользования научным оборудованием и установками оснащен современным научным оборудованием и установками, дающих возможность проведения экспериментальных исследований строительных материалов, а также строительных конструкций зданий и сооружений. В числе этого оборудования имеются:



Рис. 6.1. Универсальная динамическая испытательная машина LabTest 6.500H.5.01.1

Универсальная динамическая испытательная машина LabTest 6.500H.5.01.1 обеспечивает возможность проведения статических и динамических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, отрыв, сдвиг образцов и целых изделий из различных материалов.

Максимальная нагрузка: 500 кН.

Пределы погрешности измерений силы в диапазоне 5-500 кН: $\pm 0,5\%$.

Пределы погрешности измерений силы в диапазоне 0,5-5 кН: $\pm 1\%$.

Пределы погрешности измерений перемещения в диапазоне 0-10 мм:
 ± 50 мкм.

Пределы погрешности измерений перемещения в диапазоне свыше 10 мм: $\pm 0,5\%$.

Максимальная частота испытаний: 100 Гц.

Диапазон рабочей температуры, °С: -150...+350.

Скорость нагрева: 8 °С/мин.

Скорость охлаждения: 7,5 °С/мин.

Размер рабочей зоны (ШхВхД), мм: 500х800х500.

Размеры смотрового стекла (ШхВ), мм: 350х500.

Объём сосуда Дьюара: 100 л.



Рис. 6.2. Контроллер давления CPC6050

Он предназначен для повышения точности результатов испытаний путем точной и автоматизированной калибровки датчиков давления.



Рис. 6.3. Автоматизированный испытательный комплекс "АСИС"

Автоматизированный испытательный комплекс "АСИС" с комплектом оборудования для проведения испытаний образцов грунта в условиях трёхосного сжатия с вертикальной нагрузкой до 10 кН и боковым давлением.



Рис. 6.4. Универсальная электромеханическая испытательная машина (разрывная машина Criterion 45, "MTS Systems")

Предназначена для проведения статических испытаний с различными усилиями.

Технические характеристики:

- конфигурация силовой рамы: 1-колонная, напольного типа, электромеханическая;
- обладает интегрированной системой цифрового управления с обратной связью для проведения испытаний с контролем нагрузки и положения в диапазоне усилий от 1 Н до 100 кН;
- типичные образцы: металлы, строительные компоненты, крупные крепежные детали, композиционные материалы, древесные материалы и т.п.
-



Рис. 6.5. Испытательная установка для моделирования сейсмического воздействия на анкерные соединения

Установка предназначена для комбинированного нагружения фрагментов строительной конструкции с анкерными соединениями (анкерные болты, анкерные тросы, дюбели, анкерные детали, прочие строительные детали и конструкций), в том числе для моделирования сейсмического воздействия на анкерные соединения.



Рис. 6.6. Автоматизированный лабораторный гидравлический пресс Vaneox PR-40-HD_40

Пресс предназначен для проведения испытаний по определению физико-механических характеристик материалов.

Основные технические характеристики:

PR-40-HD VANEOX-40t Пресс с автоматическим управлением.

Размеры (Ш x В x Г): 340 x 490 x 550 мм.

Вес: 120 кг.

- автоматическое прессование, ручной сброс давления.
 - используется с типовыми пресс-формами для различных применений.
 - запрессовка в кольца Ø 40 / 32 мм.
 - запрессовка в кольца Ø 51,5 / 35 мм.
 - также другие размеры пресс-форм с кольцами или без них по запросу заказчиков.
 - 10 программ прессования задаются пользователем.
 - программируются 3 шага увеличения давления.
 - подсветка в камере прессования.
 - электропитание 230 В / 50 гц.
- Макс. усилие 40 т.
- Дисплей давления цифровой 0 - 40 т.
- Поршень 80 мм.

Ход поршня 30 мм.

Диаметр прижимного винта 40 мм.

Перемещение прижимного винта 200 мм.

Мин. расстояние между прессующими поверхностями 70 мм.

Макс. расстояние между прессующими поверхностями 170 мм.



Рис. 6.7. Универсальная электромеханическая машина Instron 3382

Электромеханическая машина предназначена для:

Испытания на статическое растяжение.

Испытания на изгиб.

Испытания на срез.

Испытания по определению модуля Юнга.

Испытания по определению коэффициента Пуассона.

Определения предела прочности сцепления с бетоном.

Таблица 6.1

Основные характеристики:

Наибольшая предельная нагрузка (в зависимости от модификации), кН:	100
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений нагрузки, %:	$\pm 0,5$
Максимальная скорость перемещения подвижной траверсы, мм / мин:	1000
Пределы допускаемой относительной погрешности регулировки скорости траверсы, %:	$\pm 0,1$

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений датчика перемещений, %:	$\pm 0,05$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений датчика перемещений, мм:	$\pm 0,015$
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$:	$+ 10 \div + 38$
Относительная влажность, %:	$10 \div 90$



Рис. 6.8. Установка истинного трехосного сжатия (комплект Геотек ГТ 0.3.20)

Комплект предназначен для определения характеристик прочности и деформируемости грунтов.

Установка трехосного сжатия обеспечивает определение характеристик прочности и деформируемости: угла внутреннего трения, удельного сцепления, модулей деформации, коэффициента поперечной деформации для песков, глинистых, органо-минеральных и органических грунтов.

Технические характеристики:

- максимальная вертикальная нагрузка на образец: 25 кН.
- точность измерения вертикальной силы: $\pm 1\text{Н}$.
- максимальное боковое давление на образец: 2 МПа.
- максимальное поровое давление образца: 2 МПа.
- максимальное противодействие: 0,6 МПа.

- точность измерения давления: $\pm 0,5$ кПа.
- способ приложения вертикальной нагрузки: кинематический с постоянной скоростью.
- скорость вертикальных деформаций (от): 0,001 мм/мин.
- скорость вертикальных деформаций (до): 5 мм/мин.
- максимальные вертикальные деформации образца: 50 мм.
- точность измерения деформаций: $\pm 0,2$ мм.
- высота образца: 143 мм.
- диаметр образца: 71,5 мм.



Рис. 6.9. Установка для проведения испытаний в условиях трехосного сжатия Wille LO7060/SP05 (частотой до 5 Гц)

Установка предназначена для проведения испытаний в условиях трехосного сжатия с контролем нагрузки, линейных перемещений и скорости, со сбором и преобразованием данных, а также с возможностью проведения динамических испытаний не менее 5 кН.

Технические характеристики:

- максимальная нагрузка: не менее 60кН;
- ход поршня: не менее 100мм;
- скорость сдвига (бесступенчатая): 60-0.00001мм/мин;
- вертикальный зазор: 1000мм;

- габариты (высота*ширина*глубина): 2200*600*600 мм;
- напряжение сети: 220В;
- встроенные дополнительные входы: не менее 4 шт;
- разъем для подключения к СОМ-порту ПК и Ethernet разъем.

Дополнительное оборудование:

- датчик силы (0,5, 2,5,10,20 или 60 кН);
- датчик линейных перемещений любой длины;
- адаптеры для проведения различных типов испытаний;
- ПК и модуль ПО для различных типов испытаний в условиях трехосного сжатия и других испытаний;
- различная электронно-преобразующая аппаратура для других типов испытаний по механике грунтов;
- автоматическое подъемное устройство для камеры трехосного сжатия.
- серво-пневматический дополнительный привод 5кН с серво-цилиндром для проведения статических и динамических испытаний в условиях одноосного и трехосного сжатия до 5Гц.



Рис. 6.10. Испытательная машина Zwick Z010 серии Proline

Испытательная машина предназначена для исследования физико-механических свойств различных материалов: прочности на растяжение, сжатие, изгиб, вязкость разрушения.

Технические характеристики:

- диапазон измерения сил (нагрузок) от 5 до 10000 Н (от 0,5 до 1000, 0 кгс);
- погрешность $\pm 1,0\%$.



Рис. 6.11. Комбинированная установка для испытания на сжатие (пресс гидравлический MEGA 6-3000-100)

Установка предназначена для определения предела прочности бетонных образцов на сжатие.

Основные характеристики:

диапазон измерений:

- сжатие 0-3000 кН;
- изгиб 0-100 кН.

относительная погрешность $\pm 1,0\%$.



Рис. 6.12. Напорная серво-гидравлическая машина для статических и динамических испытаний (серво-гидравлическая машина Instron 8802)

Гидравлическая машина предназначена для испытаний по определению характеристики трещиностойкости и испытаний на многоцикловую усталость в условиях воздействия различных температур.

Основные характеристики:

- диапазон измерений: статика 0-300 кН, динамика 0-250 кН.
- относительная погрешность: $\pm 0,5\%$.



Рис. 6.13. Комплект оборудования для контроля прочностных характеристик бетона и измерения твердости изделий

Предназначен для контроля однородности и прочности бетона, контроля толщины защитного слоя бетона, измерения твердости изделий.



В комплект входят:

- Ультразвуковой прибор ПУЛЬСАР - 2М;
- Твердомер портативный динамический ТЭМП – 3;
- Толщиномер ультразвуковой А 1207;
- Измеритель толщины защитного слоя бетона ИПА-МГ 4.01;
- Измеритель прочности бетона ОНИКС - 2.5;
- Измеритель прочности бетона ОНИКС - ОС.

Технические характеристики

Ультразвуковой прибор ПУЛЬСАР - 2М:

- диапазон измерения времени: 10 ... 100 мкс;
- разрешающая способность: 0,05 мкс;
- пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения времени: $\pm(0,01t + 0,1)$ мкс;
- диапазон измерения скорости: 1000 ... 10000 м/с;
- пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения скорости: $\pm(0,01v + 10)$ м/с;
- пределы допускаемой дополнительной абсолютной погрешности измерения скорости и времени при отклонении температуры окружающей среды на каждые 10°C в пределах рабочего диапазона, в долях от основной погрешности, не более: 0,5.

Твердомер портативный динамический ТЭМП - 3:

- диапазон измерения твердомера по шкале Роквелла: 22 ... 68 HRC;
- диапазон измерения твердомера по шкале Бриннеля: 100 ... 450 НВ;
- диапазон измерения твердомера по шкале Виккерса: 100 ... 950 НV;
- диапазон измерения твердомера по шкале Шора: 22 ... 99 HSD;
- предел относительной допускаемой погрешности твердомера: не более 3 %;
- время одного измерения: 5 с.

Толщиномер ультразвуковой А 1207:

- диапазон измеряемых толщин: 10 ... 250 мм;

- дискретность индикации толщины: 0,1 мм;
- минимальный радиус кривизны измеряемых поверхностей: 40 мм;
- диапазон настроек скорости ультразвука: 1000 ... 9000 м/с;
- дискретность перестройки скорости ультразвука: 10 м/с;
- тип встроенного преобразователя: раздельно-совмещенный (10 МГц);
- диапазон рабочих температур: -30 °С ... +60 °С.

Измеритель толщины защитного слоя бетона ИПА-МГ 4.01:

- диаметр контролируемой арматуры: 3 ... 40 мм;
- диапазон измерения толщины защитного слоя бетона: 5 ... 140 мм;
- диапазон определения проборм расположения арматурных стержней: 3 ... 80 мм;
- погрешность определения прибором оси арматурного стержня: не более 10 мм;
- объем памяти: 200 результатов измерений.

Измеритель прочности бетона ОНИКС - 2.5:

- диапазоны измерения прочности: 1 ... 100 МПа;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения прочности: $\pm 8,0\%$;
- пределы допускаемой дополнительной погрешности измерения прочности при отклонении рабочей температуры окружающей среды от границ нормальной области на каждые 10 °С в пределах рабочего диапазона, не более: $\pm 1,5\%$;
- номинальное значение прочности рабочей эквивалентной меры: $24,5 \pm 2,5$ МПа;
- потребляемый ток, не более: 110 мА;
- продолжительность непрерывной работы, не менее: 25 часов;
- габаритные размеры прибора: длина 151 мм, ширина 81 мм, высота 3200 мм;
- габаритные размеры датчика: диаметр 30 мм, высота 165 мм;

- габаритные размеры рабочей эквивалентной меры: длина 60 мм, ширина 60 мм, высота 35 мм;
- масса прибора в сборе не более: 0,9 кг.

Измеритель прочности бетона ОНИКС-ОС:

- диапазон показаний нагрузки: 5 ... 100 кН;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения нагрузки: $\pm 2,0$ %;
- пределы допускаемой дополнительной погрешности измерения нагрузки при отклонении температуры окружающей среды от нормальной области на каждые 10 °С: $\pm 0,5$ %;
- питание прибора: от одного аккумулятора типа АА от 1,1 до 1,5 В;
- потребляемый ток, не более: 110 мА;
- продолжительность непрерывной работы, не менее: 6 ч;
- память результатов измерения, не менее: 360;
- габаритные размеры гидравлического пресса с встроенным электронным блоком, не более: 325x85x220 мм;
- масса прибора, не более: 5,7 кг.

В ГР ЦКП НИУ МГСУ имеется также и другое оборудование, позволяющее:

определять основные теплофизические параметры строительных материалов и изделий: теплопроводность, температуропроводность и теплоемкость;

определять паропроницаемость материалов;

проводить полномасштабные климатические тесты ограждающих стеновых конструкций;

проводить климатические испытания материалов и составов с возможностью моделирования воздействий солнечной радиации;

определять теплопроводность и термическое сопротивление материалов;

выполнять количественный и качественный анализ химических элементов;

проводить испытания на огнестойкость строительных конструкций при поддержании и регулировании избыточных давлений и др.

Доступ к научному оборудованию, установкам и программному обеспечению ГР ЦКП осуществляется на основании заявки и договора о предоставлении услуг, с учетом плана работы ГР ЦКП и загруженности оборудования.

6.5. Моделирование работы строительных конструкций. Физический и математический методы моделирования. Компьютерное моделирование работы строительных конструкций как частный случай математического моделирования

Моделирование – это построение и изучение моделей реально существующих предметов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания поведения исследуемого объекта.

Моделирование в общем виде включает в себя следующие операции: построение модели, изучение свойств этой модели при заданных условиях или воздействиях и перенос полученных сведений на моделируемый объект. Моделирование рассматривает только *подобие* явлений. Параметры, характеризующие *подобные* явления, связаны между собой определенными преобразованиями, позволяющими от эффектов, изучаемых на модели, перейти к исследуемым явлениям в натуре.

Другими словами моделирование – это исследования, проводимые на моделях или реальных установках с применением методов теории подобия при постановке и обработке результатов эксперимента.

Подобными считают явления, у которых *все параметры* (полное подобие) или *наиболее существенные* (неполное подобие) отличаются от соответствующих параметров другого явления в определенное (постоянное) число раз, называемое масштабом.

Теория подобия, применяемая при постановке эксперимента и обработке его результатов, позволяет по определенным признакам выявить суть физических явлений, происходящих в испытываемых конструкциях. Различают подобие геометрическое, кинематическое, материальное, динамическое, тепловое, упругое, пластическое и т.д. Все виды подобия подчиняются трем теоремам.

Первая теорема определяет необходимые условия подобия и формулирует свойства подобных систем: *явления или системы называются подобными, если равны их соответствующие критерии подобия, составленные из параметров системы.*

Вторая теорема подобия доказывает возможность приведения уравнения процесса к критериальному виду: *функциональная связь между характеризующими процесс величинами может быть представлена в виде зависимости между составленными из них критериями подобия.*

Третья теорема подобия показывает пределы закономерного распространения единичного опыта: *необходимыми и достаточными условиями подобия являются пропорциональность сходственных параметров, входящих в условия однозначности, а также равенство критериев подобия, изучаемого в натуре и на модели явления.*

Критерий подобия — безразмерная величина, составленная из размерных физических параметров, определяющих рассматриваемое физическое явление. Равенство всех однотипных критериев подобия для двух физических явлений и систем — необходимое и достаточное условие их физического подобия. Критерии подобия, представляющие собой отношения одноименных физических параметров системы (например, отношения длин), называются тривиальными. Их равенство для двух систем является определением физического подобия.

Если известны уравнения, описывающие рассматриваемое физическое явление, то критерии подобия для этого явления можно получить, приводя

уравнения к безразмерному виду путём введения некоторых характерных значений для каждого из определяющих физических параметров, входящих в систему уравнений. Тогда критерии подобия определяются как безразмерные коэффициенты, появляющиеся перед некоторыми из членов новой, безразмерной системы уравнений. Когда уравнения, описывающие физическое явление, неизвестны, критерии подобия отыскиваются при помощи анализа размерностей, определяющих физические параметры.

При изучении упругих деформаций конструкции под воздействием внешних сил основными критериями подобия являются коэффициент Пуассона для материала конструкции:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right|$$

и критерии

$$\frac{\rho \cdot g \cdot l}{E}, \frac{F}{E \cdot l^2},$$

где

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \text{ — относительная продольная деформация,}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta d}{d} \text{ — относительная поперечная деформация,}$$

E — модуль Юнга,

ρ — плотность материала конструкции,

F — характерная внешняя сила,

g — ускорение силы тяжести.

Признаками подобия явлений служат численно одинаковые критерии.

Подобие явлений может быть физическим и математическим. В физически подобных явлениях все процессы имеют одинаковую физическую природу. При математически подобных явлениях процессы имеют различную физическую природу, но описываются одинаковыми уравнениями.

Физическое подобие явлений, протекающих в природе и модели, обеспечивается только при определенной взаимосвязи между значениями масштабов физических величин. Чтобы назначить эти масштабы и установить взаимосвязь между ними, необходимо определить критерии подобия.

Существует два способа получения критериев подобия: анализ размерностей и критериальный анализ уравнений, которые описывают изучаемое явление. Первый способ применяется для малоизученных явлений, для которых можно составить лишь перечень определяющих эти явления физических величин. Для большинства задач строительной механики реализуется второй способ, так как для них составлены системы уравнений, описывающих поведение изучаемого объекта при заданных воздействиях и граничных условиях. В этом случае условия моделирования могут быть получены методом анализа уравнений, дающим наиболее точные результаты.

Под моделями, то есть объектами экспериментального исследования понимают физический или абстрактный образ моделируемого объекта, удобный для проведения исследований и позволяющий адекватно отображать интересующие исследователя физические свойства и характеристики объекта. Модели подразделяют на математические (позволяющие реализовать математическое подобие), геометрические (дающие только геометрическое подобие без отражения природы происходящих явлений), физические модели (сохраняющие подобие основных физических процессов изучаемого явления).

Моделирование строительных конструкций подразумевает экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния сооружения, выполненного в виде модели определенного масштаба. В зависимости от целей в процессе моделирования выявляют общую картину работы сооружения и его несущую способность и получают полные и подробные сведения о напряженно-деформированном состоянии. В соответствии с указанными целями разрабатывают методики исследований, во многом схожие с методиками исследования натуральных конструкций. Метод моделирования может быть при-

менен при изучении на моделях проектируемых сооружений для выбора оптимального проектного решения. Это дает возможность своевременно внести в проект коррективы, что сократит объем натурных испытаний.

Моделирование позволяет эффективно решать большое число сложных задач:

- выявить при минимальных затратах материала, трудоемкости и стоимости действительную картину распределения усилий во всех характерных сечениях и узловых сопряжениях элементов конструкций;
- произвести анализ напряженного состояния сложного сооружения взамен аналитического расчета, когда затруднительно использовать методы строительной механики и теории упругости;
- проверить правильность гипотез, положенных в основу аналитического расчета;
- уточнить расчетную схему сооружения;
- определить характер разрушения и разрушающую нагрузку;
- определить реальный запас прочности сооружения;
- установить влияние различных факторов на работу конструкции — свойств материалов, условий сопряжения, податливости основания и др.

Рассматривая процесс исследования строительных конструкций как некоторую систему, необходимо выделить в ней три основные подсистемы: экспериментальные исследования на физических моделях; расчетные исследования на математических моделях; оценка связи между экспериментом и расчетом, включающая идентификацию некоторых параметров расчетной модели, проверку ее адекватности и корректировку.

Сочетание при исследовании сложных строительных конструкций методов физического и математического моделирования позволяет применять принцип декомпозиции, то есть принцип членения объекта исследований на более простые элементы, отдельные испытания которых потребуют гораздо меньше ресурсов по сравнению с испытаниями всей системы. Особенно этот

принцип эффективен при исследовании сооружений, состоящих из большого количества однотипных элементов и узлов.

В зависимости от целей и требуемой точности результатов различают полное, неполное и приближенное моделирование.

При *полном* моделировании воспроизводят все свойства моделируемого процесса во всех точках модели, изменяющейся во времени.

Неполное моделирование позволяет воспроизводить свойства оригинала только в отдельных местах сооружения или в отдельный промежуток времени его эксплуатации.

При *приближенном* моделировании ряд свойств объекта учитывается весьма грубо или вообще не воспроизводится на модели.

При моделировании можно выделить лишь основные факторы, изучение которых является целью данного эксперимента, а также предусмотреть варьирование этих факторов на заданных уровнях. Достоинством моделирования по сравнению с натурными испытаниями является то, что в лабораторных условиях намного проще обеспечить требуемую точность измерений всех изучаемых параметров.

Существует два основных метода моделирования – физическое (инженерное) и математическое.

Физической моделью считается материальная система, свойства и параметры которой подобны реальному объекту; система имеет контролируемые входные и выходные параметры; она оснащена необходимыми измерительными приборами и нагружающими устройствами. В качестве физической модели быть использован и сам объект исследований, если он подготовлен соответствующим образом к испытаниям.

На физических моделях можно определять: а) схему разрушения и несущую способность конструкции; б) силовые воздействия на сооружения от ветра, морских волн, давления сыпучих сред, взрывов и др.; в) напряженно-

деформированное состояние конструкций и сооружений (надземных, подземных); г) частоты, амплитуды и форму колебаний сооружений при динамических, сейсмических и взрывных воздействиях и др.

Физическое моделирование включает в себя:

- разработку методики экспериментальных исследований, рабочих чертежей модели и приспособлений для ее испытаний;
- изготовление и монтаж модели и приспособлений для испытаний;
- подготовку модели к испытаниям, оснащение ее приборами и тензометрическими датчиками;
- испытание модели в соответствии с методикой исследований;
- обработку результатов эксперимента, которые служат исходными данными для построения и проверки адекватности математических моделей объекта исследований.

Физическое моделирование строительных конструкций рекомендуется осуществлять на основании теории подобия. Условия подобия устанавливаются в результате анализа размерностей величин, характеризующих исследуемое явление, или уравнений задачи, исходя из подобия напряженно-деформированных состояний тел (напряжения, деформации, перемещения и другие величины, характеризующие изучаемое явление в сходственных точках двух тел: модели и натурального объекта). При физическом моделировании различают простое, расширенное и функциональное подобие.

При простом (геометрическом) подобии должны выполняться следующие требования:

- модель и оригинал или их элементы геометрически подобны;
- действующие на модель воздействия с учетом масштаба такие же, как и в натурной конструкции;
- все безразмерные величины (относительные деформации, коэффициент трения и т.д.) в модели и оригинале равны;
- масштабные множители величин с одинаковой размерностью равны;

безразмерные комплексы, критерии подобия для модели и оригинала одинаковы;

материал модели и ее элементов тождествен материалу природы (для подобия в механическом смысле — это полное совпадение индикаторных диаграмм).

Расширенное подобие требует доказательства корректности его применения для каждого конкретного случая, оно характеризуется следующими условиями:

модель и оригинал, как минимум; аффинно подобны (имеют сходство);
действующие на модель нагрузки соответствуют нагрузкам, действующим на оригинал;

масштабы величин одинаковой размерности не равны;

некоторые безразмерные величины не равны;

материал модели и ее элементов тождествен материалу природы (для подобия в механическом смысле — это полное совпадение индикаторных диаграмм).

При расширенном подобии произвольно может быть выбрано несколько масштабов, однако математические сложности, особенно требование подобия материалов, существенно ограничивают его область применения для моделирования железобетонных конструкций.

Под функционально подобной моделью понимается физическая модель, содержащая необходимое количество элементов и связей между ними, достаточное для выполнения тех же функций, что и в натурной конструкции. Эта модель однозначно может быть аппроксимирована расчетной, используемой для описания натурального объекта. Применение функционального подобия при разработке физических моделей позволяет существенно снизить материальные и трудовые затраты на изготовление и испытания моделей.

В процессе разработки физических моделей, используемых при исследовании строительных конструкций методами системного анализа, применим

смешанный вид подобия - сочетание функционального с простым или расширенным.

Физическое подобие является основой механического моделирования. С использованием принципов механического моделирования решаются две основные задачи: замена расчета внутренних усилий в элементах конструкций определением напряженно-деформированного состояния идеализированных моделей и моделирование действительной работы конструкций в неупругой и предельной стадии нагружения. Физическое подобие требует полного или частичного воспроизведения физических процессов, протекающих в натурном объекте. Такие модели строительных конструкций имеют меньшие, чем натуральный образец, размеры при сохранении их геометрического подобия. При этом натура и модель являются одинаковыми по физической природе: соответствующие величины модели и природы отличаются лишь количественно, но не качественно.

Ввиду того, что применение физических моделей, разработанных в соответствии с требованиями теории подобия и размерностей при исследовании сложных строительных конструкций и сооружений, из-за больших затрат ресурсов может быть не только нерациональным, но зачастую и просто невозможным, допускается уменьшение ряда требований к конструкциям моделей, ограничиваясь лишь достаточными и необходимыми для решения задач исследования:

физические явления, происходящие в физической модели и натурной конструкции, имеют одинаковую природу;

физическая модель и натурная конструкция имеют однотипную расчетную модель;

для модели и натурной конструкции количество определяющих критериев подобия, записываемых одинаковыми буквенными выражениями, одинаково, хотя численные их значения могут не быть равными;

при включении физико-механических характеристик материала конструкции в исходные данные расчетной модели материал модели должен качественно обладать теми же свойствами, что и материал натурной конструкции, т.е. определяться одинаковым набором физико-механических характеристик;

нагрузки, действующие на модель, не подобны нагрузкам на натурную конструкцию, но характер вызываемого ими напряженно-деформированного состояния должен быть идентичен с натурой.

При проведении исследований физическое моделирование рационально на следующих этапах:

при установлении физико-механических характеристик материалов конструкций (простое подобие: материал образцов тождествен натурному элементу, форма соответствует действующим ГОСТам, а их напряженное состояние аналогично состоянию элемента в натурной конструкции - соблюдается функциональное подобие);

при определении неизвестных параметров расчетной модели (проектирование модели осуществляется на основе смешанного подобия: простое для определяемых параметров x_i и функциональное - для остальных исходных параметров m_r);

при проверке адекватности расчетной и физической моделей (физическое моделирование может осуществляться исключительно на основе функционального подобия, причем, если в качестве исходных данных для расчетной модели используются интегральные характеристики элементов - жесткость, граничные условия и т.д., то эти элементы следует моделировать с применением простого или расширенного подобия).

Физическое моделирование, основанное на теории простого или расширенного подобия, по мере усложнения задач исследований все менее целесообразно, так как, имеет значительную трудоемкость, продолжительность, стоимость изготовления моделей и эксплуатации оборудования. Поэтому в последнее время более целесообразно применять *математические модели*

строительных конструкций, используя множество различных программных комплексов.

Совокупность математических выражений, отражающих связь между параметрами описания и поведения системы, а также способ их преобразования, приводящий к отысканию значений параметров, принимаемых неизвестными, принято считать математической моделью процесса (явления, системы).

Применительно к расчету строительной конструкции параметрами описания системы являются геометрия и топология системы, характеристики материалов, топология и характеристика воздействий.

6.6. Особенности моделирования работы железобетонных конструкций в ПК ЛИРА-САПР. Назначение (выбор) расчетной схемы

Любое математическое моделирование (в том числе – компьютерное с использованием ПК ЛИРА САПР) строится на формировании расчетной схемы сооружения. Формирование расчетной схемы сооружения – это переход от реального объекта или конструкции к расчетной модели путем отбора наиболее существенных (значимых для конкретной ситуации) особенностей, их идеализация и схематизация, допускающая последующую алгоритмизацию и математическую обработку.

При изучении поведения сложной системы её расчленяют на более простые подсистемы: плоские или пространственные рамы, несущие стены и их фрагменты, плиты перекрытий, фундаменты.

Однако при выборе расчетной схемы следует придерживаться следующих правил:

1. Модель должна правильно и полно отражать работу реального объекта, т.е. соответствовать механизмам его деформирования и разрушения. Например, при расчетах на прочность изгибаемая балка должна противостоять моменту и поперечной силе, а при оценке жесткости для балки определяется прогиб; подпорная стенка рассчитывается на устойчивость против опрокиды-

вания и на прочность основания по сжимающим напряжениям; сваи рассчитываются на вдавливание/выдергивание по грунту и на прочность по материалу (при внецентренном сжатии/растяжении), кроме того, для изгибаемой сваи проверяется заделка в основание, а при расчете по перемещениям для фундамента определяется осадка.

2. Принимаемая расчетная гипотеза должна ставить рассчитываемую конструкцию в менее благоприятные условия, чем те в которых находится действительная конструкция.

3. Расчетная модель работы сооружения должна быть достаточно простой. Целесообразно иметь не одну модель, а систему моделей, каждая из которых имеет свои границы применения.

Инженерная схематизация строительного объекта связана с использованием допущений (гипотез), позволяющих математически описать учитываемые реальные свойства конструкций и материалов. Приемы схематизации – общепринятые постулаты: закон Гука, закон Кулона, гипотеза плоских сечений, расчет по недеформированной схеме, замена реальной конструкции стержнем (колонн, балок перекрытий), пластинкой или оболочкой (плит перекрытий, перекрытий, несущих стен).

Формирование расчетной схемы в проектировании строительных конструкций включает три группы допущений:

схематизация геометрической формы проектируемого объекта, назначение граничных условий;

схематизация свойств материалов;

схематизация нагрузок;

Реальный объект заменяется идеализированным деформируемым телом с изученными топологическими свойствами (стержень (балка), стержневым набором (рама, ферма), арка, плоская стенка, деформируемая в своей плоскости, изгибаемая пластинка, пространственное массивное тело) и определенно-

стью предполагаемого вида напряженно-деформированного состояния (плоское напряженное состояние, плоское деформированное состояние, трехмерное напряженное состояние).

Математические модели работы строительных конструкций вытекают из следующих основных вариационных принципов механики:

- возможных изменений перемещений (возможной работы);
- возможных изменений напряженного состояния (возможной дополнительной работы).

Для решения дифференциальных уравнений могут быть привлечены математические методы дискретизации, позволяющие свести задачу к решению дифференциальных уравнений в частных производных или к системе алгебраических уравнений. Математическая сущность подхода к расчету конструкций на основе идеализации континуальной (протяженной) среды дискретными (конечными) элементами, названного методом конечных элементов (МКЭ), обоснована заменой системы дифференциальных уравнений системой алгебраических, имеющих каноническую форму.

Наиболее распространенным МКЭ следует считать в форме метода перемещений. Порядок системы уравнений определяется числом степеней свободы расчетной модели. Применительно к методу перемещений ими являются возможные перемещения точек или сечений, называемых узлами, перемещения которых однозначно определяют расчетное деформированное и напряженное состояние системы.

Конечные элементы (КЭ) соединяются между собой в точках или по линиям. Исходя из принципа виртуальной работы для каждого КЭ должно быть назначено возможное поле перемещений, описываемое полиномами-функциями. Напряженное состояние каждого КЭ - производная полинома-функции, или независимая функция. Напряженное и деформированное состояние расчетной модели рассматривается как линейная комбинация состояний отдельных элементов системы, удовлетворяющая условиям совместности деформирования и равновесия.

Расчетная модель конструкции состоит из двух частей: расчетной схемы и набора аппроксимирующих функций. Расчетной схемой можно считать графическое или зрительное представление конструкции, составленное из набора расчетных элементов, связей между ними, и граничных условий закрепления.

В настоящее время все этапы расчета и связь между ними осуществляются программно.

Для математического моделирования конкретной строительной конструкции необходимо представить конструктивное решение в виде расчетной схемы, удовлетворяющей условиям эксперимента, выразить в математической форме всю информацию о расчетной модели, получив таким образом ряд числовых массивов, каждый из которых имеет определенное смысловое содержание, отражая: общее описание системы и задачи в целом; структуру системы; геометрию системы; граничные условия; характеристики материалов; данные о воздействиях; данные для обработки результатов.

Содержание числовых массивов, однозначно соответствующее расчетной модели, классифицируется как информационная или цифровая модель системы. В понятие информационной модели также входит и система логических связей между массивами, обычно реализуемых с помощью программного средства.

Для численных исследований сложных строительных конструкций и сооружений применяются программные комплексы общего назначения. Для программ общего назначения предопределен набор типов расчетных элементов, выбор которых и способ объединения для аппроксимации работы строительной конструкции осуществляется, исходя из следующих принципов:

- расчетная схема сооружения должна назначаться в соответствии со схемой деформирования или разрушения сооружения, подтвержденных строительной практикой;

- поскольку расчетная схема является аналогом механической модели сооружения, в нее вводятся упрощающие гипотезы, позволяющие выделить

определяющие факторы, влияющие на работу конструкции, при этом рассчитываемая конструкция должна находиться в менее благоприятных по сравнению с действительностью условиях;

- для расчета некоторых конструктивных элементов или их систем целесообразно иметь несколько расчетных схем, каждая из которых имеет свою область применения. Расчетные схемы отличаются степенью подробности аппроксимации, свойствами расчетных элементов и др. Критерием для выбора той или иной модели служит оценка результата, удовлетворяющего условиям поставленной задачи.

Отдельные конструктивные элементы несущих систем зданий рекомендуется рассматривать (моделировать) с точки зрения их аппроксимации расчетными элементами следующим образом:

колонны и другие элементы постоянного поперечного сечения моделируются стержневыми конечными элементами (КЭ) с определением их жесткости по известным формулам сопротивления материалов, принимая EF - продольной или осевой жесткостью; EI_x, EI_y - изгибными жесткостями; $GI_{кр}$ - жесткостью кручения, а GF_x, GF_y - сдвига. При конструктивном обеспечении жесткого узла связи между элементами и при достаточных размерах их поперечных сечений необходимо принимать расчетные стержни с жесткими вставками, размеры которых определяются размерами жесткого узла;

ригели или другие элементы со сложной формой поперечного сечения, кроме стержневых, моделируются набором плоских КЭ, причем потребность в этом возникает при необходимости получения более подробной картины напряженного состояния, а также учета действительных размеров их поперечного сечения. Основные габаритные размеры принимаются по исходному поперечному сечению, а толщина КЭ - из решения системы уравнений, характеризующих геометрические характеристики формы исходного поперечного сечения, размеры аппроксимирующего поперечного сечения;

балочные и стоечные элементы с отверстиями, регулярно расположенными по длине элемента, моделируются стержневым КЭ, жесткость которого

определяется из расчета участка данного элемента на краевые воздействия, как составной части основной системы. После расчета участка элемента с отверстиями с помощью конечно-элементной аппроксимации на три вида воздействий получают значения перемещений, используемые как правые части системы трех уравнений, решением которых определяют величины трех характеристик жесткости аппроксимирующего стержня: EF осевая жесткость, EI - изгибная жесткость, $GF_{сд}$ - сдвиговая жесткость;

плиты ребристые моделируют набором КЭ оболочки нулевой кривизны, аппроксимирующих полку плиты, и стержневыми элементами, аппроксимирующими продольные ребра. Связь между КЭ плиты и ребер осуществляется с помощью стержневых или «контактных» элементов с характеристиками жесткости на два порядка выше жесткостей ребер. Плита моделируется одним стержнем, а фактические ее размеры в поперечном направлении - стержневыми элементами повышенной жесткости. Жесткостные характеристики основного стержневого элемента равны жесткости плиты, определяемой теоретически или экспериментально;

плиты пустотные и гладкие моделируют расчетными моделями I и II типа;

цилиндрические поверхности моделируют конечными элементами оболочки нулевой кривизны прямоугольной формы;

оболочки, поверхность которых имеет кривизну в двух направлениях, моделируют конечными элементами оболочки нулевой кривизны треугольной формы, при отсутствии в библиотеке таковых или по другим соображениям могут быть использованы КЭ прямоугольной формы, при этом три узла каждого КЭ лежат на поверхности, а четвертый, вне ее. Он объединяется с аналогичным узлом на поверхности условием равенства перемещений (происходит незначительное искажение ее формы, однако сохраняется непрерывность функций перемещений по всем сечениям оболочки).

Когда в расчетных схемах зданий встречаются включения типа ядер или диафрагм жесткости сложной конструктивной формы система моделируется

сложной моделью, состоящей из большого количества конечных элементов (диафрагма представлена в виде рамной системы, жесткости элементов которой могут быть определены расчетом диафрагмы с помощью подробной схемы на воздействие горизонтальной силы P единичной величины с определением значений горизонтального смещения Δ_{Γ} верхнего сечения, дополненного расчетом рамы на действие силы P с определением $\tilde{\Delta}_{\Gamma}$ при различных соотношениях жесткостей колонн и ригелей.

вариантные модели, то есть когда встречаются конструктивные схемы, обладающие слабой нерегулярностью (регулярно и нерегулярно расположенные проемы, отдельные элементы повышенной и пониженной жесткости по сравнению со всей системой, необходимость расчета нескольких вариантов однотипных систем, отличающихся локальными особенностями) моделируются путем кодирования расчетной схемы для всей системы без учета нерегулярных элементов, которые записываются как дополнительная информация по отношению к основной.

Так, при наличии проемов они могут быть описаны как расчетные элементы с отрицательными значениями толщины или модуля упругости, равными положительным значениям этих параметров, использованных при описании регулярной системы; при таком способе описания расчетной модели возможно появление узлов расчетной схемы, к которым присоединены расчетные элементы с нулевой жесткостью и которые необходимо закрепить от возможных смещений. Для расчетных элементов, отличающихся по характеристикам жесткости, достаточно ввести в схему дополнительные элементы с тем, чтобы суммарное значение жесткости равнялось заданному, при этом действительное значение усилий необходимо определять как суммарное в исходной системе и добавочных элементах.

Для расчетного моделирования поведения конструкций за пределами упругости рекомендуется использовать методики, в которых текущая характеристика жесткости материала определяется как функция ее начального значения и некоторых параметров нелинейности. При моделировании конструкции,

элементы которой работают в плоском напряженном состоянии, может быть использована методика, основанная на экспериментальном определении констант ортотропии железобетона как однородного материала, исходя из следующих гипотез:

- композитный материал - железобетон - может быть заменен ортотропным, деформативные характеристики которого позволяют установить интегральную зависимость между напряжениями и деформациями в пределах некоторой малой области железобетонного образца;

- в пределах этой малой области константы ортотропии постоянны и зависят от соотношения средних значений напряжений по области;

- константы ортотропии соответствуют мгновенно-упругому состоянию материала и подчиняются принципу квантования, принимая дискретные значения, соответствующие соотношению главных напряжений. Они изменяются скачкообразно при достижении соотношения напряжений граничных значений, определяющих параметрические состояния материала;

- по границам между областями выполняются условия совместности деформаций.

Проверка адекватности разработанных расчетных моделей проводится сопоставлением данных экспериментальных исследований специальной физической модели с результатами численных исследований на расчетной.

В соответствии с системным подходом к исследованиям сложных строительных конструкций контроль адекватности расчетных моделей проводится в несколько этапов:

- установление адекватности по одному виду параметров напряженно-деформированного состояния в локальной области (в части объекта);

- то же, по всему объекту;

- проверка адекватности по всем параметрам.

Проверка адекватности расчетной модели по одному виду параметров в локальной области основана на сравнении экспериментальных и теоретических значений и их доверительных интервалов методами математической статистики.

6.7. Обработка, анализ, систематизация и оценка достоверности результатов эксперимента (в том числе – компьютерного моделирования)

После проведения экспериментальной части исследований результаты экспериментальных исследований нуждаются в определенной математической обработке. В настоящее время процедура обработки экспериментальных данных достаточно хорошо формализована и исследователю необходимо только ее правильно использовать. В ходе этой процедуры рассматриваются вопросы, связанные с:

- подбором эмпирических формул и оценкой их параметров;
- оценкой истинных значений измеряемых величин и точности измерений;
- исследованием корреляционных зависимостей и др.

Результат эксперимента или измерения всегда содержит некоторую погрешность. Если погрешность мала, то ею можно пренебречь. Однако при этом неизбежно возникают два вопроса: во-первых, что понимать под малой погрешностью, и, во-вторых, как оценить величину погрешности. То есть, результаты эксперимента нуждаются в определенном теоретическом осмыслении.

Целью любого эксперимента является определение качественной и количественной связи между исследуемыми параметрами, либо оценка численного значения какого-либо параметра. Зависимости, определяющие функциональную связь между переменными величинами на основе данных эксперимента, называют эмпирическими. Однозначно определить неизвестную функциональную зависимость между переменными невозможно даже в том случае, если бы результаты эксперимента не имели ошибок. Тем более не следует этого ожидать, если имеют место различные ошибки измерения.

В любом случае целью математической обработки результатов эксперимента является не нахождение истинного (абсолютного) характера зависимости между переменными или абсолютной величины какой-либо константы, а представление результатов наблюдений в виде наиболее простой формулы с оценкой возможной погрешности ее использования. Поэтому одной из важнейших задач математической обработки результатов эксперимента является получение значения измеряемой величины по данным эксперимента с возможно меньшей ошибкой.

Классификация ошибок измерения. Кроме приборной погрешности измерения (определяемой методом измерения) существуют и другие, которые можно разделить на три типа:

- *систематические погрешности*, которые обуславливаются постоянно действующими факторами. Систематические ошибки выявляют при соответствующей тарировке приборов и потому они могут быть учтены при обработке результатов измерений;

- *случайные ошибки*, которые содержат в своей основе много различных причин, каждая из которых не проявляет себя отчетливо. Случайную ошибку можно рассматривать как суммарный эффект действия многих факторов. Их невозможно учесть в той степени, как систематические, но можно учесть их влияние на оценку истинного значения измеряемой величины.;

- *грубые ошибки* (промахи) появляются вследствие неправильного отсчета по шкале, неправильной записи, неверной установки условий эксперимента и т.п. Они легко выявляются при повторном проведении опытов.

При проведении экспериментов путем тщательной проверки следует стремиться исключить систематические и грубые ошибки, так как они могут серьезно исказить результаты исследований. При математической обработке результатов эксперимента рассматриваются (учитываются) случайные ошибки.

Существуют следующие методы обработки результатов.

Графический метод заключается в построении графика зависимости между исследуемыми величинами с последующим определением уравнения зависимости между ними. Если характер связи между исследуемыми величинами неизвестен, то сначала проверяют совпадение экспериментальных точек с заданной кривой.

Если предварительные сведения о характере уравнения отсутствуют, то первым этапом обработки данных является нахождение кривой, совпадающей с опытными точками. Эта задача решается методом подбора. Построенный по опытными данным отрезок кривой может совпадать с большим количеством различных кривых, проходящих достаточно близко к опытным точкам. В этом случае выбирают кривую с наиболее простым и удобным в использовании уравнением.

Иногда эмпирическая кривая может иметь перегибы или состоять из отдельных ярко выраженных участков. Однако при этом необходимо определить координаты точек перехода от одной кривой к другой.

Уравнение зависимости между исследуемыми величинами при графическом методе просто определяется тогда, когда эмпирические точки достаточно хорошо совпадают с прямой линией, т.е. описываются уравнением $y = ax + b$, где a , b - коэффициенты, подлежащие определению.

Определение коэффициентов при графическом методе основано на способе натянутой нити. Нанеся результаты эксперимента на график (лучше, если он выполнен на миллиметровке), подбираем графическую прямую, ближе всего подходящую к нанесенным точкам. Выбрав положение прямой, определяем две произвольные точки на этой прямой (не обязательно являющиеся точками эксперимента), определяем их координаты и для определения коэффициентов a и b получаем два простых уравнения

$$ax_1 + b = y_1;$$

$$ax_2 + b = y_2.$$

Графический метод обработки результатов обладает наглядностью, относительной простотой, однако его результаты содержат определенную субъективность и относительно низкую точность.

Аналитические методы лишены в какой-то степени указанных недостатков и позволяют получить результат для более широкого класса функций с большей точностью, чем графический метод. Существуют различные аналитические методы получения параметров эмпирических кривых в зависимости от критерия, принятого при их получении, например:

- способ средней;
- метод наименьших квадратов;
- интерполирование функций;
- метод номографии.

Особенности их применения желающие могут почерпнуть в специальной литературе по теории вероятности и математической статистике.

Проведя математическую обработку результатов эксперимента, приступают к анализу и систематизации результатов.

Первичная статистическая обработка заключается в определении необходимого числа элементарных математических статистических операций. Такая обработка почти всегда предполагает, как минимум, определение выборочного среднего значения.

В тех случаях, когда информативным показателем для экспериментальной проверки предложенных гипотез является разброс данных относительного среднего, вычисляется дисперсия или квадратическое отклонение.

Вторичная статистическая обработка (сравнение средних, дисперсий, распределений данных, регрессионный анализ, корреляционный анализ, факторный анализ и др.) проводится в том случае, если для решения задач или доказательства предложенных гипотез необходимо определить статистические закономерности, скрытые в первичных экспериментальных данных. Приступая к вторичной статистической обработке, исследователь прежде всего должен решить, какие из различных вторичных статистических операций ему

следует применить для обработки первичных экспериментальных данных. Решение принимается на основе учета характера проверяемой гипотезы и природы первичного материала, полученного в результате проведения эксперимента.

После статистической обработки выполняется систематизация результатов, а также их интерпретация (истолкование, изложение).

Систематизация результатов заключается в их представлении в виде упорядоченной взаимосвязанной структуры путем:

- классификации данных по определенному признаку;
- составления таблиц;
- построения графиков и диаграмм;
- определения статистической взаимосвязи признаков (коэффициента корреляции) и др.

Классификация или группировка - это упорядочение данных по какому-то одному статистическому признаку. Выбор признака для классификации осуществляется в соответствии с целями исследования и сформулированными гипотезами. Группировки могут осуществляться на основе выделения номинальных групп или по какому-либо возрастающему или убывающему количественному признаку.

Систематически представленные результаты должны быть корректно истолкованы (интерпретированы).

Первый шаг на пути интерпретации данных – их визуализация, графическое представление.

К основным способам визуализации данных относятся таблицы, рисунки, фотографии, схемы, диаграммы, графики.

Теоретическая модель исследуемого объекта считается завершённой в том случае, если эта модель во всех возможных условиях своего реального существования ведёт себя так же, как и исследуемый объект и при этом структура объекта и модели изоморфны (одинаковы, сходны). Любое теоретическое построение – теорию, концепцию, закон – можно считать достоверными в том

случае, если они подтверждаются практикой. На этом и строятся методики экспертизы теоретических моделей на достоверность.

Достоверность результатов исследования определяется тем, насколько структура исследования соответствует поставленным задачам, и в какой степени полученные данные отвечают практике. Исходя из этого, достоверным нужно считать исследование, в котором возможность возникновения систематических и случайных ошибок сведена к минимуму.

Достоверность может подтверждаться верификацией, то есть подтверждением того же результата при осуществлении аналогичных работ. Существуют следующие методы доказательств достоверности: аналитические, экспериментальные и подтверждение практикой. Аналитические методы проверки достоверности применяются при наличии в исследованиях математических моделей, которые позволяют математически описать исследуемые процессы. Экспериментальные методы проверки достоверности осуществляются путем сравнения теоретических и экспериментальных результатов. При подтверждении научных результатов практикой рассматривается совпадение явлений в практике с построенными теоретическими положениями.

Достоверность результатов численных методов расчета основывается на применении рекомендованных нормами, сертифицированных и проверенных практикой строительного проектирования программных комплексов.

Достоверность результатов численных методов расчета основывается на применении рекомендованных нормами, сертифицированных и проверенных практикой строительного проектирования программных комплексов.

Если рассматривать программный комплекс Лира, то его разработка началась в 60-е годы прошлого столетия в Государственном НИИ автоматизированных систем в строительстве. В настоящее время ПК ЛИРА является сертифицированным программным комплексом массового применения. Следует отметить, что в сертификацию программных комплексов включается такая процедура как верификация, которая основывается на решении тестовых за-

дач, точное решение которых заранее известно. Кроме того, выработка направления дальнейшей разработки программного продукта тесно связана с задачами проектировщиков, которые ставит перед ними проектирование современных зданий и сооружений. Проектировщики же оценивают возможности программного комплекса, достоверность получаемых результатов и удобство работы при его использовании.

Существует также ряд стандартных приемов, помогающих проектировщику в оценке достоверности результатов расчета путем анализа НДС несущих элементов рассчитываемой конструктивной системы:

- анализ усилий, напряжений и перемещений, а также соответствие единиц измерения в созданной модели и полученных результатов;
- установление соответствия опорных реакций суммарным равнодействующим горизонтальных и вертикальных нагрузок;
- использование симметричных расчетных схем, так как наличие симметрии в НДС расчетной схемы позволяет судить не только о правильности исходных данных, но и о точности решения задачи, что особенно важно для большеразмерных систем. Если исходная компьютерная модель не имеет симметрии, но близка к ней, то очень полезно сделать тестовую симметричную модель максимально приближенную к исходной;
- сравнение результатов численного расчета, полученных с использованием ПК ЛИРА, с результатами численного расчета, полученных с использованием других сертифицированных программных комплексов, а также результатов сравнительного аналитического расчета.

6.8. Представление результатов эксперимента (в том числе – компьютерного моделирования) в научно-техническом отчете, докладе, статье, учет этических норм

Результаты экспериментального исследования могут быть представлены в виде: отчета по НИР; монографии; диссертации; научной статьи; научного

доклада. Требования к представлению результатов экспериментальных исследований в наиболее полной форме отражены в ГОСТ Р 15.101-2021 «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ» и в ГОСТ 7.32-2017. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Государственный стандарт 15.101-2021 определяет, что в обязательную структуру, в содержание научно-исследовательской работы входят не только сами теоретические и экспериментальные исследования и их результат, но и выбор оптимального варианта направления исследований на основе анализа состояния исследуемой проблемы, анализа результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичным проблемам, результатов патентных исследований.

В ГОСТ 7.32-2017 говорится, что отчетные материалы по НИР должны содержать систематизированные данные о научно-исследовательской работе, описывать состояние научно-технической проблемы, процесс, результаты научно-технического исследования. ГОСТ 7.32-2017 строго регламентирует содержание разделов отчета по НИР.

Так, *введение* должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы; основание и исходные данные для разработки темы; обоснование необходимости проведения НИР; сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях, а также выводы из них; сведения о метрологическом обеспечении НИР. Во введении также должны быть отражены актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

В *основной части отчета о НИР* должны быть приведены сведения, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненной НИР. Основная часть должна содержать:

- выбор направления исследований, включающий обоснование направления исследования, методы решения задач и их сравнительную оценку, описание выбранной общей методики проведения НИР;

- процесс теоретических и (или) экспериментальных исследований, включая определение характера и содержания теоретических исследований, методы исследований, методы расчета, обоснование необходимости проведения экспериментальных работ, принципы действия разработанных объектов исследования, их характеристики;

- обобщение и оценку результатов исследований. Этот раздел должен включать в себя оценку полноты решения поставленной задачи и предложения по дальнейшим направлениям работ; оценку достоверности полученных результатов и технико-экономической эффективности их внедрения и их сравнение с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ; обоснование необходимости проведения дополнительных исследований; перечень и описание отрицательных результатов, приводящих к необходимости прекращения дальнейших исследований по НИР.

Заключение должно содержать:

- краткие выводы по результатам выполненной НИР;
- оценку полноты решений поставленных задач;
- разработку рекомендаций по конкретному использованию результатов НИР;
- результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения;
- результаты оценки научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в этой области.

Список использованных источников должен включать библиографические записи на документы, использованные при составлении отчета, а в приложения к отчету по НИР рекомендуется включать материалы, дополняющие текст отчета, если они не включены в основную часть.

Рецензируемые научные журналы Российской Федерации также предъявляют определенные требования к представлению результатов экспериментальных исследований в форме научной статьи. Так, в частности, в соответствии с требованиями к оформлению статьи для опубликования в научных изданиях Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс (Госуниверситет УНПК)» научная статья, представляемая в журналы, должна иметь следующие обязательные элементы: постановка проблемы или задачи в общем виде; анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи и на которые ссылается (опирается) автор; выделение научной новизны; описание проведенных автором исследований; обоснование полученных результатов; выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления исследований; библиография.

Журнал «Научное обозрение» требует, чтобы в обзорной части статьи были бы проанализированы, сопоставлены и выявлены наиболее важные и перспективные направления развития науки (практики), ее отдельных отраслей, явлений, событий и пр. Материал должен носить проблемный характер, демонстрировать различные взгляды на развитие научных (практических) знаний, содержать выводы, обобщения, сводные данные.

Журнал «Бюллетень строительной техники» требует, чтобы научная статья содержала бы: связь проблемы, исследуемой автором, с важными научными или практическими задачами; анализ последних достижений и публикаций по рассматриваемой в статье проблеме; формирование целей статьи; изложение основного материала исследования и обоснование полученных результатов; выводы по результатам проделанного исследования; перспективы дальнейшего исследования темы авторской работы.

Журнал «Промышленное и гражданское строительство» требует, чтобы тема статьи была актуальной для развития отрасли, т. е. содержала новые ранее не опубликованные материалы, научный (экспериментальный) результат,

проектное решение, практический опыт и т. д. Научная статья должна включать: введение, содержащее анализ современного состояния рассматриваемой проблемы с необходимыми ссылками; цель и методику исследования; описание исследования; анализ результатов; выводы. В выводах должно быть четко указано, достигнута ли цель, сформулированная во введении, а также определены научные, практические перспективы использования данной работы.

В любом случае при подготовке научных статей не рекомендуется: применять обороты разговорной речи; применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу слова (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке; применять произвольные словообразования; применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, а также соответствующими стандартами.

Необходимо помнить, что использование чужих опубликованных текстов регулируется Гражданским кодексом (Раздел IV «Авторское право», Статья 1274). В обзоре, как и в других авторских текстах, категорически запрещено (и этически и юридически) прямое воспроизведение смысловых кусков без кавычек и точного указания, откуда эта цитата заимствована. Литературный обзор следует писать «своими словами», по возможности придерживаясь терминологии описываемой работы. Прямое цитирование не должно превышать 5-10% текста обзора. Ссылаясь на какой-либо результат или гипотезу, необходимо обращаться к работам, где они впервые появились, или формулировка которых признана классической. Если такой возможности нет, необходимо указать не только «первоисточник» (автора и/или издание), но и то, откуда заимствована цитата. Это этично и соответствует правовым нормам, а также избавляет от обвинений в неточности, допущенной автором обобщающего издания, из которого взяты сведения. По тексту литературного обзора источники, на которые сделана ссылка, должны быть обозначены цифрами в квадратных скобках. Цифра должна соответствовать номеру источника в списке использованной литературы.

РАЗДЕЛ 7. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений

Тема и содержание занятий:

Цель и содержание обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Нормативная база, регламентирующая проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Сроки и основания обследования технического состояния зданий и сооружений; виды обследования; категории технического состояния; срок службы строительных объектов; физический и моральный износ зданий и сооружений; дефекты и повреждения железобетонных и каменных конструкций; технический паспорт строительного объекта.

План, порядок и основные требования к проведению обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Инструментальные методы обследования. Метрологический контроль оборудования.

Поверочные расчеты конструкций при выполнении обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Оформление результатов обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Цель и содержание обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений

Оценка несущей способности железобетонных конструкций производится на основании положений расчета [СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] по «фактическим» прочностям бетона и арматуры с учетом их совместной работы, которую характеризует состояние конструкций: величина прогибов, ширина раскрытия и характер трещин место расположения и характер тех или иных дефектов и повреждений, часто незначительных, но весьма важных для целей экспертизы.

При определении реальной расчетной схемы работы железобетонных конструкций необходимо, наряду с их геометрическими параметрами, учитывать систему фактического армирования и способы их сопряжения между собой.

Оценку несущей способности конструкции производят по зонам, участкам, элементам с однотипным напряженным состоянием (пояса, раскосы ферм, приопорные и пролетные участки балок и т.д.). На каждом участке выявляют наиболее поврежденное по принятым статистическим

критериям сечение, которое принимают совмещенным с наиболее напряженным сечением. Расчёты выполняют в один или в два этапа.

На первом этапе определяют несущую способность сечений, ширину раскрытия трещин, прогибы и др.

При этом, если

$$F \leq F_u(S, R_{bn}, \gamma_b^{-1}, \gamma_{bi}, R_{sn}, \gamma_s^{-1}, \gamma_{si}); \quad a_{crc} \leq a_{crc,ult}; \quad f \leq f_{ult},$$

то конструкция считается пригодной к дальнейшей эксплуатации без усиления или восстановления.

F – фактическое внешнее усилие (продольная сила N , изгибающий момент M , поперечная сила Q , продавливающая сила F);

F_u – теоретическая несущая способность сечения элемента;

S – фактические геометрические характеристики сечения;

R_{bn} – нормативное сопротивление бетона, определённое при фактической кубиковой прочности бетона R_{ϕ} . На первом этапе расчета по фактическому значению средней кубиковой прочности бетона R_{ϕ} с учетом коэффициента $K_{из}$ устанавливается класс бетона и принимаются все характеристики бетона, необходимые для расчета железобетонных конструкций;

γ_b – коэффициент надежности по бетону;

γ_{bi} – коэффициент условий работы бетона;

R_{sn} – нормативное сопротивление арматуры, определенное по [СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] в зависимости от класса арматуры. Класс арматуры устанавливают по внешнему виду или по результатам механических испытаний.

γ_s – коэффициент надежности по арматуре;

γ_{si} – коэффициент условий работы арматуры.

При расчете конструкций принимается фактическая площадь сечения арматуры, определенная с учетом коэффициента K_d , умноженного на коэффициент $K_{из}$.

Вводимый в расчет диаметр арматуры при коррозии следует принимать с доверительной вероятностью 0,95. Арматурные стержни, диаметр которых в результате коррозии уменьшился более чем на 50%, в расчете не учитываются. При отсутствии данных испытаний арматуры и невозможности отбора образцов допускается назначать расчетные сопротивления арматуры в соответствии с п. 6.21 [СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции], [СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений]. Если по результатам поверочных расчетов не удовлетворяется хотя бы одно из требований предельных состояний, приведенных выше, то обследованные конструкции подлежат восстановлению или усилению.

При выполнении поверочных расчётов снижение несущей способности нормальных сечений вследствие нарушения сцепления арматуры с бетоном из-за коррозии стали рекомендуется учитывать введением в расчётные формулы [Матвеев Е.П., Мешечек В.В. Технические решения по усилению и теплозащите конструкций жилых и общественных зданий] коэффициента $K''_{из}$ (табл.2 прилож.9).

При проведении поверочных расчетов вводятся дополнительно коэффициенты условий работы согласно [СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

При поверочных расчетах дефекты и повреждения в виде каверн, раковин, повреждений вследствие различных воздействий учитывают путем уменьшения вводимой в расчет площади сечения бетона или арматуры, а также учета влияния дефекта или повреждения на прочностные и деформативные характеристики бетона, арматуры, эксцентриситет продольной силы, на сцепление арматуры с бетоном и т. д.

Нарушение сцепления арматуры с бетоном вследствие коррозии арматуры снижает несущую способность конструкций:

при толщине слоя коррозии не более 0,5 мм и отсутствии продольных трещин до 8%;

при толщине слоя продуктов коррозии до 3 мм и продольных трещинах с раскрытием до 2 мм – до 15%;

при толщине слоя коррозии более 3 мм – на 30%.

При оценке технического состояния сборных железобетонных конструкций следует учитывать предельные отклонения при их установке и монтаже [СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Определение несущей способности и эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций производят в соответствии с нормами по расчету и проектированию железобетонных конструкций с использованием фактических данных полученных в процессе обследования, а именно: прочности бетона, площади сечения арматуры и характеристик арматурной стали, геометрических размеров сечения элементов, наличия и расположения трещин.

При этом сначала производят расчет несущей способности отдельных наиболее поврежденных конструкций, а затем группы однотипных по виду и условиям эксплуатации, а также одинаковой категории состояния, определенной предварительной оценкой.

При наличии в конструкции наружных слоев с пониженной прочностью бетона (на глубину, превышающую величину защитного слоя) в расчете несущей способности и деформативности допускается принимать либо полное сечение элемента с единой пониженной прочностью в пределах всего сечения, либо уменьшенные размеры (за вычетом слоев с пониженной прочностью) с фактической прочностью оставшегося сечения. При этом во всех случаях принимаемая в расчет фактическая прочность бетона не должна

быть меньше 10 МПа. Слои бетона с меньшей прочностью в расчете не учитываются [СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции].

При оценке деформативности конструкций допускается принимать средние значения параметров жесткости сечений в пределах каждого участка.

Визуальными наблюдениями обнаруживаются уже видимые повреждения, дефекты, трещины, особо значительные прогибы, разрушения в различных стадиях работы конструкции; при этих наблюдениях количественные оценки даются на основании замеров фактического состояния конструкций (поскольку начальное их состояние обычно неизвестно) с учетом, сопоставления наблюдаемых деформаций. Прогибы должны сопоставляться с наличием и раскрытием трещин в растянутой зоне (если трещины отсутствуют, то имеет место не прогиб, а начальное искривление), раскрытие и направление трещин следует сопоставлять по высоте и ширине здания, что выявляет наличие и характер осадок здания или просадок отдельных его частей.

Результаты расчета по фактической прочности бетона и характеристикам арматуры, размерам сечений и фактической расчетной схеме обследованных конструкций зависят, однако, от того, по каким нормам проектирования производится расчет.

Так, несущая способность изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям, запроектированных по нормам 1962 г, оказывается недостаточной при проверке по действующим нормам особенно при бетонах высоких классов.

Расчетные величины раскрытия трещин по нормам 1984 г. также оказываются несколько большими, чем по нормам прежних лет, в особенности для наклонных трещин в балках со стенкой небольшой толщины. Расчетные величины нагрузок, в частности, от снега и пыли, во многих случаях превосходят соответствующие величины нагрузок по нормам прежних лет.

При выполнении расчетов должны быть проверены сечения конструкций III - V категорий состояния, имеющие дефекты и повреждения, а также сечения, в которых при натурных обследованиях выявлены зоны бетона, прочность которых меньше средней на 20% и более.

Если в результате поверочных расчетов по оценке несущей способности, трещиностойкости и деформативности полученные значения удовлетворяют требованиям [СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия, СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения], конструкция считается пригодной к дальнейшей эксплуатации. В противном случае необходимо выполнять ремонтно-восстановительные работы.

Несущую способность элементов перекрытий по нормальным сечениям определяют по современной методике с учетом перераспределения усилий.

В ряде случаев при определении несущей способности железобетонных элементов можно ввести некоторые дополнительные коэффициенты условий работы. Величины этих коэффициентов, как правило, обусловлены опытом и интуицией авторов. Так, например, для стержневой арматуры квадратного сечения, особенно при больших размерах сечения и небольших расстояниях между стержнями, сниженную величину сцепления можно учесть, уменьшив расчетное сопротивление R_s , путем введения дополнительного коэффициента условий работы $\gamma_s = 0,8 - 0,9$.

Особое место в определении несущей способности элементов железобетонных перекрытий занимает прочность по наклонным сечениям. Это связано с тем, что при отсутствии чертежей элементов вскрытиями можно установить только шаг и сечение хомутов; сопоставлениями данных по нескольким смежным вскрытиям можно оценить принципиальное наличие отогнутых стержней; однако количество плоскостей отгибов и площадь их сечения практически неизвестны. Между тем, отогнутые стержни в элементах рассматриваемых перекрытий являются основной поперечной арматурой, обеспечивающей прочность по наклонным сечениям.

Если в результате расчета на первом этапе не удовлетворяется хотя бы одно из требований предельных состояний и при этом разница между полученным и допустимым по нормам значениям не превышает 25%, выполняется второй этап. При разнице более 25% расчеты по второму этапу могут не выполняться, а конструкция подлежит восстановлению.

На втором этапе при наличии соответствующего программного обеспечения или, когда имеются статистические данные по прочностным свойствам материалов и геометрическим размерам сечений обследуемых конструкций, целесообразно выполнить оценку надежности железобетонных конструкций методами статистического моделирования, или расчет вероятности безотказной работы по несущей способности [СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения, Рекомендации по обследованию и оценке качества с применением неразрушающих методов возводимых и эксплуатируемых конструкций].

Расчет эксплуатационной надежности по прочности нормальных сечений выполняется при соблюдении следующих условий:

нарушение сцепления арматуры с бетоном в опорных зонах отсутствует;

распределение расчетных параметров конструкций подчиняется нормальному закону;

относительная высота сжатой зоны $\xi < 0,5\xi_R$.

Эксплуатационная надежность конструкций по прочности нормальных сечений характеризуется вероятностью безотказной работы, которая определяется в предположении нормального закона распределения прочности по формуле:

$$H = 0,5 + F(\gamma),$$

где H – вероятность безотказной работы конструкции на момент обследования;

F – табулированная функция Лапласа (табл.3 прилож.9);

γ – характеристика безопасности.

При использовании табулированных значений функции нормированного нормального распределения зависимость (3.87) приобретает вид:

$$H = F_n(\gamma),$$

где F_n – табулированная функция нормированного нормального распределения.

Характеристика безопасности расчетного или фактического изгибающего момента γ определяется по формуле:

$$\gamma = (M - M)/\sigma(M),$$

где M – математическое ожидание прочности нормальных сечений на момент обследования;

$\sigma(M)$ – среднее квадратическое отклонение прочности;

M – внешний момент от расчетной нагрузки, задаваемый проектом или фактический изгибающий момент в рассматриваемом сечении от внешней нагрузки.

При невыполнении требований надежности предусматриваются мероприятия по восстановлению и дальнейшему поддержанию надёжности: ремонт, усиление, замена конструкций, защита их поверхности, снижение эксплуатационных нагрузок и т.д.

На основе данных детальных (инструментальных) обследований и результатов поверочных расчётов уточняется категория технического состояния конструкций [СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений, Бедов А.И. Техническое обследование зданий и сооружений. Учебно-методическое пособие для обучения руководителей и специалистов предприятий строительного комплекса Москвы].

Несущая способность монолитных железобетонных ребристых перекрытий после длительного периода эксплуатации

Расчет элементов монолитных перекрытий необходимо выполнять в соответствии с требованиями [СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения, СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Несущую способность элементов перекрытий по нормальным сечениям определяют по современной методике с учетом перераспределения усилий. При этом расчетные сопротивления бетона принимаются по действующим нормам в зависимости от установленного испытаниями класса бетона, а расчетные сопротивления арматуры – по рекомендациям раздела 3.5.2.2; коэффициенты надежности по нагрузке – для постоянной нагрузки $1,1 \div 1,2$, для временной – в зависимости от возможной ее изменчивости – по данным предприятия, но не менее $1,2 \div 1,3$.

В ряде случаев при определении несущей способности железобетонных элементов можно ввести некоторые дополнительные коэффициенты условий работы. Величины этих коэффициентов, как правило, обусловлены опытом и интуицией авторов. Так, например, для стержневой арматуры квадратного сечения, особенно при больших размерах сечения и небольших расстояниях между стержнями, сниженную величину сцепления можно учесть, уменьшив расчетное сопротивление R_s путем введения дополнительного коэффициента условий работы $\gamma_s = 0,8 \div 0,9$.

Испытания вырезанных образцов арматуры по ряду объектов дают по диаграмме « σ – ϵ » характеристики, близкие к стали Ст. 3, однако при малом количестве образцов по каждому перекрытию величину R_s следует ограничивать, принимая ее как для стали Ст. 0 (по ННТУ 123–55) равной 170 МПа.

Особое место в определении несущей способности элементов железобетонных перекрытий занимает прочность по наклонным сечениям. Это связано с тем, что при отсутствии чертежей элементов вскрытиями можно установить только шаг и сечение хомутов; сопоставлениями данных

по нескольким смежным вскрытиям можно оценить принципиальное наличие отогнутых стержней; однако количество плоскостей отгибов и площадь их сечения практически неизвестны. Между тем, отогнутые стержни в элементах рассматриваемых перекрытий являются основной поперечной арматурой, обеспечивающей прочность по наклонным сечениям.

Расчеты показывают, что если балка имеет отгибы, поставленные по методике НиТУ 1931–1934 гг., то прочность наклонных сечений, определяемая по [СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции], заведомо обеспечена.

При оценке несущей способности железобетонных перекрытий обычно указывают равномерно распределенную нормативную полезную нагрузку, допускаемую при эксплуатации. Эта величина нормативной полезной нагрузки лимитируется, как правило, несущей способностью одного из конструктивных элементов в наиболее слабом месте.

В результате проведенных обследований необходимо установить величину нормативных нагрузок, которыми может загружаться перекрытие, Отдельно для каждого пролета каждого конструктивного элемента. Эти данные позволяют предприятию определить наиболее рациональную схему расстановки оборудования, выполнить поверочные расчеты и тем самым наиболее эффективно использовать несущую способность всех конструктивных элементов.

При расчете статически неопределимых элементов в упругой стадии расчётные величины моментов в пролетах и на опорах и соответствующие площади сечения арматуры определяются, как известно при различном невыгодном расположении полезной нагрузки. Вследствие этого, сопротивление пролетной и опорной арматуры одновременно не используется. Если такой элемент рассчитывать с учетом перераспределения усилий при одновременном использовании сопротивления опорной и пролетной арматуры, то его несущая способность существенно возрастает: для крайних пролетов равнопролетных плит, второстепенных и главных

балок – на 10÷15%, для средних пролетов – на 30÷40%, в зависимости от отношения величин полезной p и постоянной g нагрузок (табл.3.64).

Таким образом, при оценке несущей способности железобетонных ребристых перекрытий, возведенных в 30-е годы и ранее, следует учитывать возможность полного использования сопротивления пролетной и опорной арматуры элементов вследствие перераспределения усилий, а также действительный характер напряженного состояния сечений, принятый в современных нормах для расчета прочности (III стадия напряженно-деформированного состояния).

В совокупности эти факторы могут дать увеличение нормативных моментов, а соответственно и нагрузок, по сравнению с проектной величиной. В крайних пролетах плит, второстепенных и главных балок

$$M_1 \approx (1,1 \cdot 1,2)M \approx 1,3M,$$

в средних пролетах $M_1 \approx (1,3 \cdot 1,2)M \approx 1,55M.$

Поскольку постоянная нагрузка по сравнению с проектной практически не изменилась, указанное увеличение несущей способности приводит к значительному увеличению допускаемых полезных нагрузок на перекрытие.

При увеличении допускаемой полезной нагрузки на перекрытия обычно не нарушается прочность колонн (за счет повышения класса бетона по прочности на сжатие), а повышение величины давления под подошвами фундаментов компенсируется увеличением нормативного сопротивления грунта за счет многолетней его опрессовки. Однако все это следует проверить расчетом.

Таблица 7.1

Коэффициенты увеличения несущей способности элементов перекрытий

Наименование элемента	Отношение момента воспринимаемого элементом при полном использовании опорной и пролетной арматуры, поставленной по упругому расчету к балочному моменту при p/g					
	1,00	1,50	2,25	3,00	4,50	6,00
1	2	3	4	5	6	7

Двухпролётные балки с равномерно распределенной нагрузкой (плита, второстепенные балки)	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16
Трехпролётные балки с равномерно распределенной нагрузкой:						
крайний пролет	1,10	1,11	1,13	1,15	1,17	1,17
средний пролет	1,27	1,32	1,37	1,40	1,43	1,46
Четырехпролётные балки с равномерно распределенной нагрузкой:						
крайний пролет	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17
средние пролеты	1,35	1,39	1,43	1,45	1,48	1,50
Пятипролётные балки с равномерно распределенной нагрузкой:						
крайний пролет	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17
средние пролеты	1,29	1,34	1,40	1,43	1,46	1,49
Двухпролётные главные балки (при двух грузах в третях пролета)	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15
Трехпролётные главные балки:						
крайний пролет	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,15
средний пролет	1,27	1,32	1,37	1,39	1,44	1,46
Четырехпролётные главные балки:						
крайний пролет	1,09	1,10	1,12	1,14	1,14	1,15
средние пролеты	1,28	1,37	1,41	1,44	1,48	1,49
Пятипролётные главные, балки:						
крайний пролет	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16
средние пролеты	1,28	1,34	1,39	1,43	1,47	1,49

При назначении допускаемой полезной нагрузки на тот или иной конструктивный элемент необходимо также учитывать опасность чрезмерной ширины раскрытия трещин, поскольку в 30-е годы применялась только гладкая арматура, зачастую квадратного сечения. Прежде чем окончательно установить допускаемую полезную нагрузку, надо по ныне действующим нормам рассчитать ширину раскрытия трещин в наиболее нагруженных сечениях.

Оценка несущей способности и деформативности железобетонных конструкций, подверженных воздействию агрессивной среды

В последние десятилетия заметно возросла агрессивность воздушной среды, что сказывается на снижении прочности материалов конструкций, их сечений и последующей деформативности.

По интенсивности ухудшения этих характеристик можно судить о степени агрессивности среды. Зачастую структурные изменения в

материалах вследствие коррозии незаметны, однако прочность материала снижается, а деформативность повышается. Установлено, что указанные факторы при воздействии химически агрессивной среды приводят к потере несущей способности, увеличению деформативности и сокращению сроков работоспособности.

Опыт эксплуатации и анализ методов оценки напряженно-деформированного состояния и несущей способности железобетонных конструкций указывает на то, что безотказность их работы в условиях агрессивных сред обеспечивается коррозионной устойчивостью стальной арматуры. Коррозионные повреждения развиваются во времени и практически необратимы.

В действующих нормативных документах даны общие рекомендации оценки несущей способности железобетонных конструкций при наличии тех или иных повреждений и отсутствуют конкретные рекомендации учёта влияния коррозионных повреждений бетона и арматуры, что является необходимым исходным материалом при разработке проектов восстановления и усиления конструкций реконструируемых зданий.

В [Пахомова Е.Г. Прочность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях] указывается, что силовое сопротивление сечения, поврежденного коррозией, оценивается глубиной повреждения бетона с учётом того, что интенсивность повреждения снижается от поверхности вглубь сечения. При этом оценка коррозионного поражения бетона должна выполняться с учётом напряжённо-деформированного состояния материала, так как уровень напряжений в бетоне существенно влияет на характер коррозии. При величине напряжений до уровня нижней границы микротрещинообразования

$\eta = \sigma_{\text{срс}}^0 / R_b$ происходит уплотнение структуры бетона, что снижает скорость проникновения в материал химически агрессивных реагентов по сравнению с ненагруженным бетоном (рис.7.1.).

При напряжениях в бетоне, превышающих $\sigma_{сгс}^0$, в структуре материала начинается процесс образования, накопления, и развития микротрещин, структура разрыхляется, скорость проникновения агрессивных сред в структуру возрастает. В свою очередь коррозионные повреждения "расшатывают" структуру бетона. Таким образом, при величине напряжений $\sigma_b > \sigma_{сгс}^0$ процессы коррозионного и силового разрушения носят взаимно усиливающий характер.

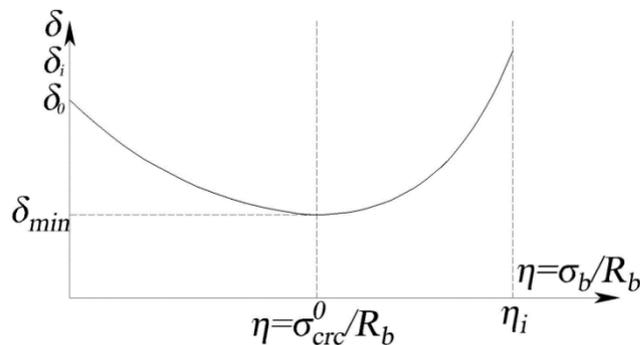


Рис.7.1. Зависимость между величиной глубины коррозионных повреждений бетона (δ) от уровня сжатия ($\eta = \sigma_{сгс}^0 / R_b$)

Оценку глубины коррозионного поражения бетона от уровня напряжения предлагается выполнять по следующей зависимости:

$$\begin{cases} \delta = (\delta_0 - \delta_1) \cdot \eta^2 (\eta^0 - \eta) + \delta_1; \\ \delta = \delta_1 \cdot e^{(\eta^0 - \eta)}, \end{cases}$$

где δ_0 – глубина повреждений при $\sigma_b = 0$; η^0 – уровень микротрещинообразования в структуре бетона; η – уровень напряжений, при котором оценивается глубина коррозии; δ_1 – глубина коррозии при уровне напряжений η^0 .

Свойства коррозионно поврежденного бетона по аналогии с неповрежденным бетоном определяются его структурой. Изменение структуры поврежденного коррозией бетона характеризуется параметрическими точками микротрещинообразования $R_{сгс,ср}^0$ и $R_{сгс,ср}^v$.

Прочностные и деформативные характеристики повреждённого коррозией бетона оцениваются параметрами:

$$R_{b,cr} = K_R(Z) \cdot R_b; R_{bt,cr} = K_R(Z) \cdot R_{bt};$$

$$E_{b,cr} = K_E(Z) \cdot E_b; C_{cr} = C / K_C(Z),$$

где $K_R(Z)$, $K_E(Z)$, $K_C(Z)$ – функции деградации поврежденного коррозией бетона.

Оценка степени коррозионного повреждения арматуры эксплуатируемых железобетонных конструкций выполняется по косвенным признакам – по наличию и ширине раскрытия трещин, образование которых вызвано внутренним давлением продуктов коррозии, развивающихся вдоль арматурных стержней. На рис. 7.2. приведены опытные значения параметров коррозионных повреждений железобетонных конструкций (балок, колонн), полученные при обследовании эксплуатируемых объектов, при величине защитного слоя бетона 20-30 мм, бетон конструкций класса В20...В35.

Коррозионные повреждения мягких сталей не изменяют их механических характеристик. Коррозионные повреждения высокопрочной арматуры в напряженном состоянии сопровождается хрупким растрескиванием, при этом разрывы арматуры могут происходить при напряжениях значительно ниже расчетных.

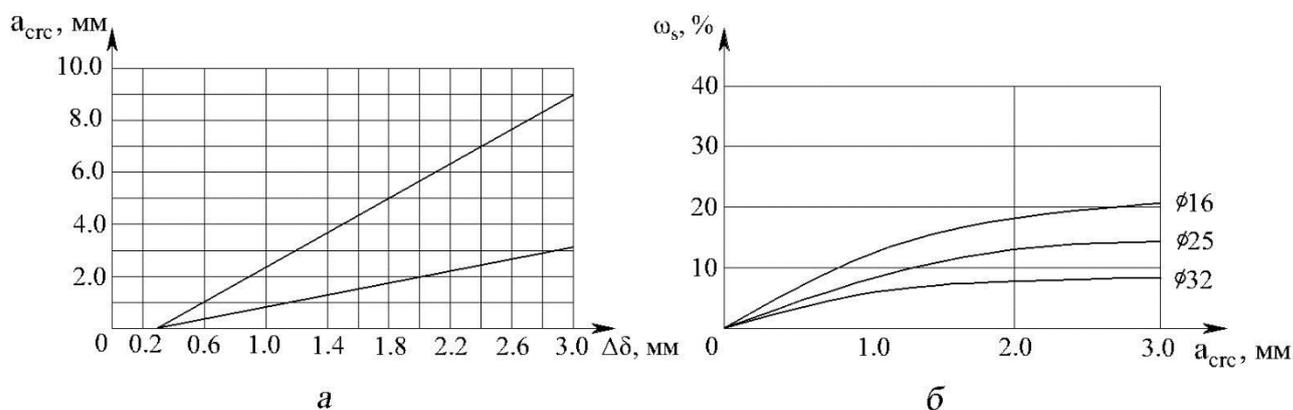


Рис. 7.2. Опытные параметры коррозионного повреждения железобетонных конструкций: а – зависимость между толщиной слоя продукта коррозии ($\Delta\delta$) и шириной раскрытия

продольных трещин (a_{crC}); b – зависимость между степенью коррозионного повреждения арматуры (ω_s) и шириной раскрытия продольных трещин (a_{crC})

Совместная работа арматуры и бетона в железобетонных элементах обеспечивается зонами бетона непосредственно примыкающими к её поверхностям. При наличии коррозионного повреждения арматурных стержней происходит разрушение защитного слоя бетона, вследствие чего нарушается сцепление стержней с бетоном.

Для оценки напряженного состояния околоарматурной зоны от внутреннего давления продуктов коррозии используют уравнение равновесия в цилиндрической системе координат в виде

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \cdot r + \sigma_r - \sigma_\theta = 0, \quad ()$$

где σ_r и σ_θ – соответственно радиальные и окружные напряжения; r – радиус рассматриваемой точки объёма.

Из решения уравнения можно определить условие образования коррозионной трещины вдоль арматурного стержня $\varepsilon_\theta(t, t_0) > \varepsilon_{bt,u}$, которое является основой диагностики коррозионного повреждения арматуры

$$\varepsilon_\theta(t, t_0) = \frac{1}{E_{b,cr}(v,t)} [\sigma_\theta(z, v, t) + \mu \sigma_r(z, v, t)].$$

Уравнения равновесия применительно к околоарматурной зоне растянутого стержня между поперечными силовыми трещинами будут

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \left(1 - \frac{r-a}{h_0-a-x}\right)^2 \cdot \left(\frac{\partial k_1}{\partial z} \varepsilon_z^2 + k_1 \cdot 2 \cdot \varepsilon_z \cdot \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z}\right) \Big|_{z=z_1} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0.$$

Касательные напряжения при несовместных деформациях бетона и арматуры записываются в виде

$$\tau_{rz} = r \ln r \cdot A_{1,1} + r^2 A_{3,1} - r^3 A_{4,1} - c \cdot r.$$

При принятии следующих предпосылок:

- для средних деформаций бетона и арматуры справедлива гипотеза плоских сечений;

- при коррозионном поражении бетона по всему фронту воздействия на поверхность конструкции агрессивной среды прочность поврежденного бетона принимается равной $R = K_R(Z) \cdot R$, где $K_R(Z)$ – функция деградации бетона при коррозионном повреждении;

- уравнение силового сопротивления бетона принимается применительно к кратковременному действию нагрузки

$$\sigma_b = K \cdot E_b \cdot \varepsilon \cdot e^{m \cdot \varepsilon};$$

- коррозионное повреждение арматуры учитывается уменьшением диаметра арматурных стержней, возможное нарушение сцепления арматурных стержней с бетоном вследствие коррозии арматуры учитывается введением условного коэффициента

$$R_{s,cr} = R_s \cdot \alpha_{cr},$$

где α_{cr} – условный коэффициент, учитывающий нарушение сцепления арматурных стержней с бетоном при коррозионном повреждении конструкции, вследствие воздействия агрессивной среды.

Напряженное состояние железобетонного изгибаемого элемента при наличии коррозионных повреждений показано на рис. 7.3.

При составлении разрешающих уравнений в качестве дополнительных гипотез принимают уравнения равновесия, уравнения равенства линейных деформаций бетона и арматуры, уравнения равенства кривизны осей компонентов конструкции подверженной коррозии.

Тогда главный момент для поврежденного коррозией изгибаемого железобетонного элемента записывается в виде

$$M = \int_{F_b} \sigma_b \cdot y_b dF + \int_{F_{b,cr}} \sigma_{b,cr} \cdot y_{b,cr} dF + \sum_{k=1}^i \sigma_{sc,i} A_{sc,i} y_{sc,i} + \sum_{k=1}^i \sigma_{s,i} A_{s,i} y_{s,i};$$

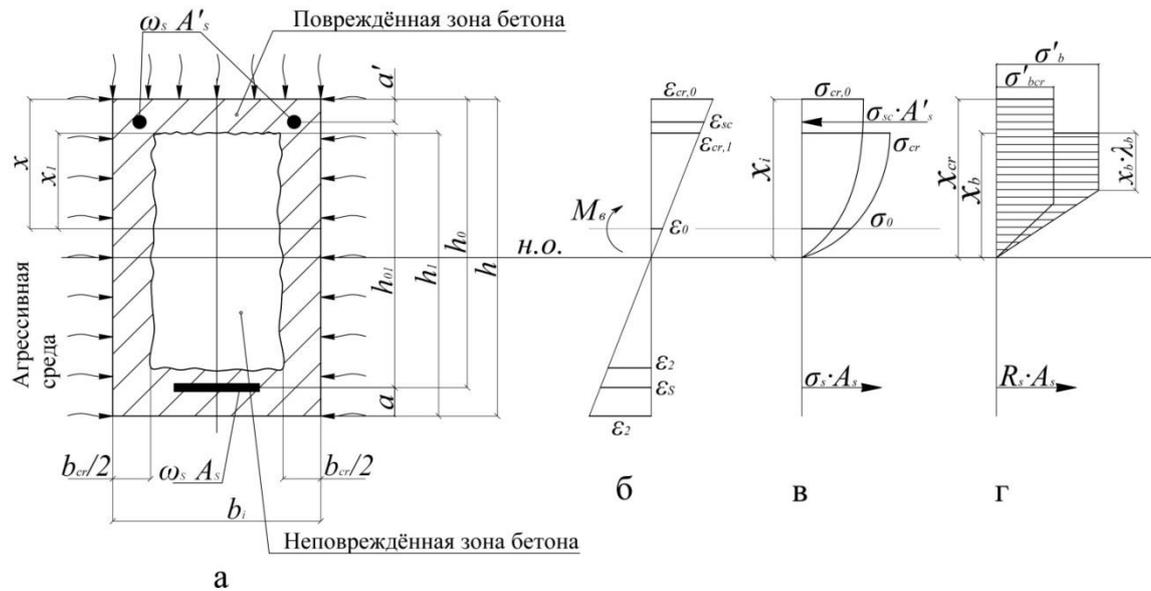


Рис. 7.3. Напряженно-деформированное состояние изгибаемого железобетонного элемента с коррозионными повреждениями: а – сечение элемента; б – распределение деформаций; в – напряженное состояние элемента; г – напряженное состояние при разработке инженерного метода

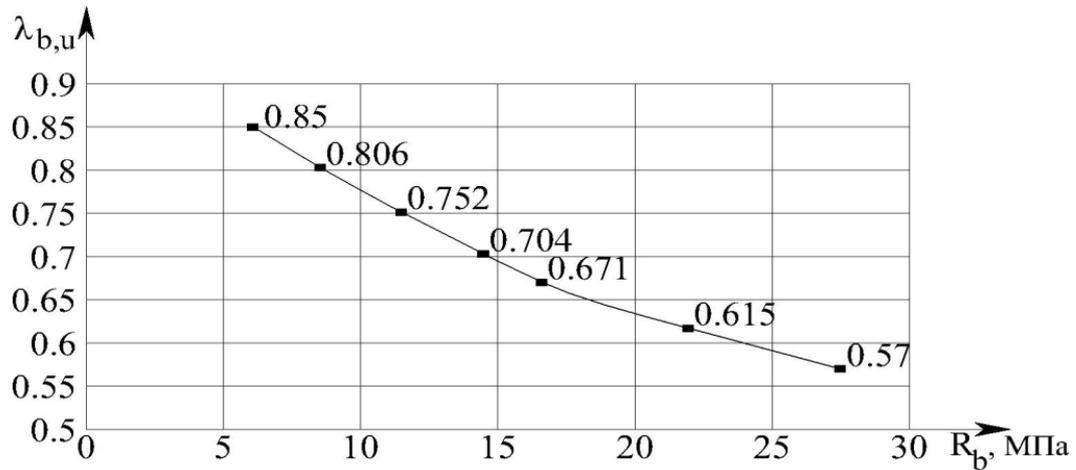


Рис. 7.4. Зависимость коэффициента пластичности $\lambda_{b,u}$ бетона от прочности материалов R_b

$$M = \int_{F_b} \sigma_b \cdot y_b dF + \int_{F_{b,cr}} \sigma_{b,cr} \cdot y_{b,cr} dF + \sum_{k=1}^i \sigma_{sc,i} A_{sc,i} y_{sc,i} + \sum_{k=1}^i \sigma_{s,i} A_{s,i} y_{s,i};$$

$$M = \frac{b_{cp} b_{cr}}{6} (\sigma_{cr,0} + 2\sigma_{cr,1} + \sigma_0) \left(y_{um} - \frac{h_{cr}}{9} \frac{\sigma_{cr,0} + 6\sigma_{cr,1}}{\sigma_{cr,0} + 2\sigma_{cr,1}} \right) - \frac{b_{cp}(h - h_{cr})}{8} \times$$

$$\times \left(\sigma_0 + \sigma_0 \frac{3 \cdot \varepsilon_{cr,0} - \varepsilon_2 - 4\varepsilon_2 \cdot \frac{h_{cr}}{h - h_{cr}}}{\varepsilon_{cr,0} + \varepsilon_2} \right) \cdot (h - y_{um} -$$

$$- \frac{(h - h_{cr})}{12} \cdot \frac{10\sigma_0 + \sigma_0 \cdot \frac{l}{d} (9 - \frac{l}{d})}{\sigma_0 + \sigma_0 \frac{l}{d}}) + \left[\varepsilon_{cr,0} - \frac{a}{h} (\varepsilon_{cr,0} + \varepsilon_2) \right] \times$$

$$\times E_{sc} A_s \omega_s k_{cr} \alpha_{cr} (y_{um} - a) + \left[(\varepsilon_{cr,0} + \varepsilon_2) \frac{a}{h} - \varepsilon_2 \right] E_s A_s \omega_s k_{cr} \alpha_{cr} (h - y_{um} - a).$$

Наряду с описанным методом оценки влияния коррозионного поражения на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов предложен инженерный метод [Пахомова Е.Г. Прочность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях].

В качестве исходных предпосылок в нём приняты некоторые упрощения предпосылок обобщающего метода расчета. Зависимость " $\sigma - \varepsilon$ " для бетонов как неповрежденного коррозией, так и с коррозионными повреждениями, принимается в виде двухлинейной диаграммы, описываемой зависимостями

$$\begin{cases} \sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b & \text{при } 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1} \\ \sigma_b = R_b & \text{при } \varepsilon_{b1} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2} \end{cases}$$

На рис.7.3, г приведена схема напряженного состояния элемента с учетом двухлинейной диаграммы.

Неупругие свойства бетонов, в том числе и с коррозионными повреждениями учитываются введением коэффициента пластичности $\lambda_{b,u}$, который для практических расчетов можно определять по графику, представленному на рис.7.4.

Условие прочности изгибаемого элемента с коррозионными повреждениями записывается в виде

$$M \leq M_b + M_{b,cr} + M_s;$$

Внутренние усилия определяются из следующих выражений

$$M_s = \frac{M}{I_{red} - I_\lambda} I_s; \quad M_{b,cr} = \frac{M}{I_{red} - I_\lambda} (I_{cr} - I_{\lambda cr}); \quad M_b = \frac{M}{I_{red} - I_\lambda} (I_0 - I_{\lambda 0}).$$

Кривизна элемента и его деформации могут быть вычислены из следующих выражений

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_s}{E_s I_s} = \frac{M}{E_s (I_{red} - I_\lambda)}; \quad \varepsilon_{ц.т.} = \frac{M}{E_s (I_{red} - I_\lambda)} y_\lambda.$$

В [543] приведены практические рекомендации и численные значения коэффициентов, позволяющих оценить коррозионные повреждения железобетонных конструкций в условиях коррозионной среды, а также коэффициентов, учитывающих снижение сцепления арматуры с бетоном в зависимости от степени повреждения конструкции.

Оценка несущей способности элементов каменных конструкций с дефектами и повреждениями

Несущую способность поврежденных неармированных и армированных каменных конструкций определяют согласно требованиям норм с учетом выявленных в процессе обследования дефектов и повреждений и фактических значений прочности камней, раствора и арматуры.

При этом должны учитываться факторы, снижающие несущую способность конструкций:

- наличие трещин и дефектов;
- уменьшение расчетного сечения конструкций в результате механических, агрессивных и динамических воздействий, размораживания, пожара, эрозии и коррозии, устройства щтраб и отверстий;
- эксцентриситеты, связанные с отклонением стен, столбов колонн и перегородок от вертикали и выпучивание из плоскости;
- нарушение конструктивной связи между стенами, колонами и перекрытиями при образовании трещин, разрывах связей;
- смещение балок, перемычек, плит на опорах.

Фактическая несущая способность обследуемой конструкции Φ с учетом указанных факторов вычисляется по формуле:

$$\Phi = N \cdot k_{mc} ,$$

где N – расчетная несущая способность конструкций, определяемая в соответствии с указаниями [СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции, СП 15.13330.2020. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции] без учета понижающих факторов подстановкой в соответствующие расчетные формулы фактических значений прочности материалов, площади сечения кладки, бетона, арматуры и т.п.;

k_{mc} – коэффициент снижения несущей способности каменных конструкций при наличии стабилизировавшихся во времени повреждений и деформаций принимается: при наличии дефектов производства работ – по

табл.3.65; для стен, столбов и простенков, поврежденных вертикальными трещинами при перегрузке (исключая трещины, вызванные колебаниями температуры или осадками фундаментов), - по табл.3.66; для кладки опор ферм, балок, перемычек и т. п., имеющих трещины, сколы, раздробления - по табл.3.67; для сильно увлажненной или насыщенной водой кладки из кирпича $k_{mc} = 0,85$, из природных камней осадочного происхождения (известняка, песчаника) $k_{mc} = 0,8$ [Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий].

Довольно часто повреждение каменных конструкций выражается в разрушении поверхностного слоя кладки и трещиноватости оставшейся кладки на некоторую глубину (что характерно при многократном замораживании и оттаивании в увлажнённом состоянии). В этом случае при оценке несущей способности следует уменьшить площадь поперечного сечения конструкции на глубину полного разрушения и отслоения кладки, а для оставшейся кладки ввести коэффициент k_{mc} , по аналогии с кладкой поврежденной пожаром.

Поврежденные каменные и армокаменные конструкции подлежат конструктивному усилению, если их несущая способность с учетом коэффициента допускаемой перегрузки недостаточна для восприятия действующих или предполагаемых проектом реконструкции нагрузок, т. е. при условии, если:

$$F > \Phi \cdot n_{ng},$$

где F – нагрузка, действующая на рассматриваемую конструкцию;

n_{ng} – коэффициент допустимой перегрузки принимаемый равным:

- для каменных и бетонных конструкций - 1,15;
- для железобетонных конструкций - 1.1.

Таблица 7.2

Значения коэффициента k_{mc} при наличии дефектов производства работ

№ п/п	Вид дефекта	k_{mc}
1	Отсутствие перевязки рядов кладки (тычковых рядов, арматурных сеток, каркасов):	1,0

	в 5-8 рядах (40-50 см) в 8-9 рядах (60-65 см) в 10-11 рядах (75-80 см)	0,9 0,75
2	Отсутствие заполнения раствором вертикальных швов (пустошовка)	0,9
3	При толщине горизонтальных швов более 2 см (3-4 шва на 1 м высоты кладки): при марке раствора шва 75 и более то же, 25-50 то же, менее 25	1,0 0,9 0,8

Таблица 7.3

Коэффициент снижения несущей способности k_{mc} кладки стен, столбов и простенков, повреждённых вертикальными трещинами при перегрузке

№ п/п	Характер повреждения кладки стен, столбов и простенков	Для кладки	
		неармированной	армированной
1	Трещины в отдельных камнях	1,0	1,0
2	Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки, длиной 15-18 см	0,9	1,0
3	То же, при пересечении не более четырёх рядов кладки длиной до 30-35 см при количестве трещин не более трёх на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка	0,75	0,9
4	То же, при пересечении не более восьми рядов кладки длиной до 60-65 см при количестве трещин не более четырёх на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка	0,5	0,7
5	То же, при пересечении не более восьми рядов кладки длиной до 60-65 см (расслоение кладки) при количестве трещин более четырёх на 1 м ширины стен, столбов и простенков	0	0,5

Таблица 7.4.

Коэффициент снижения несущей способности k_{mc} кладки опор ферм, балок и перемычек из полнотелого кирпича, повреждённых трещинами, имеющих сколы и раздробления

№ п/п	Характер повреждения кладки опор	Для кладки	
		неармированной	армированной
1	Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см (трещины, сколы, раздробления) и образование вертикальных трещин по концам балок, ферм и перемычек или их опорных подушек длиной до 15-18 см	0,75	0,9
2	То же, при длине трещины до 30-35 см	0,5	0,75
3	Краевое повреждение кладки на глубину более 2-х см при образовании по концам балок, ферм и перемычек или их опорных подушек вертикальных или косых трещин длиной более 35 см	0	0,5

Для конструкций, поврежденных трещинами, применение коэффициента n_{nc} не допускается.

Состояние, степень повреждения и необходимость конструктивного усиления каменных конструкций определяется в зависимости от величины снижения в процентах несущей способности при наличии дефектов и повреждений. Основные градации состояний, степень повреждений конструкций и рекомендации по их восстановлению или усилению представлены в табл.3.68 [Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий].

Таблица 7.5

Градации состояний, степень повреждений и необходимость восстановления или усиления конструкций

Состояние и степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Восстановление или усиление
Исправное (I)	0-5	Не требуется
Работоспособное (II)	До 15	Требуется при наличии трещин
ограниченно работоспособное (III)	До 25	Требуется
Недопустимое (неработоспособное) (IV)	До 50	Требуется
Аварийное (V)	Свыше 50	Возможно при технико-экономическом обосновании или разборка

Несущая способность каменных элементов при отсутствии в них дефектов и повреждений определяется в соответствии с действующими нормами [СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции, СП 15.13330.2020. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции].

При отклонении от вертикали или выпучивании каменных элементов (стен, столбов, перегородок) в пределах высоты этажа на величину до 1/3 толщины в расчете учитывается соответствующее увеличение эксцентриситета действующей нагрузки; при большом отклонении или выпучивании указанные элементы подлежат разборке или усилению.

При образовании вертикальных трещин в местах пересечения стен или при разрыве поперечных связей между стенами, колоннами и перекрытиями несущую способность и устойчивость стен от действия вертикальных и

горизонтальных нагрузок определяют при учете фактической свободной высоты стены между точками сохранившихся закреплений (связей).

При смещении ригелей, балок, плит перекрытий и покрытий на опорах оценивается несущая способность стен и столбов местное смятие и внецентренное сжатие с учетом фактической величины эксцентриситетов и площади опирания элементов перекрытий на стены и столбы.

При наличии в стенах значительных обвалов или обрушении одного или нескольких простенков нижележащих этажей (от чрезмерного увлажнения, перегрузки и т. п.) сохранившаяся часть стены может работать по схеме свода. В этом случае несущую способность крайних простенков или участков стен и перекрытий, находящихся выше обвалов, а также с учётом распора, определяемого из статического расчёта.

На участках стен с выпучиванием изгибающий момент продольного изгиба приближенно может быть определен по формуле [Нечаев Н.В. Капитальный ремонт жилых зданий] (рис.7.5.)

$$M = M_0 \cdot \frac{C_m}{1 - \frac{N}{N_{cr}}},$$

где M_0 - максимальное значение изгибающего момента от действующих внешних нагрузок (внецентренной вертикальной нагрузки и поперечных сил);

$$C_m = 0.6 + 0.4 \cdot \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad - \text{коэффициент, характеризующий различные}$$

случаи сочетания моментов M_1 и M_2 ; N - продольное усилие в стене; N_{cr} - разрушающее усилие.

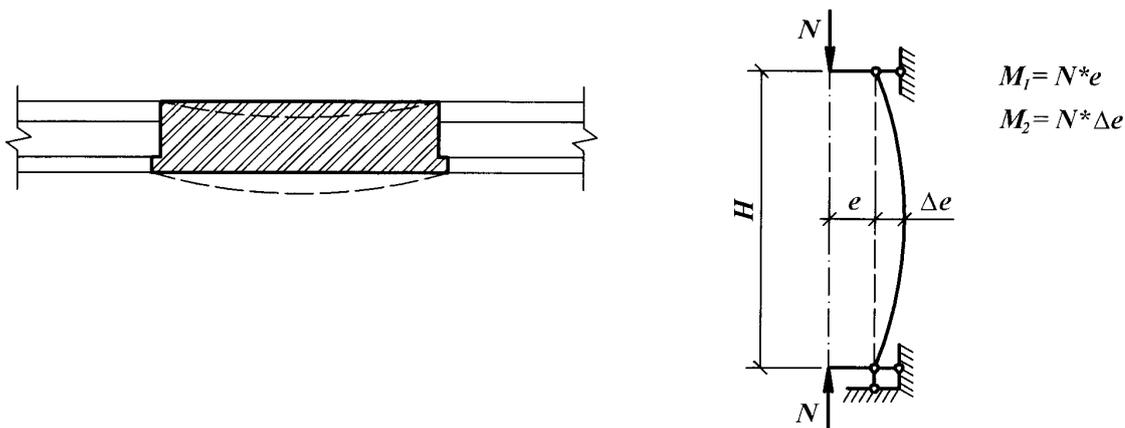


Рис.7.5. Расчетная схема простенка при его выпучивании

Учитывая, что модуль упругости кладки E уменьшается при увеличении степени сжатия, а момент инерции сечения J уменьшается при его растрескивании, в [Нечаев Н.В. Капитальный ремонт жилых зданий] предлагаются следующие зависимости для вычисления жесткости стен с трещинами:

а) для стен с незначительными трещинами

- при неармированной кладке

$$E \cdot J = \frac{E_1 \cdot J_i}{3,5}$$

- при армированной кладке

$$E \cdot J = \frac{E_1 \cdot J_i}{2,5}$$

б) для стен со значительными трещинами

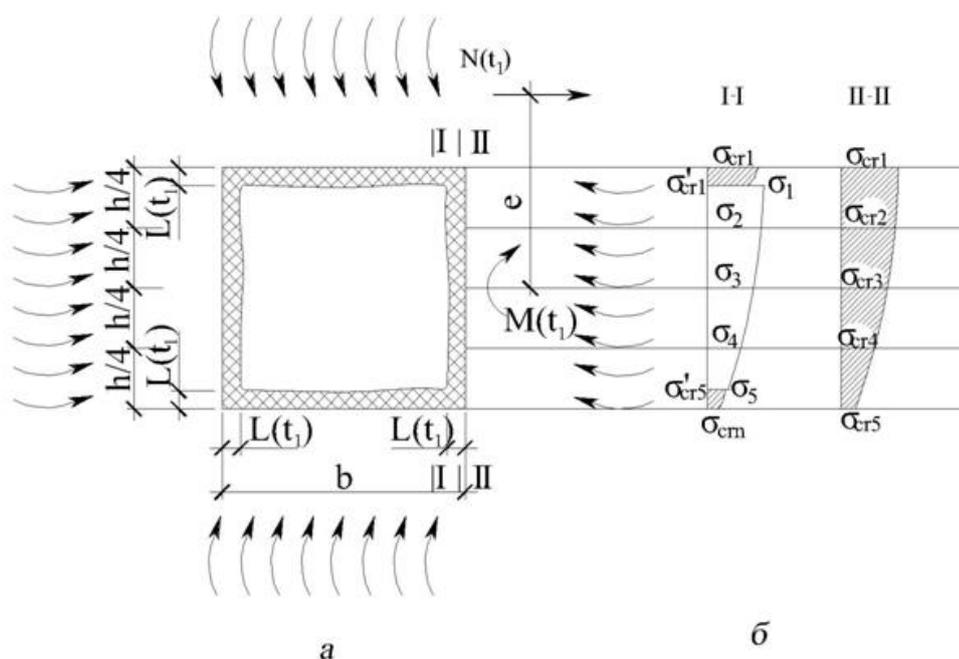
$$E \cdot J = E_1 \cdot J_i \cdot \left(0,2 + \frac{N}{N_{cr}} \right) \leq 0,7 \cdot E_1 \cdot J_i,$$

где E_1 - начальный модуль упругости кладки;

J_u - момент инерции не растрескавшегося рабочего сечения кладки.

Оценка несущей способности каменных конструкций, подверженных химической коррозии

В последние годы заметно возросла агрессивность воздушной среды. Вследствие этого происходит ухудшение физико-механических характеристик строительных материалов, в том числе каменных конструкций. По интенсивности ухудшения этих характеристик можно судить о степени агрессивности среды. Зачастую структурные изменения в материалах вследствие коррозии незаметны, однако прочность материала снижается, а деформативность повышается. Установлено, что указанные факторы при воздействии химически агрессивной среды приводят к потере несущей способности, увеличению деформативности и сокращению сроков работоспособности.



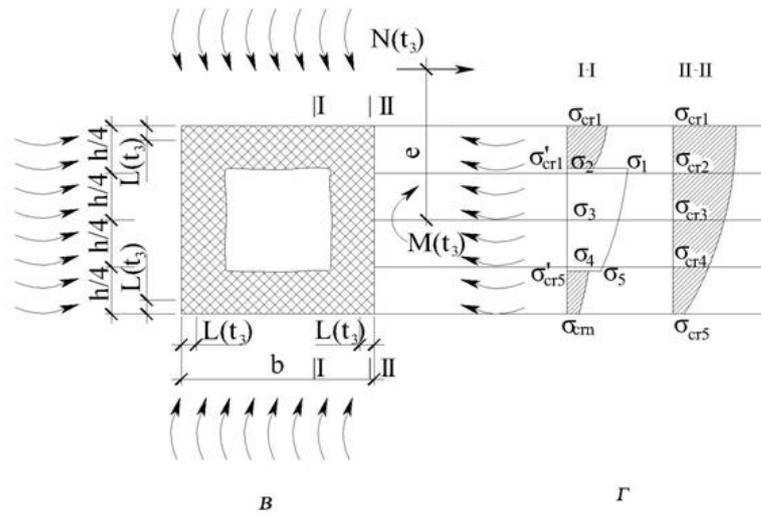


Рис. 7.6. Распределение напряжений и деформаций по сечению элемента в зависимости от уровня нагружения и времени действия агрессивной среды:

а, в – поперечное сечение; б – схема 1; г – схема 3

Для практических расчетов разработана инженерная методика оценки несущей способности центрально и внецентренно сжатых элементов в условиях химической коррозии, основанная на использовании коэффициентов продольного изгиба φ^{BH} и длительного сопротивления $m_{дл}$, являющихся функциями приведенного эксцентриситета \bar{m}_{red} и условной приведенной гибкости $\bar{\lambda}_{red}$:

$$\bar{m}_{red} = \frac{e_H \cdot A}{W}; \quad \bar{\lambda}_{red} = \frac{l_0}{r} \sqrt{\frac{R_{кл}}{E_{кл}}},$$

где e_H – эксцентриситет приложения силы; A – площадь сечения элемента; W – момент сопротивления; l_0 – расчетная длина элемента; r – радиус инерции сечения; $R_{кл}$ – расчетное сопротивление кладки; $E_{кл}$ – начальный модуль упругости кладки.

Проверка несущей способности внецентренно сжатого элемента, при воздействии химически агрессивной среды (время воздействия среды 3 года) производится по формулам:

- при кратковременном нагружении

$$N_{II} \leq \varphi_{cr}^{BH} \cdot \varphi^{BH} \cdot A \cdot R_{кл};$$

- в условиях длительно действующей нагрузки

$$N_{\Pi} \leq m_{дл}^{cr} \cdot m_{дл} \cdot \varphi^{BH} \cdot A \cdot R_{кл};$$

где N_{Π} – продольная сила, действующая на элемент; φ_{cr}^{BH} – коэффициент влияния агрессивной среды при продольном изгибе; φ^{BH} – коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии; A – площадь сечения элемента; $R_{кл}$ – расчетное сопротивление кладки; $m_{дл}^{cr}$ – коэффициент влияния агрессивной среды при длительном сопротивлении; $m_{дл}$ – коэффициент длительного сопротивления.

В случае, если на элемент действуют одновременно длительные и кратковременные нагрузки, формула приобретает вид

$$N_{\Pi} \leq \varphi_{cr}^{BH} \cdot \varphi^{BH} \cdot A \cdot R_{кл},$$

где N_{Π} – приведенная продольная сила, определяемая по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{N_{дл}}{m_{дл}^{cr} \cdot m_{дл}} + N_{к}.$$

$N_{дл}$ – расчетная продольная сила от длительно действующей части нагрузки; $N_{к}$ – расчетная продольная сила от кратковременно действующей части нагрузки.

Подбор коэффициентов для расчета по формулам осуществляется следующим образом. Значения коэффициента продольного изгиба φ^{BH} принимаются по табл.7.6 в зависимости от условной приведенной гибкости $\bar{\lambda}_{red}$ и приведенного эксцентриситета \bar{m}_{red}).

К расчету коэффициента продольного изгиба

$\bar{\lambda}_{red}$	Значения коэффициента φ^{6H} при \bar{m}_{red}								
	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	0,925	0,747	0,602	0,440	0,320	0,205	0,141	0,102	0,78
1,0	0,898	0,720	0,565	0,420	0,295	0,195	0,135	0,100	0,75
1,5	0,847	0,666	0,515	0,386	0,265	0,175	0,125	0,95	0,73
2,0	0,777	0,590	0,450	0,341	0,233	0,159	0,117	0,85	0,70
2,5	0,657	0,502	0,376	0,290	0,200	0,140	0,110	0,80	0,67
3,0	0,535	0,415	0,324	0,240	0,170	0,125	0,100	0,75	0,65
3,5	0,435	0,330	0,265	0,200	0,145	0,110	0,92	0,70	0,60
4,0	0,355	0,262	0,220	0,165	0,125	0,96	0,82	0,65	0,55
4,5	0,292	0,215	0,175	0,139	0,105	0,78	0,70	0,55	0,50
5,0	0,247	0,185	0,150	0,115	0,90	0,70	0,60	0,51	0,46

Расчетные длины элементов l_0 при определении коэффициентов продольного изгиба φ следует принимать по данным табл.7.7 в зависимости от условий их опирания и фактической высоты H .

Таблица 7.7

К определению расчетной длины элемента

Условие опирания	Значение l_0
1. При неподвижных шарнирных опорах	H
2. При упругой верхней опоре и жестком защемлении в нижней опоре: -для однопролетных зданий -для многопролетных	$1,5H$ $1,25H$
3. Для свободно стоящих конструкций	$2H$
4. Для конструкций с частично защемленными опорными сечениями	Не менее $0,8H$
5. При жестких опорах и заделке в стены сборных железобетонных перекрытий	$0,9H$
6. При монолитных железобетонных перекрытиях, опираемых на стены по четырем сторонам	$0,8H$

В табл.7.6 приведены значения коэффициентов продольного изгиба φ_{cr}^{BH} , учитывающих воздействие водных растворов соляной и серной кислот, а также газов или гигроскопической пыли, содействующих образованию растворов этих кислот при конденсации влаги на поверхности конструкции [Щербаков И.Ф. Оценка работоспособности каменных конструкций при химической коррозии].

Таблица 7.8

Коэффициент, учитывающий влияние ионов хлора

Содержание Cl, г/л	Значения коэффициента φ_{cr}^{6H} при \bar{m}_{red}							
	0,1	0,5	1,0	1,5	1,0	2,0	2,5	3,0
≤10,09	0,956	0,947	0,946	0,946	0,952	0,958	0,971	0,983
20,16	0,922	0,910	0,912	0,913	0,922	0,931	0,948	0,965
51,23	0,903	0,889	0,890	0,890	0,901	0,912	0,934	0,956
104,70	0,849	0,842	0,843	0,844	0,847	0,849	0,881	0,913

Таблица 7.9

Коэффициент, учитывающий влияние сульфат-ионов

Содержание SO ₃ ⁻ , г/л	Значения коэффициента φ_{cr}^{6H} при \bar{m}_{red}								
	0,1	0,5	1,0	1,5	1,0	2,0	2,5	3,0	≥3,5
≤9,82	0,970	0,902	0,835	0,871	0,885	0,887	0,885	0,880	0,878
20,32	0,829	0,777	0,767	0,826	0,857	0,869	0,868	0,860	0,854
51,92	0,845	0,797	0,731	0,753	0,797	0,820	0,831	0,839	0,844
106,86	0,871	0,818	0,746	0,708	0,748	0,772	0,785	0,797	0,812

Значения коэффициентов длительного сопротивления $m_{дл}$ находятся по табл.7.10 в функции приведенного эксцентриситета \bar{m}_{red} для нормальной среды. Там же в табл.7.10 приведены значения коэффициентов $m_{дл}^{cr}$, учитывающих влияние ионов хлора и ионов серы.

Коэффициенты, учитывающие воздействие агрессивных ионов при
длительном действии нагрузки Таблица 7.10

Среда	Значения коэффициентов длительного сопротивления при \bar{m}_{red}								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
Нормальные условия	0,899	0,946	0,767	0,639	0,626	0,667	0,708	0,733	0,748
Cl ⁻	0,946	0,944	0,933	0,949	0,949	0,969	0,978	0,984	0,988
SO ₃ ⁻	0,975	0,972	0,960	0,903	0,963	0,973	0,973	0,977	0,985

Проверка устойчивости элемента из плоскости действия момента производится по следующим формулам:

-при кратковременном нагружении

$$N_{\Pi} \leq \varphi_{cr}^{BH} \cdot \varphi \cdot C \cdot A \cdot R_{кл};$$

-в условиях длительно действующей нагрузки

$$N_{\Pi} \leq m_{дл}^{cr} \cdot m_{дл} \cdot \varphi \cdot C \cdot A \cdot R_{кл},$$

где φ – коэффициент продольного изгиба при центральном сжатии, определяемый по табл.3.69 при $\bar{m}_{red}=0,1$, соответствующем случайному эксцентриситету; $m_{дл}$ –коэффициент длительного сопротивления при центральном сжатии по табл.3.73 при $\bar{m}_{red}=0,1$; C – коэффициент, учитывающий влияние действия момента на устойчивость элемента из плоскости действия момента, определяемый по табл.7.11.

Таблица 7.11

К расчету коэффициента устойчивости из плоскости действия момента

\bar{m}_{red}	Значения коэффициента C при $\bar{\lambda}_{red}$				
	$\leq 2,0$	3,0	3,5	4,0	$\geq 4,5$
$\leq 0,50$	0,648	0,740	0,839	0,839	0,839
0,75	0,543	0,619	0,723	0,723	0,723
1,00	0,535	0,548	0,633	0,633	0,633
1,25	0,429	0,481	0,544	0,544	0,544
1,50	0,373	0,415	0,485	0,485	0,485
1,75	0,339	0,370	0,423	0,476	0,469
2,00	0,306	0,326	0,378	0,430	0,436
$\geq 2,25$	0,273	0,287	0,340	0,393	0,403

Проверка несущей способности центрально сжатого элемента, подверженного воздействию агрессивной среды, осуществляется по следующим формулам:

-при кратковременном нагружении

$$N_{\Pi} \leq \varphi_{cr} \cdot \varphi \cdot A \cdot R_{кл};$$

-в условиях длительно действующей нагрузки

$$N_{\Pi} \leq m_{дл}^{cr} \cdot m_{дл} \cdot \varphi \cdot A \cdot R_{кл},$$

где φ , $m_{дл}$, φ_{cr} , $m_{дл}^{cr}$ – определяются так же, как указано выше.

Для численной реализации методики разработаны алгоритм и программа расчета на ЭВМ.

Факторы и характер дефектов и повреждений, учитываемых в поверочных расчетах. Требования нормативных документов к поверочным расчетам по оценке несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций

Поверочный расчет конструкций с учетом влияния дефектов и повреждений выполняется с целью установления:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций по их функциональному назначению без каких-либо ограничений;
- необходимости восстановления или усиления конструкций;
- возможности эксплуатации конструкций с ограничениями до плановых ремонтно-восстановительных работ;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации конструкций для предотвращения аварийной ситуации;
- выявления имеющихся резервов несущей способности конструкций.

Поверочные расчеты несущей способности конструкций выполняют в следующих случаях:

- визуально-инструментальные методы обследования не позволяют с достаточной уверенностью установить степень снижения несущей способности строительных конструкций;

- строительные конструкции рассчитаны по старым (отмененным) нормам проектирования;

- фактические или планируемые (при реконструкции) нагрузки и воздействия превышают расчетные или нормативные на 15% и более;

- степень повреждения строительных конструкций, установленная в результате предварительного обследования по характерным и детальным признакам повреждений и дефектов, отнесена к слабой, средней или сильной;

- деформации элементов строительных конструкций и отклонения значений эксплуатационных характеристик превышают предельно допустимые значения;

- прочность конструкционных материалов в рассматриваемых сечениях на 20% ниже средних значений;

Работа конструкций в составе зданий и сооружений выявляет все их положительные и отрицательные свойства применительно к данным условиям эксплуатации, а поэтому может рассматриваться как испытание конструкций данными эксплуатационными воздействиями. Причем, если испытание конструкций нагружением производится несколько в идеализированных условиях, то при оценке конструкций в эксплуатации получают данные об их действительной работе. В то же время методика оценки состояния конструкций в эксплуатации значительно сложнее, чем при испытании нагружением.

Расчет зданий и сооружений и определение усилий в конструктивных элементах от эксплуатационных нагрузок производятся на основе методов строительной механики и сопротивления материалов. Расчеты могут осуществляться инженерными методами на ПЭВМ с использованием сертифицированных программ. Расчеты выполняются на основании и с учетом уточненного обследования:

- геометрических параметров здания и его конструктивных элементов – пролетов, высот, размеров расчетных сечений несущих конструкций;

- фактических опираний и сопряжений несущих конструкций, их реальной расчетной схемы;
- расчетных сопротивлений материалов, из которых выполнены конструкции;
- дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность конструкций;
- фактических нагрузок, воздействий и условий эксплуатации здания или сооружения;
- температурных воздействий, коррозионного износа, осадок грунтов и т.д.

Методика поверочного расчета включает выполнение последовательных шагов. Расчет зданий начинают с установления расчетных схем здания и его несущих элементов. Затем определяют расчетные нагрузки. В табличной форме составляются нагрузки на 1 м² проекции всех ограждающих конструкций кровли, перекрытий. Подсчитывают нагрузки от стен, колонн, перегородок, лестниц и т. д. Определяют грузовую площадь на колонну, простенок или ширину грузовой площади на стропилы, балки от кровли и перекрытий. Складывают нагрузки по этажам на конкретный несущий элемент здания. Например, простенок или колонну любого этажа, стену подвала, фундамент и т. д. Выполняют статический и динамический расчеты здания в целом и его отдельных несущих элементов. При этом используют современные программные комплексы расчета на прочность, которые могут учитывать пространственную работу конструкций и в целом здания, деформированность, нелинейность и т. д. («MicroFe», «Мираж», «Мономах», «Лира-Windows», «Scad» и др.).

Реальная расчетная схема определяется по результатам обследования. Она должна отражать:

- условия опирания или соединения с другими смежными строительными конструкциями, деформативность опорных креплений;

- геометрические размеры сечений, величины пролетов, эксцентриситетов;

- вид и характер фактических (или требуемых) нагрузок, точки их приложения или распределение по конструктивным элементам;

- повреждения и дефекты конструкций.

Расчет несущей способности бетонных и железобетонных, стальных, каменных, армокаменных и деревянных конструкций производят соответственно в соответствии с требованиями [СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения, СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Расчет конструкции зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмических районах, производят в соответствии с [СП 14.13330.2018. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах].

Поверочные расчеты, как правило, проводятся по предельным состояниям первой и второй группы.

Предпосылки, принимаемые при проектирование усиления железобетонных конструкций системой ФАП, нормативные характеристики ФАП.

За последние десятилетия накоплен значительный практический опыт по восстановлению и усилению ребристых сборных железобетонных плит перекрытий и покрытий. Как правило, для них характерны повреждения в виде нарушения сцепления арматуры с бетоном из-за её коррозии, сколов и отслоений защитного слоя бетона, воздействия минеральных масел, нарушение структуры бетона вследствие воздействия как отрицательных, так и повышенных температур характеризующегося существенным увеличением деформативности и снижением прочности сцепления. Причем влияние последнего фактора наиболее значительно при циклическом воздействии.

Традиционными, хорошо известными методами, являются такие как усиление продольных ребер, за счет приварки к обнажённой на отдельных участках рабочей арматуре дополнительных стержней через арматурные коротыши (“утки”) и последующего их обетонирования. При этом предварительно производится разгрузка плит с помощью домкратов. Обеспечение необходимой несущей способности плит может быть достигнуто также устройством шпренгелей или снижения массы перекрытия или покрытия.

Однако результаты экспериментальных исследований и практика применения за последнее десятилетие по усилению плит показали, что более эффективными и менее трудоёмкими являются такие методы, как устройство внешнего армирования в виде арматурного стержня без жёсткого его крепления к существующей рабочей арматуре с подливкой с помощью опалубки мелкозернистым фибробетоном или усиление на основе углеродной сетки и цементно-песчаного раствора “Композит” на минеральном вяжущем (МВК). В частности, проведены экспериментальные исследования балочных элементов со следующими вариантами усиления:

- наклеиванием двух слоев однонаправленной углеродной ткани Sigratex HDU 1092 и одновременной пропиткой двухкомпонентным эпоксидным клеем SikaDUR 330;

- усилением внешним арматурным стержнем с подливкой полимерным фибробетоном, изготовленном из сухой смеси Mapegrout Hi- Flow;

- усиление углеродной сеткой Sigratex Grid 600 в два слоя на цементно-песчаном растворе Planitop 400.

Усиление производилось при нагрузке, соответствующей величине эксплуатационной.

При осуществлении усиления замес компонентов эпоксидного клея должен контролироваться при помощи электронных весов, а его нанесение и твердение в соответствии с требованиями технического описания производителя клея. Углеродная однонаправленная ткань наклеивается и

пропитывается в два слоя последовательно, при этом процесс пропитки заключается в прокатывании металлическим валиком с зубчатым профилем до начала схватывания клея.

При усилении дополнительными арматурными стержнями они крепятся металлическими крючками с помощью пластиковых дюбелей к усиливаемому элементу. Подливка мелкозернистым фибробетоном осуществляется в опалубку из фанеры, обработанной опалубочной смазкой. Поверхность усиливаемого элемента перед подливкой насыщается водой. Подливка производится через “карман”, устраиваемый с одной стороны усиливаемого элемента. Замес материала подливки производится по технологии, приведенной в техническом описании на используемый материал. Специального ухода за бетоном в этом случае не требуется.

При усилении углеродной сеткой её крепление к бетону усиливаемого элемента используется цементно-песчаный раствор заводского изготовления. На усиливаемую поверхность сначала наносится первый слой раствора, в который утапливается углеродная сетка с одновременным зашпатлёвыванием не полностью укрытых раствором участков сетки. Вторым слоем раствора наносится после схватывания первого слоя, но не позднее чем через 4 часа. Вторым слоем сетки монтируется аналогично первому (утапливается в слой раствора и зашпатлёвывается). Через 30-40 минут после окончания работ поверхность раствора однократно увлажняется водой из распылителя и укрывается полиэтиленовой плёнкой.

Существующие экспериментальные исследования подтвердили эффективность рассмотренных методов усиления ребристых сборных железобетонных плит с увеличением их несущей способности по нормальному сечению в 1,3...2,2 раза.

Кроме этого существенно снижаются прогибы. Отмечается также, что рабочая арматура усиливаемых элементов в предельном состоянии испытывает напряжения, значительно превышающие предел текучести. При этом наиболее эффективным методом оказался метод усиления ребристых

плит в виде устройства внешнего армирования из полужёсткой углеродной сетки Sigratex Grid 600 в два слоя и композитного материала на основе минерального вяжущего – цементно-песчаном растворе Planitor 400. Этот метод усиления позволяет также соответствовать требованиям пожарной безопасности.

Частичную (поверхностную) пропитку бетонных конструкций производят на глубину 5-15 мм с целью увеличения непроницаемости, поверхностной твердости с одновременной заделкой множественных трещин с шириной раскрытия менее 0,5 мм. Пропитке могут быть подвергнуты плоские и криволинейные поверхности, расположенные горизонтально, вертикально или наклонно. Пропитку полимеризующимися составами на полную глубину сборных бетонных и железобетонных элементов с целью резкого увеличения их прочности, морозо-, абразиво-, химстойкости, а также придания бетону электроизолирующих и других специальных свойств.

Для поверхностной пропитки используют полимеризующиеся композиции, приведенные в табл. 4. Составы 1 и 2, отверждаемые при температуре 60-80 °С, используют для пропитки на глубину до 15 мм. Составы 3, 4 и 5 отверждаются при комнатной температуре, однако вследствие ограниченной жизнеспособности могут быть использованы для пропитки бетона на глубину до 7 мм. Конструкции, пропитанные составами 1 и 3, могут эксплуатироваться при температуре до 75 °С, а пропитанные составами 2, 4 и 5 - до 100 °С.

Таблица 7.12.

Пропиточные составы для усиления слабого бетона и повышения его непроницаемости

Компоненты составов	Содержание компонентов (в мас. ч) составов				
	1	2	3	4	5
Метилметакрилат	100	100	100	100	100
Жидкий каучук СКН-18-1А	-	-	2-5	15-25	20

Полиэфир ТГМ-3	-	30	-	-	10
Парафин	0-5	-	0,5	-	-
Перекись бензоила	-	-	5-7	-	-
Диметиланилин	-	-	2-3	-	-
Порофор ЧХЗ-57	0,5-1,5	0,5-1,0	-	-	-
Гипериз	-	-	-	7	5-6
Полиэтиленполиамин	-	-	-	7	5-6
Ацетон	5-10	-	5-10	-	-

Бетонные конструкции и изделия, подготовленные для пропитки, не должны иметь выбоин, раковин и трещин шириной более 0,5 мм. Перед пропиткой подобные дефекты заделывают цементно-песчаным раствором марки 200 с предварительной очисткой поверхности в соответствии рекомендациями, приведенными выше.

Поверхность бетонных изделий должна быть чистой; не допускается наличие пыли, лакокрасочных, гидроизолирующих и других покрытий и загрязнений. Перед пропиткой поверхность бетона должна быть высушена на глубину 5-15 мм до остаточной влажности 1-1,5%. Сушку проводят, используя терморадационные обогреватели типа БИС-10, БИС-15, насыпные коксовые нагреватели и другие сушильные устройства, обеспечивающие необходимую степень сушки на заданную глубину при температуре бетона 110-250 °С. Продолжительность сушки, подбираемая опытным путем, может колебаться от 8 до 48 ч в зависимости от толщины и формы конструкции, состава бетона, типа сушильного оборудования, температуры сушки, исходной температуры и влажности бетона и окружающей среды. Контроль и продолжительность сушки осуществляют на образцах-кернях или образцах, получаемых сколом на глубину до 15 мм. Процесс сушки считают законченным, если влажность образца, определенная по потере массы при прогреве при 110 °С, не будет превышать 1-1,5%. Перед пропиткой

высушенные бетонные поверхности должны быть охлаждены до температуры 30-35 °С, для чего их выдерживают при температуре 10-20 °С в течение 1-2 ч.

Пропитку горизонтальных поверхностей, обращенных вверх, производят пропиточным составом путем полива в 1-2 слоя с разравниванием щетками, кистями и т.п., с последующим укрытием полиэтиленовой пленкой или металлическим щитом. Расход пропиточного состава и продолжительность пропитки в зависимости от глубины пропитки и состава бетона принимают ориентировочно согласно табл. 5 и уточняют во время пробных пропиток.

Пропитку вертикальных и наклонных поверхностей производят при помощи специальных коробов, выполненных из жести или кровельного железа и имеющих размеры, соответствующие высушенному участку. Короб должен повторять профиль пропитываемой поверхности и крепиться к ней с зазором в 1–5 мм. По периметру зазор между коробом и бетонной поверхностью герметизируют цементно–песчаным раствором, оконной замазкой, гипсо–песчаным раствором и другими материалами. В верхней части зазор между коробом и поверхностью бетона должен иметь уширение для залива пропиточного состава. В зазор между коробом и бетонной поверхностью заливают пропиточный состав и выдерживают в течение времени, указанного в табл. 5. По окончании пропитки избыток пропиточного состава сливают через специально предусмотренное отверстие в нижней части короба (во время пропитки оно должно быть закрыто пробкой).

Таблица 7.13.

Расход пропиточного состава, глубина и продолжительность пропитки в зависимости от прочности бетона

Класс	Кубиковая	Глубина	Составы 1, 2 и 3	Составы 4-5
-------	-----------	---------	------------------	-------------

бетона	прочность, МПа (кгс/см ²)	пропитки, мм	(по табл.7.9)		(по табл.7.9)	
			расход, кг/м ²	продолжи- тельность пропитки, ч	расход, кг/м ²	продолжитель- ность пропит- ки, ч
В3,5	5,0 (50)	5	1,0	0,8	1,0	0,3
		10	2,0	0,5	2,0	1,0
		15	3,0	1,0	-	-
В7,5	10,0 (100)	5	0,8	0,5	0,8	0,6
		10	1,4	1,0	-	-
		15	1,9	2,0	-	-
В15	20,0 (200)	5	0,7	1,0	0,7	1,0
		10	1,2	1,5	-	-
		15	1,7	3,0	-	-
В22,5	30,0 (300)	5	0,5	1,5	-	-
		10	1,0	2,5	-	-
		15	1,5	5,0	-	-

С целью перевода пропиточного состава из жидкого состояния в твердое по окончании процесса пропитки проводят полимеризацию пропиточного состава в поровом пространстве бетона.

Составы 1 и 2, приведенные в табл. 7.13 рассчитаны на проведение термokatалитической реакции полимеризации при температуре 50–80 °С. Составы могут отверждаться при температуре 15–20 °С.

Процесс полимеризации составов 1 и 2 (табл. 7.3.) проводят, не снимая коробов, использованных для пропитки. После окончания процесса пропитки пропиточный состав полностью сливают в резервную емкость, а зазор между коробом и бетоном в течение 1-3 мин заполняют подогретой до 80-90 °С герметизирующей жидкостью, которая служит для равномерного прогрева пропитанной поверхности и предотвращения испарения мономера. Герметизирующие жидкости не должны быть летучими, токсичными и горючими. В качестве герметизирующих жидкостей рекомендуется

использовать воду, глицерин, водные растворы солей и т.п., при этом следует обеспечить свободный доступ герметизирующей жидкости к любой точке пропитанной поверхности. После заполнения герметизирующей жидкостью зазора между коробом и пропитанным бетоном для проведения процесса полимеризации составов 1 и 2 поверхность щита дополнительно прогревают до 60-80 °С в течение 1-2 ч с помощью обогревателей, используемых при сушке бетона.

Полимеризацию составами 3...5 производят при комнатной температуре. После окончания процесса пропитки в течение времени, указанного в табл. 5, и удаления избытка пропиточного состава, короб оставляют в исходном положении на 2,5-4,0 ч для замедления испарения мономера, после чего щит демонтируют.

По окончании процесса полимеризации и демонтажа короба, использованного для пропитки, с поверхности бетона с помощью шпателя удаляют остатки герметизирующего материала и полимеризующихся композиций.

Наряду с указанными полимерными составами для защиты и ремонта бетонных и железобетонных конструкций применяют такие составы, как РИКАВЕРОН[®], Ceresit CN83, Мапеграут Т40, CONSOLIT BARS[®], представляющие собой однокомпонентные или двухкомпонентные материалы на основе цементно-песчаных композиций с модифицирующими добавками, и другие составы.

Все работы по восстановлению, усилению и защите конструкций с использованием композиционных материалов должны выполняться в соответствии с рекомендациями производителя того или иного материала.

Пропиточные (пенетрирующие) составы являются достаточно эффективными для обеспечения долговечности конструкций подземных частей зданий и сооружений при их увлажнении и ненадлежащем состоянии гидроизоляционной системы. Они представляют собой составы из

портландцемента, кремнезёмистого компонента и активных химических добавок.

Механизм действия пенетрирующих материалов следующий: при нанесении на изолируемую поверхность они проникают в тело бетона по сети капилляров, пор, микротрещин и вступают во взаимодействие со свободной известью и влагой бетона. Эта реакция сопровождается появлением водонерастворимых кристаллических образований в порах и микротрещинах бетона. Таким образом, образуется барьер, препятствующий проникновению воды.

Скорость и глубина проникновения активных химических компонентов зависит от многих факторов, в частности, от плотности, пористости бетона, влажности и температуры окружающей среды. У качественных пропиточных материалов глубина проникновения в бетон достигает до 10 см. Для успешного проникновения материалов в бетон его поверхность должна иметь открытую поровую структуру.

Приготовление и нанесение составов осуществляется следующим образом. Сухие гидроизоляционные смеси затворяют водой и полученный раствор наносят на влажную поверхность бетона при помощи кисти, валика или специального распылительного оборудования. Для нанесения пенетрирующей гидроизоляции не требуется полного вызревания бетона в отличие от других гидроизоляционных покрытий. Минимально оно должно происходить в течение 24-48 ч после укладки. Работы можно проводить как с наружной, так и с внутренней стороны здания или сооружения, как со стороны позитивного (активного), так и со стороны негативного давления воды.

Обработка бетона пенетрирующими гидроизоляционными материалами понижает его проницаемость за счет кристаллизации новообразований в порах и капиллярах и улучшает все показатели, зависящие от проницаемости. Так, применение проникающей гидроизоляции снижает водопоглощение бетона на 12–14 %, повышает показатель водоне-

проницаемости бетонов на 2–4 ступени; улучшаются также показатели морозостойкости и коррозионной стойкости бетонов. Ни один другой метод гидроизоляции бетона не позволяет достичь подобных результатов.

Пенетрирующие материалы применяют для гидроизоляции поверхности, имеющей трещины с шириной раскрытия до 0,3 мм.

Покрyтия этого типа являются паропроницаемыми, что позволяет бетону "дышать". Они не токсичны и большинство из них может применяться даже для обработки резервуаров с питьевой водой. В отличие от рулонных битумных гидроизоляционных покрытий они не требуют специальной защиты от грунта обратной засыпки.

В настоящее время имеется большой ассортимент материалов пропиточного действия производителей из различных стран: Vandex Super (Швейцария), Penetron (США), Хурех, Maxseal Super (Испания), Aquafin (Германия), Osmoseal (Италия), Кальматрон, Гидротекс, Гидрохит (Россия) и др.

Все материалы этого класса однотипны по технологии нанесения и уходу за ними, а также эксплуатационным характеристикам. Но за счет использования разных специальных добавок, различного гранулометрического состава они имеют различные водо-твердое отношение, расход и другие технические показатели (табл. 7.15).

В МГСУ проведены исследования по разработке новых пропиточных составов на основе комплексного подхода по определению вещественного, химического, минерального состава гидроизоляционных материалов на цементной основе и их физико-механических свойств.

Разработанные составы включают следующие материалы.

Состав № 1:

портландцемент – 70-85 %; микрокремнезём – 5-20 %; хлористый кальций – 1-2 %; суперпластификатор С-3 – 2-4 %.

Состав №2:

портландцемент – 70-88 %; микрокремнезём – 5-20 %; жидкое натриевое стекло (силикат - глыба) – 5-7 %; суперпластификатор С-3 – 2-4 %.

Таблица 7.14

Физико-механические свойства гидроизоляционных пенетрирующих составов

Свойства	Состав №1	Состав №2
Насыпная плотность, г/см ³	0,82-0,91	0,98-1,0
Истинная плотность, г/см ³	1,96-2,1	2,5-2,6
Удельная поверхность, см ² /г	4000-4200	2800-3000
Водо-твёрдое отношение	0,3-0,36	0,32-0,35
Прочность сцепления, МПа	2,4-2,8	2,1-2,3
Прочность при сжатии, МПа	5,0-5,6	3,8-4,1
Водонепроницаемость, МПа	0,8-1,0	0,6-0,8

Таблица 7.15

Гидроизоляционные материалы пенетрирующего действия на цементной основе

Характеристики материала	Vandex Super Вандекс Супер	Penetron Пенетрон	Tecmadry Milenium Текмадрай милениум	Хурех Ксайпекс	Кальматрон	Maxseal Super Максил Супер	Aquafin Аквафин	Osmo-seal Осмосил	Гидро-хит	Гидро-текс
Фирма-изготовитель	VANDEX International Ltd	ICS/PENETRON International Ltd	ICS/PENETRON International Ltd	ХУРЕХ CHEMICAL	Кальматрон-Н Кальматрон-СПб	DRIZORO	SCHOMBURG	INDEX		ГИДРО-ТЕКС
Страна-изготовитель	Швейцария	США	США	Канада	Россия	Испания	Германия	Италия	Россия	Россия
Водо-твёрдое отношение	0,4	0,5-0,6	0,25-0,3	0,4-0,6	0,3-0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2-0,4
Расход на 1 м ² , кг	0,75-1,5	1,35-1,62	1,4-1,7	1,45-1,6	3,0-5,0	1,5-2,5	0,75-1,5	1,5-3,0	0,8-1,2	1,4-5,0
Толщина покрытия, мм	1,5-3,0	1,25-2,0	1,0-2,0	1,25	2,0-4,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,2		1,5-2,0
Сроки схватывания	30 мин.	20 мин.	25 мин.	30 мин.	30-40 мин.		30 мин.	60 мин.	30 мин.	60 мин.

Лучшими физико-механическими свойствами обладает состав №1, что подтверждается результатами практического применения.

Наряду с рассмотренными полимерными композициями, применяемыми для усиления, восстановления и повышения непроницаемости бетонных, железобетонных и каменных конструкций, все более широкое применения находит композиция СИЛОР (Силор-Ультра А). Технология применения этой композиции позволяет комплексно решить практически все вопросы, возникающие при восстановлении поврежденных вследствие коррозии и действия нагрузок конструкции зданий и сооружений, а также обеспечить их длительную работоспособность при эксплуатации в коррозионно-активных средах и при наличии растягивающих, изгибных и вибрационных деформаций.

Следует отметить, что бетон является хорошим сорбентом, поэтому при пропитке конструкций эпоксидными, акриловыми и полиуретановыми композициями она разделяется на отдельные ингредиенты, при этом нарушается эквивалентность композиций и они теряют способность отверждаться. Так, при пропитке бетона низковязкой эпоксидной композицией, верхние слои пропитываемого бетона обогащены эпоксидной смолой, а более глубокие – отвердителем.

Мономер «Силор» (Силор -Ультра А) отверждается под действием солей или оснований, всегда содержащиеся в бетоне. Мономер имеет в своем составе краун – или псевдокраунэфир, который образует с катионом металла ионную пару, освобождающийся анион катализирует процесс отверждения мономера.

Композиция Силор представляет собой жидкость, по вязкости и внешнему виду напоминающую керосин. При нанесении на бетонный камень, композиция Силор проникает в его поры и химически взаимодействует с материалами, находящимися на поверхности пор. Такое взаимодействие приводит к образованию нового композитного материала, прочного, герметичного, хемостойкого. Время отверждения композиции Силор в порах бетонного камня составляет 6-10 часов, при необходимости его можно

изменять. Для защиты бетона от биологической коррозии ему приданы бактерицидные и фунгицидные свойства. Отвержденная композиция Силор не горит, она не токсична. Органами здравоохранения разрешен ее контакт с питьевой водой, ее можно использовать в интерьере жилых помещений. Композиция Силор может использоваться для пропитки не только бетона, но и других пористых материалов, например, кирпичей, черепицы, шифера, древесины. Для железобетонных сооружений особый интерес представляет ее способность пропитывать продукты коррозии металла, при этом надежно предотвращается возможность их дальнейшей коррозии, для усиления защитного действия композиции Силор в этом случае в ее состав дополнительно вводят ингибиторы коррозии и пассивные протекторы коррозии.

В состав полимерной композиции Силор входят: акрилонитрил, метилметакрилат, бутилакрилат, толуол, бензол, формальдегид, диэтиленгликоль, акриловая кислота.

Пропитка железобетонных конструкций композицией Силор осуществляется путем нанесения композиции на поверхность бетона с помощью валиков, кистей, пульверизатора. Перед нанесением композиции, поверхность бетона должна быть очищена от грязи, краски, желательно удалить цементное молочко. Композиция наносится постоянно по мере впитывания ее в объем бетонного камня. В этом случае бетон приобретает максимальную прочность, хемостойкость и герметичность. Если на бетон нанести композицию только один раз, то бетон гидрофобизируется, но его паропроницаемость сохраняется. В случае, если глубина пропитки должна быть ограничена, последующий слой композиции наносится после отверждения предыдущего или используют композицию с высокой скоростью отверждения.

При необходимости пропитки влажного бетона, перед использованием композиции Силор на поверхность бетона предварительно наносят специальный раствор, который гидрофобизирует поверхность бетонных пор и оттесняет воду в объем бетонного камня.

В случае, если бетон насыщен солями, то пропитка его осуществляется по специальной технологии. Так, например, такие сооружения, как железобетонные башни для грануляции карбамида или аммиачной селитры, пропитаны этими материалами, которые вызывают разрушение бетона вследствие его химической коррозии. На поверхности пор бетонного камня в этом случае находится слой солей и композиция. Силор не может пройти через этот слой для обеспечения контакта с поверхностью бетона. Попытка вымыть бетон не приводит к положительному результату, так как при высыхании воды к поверхности бетона подтягиваются новые порции соли. В случае, если воду не сушить, а на поверхность влажного бетона нанести гидрофобизирующий раствор, то вода оттеснится вглубь бетона и последующее нанесение на поверхность композиции Силор обеспечит упрочнение и герметизацию башни.

Глубина проникновения композиции в объем бетона зависит от состояния бетона и скорости отверждения композиции. Чем более разрушен бетон, тем быстрее и глубже Силор проникает в его поры. В тоже время для обеспечения герметичности, защиты от коррозии и появления поверхностных трещин новых бетонных конструкций, их достаточно пропитать всего на глубину доли миллиметра.

По результатам сертифицированных испытаний установлено, что:

- прочность на сжатие и изгиб восстановленных железобетонных конструкций не уступают прочности исходных;
- пропитанный бетон не разрушается под влиянием растворов кислот, щелочей, солей, нефтепродуктов, растворителей;
- пропитанный бетон не изменяет своих свойств при облучении дозой 150 Мрад;
- сопротивление бетона на истирание возрастает в 3 - 5 раз;
- водопоглощение бетона после пропитки близко к нулю;
- морозостойкость пропитанного бетона выше 300 циклов;
- проникновение в пропитанный бетон ионов хлора, сульфат-ионов не отмечается.

Возрастание прочности бетона при его пропитке зависит от исходной прочности бетона. Так, если прочность плотного гидротехнического бетона при пропитке возрастает незначительно, то при пропитке полностью разрушенного бетона или песка прочность возрастает от 0 до 100 МПа.

Экономическая эффективность использования композиции Силор определяется его высокой эффективностью, сравнительно низкой стоимостью и относительно малым расходом. Так, современные требования к строительству железобетонных башенных сооружений требуют защиту бетона от карбонизации и химической коррозии, повышения морозостойкости путем уменьшения водопоглощения, залечивания поверхностных трещин на поверхности бетона.

Применение композиции Силор в этих случаях снижает затраты в десятки раз в сравнении с традиционными полиуретановыми покрытиями.

При использовании композиции Силор для ремонтно-восстановительных работ, ее эффективность еще выше. Существующие материалы типа ксайпекс, пенетрон и аналогичные, используемые для выполнения ремонтно-восстановительных работ железобетонных конструкций имеют высокую стоимость, обеспечивают увеличение герметичности конструкций, но не увеличивают их прочность, скорость выполнения работ с их помощью очень мала, они не защищают бетон от карбонизации и химической коррозии.

Для проведения ремонтно-восстановительных работ одной из эффективной является композиция УТК-М (Силор-Ультра УТК-М), которая наносится на поверхность металла или бетона, пропитанного композицией Силор, прочно с ним соединяется и обеспечивает дополнительное увеличение химической стойкости бетона, исключает образование трещин в бетоне при знакопеременных нагрузках, защищает бетон от абразивного разрушения. Эта композиция обычно пигментируется.

Композиция Ультра-А вводится в состав бетона или цементно-песчаного раствора в количестве 0,2 % от веса цемента и позволяет исключить отекание

цементного раствора, водоотделение и оседание щебня, на 40-80 % увеличить прочность бетона, увеличить адгезию старого и торкрет-бетона.

Ингибиторы и протекторы коррозии надежно защищают металл от коррозии в коррозионно-активных средах.

Последовательность проведения ремонтно-восстановительных работ с использованием рассмотренных композиций включает следующие этапы:

Удаление отслаивающихся частиц бетона;

Пропитка бетона и обнаженной арматуры ингибированной композицией Силор;

Заполнение дефектных участков сооружений цементно-песчаным раствором с добавлением композиции Ультра-А;

Пропитка сооружений композицией Силор;

Нанесение покрытия из композиции УТК-М.

Основные принципы восстановления и усиления каменных и армокаменных конструкций

При разработке проектной документации на восстановление или усиление каменных конструкций зданий и сооружений следует:

- предусматривать меры по обеспечению надежности и долговечности зданий и сооружений;
- принимать конструктивные решения и методы производства работ, реализуемые, как правило, без остановки производственного процесса в эксплуатируемых зданиях и сооружениях или совмещаемые по времени с технологическими остановками таких процессов;
- учитывать перспективы развития производства, возможность повторных (в будущем) реконструкций и модернизаций;
- принимать проектные решения, обеспечивающие экономное расходование материалов, топливных и энергетических ресурсов, снижение стоимости, трудоемкости и сокращение сроков выполнения работ по усилению;

– учитывать условия производства работ по усилению (стесненность монтажной площадки, возможность использования механизмов, дополнительные мероприятия по технике безопасности и охране труда, необходимость контроля качества работ и т.п.).

Основные технические решения, принимаемые при разработке проектов реконструкции и усиления, следует обосновывать путем сравнения конкурентоспособных вариантов, учитывая при этом последствия (стесненность монтажной площадки или остановку производства на время выполнения работ по усилению или восстановлению).

Проектирование восстановления и усиления каменных конструкций по сравнению с обычным проектированием имеет ряд существенных особенностей, которые должны учитываться как при организации проектных работ, так и в процессе разработки и оформления проектной документации.

Основные из них:

- проведение большого объёма изысканий с обследованием оснований и восстанавливаемых или усиливаемых конструкций, выявлением их фактического состояния, характеристик материалов, из которых они выполнены, анализом причин появления имеющихся дефектов и повреждений и оценкой их технического состояния.

- выполнение расчётов по нескольким вариантам расчётных схем для оценки возможного отрицательного влияния обычно не учитываемых факторов (податливости или несмещаемости фундаментов, возможного проявления эффектов неразрезности, участия в работе каркаса ограждающих конструкций и оборудования и т.п.)

- учёт уровня фактической нагруженности усиливаемых под нагрузкой конструкций в процессе выполнения работ по усилению и учёт влияния действующих во время усиления напряжений на несущую способность усиливаемой конструкции;

влияние последовательности и технологии выполнения работ по усилению на поведение усиливаемой конструкции, необходимость комплексного решения вопросов конструирования и выбора способа усиления с обязательным отражением этих вопросов в проектной документации.

Проектная документация с учётом изменения параметров и свойств конструкций и режимов эксплуатации должна охватывать следующие стадии работы конструкций:

- 1) предшествующая началу работ по усилению, на которой требуется проверить с учетом фактического состояния возможность эксплуатации конструкций до их восстановления, усиления или замены и разработать в необходимых случаях временные мероприятия по содержанию конструкций и ограничению режимов эксплуатации;
- 2) соответствующая периоду выполнения работ по восстановлению или усилению, на которой следует разработать необходимые мероприятия, обеспечивающие работоспособность конструкций по временной схеме;
- 3) соответствующая режиму эксплуатации конструкций после восстановления или усиления, на которой необходимо обеспечить работу конструкций в изменившихся условиях.

В необходимых случаях, с целью выявления фактического положения конструкций, возможного роста деформаций и изменения напряжённого состояния, проектом должно быть предусмотрено проведение инструментальных наблюдений за состоянием конструкций на стадиях 1 и 2, а также с использованием приборов и специальных контрольно-сигнальных устройств – на стадии 3.

Экономическая целесообразность восстановления и усиления в большинстве случаев бесспорна, особенно если речь идет об усилении конструкции действующего предприятия. Так же очевидна экономичность усиления при реконструкции предприятия.

Этапы разработки проекта усиления или восстановления оснований и строительных конструкций зданий и сооружений и их частей, и последовательности их выполнения показаны на рис. 7.7.

Учитывая большой объем реконструкции зданий и сооружений, в которых каменные конструкции занимают значительную долю среди всех видов строительных конструкций, вопросы практического применения различных эффективных способов их усиления приобретают в настоящее время большое народнохозяйственное значение.

Восстановление и усиление каменных конструкций может быть выполнено различными способами, которые, как и для конструкций из других материалов, можно условно объединить в три группы: усиление без изменения расчетной схемы, с изменением расчетной схемы и с изменением напряженного состояния.

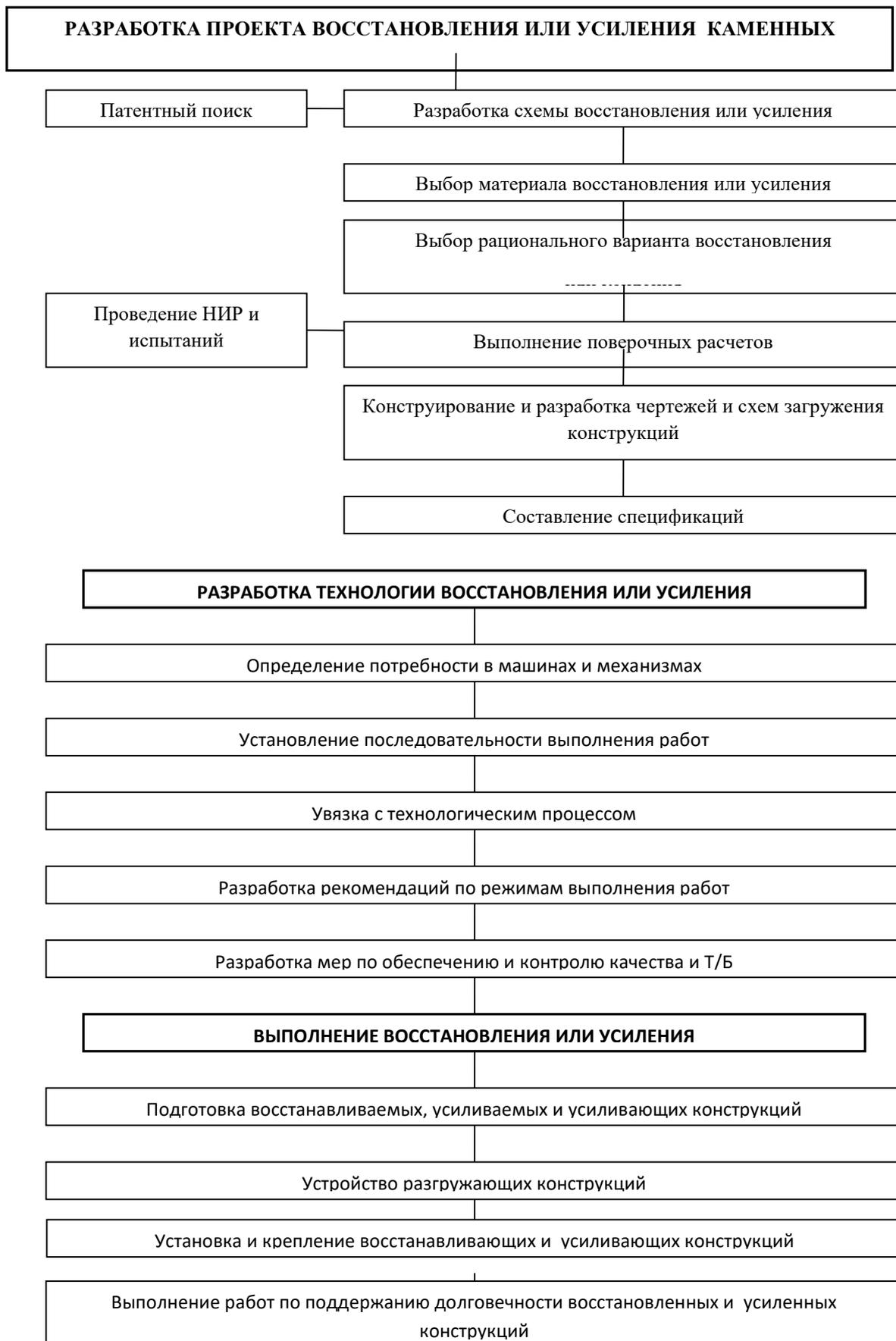


Рис.7.7. Состав проекта по восстановлению или усилению оснований и строительных конструкций

Последние две группы усиления в большинстве случаев могут быть объединены, так как изменение расчетной схемы конструкции часто влечет за собой изменение и ее напряженного состояния (рис.7.8).

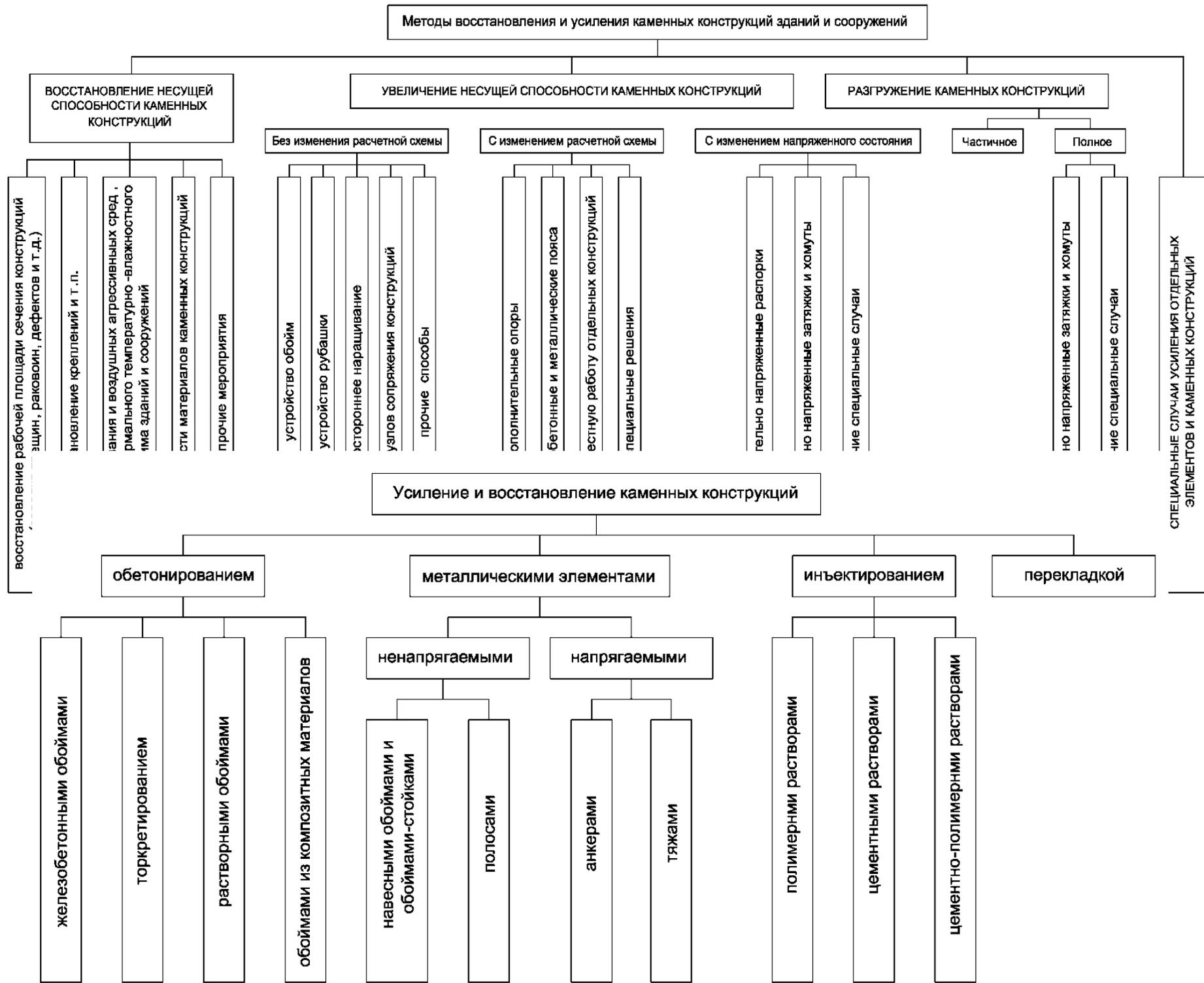
Наиболее нагруженными элементами каменных зданий являются фундаменты, несущие стены, столбы, простенки и надпроемные перемычки. Соответственно в этих элементах чаще всего наблюдаются силовые повреждения, проявляющиеся в виде вертикальных трещин. Трещины, возникающие в кладке от перенапряжения под нагрузкой, называются силовыми.

Выявленные в результате обследования элементы каменных конструкций с силовыми трещинами подлежат усилению. Кроме того, усиление существующих каменных конструкций (фундаментов, столбов, простенков, стен) производится в том случае, когда их несущая способность может оказаться недостаточной при реконструкции зданий, а также при наличии дефектов в кладке, вызванных неравномерной осадкой основания под фундаментами, длительным замачиванием и многоцикловым попеременным замораживанием –оттаиванием кладки и другими причинами. В зависимости от технического состояния каменных конструкций зданий их усиление и восстановление сводится к:

- усилению и восстановлению отдельных элементов существующей кладки;
- повышению несущей способности перенапряженной кладки в целом;
- повышению пространственной жесткости деформированного здания;
- обеспечению устойчивости стен при разрывах креплений и отклонениях от вертикали;
- обеспечению свободы осадочных деформаций сопрягаемых стен.

Усиление элементов каменных конструкций может быть выполнено путем инъектирования, устройства различных обоев, увеличением сечения

столбов или простенков, заменой кирпичных надпроемных перемычек на железобетонные или металлические, установкой систем металлических тяжей и накладок и др.



Особенности выполнения расчетов усиливаемых конструкций

Общие положения

Разработку проекта восстановления или усиления железобетонных конструкций следует производить в соответствии с требованиями СП 52-110-2009. Бетонные и железобетонные конструкции, подвергающиеся технологическим повышенным и высоким температурам, СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры, СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции, СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий, СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции, СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Ч.1. методы расчета и конструирования, СП 52-105-2009. Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномерзлых грунтах, СП 27.13330.2017. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур.

Усиленные конструкции рассчитывают по предельным состояниям первой и второй групп. Если усиление является следствием дефектов и повреждений конструкций, то расчёт по предельным состояниям второй группы для обычных конструкций и обычных условий их эксплуатации не требуется, его необходимо выполнять лишь для специальных конструкций и в особых условиях эксплуатации (например, при усилении резервуаров, эксплуатации в агрессивной среде и т.д.).

Расчёт усиленных элементов железобетонных конструкций при изменении их начальной статической схемы и напряжённого состояния производится согласно новой статической схеме с учётом действительного напряжённого состояния.

Усиливаемые предварительно напряжённые конструкции должны проверяться на совместное действие усилий обжатия арматуры усиления,

собственной предварительно напряжённой арматуры и внешней нагрузки, действующей при осуществлении усиления.

Усилия, действующие в элементах статически неопределимых конструкций следует определять с учётом возможного их перераспределения исходя из допустимой ширины раскрытия трещин и прочности сжатой зоны, в частности в сильно армированных сечениях, а в необходимых, когда требуется выполнение расчёта по второй группе предельных состояний, также исходя из деформативности и трещиностойкости.

При значительных повреждениях конструкций (при разрушении не менее 50 % сечения элемента или снижении площади сечения рабочей арматуры не менее 50 %) конструкции усиления рассчитывают на полную действующую нагрузку, при этом усиливаемая конструкция в расчёте не учитывается.

При приварке к существующей арматуре дополнительных стрежней её сечение в связи с возможностью повреждения пережогом при сварке принимается ослабленным на 25 %.

При определении площади поперечного сечения арматуры усиливаемой конструкции следует учитывать возможное её уменьшение в результате коррозии (особенно язвенной).

При обнаружении следов коррозии арматуры из высокопрочной проволоки конструкцию следует усиливать на полную нагрузку, без учёта сопротивления этой арматуры.

Расчёт усиливаемых конструкций производится для двух стадий работы:

- до включения в работу усиления – на нагрузки, действующие на момент усиления, включающие нагрузку от элементов усиления;
- после включения в работу элементов усиления на полные эксплуатационные нагрузки.

Усиливаемые конструкции до включения в работу усиления должны отвечать требованиям по несущей способности (предельные состояния

первой группы), а после усиления, кроме этого и по эксплуатационной пригодности и долговечности (предельные состояния второй группы).

При проектировании усиления расчёту подлежат усиливаемый элемент с элементами усиления, а также конструкции или элементы конструкций, на которые могут передаваться усилия от элементов усиления.

Методы усиления конструкций должны удовлетворять требованиям технологичности и экономичности. Следует стремиться к выполнению работ по усилению без или с кратковременной остановкой производства с учётом агрессивности внешней среды и степени огнестойкости помещений. На стадии проектирования усиления следует также предусматривать обеспечение включения в совместную работу элементов усиления с усиливаемой конструкцией. Если усиление предполагается производить после разгрузки усиливаемой конструкции, то загрузка её заново осуществляется только после достижения бетоном усиления проектной прочности.

Методика расчёта усиленных изгибаемых и внецентренно сжатых конструкций приемлема только при условии обеспечения надёжного соединения усиливаемых и усиливающих частей. В том числе следует обеспечивать совместность работы старого и нового бетона конструктивными мероприятиями, например установкой специальной дополнительной арматуры.

Расчёт усиленных железобетонных элементов по прочности должен производиться для сечений, нормальных к их продольной оси, а также для наклонных к ней сечений наиболее опасного направления; при наличии крутящих моментов следует проверять прочность пространственных сечений, ограниченных в растянутой зоне спиральной трещиной наиболее опасного из возможных направлений. Кроме того, должен производиться расчёт элементов на местное действие нагрузки (смятие, продавливание, отрыв).

Нормативные и расчётные значения прочности бетона и арматуры для восстанавливаемых или усиливаемых конструкций принимаются в соответствии с рекомендациями, приведёнными в разделе 3.5.2 [Барашиков А.Я., Сирота М.Д. Надежность зданий и сооружений. Учеб. пособие.], а те же характеристики для бетона и арматуры усиления – в соответствии с [Руководство по обследованию сварных стальных конструкций, выполненных из кипящей углеродистой стали, и разработке мероприятий, предупреждающих их хрупкое разрушение].

При наличии в сечении элемента, усиленного обоймой, рубашкой или наращиванием, арматуры разных видов, а также различных классов бетона, каждый вид арматуры и класс бетона вводят в расчёт со своим расчётным сопротивлением.

Расчётное сопротивление арматуры и бетона усиления принимается с учётом коэффициентов условий работы конструкций γ_{bi} и γ_{si} по [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения], а также с учётом рекомендаций, приведённых ниже.

Усиление конструкций железобетонными обоймами, "рубашками" и наращиванием рекомендуется выполнять под нагрузкой, не превышающей 65 % расчётной. При сложности или невозможности достижения требуемой степени разгрузки допускается выполнение усиления под большей нагрузкой.

При определении расчётных характеристик бетона и арматуры усиления принимаются дополнительные коэффициенты: в первом случае – $\gamma_{br0} = 1$ и $\gamma_{sr0} = 1$, во втором – $\gamma_{br0} = 0,8$ и $\gamma_{sr0} = 0,8$.

В любом случае степень разгрузки конструкций должна гарантировать безопасное выполнение работ по усилению, если такие работы ведутся без устройства дополнительных опор, подпорок и т.п.

При наличии повреждений, снижающих несущую способность по растянутой арматуре, степень использования в расчёте существующей арматуры определяется в зависимости от вида и характера повреждений.

Положение центра тяжести всего сечения бетона или сжатой зоны, а также статические моменты бетона и арматуры рекомендуется определять, приводя всё сечение к бетону одного класса, в соответствии с принятыми расчётными сопротивлениями.

В расчётах следует учитывать величину обмятия элементов и конструкций в местах их сопряжения. В частности, для сопряжений бетона с металлом податливость одного узла при отсутствии экспериментальной проверки может приниматься в следующих пределах: металлический упор на бетон с раствором – 3-4 мм/узел; без раствора – 4-5 мм/узел (желательно не допускать); металлический карман с раствором – 1-3 мм/узел; обмятие сопряжения металла с металлом с помощью болтов – 1 мм/узел.

Расчёт усиления изгибаемых элементов

Усиление железобетонными обоймами, рубашками и наращиванием

Расчёт железобетонных изгибаемых элементов, усиленных обоймами, "рубашками" и наращиванием, выполняется как для монолитных. При этом различные повреждения в усиливаемой конструкции (коррозия арматуры, расслоение бетона и др.) учитываются так же, как и при расчёте конструкции до усиления. В связи с тем, что усиленный элемент может иметь в одном сечении различные классы бетона и арматуры, расчёт изгибаемых элементов по прочности нормальных сечений должен производиться по общему случаю расчёта железобетонных конструкций в соответствии с [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Усиление конструкций с изменением расчетной схемы

Усиление конструкций с изменением расчетной схемы производится: изменением места передачи на конструкцию; повышением степени внешней статической неопределимости путем устройства дополнительных жестких и

упругих опор; постановкой дополнительных связей с целью обеспечения неразрезности и пространственной работы конструкций; повышением степени внутренней статической неопределимости устройством затяжек, распорок, шпренгелей, шарнирно-стержневых цепей.

Изменение места передачи нагрузки

Изменение места передачи нагрузки на конструкцию производится с помощью специальных распределительных устройств, позволяющих добиться перераспределения сосредоточенных нагрузок на существующие конструкции и уменьшения в них изгибающих моментов. Распределительные устройства могут быть железобетонными или металлическими и располагаться сверху или снизу конструкции. Характерной особенностью этого способа усиления является наличие зазора между усиливаемой конструкцией и распределительным устройством по длине между точками контакта. Зазор принимается не менее максимальной величины прогиба выше расположенного элемента (распределительного устройства или усиливаемой конструкции).

При установке распределительных устройств сверху усиливаемой конструкции (рис 7.9, а) уменьшается трудоемкость производства работ по усилению, но создаются препятствия для передвижения людей и напольного транспорта, перепады отметок перекрытия. Нагрузка от распределительных устройств на существующую конструкцию передается через опорные подушки, представляющие собой стальные пластины, уложенные на цементно-песчаный раствор.

При невозможности создания перепадов высот на перекрытии распределительные устройства подвешиваются снизу усиливаемой конструкции (рис 7.9, б). Нагрузка на распределительные устройства в этом случае передается с помощью стоек, пропущенных через отверстия в перекрытии. Нагрузка от распределительных устройств на существующую конструкцию передается через подвески, представляющие собой стальные

тяги, пропущенные в отверстия перекрытия и заанкеренные с помощью пластин на цементно-песчаном растворе.

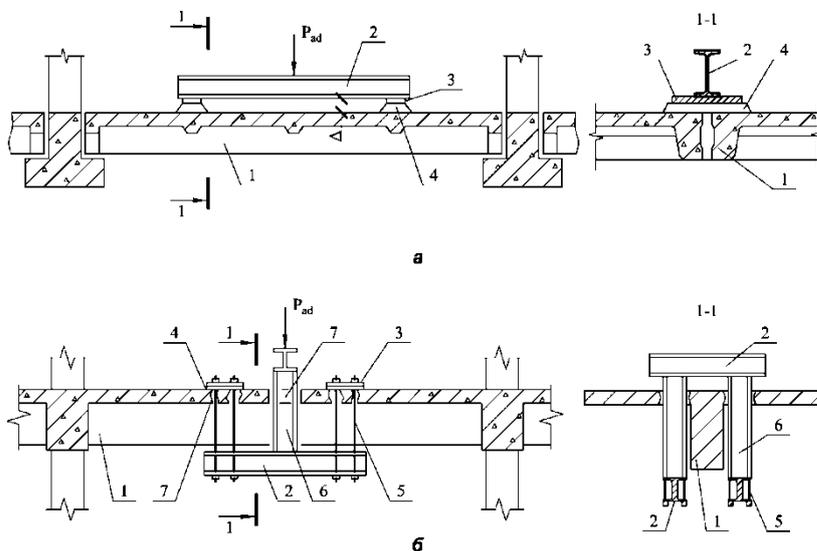


Рис. 7.9. Усиление конструкций изменением места передачи нагрузки: а – при расположении распределительных устройств сверху конструкции; б – то же, снизу конструкции; 1 – усиливаемая конструкция; 2 – распределительная балка; 3 – опорная пластина; 4 – цементно-песочный раствор; 5 – тяжи; 6 – стойка; 7 – отверстия в перекрытии

В случае необходимости полной передачи дополнительной нагрузки с усиливаемой конструкции на другие конструкции, опоры распределительных устройств размещаются за пределами усиливаемой конструкции (рис. 7.10).

Устройство для усиления колонн за счет уменьшения эксцентриситета приложения нагрузки (рис. 7.11) состоит из распределительных рычагов, шарнирно смонтированных на оси по боковым граням консоли колонны, и тяжей с натяжным устройством. При этом рычаги одним концом подведены под конструкцию, опирающуюся на консоль колонны, а другим – соединены с тяжами, закрепленными на колонне.

Монтаж устройства осуществляется следующим способом: на консоль колонны устанавливается уголок-подкладка и ось, на которую с двух сторон опираются рычаги. Затем тяжи, закрепленные на свободном конце рычагов и

упорах соединяются гайками и натягиваются, передавая нагрузку от края консоли к ее началу.

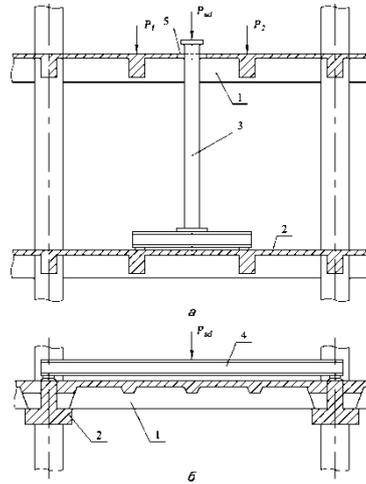


Рис. 7.10.. Полная передача дополнительной нагрузки на другие конструкции: а – посредством стоек на нижерасположенное перекрытие; б – посредством распределительной балки на ригели перекрытия; 1 – разгружаемая конструкция; 2 – конструкция, на которую передается дополнительная нагрузка; 3 – стойка; 4 – распределительная балка; 5 – отверстия в перекрытии

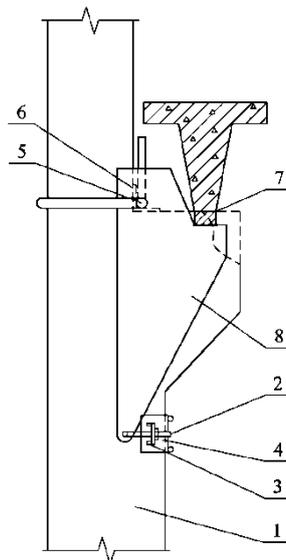


Рис. 7.11. Устройство для усиления колонны: 1 – усиливаемая колонна; 2 – тяж; 3 – упор; 4 – гайка; 5 – ось рычага; 6 – уголок-подкладка; 7 – пластина; 8 – распределительный рычаг

Расчет усиления путем изменения места передачи нагрузки заключается в выборе расстояния между опорами распределительных устройств, расположения их по длине усиливаемой конструкции и схемы передачи нагрузок на существующие конструкции. Проектирование распределительных устройств производится на проектную нагрузку по действующим нормам: железобетонных – в соответствии с [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения]; стальных – в соответствии с [СНиП II-23-81*. Стальные конструкции, СП 16.13330.2017. Стальные конструкции, СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций].

Прогибы и перемещения элементов конструкций

Предельные прогибы и перемещения несущих и ограждающих конструкций исходя из второй группы предельных состояний (эксплуатационной пригодности) установлены в [СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия] (см.табл.1 прилож.9).

При оценке эксплуатационной пригодности строительных конструкций по прогибам (выгибам) и перемещениям должно быть выполнено условие:

$$f \leq f_{ult} ,$$

где f – прогиб (выгиб) и перемещение элемента конструкции или конструкции в целом;

f_{ult} – предельный прогиб (выгиб) и перемещение, устанавливаемые нормами [СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия, СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия].

Прогибы ограничиваются исходя из следующих требований:

а) технологических (обеспечение условий нормальной эксплуатации технологического и подъемно-транспортного оборудования, контрольно-измерительных приборов и т. д.);

б) конструктивных (обеспечение целостности примыкающих друг к другу элементов конструкций и их стыков, обеспечение заданных уклонов);

в) физиологических (предотвращение вредных воздействий и ощущений дискомфорта при колебаниях);

г) эстетико-психологических (обеспечение благоприятных впечатлений от внешнего вида конструкций, предотвращение ощущения опасности).

Каждое из указанных требований должно быть выполнено независимо от других.

Ограничения колебаний конструкций устанавливаются в соответствии со следующими нормативными документами:

при наличии в зданиях (сооружениях) технологического и транспортного оборудования, вызывающего колебания строительных конструкций, и других источниках вибраций предельные значения виброперемещений, виброскорости и виброускорения следует принимать в соответствии с требованиями [ГОСТ 27296-2012. Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения, ГОСТ 12.1.012-2004. Вибрационная безопасность. Общие требования];

при наличии высокоточного оборудования и приборов, чувствительных к колебаниям конструкций, на которых они установлены, предельные значения виброперемещений, виброскорости и виброускорения следует определять в соответствии со специальными техническими условиями.

Расчетные ситуации, т. е. учитываемый при обследовании комплекс условий, определяющих расчетные требования к конструкциям, для которых необходимо определять прогибы и перемещения и соответствующие им нагрузки, следует принимать в зависимости от того, исходя из каких требований установлены прогибы и перемещения.

Если прогибы ограничиваются исходя из эстетико-психологических требований, расчетная ситуация должна соответствовать действию постоянных и длительных нагрузок.

При ограничении прогибов из технологических требований, расчетная ситуация должна соответствовать действию нагрузок, влияющих на работу технологического оборудования.

Если прогибы ограничиваются исходя из конструктивных требований, расчетная ситуация должна соответствовать действию нагрузок, которые могут привести к повреждению смежных элементов в результате значительных прогибов и перемещений.

При ограничении прогибов из физиологических требований расчётная ситуация должна соответствовать состоянию связанному с колебаниями конструкций, и при обследовании необходимо учитывать нагрузки, влияющие на колебания конструкций, ограничиваемые требованиями норм.

Предельные прогибы элементов конструкций покрытий и перекрытий, ограничиваемые исходя из технологических, конструктивных и физиологических требований, следует отсчитывать от изогнутой оси, соответствующей состоянию элемента в момент приложения нагрузки, от которой вычисляется прогиб, а ограничиваемые исходя из эстетико-психологических требований – от прямой, соединяющей опоры этих элементов.

Подробные правила и требования по определению прогибов элементов конструкций приведены в [СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия].

Для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные прогибы и перемещения которых не оговорены [СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия] и другими нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать $1/150$ пролета или $1/75$ вылета консоли.

Горизонтальные предельные прогибы колонн зданий, оборудованных мостовыми кранами, крановых эстакад, а также балок крановых путей и тормозных конструкций (балок или ферм), следует принимать по табл.

[СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия, СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия], но не менее 6 мм.

Прогибы следует проверять на отметке головки крановых рельсов от сил торможения тележки одного крана, направленных поперек кранового пути, без учета крена фундаментов.

Горизонтальные предельные сближения крановых путей открытых эстакад от горизонтальных и внецентренно приложенных вертикальных нагрузок от одного крана (без учета крена фундаментов), ограничиваемые исходя из технологических требований, следует принимать равными 20 мм.

Горизонтальные предельные перемещения каркасных зданий, ограничиваемые исходя из конструктивных требований (обеспечение целостности заполнения каркаса стенами, перегородками, оконными и дверными элементами), приведены в [СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции].

Горизонтальные перемещения каркаса следует определять в плоскости стен и перегородок, целостность которых должна быть обеспечена.

При связевых каркасах многоэтажных зданий высотой более 40 м перекос этажных ячеек, примыкающих к диафрагмам жесткости, не должен превышать значений.

Предельные выгибы f_u элементов междуэтажных перекрытий, ограничиваемые исходя из конструктивных требований, следует принимать равными 15 мм при $l \leq 3$ м и 40 мм – при $l \geq 12$ м (для промежуточных значений предельные выгибы следует определять линейной интерполяцией).

Выгибы следует определять от усилий предварительного обжатия, собственного веса элементов перекрытий и веса пола.

Следует отметить, что для оценки результатов обследования, основным фактором является уверенность в качестве полученных результатов, включая детали, характеризующие действовавшие на конструкции процессы, необходимые для экспертизы состояния, геометрической и статической схем

конструкций, качества и количества материалов и причин повреждений и разрушений.

В некоторых случаях поверочный расчет не помогает выяснить практически ничего, в других случаях расчет решает все, и поэтому этот расчет должен выявлять причины наблюдаемого состояния конструкции и ее практическую прочность (предельные состояния по фактическим характеристикам), а затем соответствие действительного состояния требованиям норм.

Необходимо учитывать, что к построенным конструкциям нельзя во всех случаях предъявлять требования о соответствии новым нормам проектирования, исключая случаи появления дефектов или повреждений. Хотя эти случаи в большинстве происходят по причинам, не предусмотренным проектом или требованиями норм, ни старых, ни новых. В то же время нет сомнений, что формулы новых норм в большей мере отражают работу конструкций, чем ранее действовавшие нормы проектирования. Полное благополучие с конструкциями, запроектированными по старым нормам и в чем-то не отвечающими требованиям новых норм, объясняется наличием факторов, неучтенных при проектировании.

При проведении поверочных расчетов эксплуатируемых конструкций имеется более полная информация о работе конструкций, чем при проектировании. Поэтому при проведении поверочных расчетов следует пользоваться формулами действующих норм проектирования, однако корректируя вводимые в эти формулы исходные данные с учетом фактически имеющейся информации.

РАЗДЕЛ 8. Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений

Тема и содержание занятий:

Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений

Восстановление и усиление железобетонных конструкций и их элементов; основные принципы восстановления и усиления железобетонных конструкций и их элементов.

Усиление и восстановление и железобетонных конструкций: без изменения расчетной схемы; с помощью устройства обойм и рубашек; наращиванием сечения и увеличением количества рабочей арматуры; с изменением расчетной схемы (устройство дополнительных опор, разгрузка конструкций с передачей нагрузки на другие элементы) и напряженного состояния.

Усиление изгибаемых элементов установки подкосов, тяжей, кронштейнов и консолей. Усиление конструкций включением в совместную работу отдельных конструктивных элементов. Примеры выполнения восстановления и усиления конструкций и их элементов.

Повышение несущей способности перенапряженной кладки. Замена конструкций в перестраиваемых зданиях. Усиление восстановление железобетонных и каменных конструкций с применением полимерных и композитных материалов.

Восстановление и усиление железобетонных конструкций и их элементов. Основные принципы восстановления и усиления каменных конструкций и их элементов

Усиление плит перекрытий и покрытий

Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений

Сборные железобетонные пустотные плиты можно усиливать с использованием пустот. Для этого сверху в зоне расположения канала пробивают полку и устанавливают арматурный каркас. При усилении только опорной части плиты каркасы располагаются на части ее пролета, а при необходимости усиления по нормальному и наклонному сечениям – по всей длине плиты. После этого канал заполняют пластичным бетоном на мелком щебне и плиту рассчитывают с учетом дополнительной арматуры.

Усиление плит с установкой дополнительных арматурных каркасов в пустоты может выполняться как без наращивания сечения сверху (без увеличения рабочей высоты), так и с наращиванием сечения (с увеличением рабочей высоты).

Повышение несущей способности и жёсткости ребристых железобетонных плит может быть осуществлено подведением выносных опор, уменьшением пролёта продольных рёбер выносными опорами на двухконсольных подпружных балочках, дополнительными стальными балками, подклиненными стальными пластинами – клиньями к поперечным рёбрам, устройством шпренгеля, стальными балочками ("протезами") при недостаточной длине опирания.

При производстве работ по включению выносных опор в работу (см. рис.8.1., а) для недопущения отрыва или подъёма плит величина усилий не должна превышать собственного веса конструкций и прочности их крепления к опорам.

Усиление продольных ребер на действие поперечных сил выполняют путем установки дополнительных предварительно напряженных накладных хомутов (рис.8.1. д). В этом случае одним хомутом охватываются одновременно два ребра смежных плит.

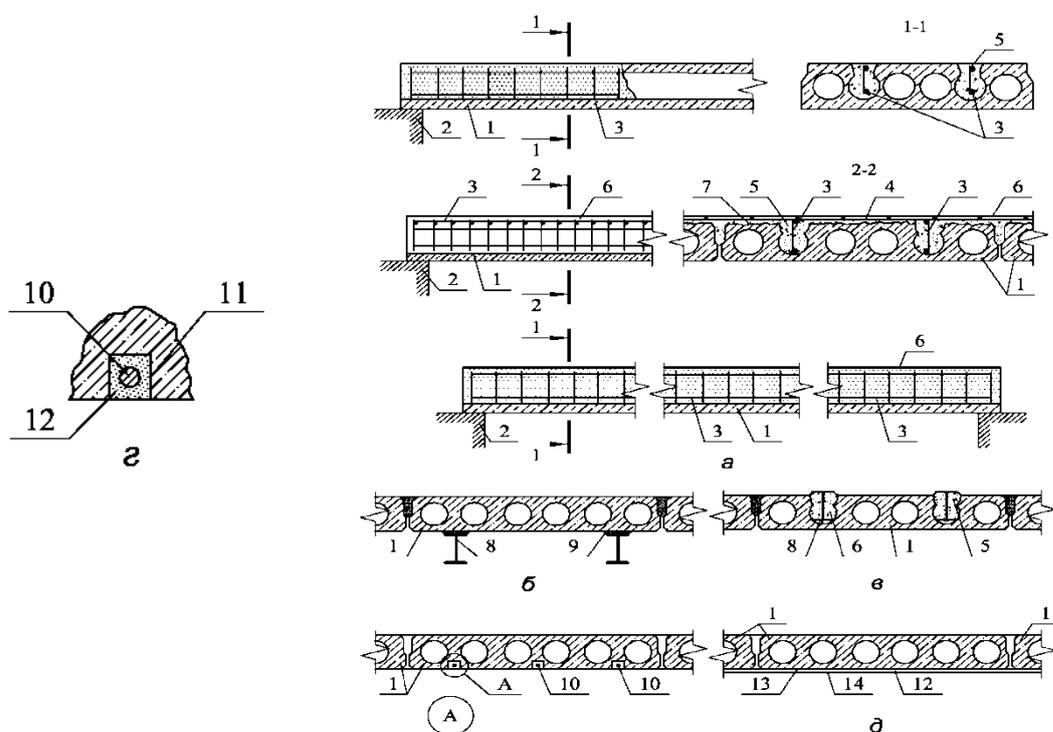


Рис. 8.1. Усиление сборных многопустотных плит перекрытий: а – с установкой арматурных каркасов и бетонированием; б, в – подведением стальных разгружающих балок снизу или сверху; г – установкой дополнительной арматуры на полимеррастворе; д – наклейкой стеклоткани, ткани из углеводистого волокна или листового металла на полимеррастворе; 1 – усиливаемая плита; 2 – опора; 3 – дополнительный арматурный каркас; 4 – конструктивная арматура усиления; 5 – вырубленные полки плит в местах установки каркасов или балок; 6 – монолитный бетон усиления; 7 – поверхность сцепления монолитного бетона с плитой; 8 – стальные балки усиления; 9 – шов между плитами и разгружающими плитами; 10 – дополнительная арматура; 11 – пазы в бетоне, вырезанные фрезой; 12 – защитно-конструкционный полимерраствор; 13 – очищенная и обезжиренная поверхность плит; 14 – листовый металл, слой стеклоткани или ткани из углеродистого волокна

Эффективным способом усиления продольных ребер плит по нормальным сечениям является установка дополнительных арматурных каркасов в швах между плитами и последующее бетонирование швов (рис.8.1., е). Возможно также наращивание продольных ребер с установкой дополнительной арматуры и обеспечением ее связи с существующей рабочей арматурой. Эффективность усиления продольных ребер по нормальным сечениям подтверждена экспериментальными исследованиями и осуществлением на практике с применением ткани из композитных материалов.

Повышение прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов при нарушенном сцеплении арматуры с бетоном

Опыт обследований эксплуатируемых железобетонных конструкций показывает, что наиболее распространёнными эксплуатационными повреждениями являются нарушения сцепления арматуры с бетоном, причём в большей степени они характерны для изгибаемых элементов. Причинами нарушения сцепления могут быть: коррозия арматуры, сколы защитного слоя бетона, воздействие минеральных масел, нарушение структуры бетона вследствие температурных воздействий. Однако наиболее распространённой причиной нарушения сцепления арматуры с бетоном является коррозия арматуры, причём снижение несущей способности железобетонных конструкций с корродирующей арматурой в основном зависит не от уменьшения её сечения, а от нарушения сцепления.

Следует отметить, что развивающиеся по поверхности конструкции вдоль арматурных стержней продольные трещины могут быть следствием не только протекающих процессов коррозии арматуры, но и раскалывания. С опасностью раскалывания в последнее время приходится считаться всё чаще из-за повышения расчётных сопротивлений арматуры и всё более широкого внедрения в практику строительства конструкций с эффективными тонкостенными сечениями. Главная причина раскалывания – расклинивающее действие арматуры на бетон, которое проявляется не в стадии эксплуатации, а при из-

готовлении. Однако, при обследовании конструкций надо учитывать этот фактор нарушения сцепления, так как конструкции с трещинами от раскалывания могут быть смонтированы в составе здания. Необходимо учитывать также, что наличие указанных трещин не всегда приводит к снижению прочности сцепления, а лишь при превышении определённой ширины их раскрытия и длины развития.

Под воздействием перечисленных эксплуатационных факторов сцепление может нарушаться полностью, либо частично, т.е. составлять какую-либо часть от своего первоначального обеспеченного значения. В большинстве случаев указанные причины приводят преимущественно к частичному нарушению сцепления арматуры с бетоном (до 70 % от первоначального значения), и лишь значительная коррозия арматуры на стадии откола защитного слоя бетона приводит к полному нарушению сцепления. При нарушении сцепления отмечается снижение граничного значения относительной высоты сжатой зоны ζ_R , что приводит к разрушению элемента как перearмированного со снижением его несущей способности вследствие недоиспользования прочностных свойств растянутой арматуры. Следовательно, при проведении обследований эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций часто возникает необходимость в оценке несущей способности конструкции при частичном, а иногда и полном нарушении сцепления арматуры с бетоном. Отправной точкой существующего метода расчёта является установление соотношения между значением относительной высоты сжатой зоны бетона ζ , определяемой из соответствующих условий равновесия и граничным значением относительной высоты сжатой зоны бетона ζ_R в соответствии с [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Для определения изменившегося значения ζ_R вводится поправочный коэффициент [Филатов В.Б. Влияние эксплуатационных повреждений, снижающих сцепление арматуры с бетоном на прочность изгибаемых железобетонных элементов]

$$\xi_R^T = \xi_R \cdot K_c,$$

где ξ_R – значение относительной граничной высоты сжатой зоны для элементов с ненарушенным сцеплением;

K_c – поправочный коэффициент $< 1,0$, принимаемый равным

$$K_c = \frac{1}{(0,005R_b + 0,0005R_s) \cdot (\chi - 1) + 0,02\chi + 0,98},$$

где χ – критерий степени нарушения сцепления, определяемый по диаграммам в зависимости от причин нарушения сцепления.

Влияние несвязанной арматуры на граничное значение сжатой зоны бетона значительно снижается, если нарушение сцепления рабочей арматуры с бетоном произошло после стабилизации системы трещин, так как именно от расположения и порядка образования нормальных трещин зависит величина снижения ξ_R .

Прочность нормальных сечений при нарушенном сцеплении арматуры с бетоном оценивается по одному из возможных двух расчётных случаев:

1. При $\xi \leq \xi_R^T$ – нарушение сцепления не оказывает влияния на прочность нормальных сечений (ξ_R^T – высота сжатой зоны при нарушении сцепления);

2. При $\xi > \xi_R^T$ – нарушение сцепления приводит к наступлению предельного состояния по прочности вследствие раздавливания бетона сжатой зоны при напряжениях в арматуре меньших предела текучести.

Расчёт выполняется с учётом выявленных при проведении обследований параметров повреждения, снижающего сцепление арматуры с бетоном, геометрических характеристик сечения, прочностных характеристик материалов и схемы трещин при их наличии. При этом предполагается, что длина участка нарушения сцепления l_d превышает расстояние между трещинами (фактическое, либо определённое теоретически) $l_d > l_{cr}$. Если $l_d < l_{cr}$ нарушение сцепления не влияет на прочность нормальных сечений и расчёт выполняется по

методике [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

В рамках курса не представляется возможным изложить в деталях существующую методику расчёта изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения с рассматриваемым видом повреждения, поэтому ниже приводятся лишь некоторые особенности этой методики. Подробно же с этой методикой можно ознакомиться в [Филатов В.Б. Влияние эксплуатационных повреждений, снижающих сцепление арматуры с бетоном на прочность изгибаемых железобетонных элементов, Прокопович А.А., Филатов В.Б. Оценка влияния нарушения сцепления арматуры с бетоном на прочность нормальных сечений эксплуатируемых конструкций], где приведены также конкретные примеры по оценке прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов при нарушенном сцеплении арматуры с бетоном.

Параметрами эксплуатационного повреждения могут служить: толщина слоя продуктов коррозии, либо ширина раскрытия продольной трещины при коррозии арматуры, степень оголения поверхности стержня при механических сколах защитного слоя бетона. При пропитке бетона маслами необходимо установить глубину и длительность пропитки, при циклическом замораживании-оттаивании – ориентировочное количество циклов.

Степень нарушения сцепления определяется критерием χ , зависящим от соотношения усилия сдвига арматурного стержня в бетоне и параметром повреждения. Величина критерия χ определяется по графикам, представленным в [579]. Минимальное значение χ , соответствующее частичному нарушению сцепления $\chi_{min} = 0,25 - 0,3$. При $\chi < \chi_{min}$ оставшееся сцепление практически не оказывает влияния на работу изгибаемого элемента.

В зависимости от отношения расстояний между трещинами при нарушенном и обеспеченном сцеплении l_d / l_{crc} по экспериментальной зависимости находится коэффициент условий работы бетона при нарушенном сцеплении γ_t , определяется поправочный коэффициент K_c , зависящий от класса бетона

по прочности на сжатие, и устанавливается граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона при нарушенном сцеплении ξ_R^τ . Из условия равновесия сил определяется относительная высота сжатой зоны ξ^* при достижении в арматуре напряжений предела текучести

$$\xi^* = \frac{\sigma_{s,u} A_s - R_{sc} A'_s}{R_b^* b h_0},$$

где R_b^* – прочность бетона, определяемая по формуле:

$$R_b^* = \gamma_\tau R_b.$$

Если при проведении поверочных расчётов не представляется возможным определить фактические значения напряжений предела текучести арматуры, допускается в формулу подставлять средние значения, принятые по табл.6.13 или 6.14 [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Производится сравнение найденных величин ξ_R^τ и ξ^* :

при $\xi^* \leq \xi_R^\tau$ напряжения в растянутой арматуре достигают предела текучести, несущая способность нормального сечения не снижается. Расчёт прочности нормального сечения ведётся по формулам [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] при $\xi = \xi^*$;

при $\xi > \xi_R^\tau$ напряжения в арматуре предела текучести не достигают, изгибаемый элемент разрушается как переармированный, несущая способность нормального сечения снижается.

Прочность нормального сечения определяется по формуле:

$$M = R_b^* \cdot b \cdot h_0^2 \cdot \xi_R^\tau \cdot (1 - 0,5 \xi_R^\tau) + R_{sc} A'_s (h_0 - a').$$

В формулах неоговоренные обозначения соответствуют принятым в [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции].

Имеются и другие предложения по оценке несущей способности изгибаемых элементов эксплуатируемых железобетонных конструкций, например,

представленные в [Репекто В.В. Методы оценки состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций одноэтажных производственных зданий].

В соответствии с п. 2.71 [Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении] снижение несущей способности нормальных сечений вследствие нарушения сцепления арматуры с бетоном при выполнении поверочных расчётов можно учитывать введением в расчётные формулы коэффициентов, принимаемых равными 0,9 и 0,8 соответственно для II и III категории состояния конструкции (см. табл. 3.2 [Бедов А.И. Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений]).

В [Методические рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений на основе анализа и обобщения существующего опыта] предлагается вычислять значение ξ_R при усилении элемента растянутой арматурой по формуле:

$$\xi_R = \frac{\xi_{R1} \omega}{1 + \frac{(\sigma_{sr2} + \sigma_{s1}) \left(1 - \frac{\omega_1}{1,1}\right)}{\sigma_{sc.u}}},$$

где ξ_{R1} – коэффициент, учитывающий неполную монолитность соединений конструкций усиления с усиливаемой конструкцией. По литературным данным значение ξ_{R1} зависит от степени разгрузки при выполнении усиления: при 100 % разгрузке $\xi_{R1} = 0,95$, при 75 % разгрузке $\xi_{R1} = 0,9$, при 50 % разгрузке $\xi_{R1} = 0,8$, при 25 % разгрузке $\xi_{R1} = 0,7$; ω_1 – характеристика сжатой зоны "старого" бетона; σ_{sr2} – напряжение в дополнительной арматуре; σ_{s1} – напряжение в "старой" растянутой арматуре;

$$\sigma_{s1} = \frac{R_{s1} \cdot M_1}{M_u},$$

в случае предварительно напряжённой "старой" арматуры:

$$\sigma_{s1} = \frac{M_1 - P_2 \cdot (z - e_{sp})}{(A_{sp} + A_s) \cdot z};$$

M_I – изгибающий момент в сечении элемента в период усиления; M_u – предельный изгибающийся момент в сечении элемента до его усиления; P_2 – усилие обжатия.

В [Репекто В.В. Методы оценки состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций одноэтажных производственных зданий, Чаганов А.Б. Прочность и жесткость железобетонных ребристых плит с нарушением сцепления арматуры с бетоном] подтверждается уменьшение высоты сжатой зоны бетона при наличии арматуры не связанной с бетоном. Однако, это явление наблюдалось не по всему пролёту опытных образцов, а только на определённом участке длиной около $2h$. В этой пластической зоне происходит образование "пластического шарнира" и наблюдается увеличение кривизны элемента на небольшом участке. При определении кривизны в "пластической зоне" в основу положена формула, полученная через краевые относительные деформации сжатого бетона и высоту сжатой зоны сечения с трещиной:

$$\frac{1}{\rho_{n\ddot{e}}} = \frac{\varepsilon_{\hat{a}}}{x_{n\ddot{e}}} = \frac{\varepsilon_{\hat{a}}}{\xi_{i\ddot{e}} h_0} = \frac{\left(M + N_0 e_{s,ad} \right) \psi_{\hat{a}}^{n\ddot{e}}}{(1 - 0,5 \xi_{i\ddot{e}}) \cdot \xi_{i\ddot{e}}^2 \cdot b \cdot h_0^3 \cdot E_b \cdot \nu},$$

где $\psi_{\hat{a}}^{i\ddot{e}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций крайнего сжатого волокна бетона по длине пластической зоны, принимается равным 0,8 при $\mu > 1 \%$; при $\mu < 1 \%$ определяется по формуле:

$$\psi_{\hat{a}}^{i\ddot{e}} = 0,8 - 0,4 \cdot (1 - \mu);$$

ξ_{nl} – относительная высота сжатой зоны в "пластической зоне", равная

$$\xi_{i\ddot{e}} = \xi - (\xi - \xi_{i\ddot{\delta}}) \cdot 0,8 \cdot \hat{E}_{\zeta},$$

ξ – определяется по формуле [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции]; $\xi_{np} = x/h_0$, x – определяется из условия прочности; K_3 – коэффициент, учитывающий влияние связанной и несвязанной арматуры на относительную высоту сжатой зоны, который определяется по формуле:

$$\hat{E}_{\zeta} = 1 - \frac{A_s R_s}{A_{s,ad} R_{s,ad} + R_s A_s},$$

Другие исследования влияния несвязанной арматуры на сжатую зону бетона также свидетельствуют о наличии зоны пластических деформаций, где деформации крайнего волокна сжатой зоны бетона больше, чем в эталонных балках (балки с обеспеченным сцеплением). Длина пластической зоны определяется как:

$$L_{i\ddot{e}} = C_{\hat{a}} \sqrt[4]{t \cdot l_i} \cdot \sqrt{h_0},$$

где t – удаление критического сечения от точки нулевого момента; l_n – длина зоны нарушенного сцепления; $C_{\hat{a}}$ – коэффициент, учитывающий влияние класса бетона и принимаемый равным при В20 – 0,9; В30 – 0,85; В40 – 0,8.

При устройстве шпренгельных затяжек равнодействующая сжимающего усилия, передаваемого на железобетонный элемент, из-за различных величин усилий в ветвях затяжки может не совпадать с плоскостью изгиба. Поэтому форма сжатой зоны бетона может отличаться от прямоугольной. Это, естественно отражается на напряжённо-деформированном состоянии этой зоны и её граничной высоте. В этом случае предлагается использовать более универсальную формулу для определения ξ_R [Филатов В.Б. Влияние эксплуатационных повреждений, снижающих сцепление арматуры с бетоном на прочность изгибаемых железобетонных элементов]:

$$\xi_R = \frac{\omega \cdot \alpha \cdot R_b}{1 + R_s (0,03 + 0,047B)},$$

где ω – коэффициент полноты эпюры по формуле (26) [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции]; α – отношение модуля упругости стали и бетона; B – класс бетона в МПа.

Влияние несвязанной арматуры на изменение граничной высоты сжатой зоны в сторону уменьшения очевидно, поэтому для избежания хрупкого разрушения сечения известные формулы СНиПа должны использоваться с корректировкой.

Одним из довольно распространенных видов повреждений сборных железобетонных ребристых плит покрытий без предварительного напряжения

арматуры в процессе эксплуатации является коррозия рабочей арматуры, расположенной в продольных ребрах, с образованием коррозионных трещин вдоль нее, а в последующем и отслоением защитного слоя бетона. То и другое приводит к нарушению в разной степени сцепления арматуры с бетоном и, соответственно, снижению несущей способности и жесткости плит. Установлено, что уже при незначительной коррозии арматуры (толщина продуктов коррозии 1...3 мм, уменьшение сечения арматуры 2...8%) снижение жесткости и несущей способности происходит по-разному, в зависимости от характера повреждения и его величины (несущая способность снижается на 10...25%, а прогибы возрастают в 1,4...2,2 раза).

Оценка прочности и жесткости железобетонных ребристых плит перекрытий и покрытий с повреждениями в виде нарушения сцепления арматуры с бетоном из-за коррозии рабочей арматуры с образованием коррозионных трещин или отслоением защитного слоя бетона может быть выполнена по следующей методике:

1. Значение несущей способности плиты с повреждением, связанным с нарушением сцепления арматуры с бетоном, определяется произведением несущей способности без повреждений на коэффициент K_p

$$P_{\text{факт}} = P \cdot K_p,$$

где коэффициент снижения несущей способности K_p с доверительной вероятностью принимается равным

$$K_p = 0,0168L_{\text{отс}} - 0,03L_{\text{тр}} + 1,042;$$

$L_{\text{тр}}$ – суммарная длина участков с продольными коррозионными трещинами (рис.3.88);

$L_{\text{отс}}$ – суммарная длина зон отслоения защитного слоя бетона вдоль рабочей арматуры (рис. 8.3.).

2. Увеличение прогибов плиты определяется произведением полученной величины прогиба плиты без учета повреждений на коэффициент K_f

$$f_{\text{факт}} = f \cdot K_f,$$

где коэффициент увеличения прогибов K_f с доверительной вероятностью 0,95 принимается равным

$$K_f = 0,089L_{mp} + 0,0393L_{omc} + 1,1119$$

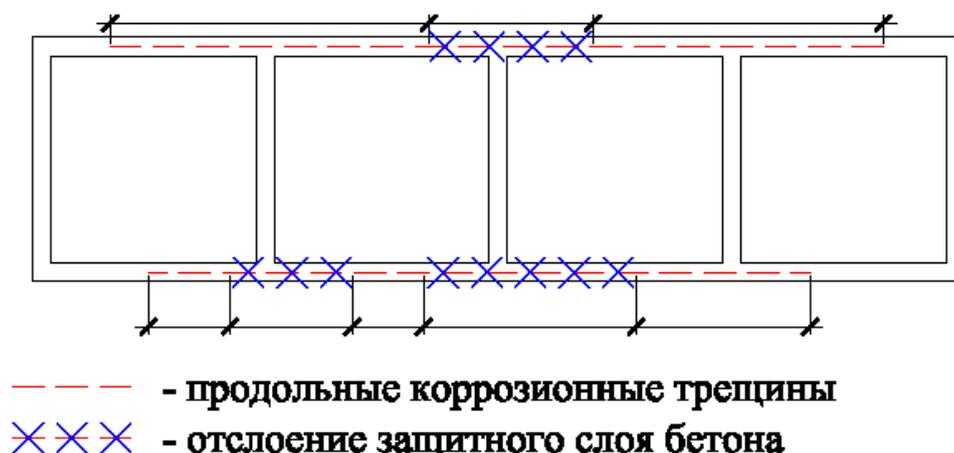


Рис. 8.2. Схема повреждений в элементах ребристой плиты (вид с потолочной поверхности)

В заключение следует отметить, что в настоящее время разработаны методы оценки несущей способности сжатых железобетонных элементов с повреждениями, снижающими сцепление арматуры с бетоном, изгибаемых элементов, работающих в условиях микробиологических воздействий, а также способы учета некоторых дефектов монтажа элементов железобетонных каркасов зданий [Гроздов В.Т. Дефекты конструкций крупнопанельных зданий, снижающие несущую способность зданий, и их устранение, Мильян Я.А. Исследование эксплуатационной стойкости железобетонных конструкций в животноводческих зданиях, Репекто В.В. Методы оценки состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций одноэтажных производственных зданий, Сатьянов В.Г. и др. Экспертиза промышленной безопасности производственных зданий и сооружений].

Повышение несущей способности существующих конструкций

Увеличение площади опирания сборных элементов

При недостаточной длине площадки опирания сборных многопустотных панелей на промежуточных опорах в пустоты смежных плит через пробитые

отверстия заводятся общие арматурные каркасы с последующим бетонированием, аналогично усилению путем создания неразрезности (рис. 8.3, а).

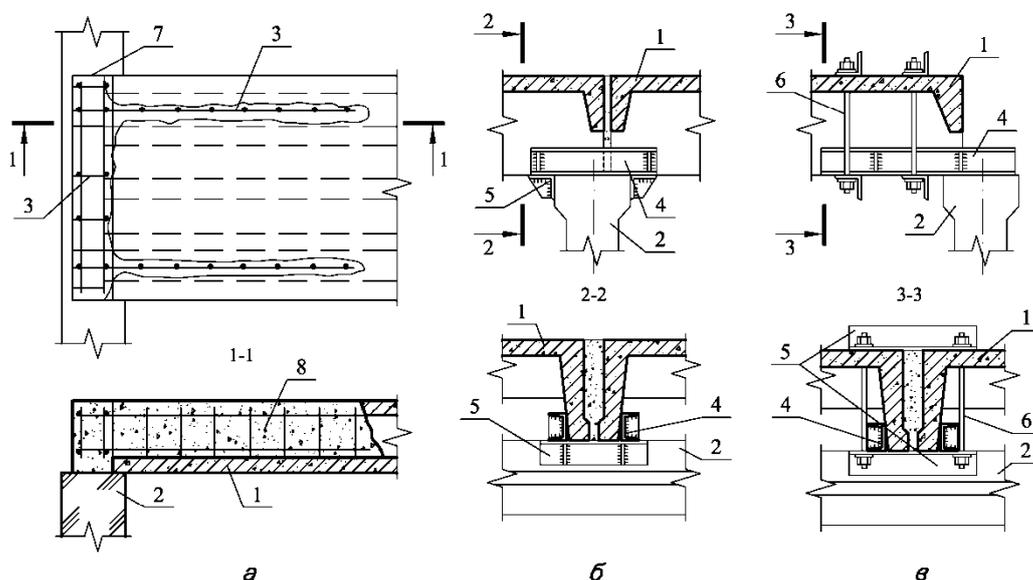


Рис. 8.3. Усиление сборных железобетонных плит при недостаточном опирании: а – многопустотных плит на крайних опорах; б – ребристых на промежуточной опоре; в – ребристых на крайней опоре; 1 – усиливаемая плита; 2 – опора; 3 – дополнительные каркасы; 4 – швеллер; 5 – опорный уголок; 6 – болты анкера; 7 – анкерная балка; 8 – монолитный бетон; 9 – уголки анкера

В случае недостаточного опирания сборных многопустотных панелей на крайних опорах в пустоты через пробитые отверстия устанавливаются арматурные каркасы таким образом, чтобы они выступали за торцы панелей. Затем параллельно торцам панелей устанавливаются дополнительные каркасы, после чего выполняется бетонирование пустот на длине установленных каркасов и дополнительной торцевой балки (рис. 8.3, а).

При недостаточном опирании ребристых панелей на промежуточных опорах устраиваются опорные столики из швеллеров и соединительных уголков (рис.8.3, б).

В случае недостаточного опирания ребристых панелей на крайних опорах опорные элементы из швеллеров выступают за торец панелей и притягиваются к панелям болтами (рис.8.3, в).

Конструкции полного и частичного разгрузки с передачей нагрузки на другие элементы (повышение степени внешней статической неопределимости)

Усиление конструкций подведением дополнительных жестких опор – эффективный способ усиления, позволяющий многократно увеличить нагрузку на конструкции, применяется, когда существует возможность уменьшения габаритов помещения. К жестким относятся опоры, осадка которых соизмерима с осадкой существующих опор и которой можно пренебречь при расчете (не более 10% от прогиба усиливаемой конструкции).

При усилении конструкций с устройством дополнительных жестких опор необходимо особо тщательно подходить к выбору расчетной схемы. Для этого предварительно определяют возможную общую деформацию от ожидаемых нагрузок в месте примыкания к усиливаемой конструкции с тем, чтобы убедиться, что эта деформация составляет не более 10 % прогиба усиливаемой конструкции без учета опирания её на жесткую опору.

При подведении промежуточных жестких опор усиливаемые элементы должны быть максимально разгружены.

Усилия в изгибаемых элементах определяют отдельно от нагрузок, действующих до установки дополнительных опор, и от нагрузок, которые прикладываются после установки этих опор.

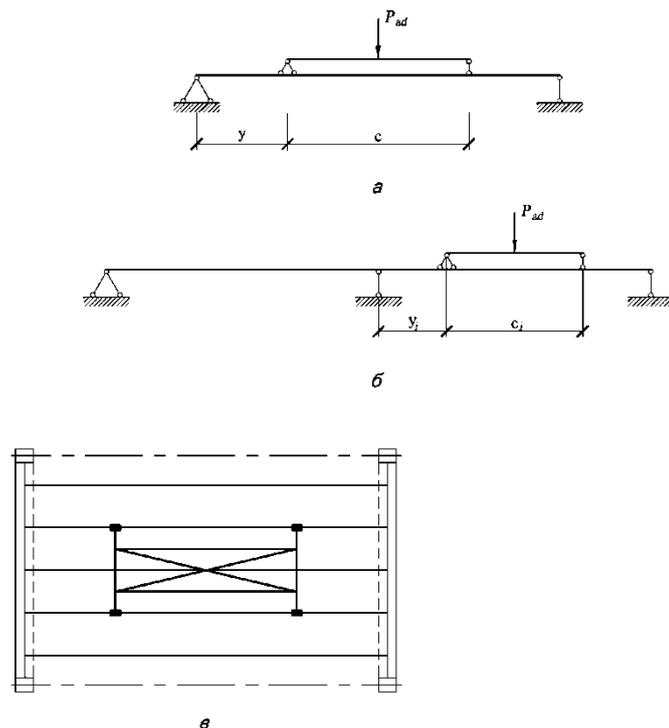


Рис. 8.4. Принципиальные схемы распределительных устройств при усилении: а – однопролетной балки; б – неразрезной балки; в – сборных плит перекрытия

В первом случае расчетная схема принимается первоначально без дополнительных опор, а во втором случае – с дополнительными опорами. Расчетные усилия в сечениях элемента определяют как сумму усилий, полученных при расчете по первой и второй схемам. Затем несущая способность определяется в соответствии с [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

Дополнительные жесткие опоры выполняются в виде одиночных стоек с самостоятельными фундаментами, подкосов и подвесок с опиранием на существующие конструкции. Дополнительные жесткие опоры изготавливаются из железобетона или металла.

При устройстве дополнительных жестких опор с опиранием на самостоятельные фундаменты (рис. 8.5.) следует учитывать обстоятельство, что основание под подошвой существующих фундаментов уплотнено в результате длительной нагрузки, поэтому для уменьшения осадки фундамента дополнительной опоры грунт под ним предварительно обжимается или устраивается под

ним развитая песочно-щебеночная подушка, распределяющая давление на основание.

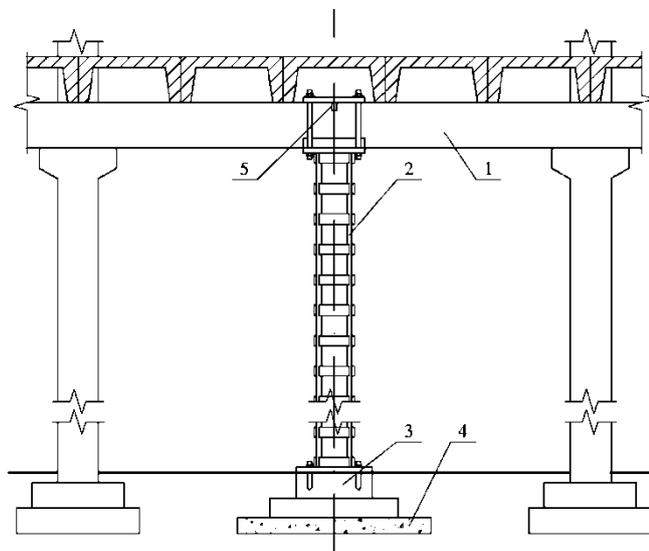


Рис 8.5. Усиление конструкции дополнительной жесткой опорой с самостоятельным фундаментом: 1 – усиливающая конструкция; 2 – стойка дополнительной опоры; 3 – фундамент опоры; 4 – песчано-щебеночная подушка; 5 – надрез на глубину на 50мм

Дополнительные жесткие опоры в виде подкосов и подвесок передают нагрузку на существующие фундаменты, что позволяет избежать осадки, хотя в ряде случаев и требует их предварительного усиления. В случае передачи нагрузки от дополнительных подкосов на колонны, для восприятия возникающего распора устраиваются затяжки.

В ряде случаев, например, для разгрузки незначительных по площади участков перекрытий, когда не требуется устройство дополнительных колонн и фундаментов, применяют разгружающие конструкции в виде отдельных балок, ферм, плит, а также комбинированных систем из железобетона и металла. В этом случае конструкции усиления, являются для усиливаемой конструкции разгружающей системой и с нею незамоноличиваемые, но связанные в местах опирания, рассчитываются как самостоятельные или как элементы общей системы, при этом усилия в усиливаемой и усиливающей частях конструкций определяются по правилам строительной механики.

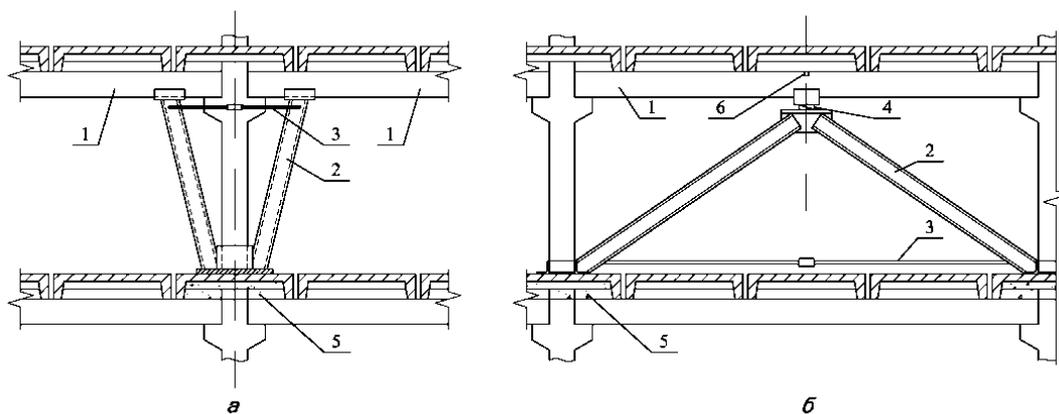


Рис. 8.6. Усиление конструкции дополнительной жёсткой опорой в виде подкосов: а – у опоры; б – в пролёте; 1 – усиливаемая конструкция; 2 – подкос; 3 – затяжка; 4 – клиновидные прокладки; 5 – заполнение бетоном; 6 – надрез по оси опоры

Разгрузка конструкций наиболее просто выполняется подведением под них металлических прокатных балок с передачей нагрузки на опорные элементы. Таким образом решается усиление железобетонных ребристых и многопустотных плит перекрытий и покрытий, элементов монолитных ребристых перекрытий, безбалочных перекрытий и др. Подводимые под участки перекрытия металлические балки могут опираться на специально установленные консоли на колоннах или подвешиваться к балкам с помощью высокопрочных болтов. Включение металлических балок в работу производится постановкой в зазор между балками и элементами перекрытия металлических пластин – клиньев. Разгрузка элементов монолитного перекрытия может быть выполнено устройством системы железобетонных главных и второстепенных разгрузочных балок, возводимых с зазором под существующим перекрытием. Опираие дополнительных главных балок производится в непосредственной близости от колонн на действующую главную балку.

Второй тип дополнительных опор в виде подкосных порталных рам может выполняться также из железобетона или металла. Установка и опирание подкосов порталных рам на конструкции сооружения дают гарантию жестко-

сти опор, но перегружают основные несущие конструкции. В этом случае последние должны воспринять давление подпорок и при необходимости подлежат соответствующему усилению. Включение подкосных порталных рам в работу решается по аналогии с одиночной подведенной колонной за счет металлических клиньев (рис.8.7, в). Подведенные подкосные опоры лучше всего упирать в узлы несущих конструкций каркаса.

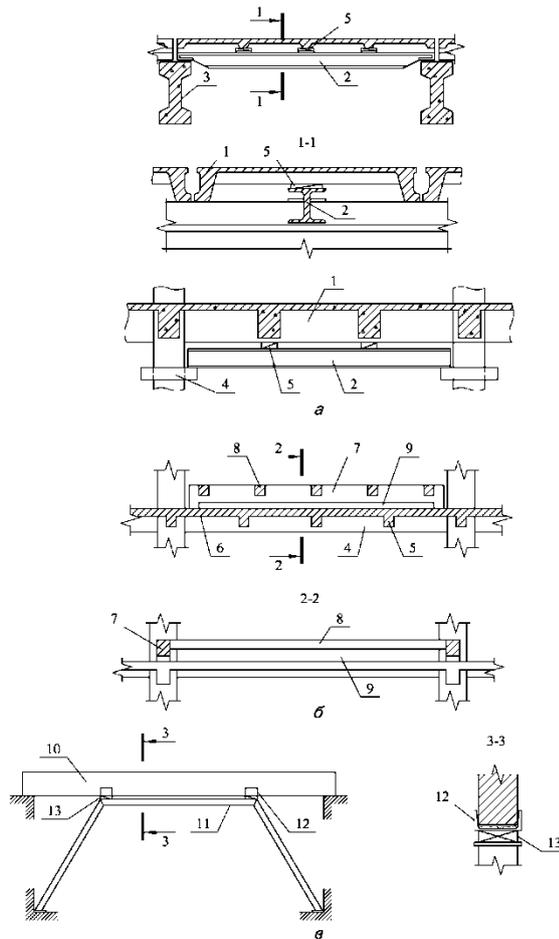


Рис.8.7. Схемы усиления железобетонных конструкций методом разгрузки и устройством дополнительных опор: а – подведением металлических разгружающих балок; б – полным разгрузением элементов монолитного перекрытия с передачей всей нагрузки на колонны; в – подведением разгружающих порталных рам; 1 – усиливаемые плиты; 2 – металлические балки усиления; 3 – металлические пластины– клинья для включения балок усиления в работу; 4 – главная балка существующего перекрытия; 5 – второстепенная балка; 6 – плита существующего перекрытия; 7 – главные разгрузочные балки; 8 – второстепенные разгрузочные балки; 9 – зазор между разгружающими балками и перекрытием; 10 – усиливаемая балка; 11 – дополнительные опоры в виде порталной рамы; 12 – опорные элементы из швеллера; 13 – металлические клинья для включения порталной рамы в работу

При частичном разгрузении конструкции снимают с существующей только часть нагрузки. В этом случае элементы усиления могут иметь контакт с существующими конструкциями по всей длине или в отдельных точках.

При конструкциях усиления, которые соприкасаются с усиливаемой конструкцией по всей длине или устанавливаются рядом, усилия в изгибаемых элементах распределяются пропорционально жёсткостям:

$$M_1/B_1 = M_2/B_2$$

где B_1 и M_1 – соответственно жёсткость и момент, воспринимаемый существующей конструкцией; B_2 и M_2 – то же, элементами усиления.

В этом случае полное усилие M равно сумме усилий, воспринимаемых каждым элементом

$$M = M_1 + M_2.$$

Сначала определяют нагрузку, воспринимаемую усиливаемыми элементами. На недостающую часть приложенной нагрузки рассчитывают сечение конструкции усиления. При этом пропорционально жесткостям распределяется только та часть нагрузки, которая прикладывается после усиления. Если разгружающая конструкция соприкасается с усиливаемой не по всей длине, а в отдельных точках (например через прокладки), то распределение по жесткостям осуществляется при количестве точек опирания не менее восьми (в том числе и на опорах), а расстояние между опорами не превышает трёх высот любой из двух конструкций.

В конструкциях частичного разгружения расчёт по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, производится по [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] на всю нагрузку только для усиливаемого элемента.

Расчёт элементов полного разгружения производится так же, как для обычных конструкций на полную нагрузку.

В случае, если разгружающие конструкции опираются на существующие или разгружаемые, то разгружаемые должны рассчитываться по прочности наклонных сечений согласно [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения].

При полном разгрузении необходимо определять величину зазора между разгружающей и разгружаемой конструкциями с учётом расчётных прогибов конструкций по второму предельному состоянию согласно [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] с введением соответствующих коэффициентов надёжности. При этом величина минимального зазора между разгружающей и существующей конструкциями должна приниматься равной расчётному перемещению с коэффициентом запаса: для железобетонных разгружающих конструкций – 2,0, для металлических разгружающих конструкций – 1,5.

Усиление балочных и рамных конструкций до 100 % от их первоначальной несущей способности может быть достигнуто путем устройства дополнительных промежуточных опор. Новые дополнительные опоры могут выполняться в виде подведенных колонн, подкосных порталных рам и подвесок.

Опоры в виде подведенных колонн, выполняются металлическими и железобетонными. Подведенные колонны должны устанавливаться на самостоятельный фундамент или на какой-либо достаточно жесткий элемент перекрытия. Включение опоры в работу достигается установкой в зазор между ее верхним концом и усиливаемой конструкцией металлических клиньев. Сечение дополнительной опоры и ее устойчивость должны быть проверены с учетом максимального значения передаваемой на нее нагрузки (рис. 8.8).

Проектируя усиление железобетонной балки дополнительными жесткими опорами, необходимо достичь такого положения, чтобы эпюра изгибающих моментов, полученная алгебраическим сложением эпюры, построенной от нагрузки, действующей на балку в момент подведения опоры, нигде не выходила за пределы фактической эпюры материалов, построенной на основании обследования конструкций. При этом эпюра от нагрузки, действующей на

балку в момент подведения опоры, строится для первоначальной схемы, а эпюра от нагрузки, приложенной после установки опоры – для новой. Кроме этого следует проверять усиливаемые балки на действие поперечных сил в сечениях у новых опор.

Кроме этого следует проверять усиливаемые балки на действие поперечных сил в сечениях у новых опор.

В случае необходимости можно допустить возникновение отрицательного момента над новой опорой, превышающего значение допустимого. Тогда над ней возникает пластический шарнир, что и нужно учитывать при расчете балки по новой схеме. Так как в середине пролета верхняя арматура обычно имеет незначительную площадь поперечного сечения, то фактически балка после образования трещин над дополнительной опорой превращается в разрезную с шарнирным опиранием на подведённой опоре. Необходимо обеспечить достаточную площадь опирания такой разрезанной балки на промежуточной опоре.

В случае невозможности разгрузки усиливаемой конструкции (например, если она находится только под действием постоянной нагрузки), установка дополнительной опоры должна сопровождаться предварительным поднятием усиливаемой конструкции. Подъем следует производить силой, прикладываемой к конструкции в месте подводимой опоры и равной разности необходимой по расчёту величины реакции этой опоры и реакции от дополнительной нагрузки. В то же время нельзя допускать возникновения в подпираемом элементе усилий, превышающих допускаемые, и отрыва его от опор.

Силу подъема можно определить манометром, установленном на домкрате. При этом домкрат должен быть размещен между подпираемой и подпирающей конструкциями, что чаще всего невозможно из-за незначительного расстояния между ними и требует размещения специального устройства.

Конструкция приспособления может быть различной и зависит как от схемы подводимой опоры, так и от конструкции подпираемого элемента.

Определение силы подъёма только по деформации поднимаемого железобетонного элемента неточно и не может быть рекомендовано для практического применения. Устройство дополнительных жёстких опор с предварительным подъемом усиливаемой конструкции контролируемой силой освобождает не только от необходимости снятия уже действующей на сооружение нагрузки, но и повышает эффективность и надёжность усиления.

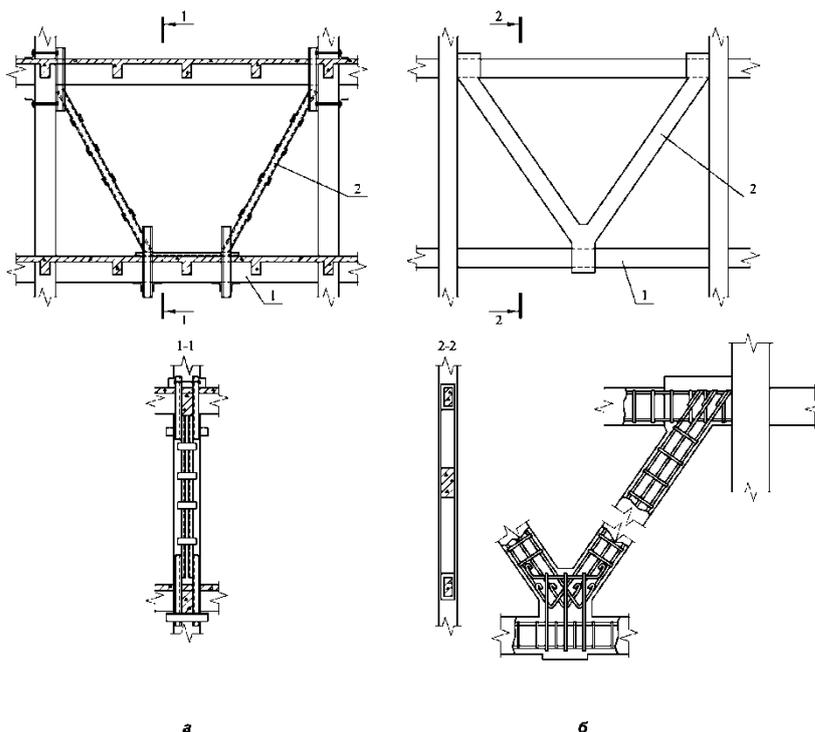


Рис. 8.8. Схема усиления балки перекрытия с устройством опор в виде подвесок: а – стальных; б – железобетонных; 1 – усиливаемый элемент; 2 – подвеска; 3 – арматура подвески

Опоры в виде подвесок изготавливаются железобетонными или металлическими. Поскольку эти конструкции так же прикрепляются к узлам основного каркаса, к ним относятся те же соображения о дополнительном нагружении элементов каркаса.

Решение узлов крепления подвесок и подкосной опоры к существующим элементам приведены на рис. 8.7, в, 8.8.

Усиление изгибаемых железобетонных элементов может осуществляться также установкой подкосов, тяжей, кронштейнов и консолей.

Установка подкосов, тяжей и кронштейнов при усилении изгибаемых конструкций приводит к сокращению их расчетного пролета и передачи части нагрузки на другие элементы. Подкосы, кронштейны и консоли выполняются из прокатного металла (двутавров или швеллеров), они применяются для усиления балконных плит и козырьков, а также ригелей междуэтажных перекрытий. Подкосы и консоли при усилении балконных плит устанавливаются в специально сделанные ниши в стенах и заделываются бетоном. При этом должно быть обеспечено плотное примыкание консоли к плите до полного застывания бетона.

При усилении ригелей перекрытия подкосы нижним концом опираются на выступ или столик на колонне, а опора под ригель решается в виде прокладки из стального листа на графитовой смазке для обеспечения перемещения ригеля под нагрузкой. Верхние концы подкосов стягиваются тяжами с натяжными муфтами.

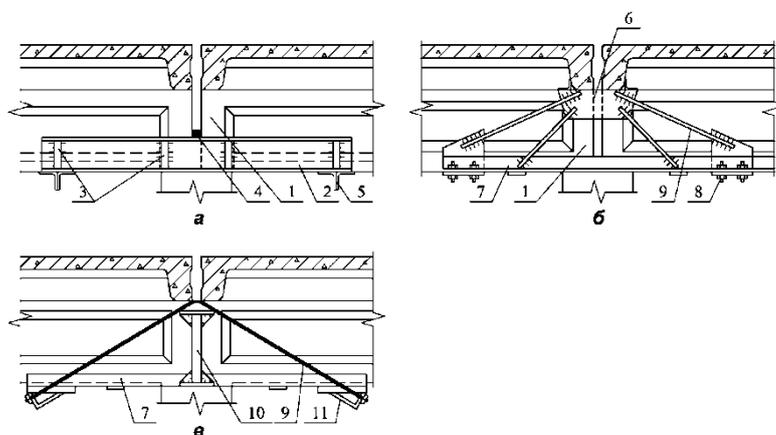


Рис. 8.9. Усиление конструкций дополнительными упругими опорами в виде двух консольных кронштейнов: а – из прокатных профилей; б, в – из треугольных ферм

К усилению ригелей перекрытий или других балок с помощью установки тяжей прибегают редко, так как тяжи создают помехи внутри помещения. Тяжи из круглой стали крепятся к специальной обойме на колонне в уровне вышележащего перекрытия с пропуском их через специальные отверстия в плитах. К усиливаемому ригелю тяжи крепятся через опорные стальные элементы.

Дополнительные упругие опоры менее эффективны, однако позволяют в меньшей степени стеснить свободное пространство помещений. К упругим опорам относятся дополнительные опоры, осадкой которых пренебречь нельзя (более 10 % от прогиба усиливаемой конструкции). Дополнительные упругие опоры создаются с помощью балок железобетонных и металлических (рис. 8.9, *а*), металлических ферм (рис. 8.9, *б, в*) или подвесок (рис. 8.9), расположенных со стороны верхней, нижней или боковых граней усиливаемой конструкции и опираемых на опорные части конструкции или самостоятельные опоры. Нагрузка от усиливаемой конструкции на дополнительные передается через расклинивающие прокладки, позволяющие включить дополнительные упругие опоры в совместную работу.

При устройстве дополнительных упругих опор следует стремиться к максимальной разгрузке усиливаемой конструкции, так как по новой схеме будет распределяться только нагрузка, приложенная после усиления.

Закрепление конструкций, создающих упругую опору, к существующим основным несущим элементам, может вызвать перегрузку последних и необходимость их усиления, но даже в этом случае устройство разгружающих конструкций с собственными опорами и фундаментами менее экономично и целесообразно. В ряде случаев, например при усилении балок в промежуточных пролетах, конструкции усиления подвешивают при помощи хомутов непосредственно к усиливаемым элементам у опор. Это можно осуществить при достаточной прочности на срез узловых сечений усиливаемого элемента.

Опорные элементы кронштейнов выполняют в виде седлообразных накладок, опирающихся сверху смежных усиливаемых балок или в виде опорного листа толщиной 20-30мм, вставляемого в зазор между сборными балками, и передающего нагрузку через распределительную накладку на колонну. При этом опорные элементы не должны быть жёстко закреплены, а иметь возможность сдвига на уровне грани в обе стороны на 5-10мм.

Включение кронштейнов в совместную работу производится расклиниванием с контролем прогиба или подвеской тарированного груза весом, равным величине опорной реакции, и укладкой в образовавшийся зазор фиксирующих прокладок.

Для усиления изгибаемых большепролетных конструкций многопролетных зданий эффективно выполнять дополнительные упругие опоры в виде двухконсольных кронштейнов. Кронштейны выполняются с помощью прокатных профилей (рис. 8.9, *а*) или с помощью треугольных ферм (рис. 8.9, *б*). Кронштейны устанавливаются попарно со стороны боковых граней усиливаемой конструкции, и соединены между собой опорными элементами и соединительными планками. Высота опорной части кронштейнов принимается равной высоте опорных частей усиливаемых балок. Длина вылета консолей не превышает $1/4$ - $1/6$ пролета усиливаемой конструкции.

Расчет конструкций, усиленных дополнительными упругими опорами, основывается на равенстве прогибов усиливаемой конструкции и упругой опоры в месте их контакта. Как и в случае усиления дополнительными жесткими опорами, при усилении упругими опорами изгибающие моменты в сечениях конструкции суммируются от нагрузки, действующей до усиления при первоначальной расчетной схеме и от нагрузки, приложенной к конструкции после усиления, при измененной расчетной схеме.

При проектировании усиления конструкций дополнительными упругими опорами первоначально по превышению усилий от внешней нагрузки над несущей способностью усиливаемой конструкции намечается размещение упругих опор и вычисляются их реакции из условия создания требуемой нагрузки. Затем приравниваются выражения прогибов усиливаемой конструкции от действия внешней нагрузки, прикладываемой после усиления, и реакции опоры и прогибов упругой опоры от давления реакции опоры. Из полученного уравнения определяется требуемая жесткость дополнительной упругой опоры и её размеры поперечного сечения.

В качестве расчётной схемы от нагрузок, прикладываемых после установки дополнительных упругих опор, может быть принята балка на упругоподатливых опорах. Усилия в такой балке определяются при известных характеристиках жёсткости опор по уравнениям пяти моментов.

Для определения характеристик жёсткости необходимо сделать статический расчет всей конструкции дополнительной опоры и установить величину перемещения от единичной силы в точке установки дополнительной опоры. Характеристика жёсткости при нескольких упругих опорах устанавливается для каждой из них.

По выбранной расчётной схеме и нагрузкам, прикладываемым к усиливаемому элементу и упругим опорам в местах их сопряжения (равным реакциям), определяются усилия в дополнительных упругих опорах и подбирается сечение элементов упругой опоры.

Предварительное напряжение упругой опоры должно осуществляться силой, равной разгружающей реакции.

Жёсткость усиливаемой железобетонной конструкции в предельном состоянии, необходимую для расчета, допускается определять по формулам [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции]:

– для изгибаемой конструкции без предварительного напряжения рабочей арматуры:

$$B = \frac{h_0 z}{\frac{\Psi_s}{E_s A_s} + \frac{\Psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b v}};$$

– для предварительно напряженных изгибаемых или внецентренно сжатых и растянутых конструкций:

$$B = \frac{h_0 z}{\frac{\Psi_s}{E_s A_s} \left(1 \mp \frac{z}{e}\right) + \frac{\Psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b v}},$$

где $\Psi_s, \Psi_b, \varphi_f, \xi, v$ – коэффициенты определяемые по [СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции];

z – плечо внутренней пары сил;

e – расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей продольной силы усилия предварительного обжатия.

При проектировании усиления конструкций при полном её загрузении достаточно определить необходимую разгружающую реакцию упругой опоры, по которой в результате статического расчёта вычисляются усилия и подбирается сечение элементов упругой опоры. Предварительное напряжение упругой опоры должно осуществляться силой, равной разгружающей реакции.

Если конструкция упругой опоры не подвешивается у опор к усиливаемой конструкции, выполняется проверка на отрыв усиливаемой конструкции от опор при снятии временной нагрузки, При появлении в месте установки дополнительной упругой опоры отрицательных моментов следует производить проверку сечений на действие отрицательного момента.

Если между усиливаемой конструкцией и усиливающей контакт в поперечном направлении предусматривается по всей длине (в отличие от наращивания, касательные напряжения по контакту не учитываются) расчёт производится исходя из равенства кривизн изогнутых осей контактирующих балочных конструкций.

$$\frac{1}{r_1} = \frac{\Delta M_1}{B_1}; \quad \frac{1}{r_2} = \frac{\Delta M_2}{B_2}; \quad \frac{1}{r_1} = \frac{1}{r_2}; \quad \frac{\Delta M_1}{B_1} = \frac{\Delta M_2}{B_2}$$

Изгибающий момент $\Delta M = \Delta M_1 + \Delta M_2$ от нагрузки, приложенной после усиления, распределяется пропорционально их жёсткостям.

В местах установки жёстких и упругих дополнительных опор необходимо проверить усиливаемую балку на действие поперечных сил.

Рекомендуется учитывать возможное перераспределение нагрузок в усиливаемом элементе: за счет деформаций ползучести - при устройстве дополнительных опор из железобетонных элементов; за счет снижения жёстко-

сти в соответствии с положениями [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения] - при воздействии длительных статических нагрузок.

Рекомендуется также учитывать перераспределение усилий во времени между усиливаемой конструкцией и элементами усиления.

Для опирания элементов дополнительных опор на существующие колонны на последних устраивают специальные опорные хомуты. Опорные хомуты могут быть как железобетонными, так и металлическими с последующим обетонированием или без него.

Железобетонные опорные хомуты (рис. 3.12, а) армируются, аналогично коротким консолям, наклонной или замкнутой горизонтальной арматурой. Перед устройством опорных хомутов бетонная поверхность колонны скалывается на толщину защитного слоя бетона. Поперечная арматура приваривается к оголённой арматуре колонн. Железобетонные опорные хомуты рассчитываются на прочность в соответствии с [СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения], аналогично коротким консолям. Проверка контактного шва на сдвиг по колонне производится согласно [Прил.И 82].

Металлические опорные хомуты (рис. 8.10, б) выполняются из швеллеров, которые привариваются к оголённой арматуре колонн. Перед приваркой отрезки швеллеров устанавливаются в проектное положение и соединяются между собой стяжными болтами. При неплотностях между швеллерами и оголённой арматурой устанавливаются металлические прокладки.

Металлические опорные хомуты (рис. 8.10, в), состоящие из верхней опоры, привариваемой к оголённой арматуре колонны, тяжей и опорного столика, позволяют создавать предварительное напряжение дополнительных опор.

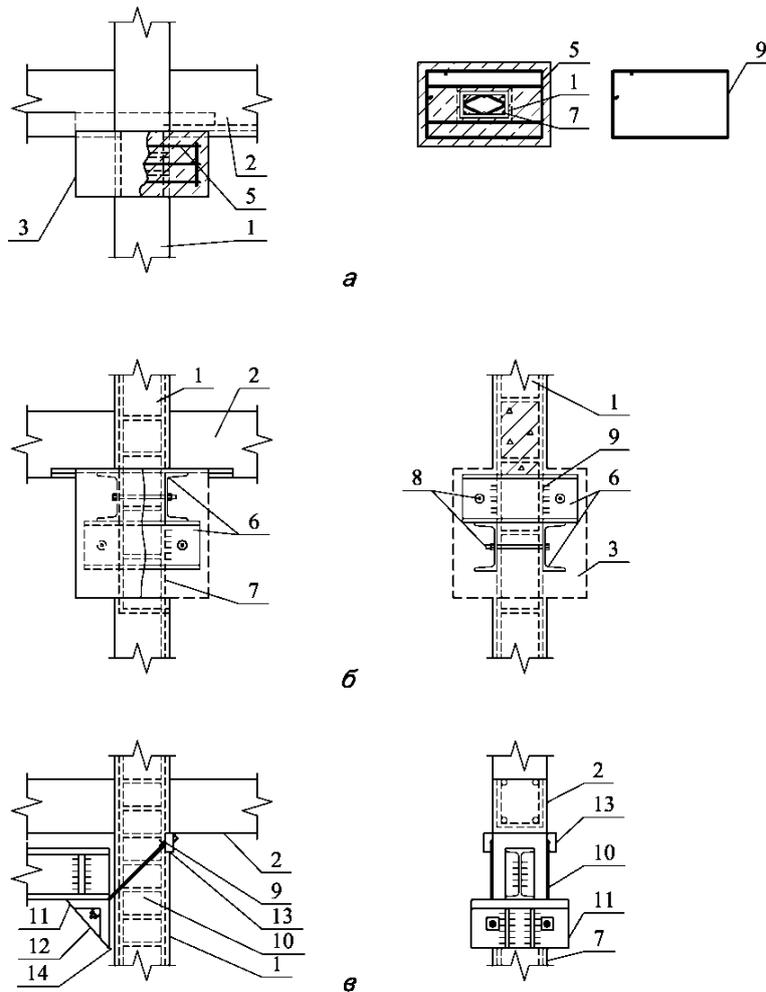


Рис. 8.10 Устройство дополнительных опор на существующих колоннах: а – железобетонных; б – стальных обетонированных; в – стальных; 1 – колонна; 2 – ригель; 3 – бетон хомута; 4 – коническая шайба; 5 – поперечная арматура хомута; 6 – швеллер; 7 – оголенная арматура колонны; 8 – стяжной болт; 9 – сварной шов; 10 – тяж; 11 – опорный уголок; 12 – ребра жесткости; 13 – пластина; 14 – пластина с рифлёной поверхностью

Усиление конструкций включением в совместную работу отдельных конструктивных элементов и повышения степени внутренней статической неопределимости

Повышение несущей способности конструкций включением в совместную работу сопряжённых конструктивных элементов достигается в основном за счёт изменения как всего поперечного сечения, так и размеров сжатой зоны сечения.

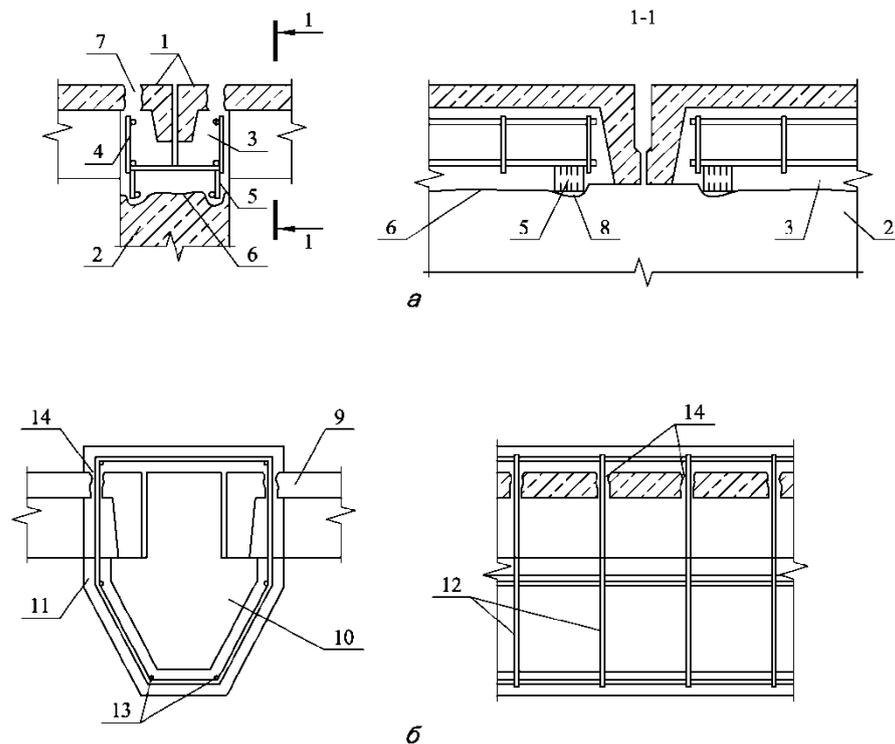


Рис. 8.11. Схемы усиления конструкций путём включения в совместную работу других элементов: а – плит покрытия со стропильными конструкциями; б – плит перекрытия с ригелем; 1 – плиты покрытия; 2 – стропильная конструкция; 3 – бетон омоноличивания; 4 – дополнительный каркас; 5 – металлические пластины; 6 – подготовленная к бетонированию поверхность стропильной конструкции; 7 – отверстия в полках плит для укладки бетона; 8 – обнажённая арматура; 9 – плиты перекрытия; 10 – ригель; 11 – бетон омоноличивания; 12 – поперечные замкнутые хомуты; 13 – продольная арматура обоймы; 14 – отверстия в полках плит для пропуска хомутов и подачи бетона

Совместная работа примыкающих элементов и усиливаемой конструкции обеспечивается сваркой арматуры и обетонированием узлов сопряжения.

Для надёжности сцепления бетона омоноличивания со старым бетоном его поверхность промазывается полимерным клеем. Наиболее часто этот метод применяется путём включения в совместную работу плит перекрытий или покрытий с ригелями и стропильными конструкциями (фермами или балками) (рис. 4.2.19). Степень увеличения несущей способности усиливаемого элемента определяется расчетом с учетом увеличенной ширины сжатой зоны.

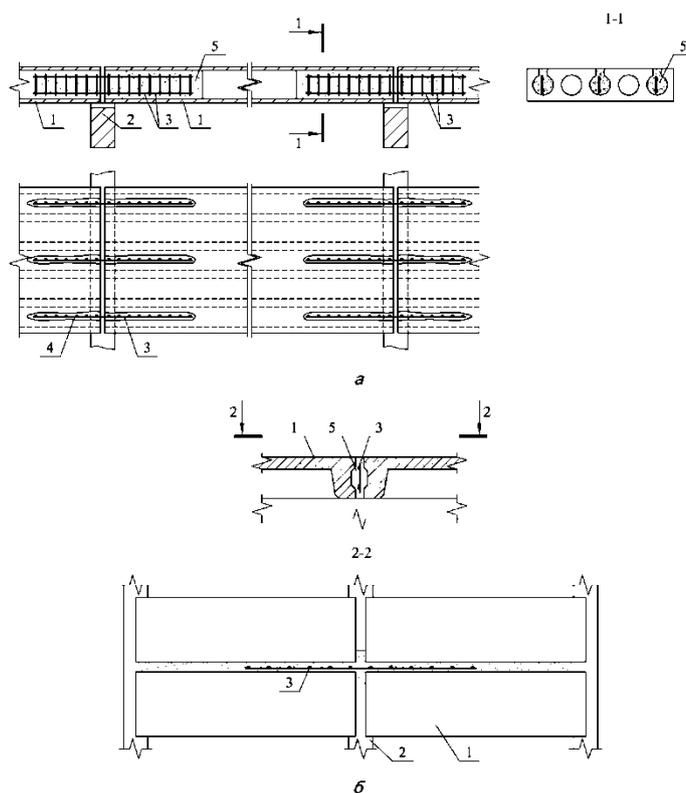


Рис. 8.12. Усиление конструкций обеспечением их неразрезности: а – при бетонировании пустот многопустотных плит; б – при бетонировании расширенных швов между плитами; 1 – усиливаемые плиты; 2 – ригель; 3 – арматурный каркас; 4 – отверстия в полках плит; 5 – бетон

Усиление многопролётных шарнирно опёртых конструкций может производиться установкой дополнительных связей над опорами в виде надопорной арматуры с целью обеспечения неразрезности усиливаемой конструкции. Дополнительная надопорная арматура может устанавливаться при наращивании в верхней зоне конструкций, при бетонировании расширенных швов между плитами перекрытия или вскрытых пустот смежных многопустотных панелей (рис. 8.12).

При устройстве усиления конструкций с обеспечением их неразрезности следует также, как и при усилении, дополнительными опорами, стремиться к максимальной разгрузке усиливаемых конструкций. Усилия в конструкциях определяются отдельно от нагрузок, действующих до замыкания шарниров и от нагрузок, которые прикладываются после замыкания шарниров.

В первом случае принимается первоначальная расчетная схема, а во втором случае – изменённая с учетом неразрезности. Расчётные усилия в сечениях

конструкций определяются как сумма усилий, полученных по первой и второй схемам. Увеличением жёсткости отдельных пролетов или опорных зон можно регулировать перераспределение моментов и поперечных сил.

При проектировании усиления конструкций обеспечением их неразрезности дополнительная арматура должна заводиться за точку нулевых моментов объемлющей эпюры на длину не менее $15d$, где d - диаметр дополнительной надопорной арматуры. При этом должна обеспечиваться прочность контактного шва.

Для уменьшения изгибающих моментов в колоннах многоэтажных многопролетных зданий от воздействия ветровой нагрузки устраиваются дополнительные крестовые или порталные связи из прокатных профилей, которые закрепляются на колоннах с помощью окаймляющих стальных уголков.

Усиление балок путем включения их в совместную работу с железобетонными плитами настила производится с установкой дополнительных упоров, препятствующих сдвигу настила относительно балок. При усилении без предварительной разгрузки комбинированная конструкция включается только на ту часть нагрузки, которая приложена после усиления.

Усиление и восстановление каменных конструкций с применением полимерных и композитных материалов.

Общие сведения. Достоинства использования полимерных композиций при восстановлении и усилении железобетонных и каменных конструкций.

В железобетонных, каменных и деревянных конструкциях могут возникнуть различные по характеру трещины, дефекты и повреждения в зависимости от условий эксплуатации, при транспортировании, монтаже и др. Можно отметить следующие виды дефектов и повреждений местного значения в конструкциях, оказывающих негативное влияние на их работу: трещины в бетоне и каменной кладке; сколы бетона с обнажением или без обнажения арматуры; раковины с обнажением и без обнажения арматуры; участки сла-

бого бетона или каменной кладки; обнажения арматуры вследствие недостаточного защитного слоя бетона; выщелачивание бетона с образованием в нем каверн и пустот; износ поверхности бетона с обнажением или без обнажения арматуры; внутренние пустоты и каверны в бетоне и др.

Во многих развитых странах объем материальных ресурсов, затрачиваемых на поддержание эксплуатационных свойств зданий и сооружений сравним с затратами на возведение новых.

Опыт показывает, что ремонтные работы, выполняемые традиционными методами, не всегда эффективны и обычно требуют увеличения объёма исходных элементов, что влечет за собой уменьшение объёма помещения. Кроме того, ремонтные работы в условиях эксплуатируемого жилого здания зачастую требуют отселения жильцов на продолжительные сроки.

В последнее время стали доступны современные технологии ремонта и усиления конструкций, широко используемые за рубежом. В первую очередь, это полимерцементные составы с высокой адгезией к «старому» бетону, мигрирующие ингибиторы коррозии арматуры, композитные материалы для усиления на основе базальтовых, арамидных, углеродных или стеклянных волокон. Новые технологии позволили резко увеличить межремонтный период, выполнять ремонт и усиление конструкций в кратчайшие сроки без увеличения постоянных нагрузок и изменения объема внутренних помещений.

Устранение указанных выше дефектов и повреждений в конструкциях не всегда достигается применением цементных композиций. Общеизвестно, что ликвидировать их наиболее целесообразно с помощью полимерных композиций. Эффективны они также для применения в конструкциях не имеющих повреждений, но требующих усиления в связи с увеличивающимися при реконструкции эксплуатационными нагрузками или из-за изменения схем работы конструктивных элементов зданий и сооружений.

Традиционные методы омоноличивания бетонных и железобетонных конструкций и восстановления каменных конструкций, связанные с применением композиций на цементном вяжущем, а также со сваркой арматурных стержней, имеют следующие недостатки:

длительные сроки твердения;

невозможность получения равнопрочного соединения бетон - бетон;

невозможность проведения работ при отрицательных температурах;

невозможность склеивания разнородных материалов бетон – листовой материал;

невозможность получения равнопрочного соединения арматурных стержней при сварке.

Метод усиления железобетонных конструкций путем внешнего армирования композиционными материалами холодного отверждения позволяет значительно (в некоторых случаях – кратно) повысить их несущую способность, трещиностойкость и жесткость. Следует отметить, что благодаря высоким физико-механическим характеристикам внешнего армирования усиливающие элементы практически не увеличивают вес конструкций (обычно толщина усиливающих элементов не превышает 2–3 мм), а строительно-монтажные работы не сопряжены с большими трудозатратами и сроками выполнения работ. Суть метода заключается в повышении (или восстановлении) прочности конструкции путем наклейки на ее поверхность полос высокопрочных материалов с помощью специального адгезива, как правило, на эпоксидной основе. Использование такой технологии позволяет проводить усиление балочных и плитных конструкций на действие изгибающего момента, наклонных сечений стержневых элементов на действие поперечной силы, центрально или внецентренно сжатых колонн, перекрытий в зоне отверстий или проемов, ограничивать раскрытие имеющихся трещин, проводить восстановление монолитности кирпичной кладки.

От указанных недостатков позволяет избавиться применение клеевых композиций на основе полимерных связующих. Высокая клеящая способность

полимеров позволяет решать многие инженерные задачи, в том числе по усилению и ремонту железобетонных и каменных конструкций, по новому – более технологично и планомерно.

Поэтому в последние годы наряду с традиционно применяемыми материалами для усиления, ремонта и восстановления конструкций все более широкое применение находят полимерные клеи, растворы и бетоны. Целесообразность применения полимерных составов устанавливается в зависимости от конкретных условий эксплуатации конструкций, наличия материалов и обеспечения условий для работы с их компонентами. В связи с повышенной стоимостью полимерных материалов их применение должно ограничиваться случаями, когда цементные композиции не могут быть использованы, вследствие низкой механической прочности, недостаточной адгезии к ремонтируемой поверхности, ограниченными сроками проведения ремонтных работ, необходимостью повышения химической стойкости и абразивостойкости ремонтируемого участка конструкции. Полимерные составы рекомендуется применять для устранения дефектов и повреждений путем:

- инъектирования трещин в железобетонных и каменных конструкциях с целью восстановления их монолитности или создания новых монолитных элементов, выполняемого при помощи специальных устройств, выбираемых в зависимости от параметров трещин, характера работы конструкции, вязкости полимерраствора и т. п.;

- добетонирования железобетонных конструкций при помощи наполненных полимеррастворов;

- адгезионных обмазок при помощи полимеррастворов для последующей укладки «нового» бетона при усилении наращиванием сечений или осуществления кладки;

- омоноличивания отдельных каменных блоков или элементов железобетонных конструкций при помощи высоконаполненных перераспределяющих прокладок из полимеррастворов;

- клеивания арматурных усиливающих стержней;

- в виде армированных шпонок (ПАШ) армированных шпонок со скобами (ПАШС) для обеспечения связи между сборными элементами или участками, разделенными трещиной;

- устройство бессварных полимеррастворных стыков;

- выполнения аппликации из металлических или пластиковых листов для защиты или усиления конструкций;

- приклеивания «внешней» усиливающей арматуры;

- устройства бандажей из стеклопластика, пропитанного полимерраствором;

- для анкеровки арматуры и закладных деталей в теле бетона без сварки;

- устройства защитных покрытий.

Основной задачей проведения ремонтных работ с применением полимерных составов является предотвращение дальнейшего разрушения конструкции и недопущение снижения или потери несущей способности. Ремонтные работы проводят на конструкциях не требующих дополнительного усиления или на конструкциях, усиленных с помощью дополнительных металлических и железобетонных элементов.

Ремонтные полимерные составы имеют следующие преимущества по сравнению с цементными растворами и бетонами:

высокие прочностные показатели при растяжении (до 25 МПа) и сжатии (до 100 МПа);

высокую адгезию к старому бетону (до 5 МПа) и металлам (до 20 МПа);

стойкость к постоянному действию кислот, щелочей, нефтепродуктов, пищевых продуктов;

непроницаемость для агрессивных газов и жидкостей;

повышенную абразивостойкость и стойкость к ударным и динамическим воздействиям;

укороченные сроки проведения ремонтных работ;

хорошее качество поверхности после отверждения, позволяющее проводить влажную уборку и дезинфекцию.

Инъецирование. Основными факторами, определяющими разрушение каменной кладки при сжатии, являются достижение предела прочности каменной кладки при изгибе, срезе и растяжении ввиду неровностей растворных швов. Прочность камня при сжатии кладки используется лишь частично.

Существенное улучшение работы кладки и повышение ее однородности достигается инъецированием цементных и полимерцементных растворов. Инъекционная композиция при нагнетании в поврежденную или неповрежденную кладку проникает в контактную зону между камнями и раствором, хорошо заполняет вертикальные швы, пустоты кладки, трещины. Растворная постель кладки выравнивается, становится более равномерной, и при этом в сжимаемой кладке снижаются растягивающие и срезывающие напряжения, что и увеличивает ее несущую способность. По данным экспериментальных исследований, прочность неповрежденной кладки при этом увеличивается на 40...75%.

Достоинством усиления инъецированием является возможность его осуществления без остановки производства, при небольших затратах и без нарушения габаритных размеров конструкций.

Инъецирование растворов при восстановлении каменных конструкций заключается во введении в них под давлением через шайбы или штуцера в заранее загерметизированную трещину (рис. 8.13). Технология инъецирования трещин состоит из следующих основных операций:

- подготовка трещин к инъецированию;
- приклейка инъекционных шайб, уголков или, при необходимости, вклеивание штуцеров в заранее просверленные отверстия;
- герметизация трещин;
- инъецирование трещин.

Подготовка трещин заключается в очистке примыкающих к трещине участков от отслаивающихся частиц и штукатурки, очистке от грязи, краски и пыли. Шайбы и уголки с отверстиями приклеиваются на поверхности с тре-

щиной и через отверстия наполняется инъекционный состав. При невозможности устройства шайб или уголков устанавливаются штуцера в предварительно просверленные отверстия (рис. 8.14).

После герметизации трещин проверяется сообщаемость с помощью сжатого воздуха или зажженной свечи, затем нагнетается инъекционный состав с помощью специальных инъекционных устройств снизу вверх при начальном давлении до 0,02...0,05 МПа с последующим доведением до 0,1...0,3 МПа.

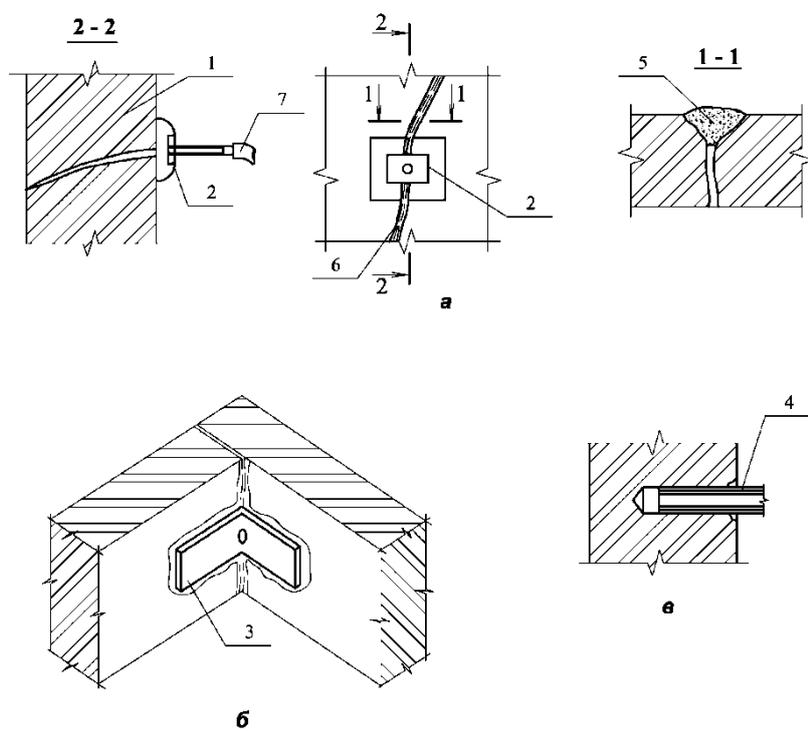


Рис. 8.13. Способы инъектирования трещин: а, б – через шайбу или уголок; в – через штуцер; 1 – стена с трещиной; 2 – шайба; 3 – уголок; 4 – штуцер; 5 – герметизация; 6 – трещина; 7 – гибкий шланг

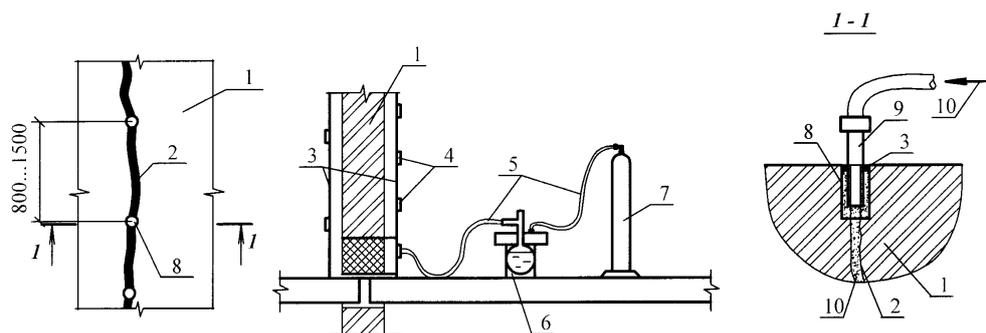


Рис. 8.14. Схема инъектирования трещин в кладке шириной до 10 мм: 1 – усиливаемая стена; 2 – трещина; 3 – герметизация (накля на клею); 4 – шайбы; 5 – шланг; 6 – инъекционное устройство; 7 – баллон со сжатым воздухом; 8 – отверстия диаметром 30 мм для установки инъекторов; 9 – инъекторы; 10 – инъекционный состав

Повышение прочности кладки, усиленной инъектированием в расчетах учитывается введением поправочного коэффициента γ_r , величина которого принимается равной:

1,1 – для кладки с трещинами силового характера, усиленной цементным или цементно-полимерным раствором;

1,3 – то же, усиленной полимерным раствором;

1,0 – для кладки с трещинами от неравномерной осадки стен или нарушения связи между стенами.

Следует отметить, что нагнетание раствора вначале несколько снижает прочность кладки, т.к. происходит ее смачивание, и учитывать, что этот способ усиления поврежденных каменных конструкций проявляет свою эффективность лишь после затвердевания раствора. По опытным данным водонасыщенная кладка теряет прочность на 12...16 %. Поэтому в период усиления инъекционным способом может оказаться необходимым предварительная разгрузка усиливаемых участков кладки или их укрепление на период производства работ.

Фиброармированные пластики – ФАП, из физико-механические свойства. Области применения ФАП.

Усиление конструкций может выполняться композиционными материалами как заводского изготовления (ламинаты), так и создаваемыми непосредственно на строительном объекте из тканей (лент, холстов) за счёт пропитки и наклейки их специальными полимерными составами (в основном на эпоксидной основе). Для усиления железобетонных, каменных и деревянных конструкций внешним армированием применяются композиционные материалы

на основе углеродных, арамидных, базальтовых и стеклянных волокон (фиброармированные пластики – ФАП).

Характеристики материалов усиливаемых конструкций назначают по результатам их обследования в соответствии с требованиями.

Система усиления ФАП используется для усиления:

- изгибаемых конструкций на действие изгибающего и крутящего момента, усилий по наклонным сечениям в приопорных зонах;
- колонн, столбов и опор при действии продольных сил и изгибающих моментов;
- пространственных конструкций (оболочек);
- растянутых элементов железобетонных и деревянных стропильных ферм.

Физико-механические свойства указанных выше тканей и ФАП приведены в справочных приложениях 5...7.

Плотность армирующих волокон ФАП находится в пределах 1,2...2,1 г/см³ и составляет:

- для стекловолокна 1,2...2,1 г/см³;
- для углеродного волокна 1,5...1,6 г/см³;
- для арамидного волокна 1,2...1,5 г/см³.

Коэффициент линейного температурного расширения ФАП зависит от типа волокна, смолы и объёмного содержания волокна (табл. 8.13-Приложение).

Для справки: к.л.т.р. бетона находится в пределах от $7 \cdot 10^{-6}$ до $11 \cdot 10^{-6}$ и считается изотропным. Сталь имеет к.л.т.р., равный $11,7 \cdot 10^{-6}$.

При растяжении ФАП имеют линейную зависимость между напряжениями и деформациями вплоть до разрушения. Свойства ФАП в основном определяются типом, ориентацией и количеством армирующих волокон. Механические свойства всех систем ФАП, независимо от их вида, должны определяться по результатам испытаний образцов слоистого материала с оценкой

объемного удержания волокон, которое должно составлять не менее 60%. Механические характеристики многослойных пластиков определяют путем испытания образцов с соответствующим количеством слоев ткани (ленты).

Максимальная эксплуатационная температура работы системы ФАП не должна превышать температуру стеклования полимерной матрицы и клея (ориентировочно 60-150 °С).

Внешние ФАП используются для продольного и поперечного армирования изгибаемых элементов, для создания армирующих усиливающих обойм на колоннах и опорах мостов, эстакад, консолях колонн, для усиления плит, оболочек, растянутых элементов ферм и других конструкций. Рациональной степенью усиления с помощью системы ФАП является диапазон 10 – 60 % от начальной несущей способности усиливаемой конструкции. Для железобетонных конструкций система усиления ФАП может применяться, если фактическая прочность на сжатие бетона конструкции составляет не менее 15 МПа. Это ограничение не распространяется на усиление сжатых и внецентренно сжатых элементов горизонтальными обоймами, когда важна только механическая связь обоймы с конструкцией. Также эта система достаточно эффективна для повышения трещиностойкости и восприятия сейсмических и динамических нагрузок.

Расчет по прочности нормальных к продольной оси сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных ФАП, следует проводить на основе нелинейной деформационной модели.

За основной метод расчета при проектировании усиления элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений принят метод предельных состояний. Расчет конструкций, усиленных ФАП, по первой группе предельных состояний производится во всех случаях. Расчет по второй группе предельных состояний производится только в тех случаях, когда расчетная нагрузка после усиления увеличивается. Важным условием надежной эксплуатации усиленных с помощью ФАП конструкций является соблюдение конструктивных требований.

Система усиления на основе ФАП проектируется на восприятие растягивающих усилий с учетом совместности деформаций внешней арматуры, внутренней арматуры и бетона конструкции. В предельном состоянии изгибаемого элемента усилия в сжатой зоне воспринимаются бетоном и сжатой стержневой арматурой, а в растянутой – стержневой арматурой и внешней композитной арматурой.

При проектировании усиления железобетонных конструкций системой ФАП принимаются следующие предпосылки:

- в предельном состоянии сжимаемых с малым эксцентриситетом элементов поперечное расширение воспринимается обоймой из ФАП;
- определение внутренних усилий в конструкции производится на основе гипотезы плоских сечений;
- отсутствуют взаимные смещения между стальной арматурой и бетоном, а так же между наклеенной внешней арматурой ФАП и бетонным основанием;
- прочность внешней арматуры из ФАП в сжатой зоне не учитывается, если схема нагружения железобетонных элементов приводит к изменению знака изгибающего момента.

При проектировании усиления конструкций следует учитывать, что несущая способность неусиленной конструкции должна быть достаточна для восприятия постоянной и ограниченной временной нагрузки в случае повреждения системы усиления вследствие пожара, вандализма или других причин.

Расчет нормальных сечений изгибаемых элементов по прочности предполагает рассмотрение нескольких видов предельных состояний. В общем случае возможны следующие типы разрушения усиленных элементов:

- а) разрушение сжатой зоны бетона до достижения напряжений текучести в стержневой растянутой арматуре; напряжения в ФАП значительно ниже расчетных (переармированная растянутая зона);
- б) наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующий разрыв внешней арматуры ФАП без разрушения сжатой зоны бетона;

в) наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующее разрушение внешней арматуры ФАП и сжатой зоны бетона;

г) разрушения от отслоения элементов ФАП.

При усилении изгибаемые элементы рекомендуется проектировать на случаи разрушения «б» и «в» так как разрушение по типу «а» связано с недоиспользованием механических свойств стержневой и внешней арматуры.

При подборе площади сечения внешней арматуры из ФАП нельзя допускать превышения граничных процентов армирования.

Расчет по прочности нормальных сечений следует производить в зависимости от соотношения между значением относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = x/h_0$, определяемым из соответствующих условий равновесия, и значением граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_R , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой стальной арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению R_s . При этом также нужно учитывать соотношение между значением относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi_f = x/h$ и значением граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_{Rf} , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре из ФАП напряжения, равного её расчетному сопротивлению R_{fu}^* .

Системы ФАП также могут быть использованы для усиления наклонных к продольной оси сечений изгибаемых элементов. Усиление достигается наклеиванием ФАП в поперечном направлении к оси элемента или перпендикулярно потенциальным трещинам в опорном сечении (рис.4).

На рис. 8.15. а приведены основные схемы наклейки, используемые при усилении наклонных сечений. Для балок в основном используется наклейка ФАП с трех или двух сторон элемента.

Номинальная прочность наклонных сечений элемента, усиленного системой ФАП, должна превышать требуемую прочность. В общем виде условие прочности наклонных сечений элемента, усиленного ФАП записывается в виде

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{sw} + \psi_f Q_f$$

ψ_f – коэффициент запаса, зависящий от схемы ФАП.

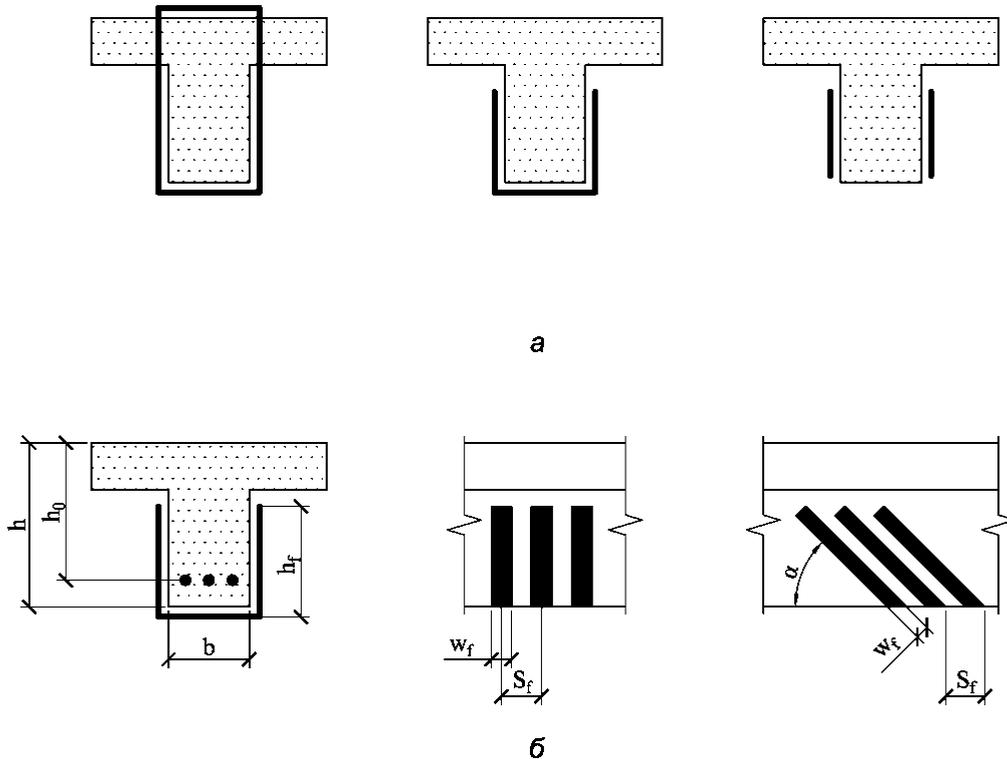


Рис. 8.15. Усиление ФАП наклонных сечений изгибаемых элементов: а – схемы наклейки ФАП; б – размещение ФАП хомутов; h – высота элемента; h_0 – расчетная высота сечения; h_f – высота наклейки ФАП; b – ширина ребра элемента; w_f – ширина хомута ФАП; s_f – шаг между осями хомутов; α – угол наклона хомутов к продольной оси элемента

Применение ФАП в изгибаемых элементах обеспечивает также повышение трещиностойкости и жесткости железобетонных элементов. Это происходит за счет сдерживания и перераспределения деформаций в растянутой зоне. На рис. 8.15, б приведены параметры, которые используются для определения прочности наклонных сечений с учетом ФАП. Вклад системы ФАП в увеличение прочности на сдвиг элемента основан на работе соответствующего направления фибры по отношению к предполагаемой траектории трещины.

Результатами исследований установлено, что при разгрузении усиленных конструкций по наклонному сечению напряжения в хомутах из композиционных материалов не достигают предельных значений сопротивления растяжению, при этом предельное значение поперечной силы, воспринимаемой

элементами усиления из композиционных материалов в большей степени зависит от надежности их сцепления с основанием, которое в свою очередь зависит не только от физико-механических характеристик элементов усиления, бетона основания и адгезии клея к основанию, но и от жёсткости элементов усиления. Учёт особенностей работы хомутов из композиционных материалов в наклонном сечении осуществляется ограничением их расчётного значения сопротивления растяжению. В зарубежных нормах предложены различные эмпирические зависимости для расчётного сопротивления растяжению хомутов из композиционных материалов, принимаемого при расчёте усиленных конструкций по наклонным сечениям.

Сжатые элементы

Композитные материалы, армированные стеклянными, углеродными или арамидными волокнами, могут применяться на внешних поверхностях для восстановления утерянной несущей способности колонн в случае потери части сечения арматуры вследствие ее коррозии, недостаточной прочности бетона или для повышения несущей способности в случае увеличения действующих нагрузок.

В предельном состоянии сжимаемых с малым эксцентриситетом конструкций поперечное расширение воспринимается оболочкой из ФАП.

Повышение несущей способности колонн на действие продольных усилий может быть обеспечено наклейкой композита в поперечном направлении, а при совместном действии продольных усилий и изгибающего момента в продольном и поперечном направлениях.

Усиление прямоугольных колонн созданием обойм из композиционных материалов в поперечном направлении ограничено соотношением сторон поперечного сечения $\frac{h}{b} \leq 1,5$.

Круговое обертывание ФАП вокруг определенных типов элементов, работающих на сжатие, создает ограничение деформированию в поперечном направлении обоймы с ориентацией волокон в поперечном направлении и

приводит к увеличению несущей способности при сжатии. При увеличении сжимающих нагрузок обойма испытывает растяжение, сдерживая развитие поперечных деформаций. Для надежной работы обоймы необходим ее плотный контакт с элементом; величина сцепления с бетоном здесь решающего влияния не оказывает.

При использовании обойм из ФАП увеличивается общая пластичность сечения из-за способности развивать при сжатии более высокую деформацию до разрушения. Обойма ФАП может также отсрочить искривление стальной продольной арматуры, работающей на сжатие, и усилить место нахлесточного соединения стальной продольной арматуры, а также зоны сопряжения с балками и перекрытиями.

Обоймы ФАП также используются для повышения сейсмостойкости колонн, опор мостов и т.п.

Растянутые элементы

Системы ФАП можно использовать для обеспечения дополнительной прочности растянутых железобетонных элементов. Благодаря линейно-упругой работе материалов ФАП, вклад её в увеличении прочности на растяжение линейно связан с уровнем деформации и вычисляется по закону Гука.

Для железобетонных конструкций расчет системы усиления на основе ФАП требует рассмотрения нескольких видов разрушения и предельных состояний усиленного элемента. Поэтому вначале рекомендуется ориентировочно назначить площадь сечения ФАП выбранного типа и затем изменять её в соответствии с результатами проверок соответствующих предельных состояний. Расчеты проводятся итерационно, поэтому желательно применение компьютерных программ для автоматизации вычислений, при этом определение усилий в элементах конструкций производят с учётом данных, полученных при обследовании, предшествующим усилению.

Следует отметить, что использование системы ФАП не останавливает начавшиеся процессы коррозии арматурной стали в бетоне. Поэтому перед

усилением конструкции необходимо обработать бетонную поверхность мигрирующим ингибитором коррозии арматурной стали, а при отделении защитного слоя – оголить арматуру и обработать её грунтом – преобразователем ржавчины и затем восстановить защитный слой специальными полимерцементными ремонтными составами, обеспечивающими высокую адгезию к «старому» бетону и предотвращающими развитие коррозии арматуры.

Конструкция усиливающих накладок (форма, размеры, количество слоёв) назначается на основании расчётов. Максимальное количество слоёв в накладке ограничивается расчётной силой сцепления с поверхностью основания.

Повышение несущей способности перенапряженной кладки.

Замена конструкций в перестраиваемых зданиях

Восстановление и усиление отдельных конструктивных элементов зданий из каменной кладки

Усиление и восстановление отдельных элементов

Восстановление и усиление отдельных элементов зданий из каменной кладки (столбов, простенков, перемычек, участков перекрытий отдельных участков стен и узлов их сопряжений) в зависимости от технического состояния кладки, установленного при обследовании, сводится к трем основным случаям:

1. Несущая способность кладки с учетом имеющихся ослаблений достаточна. Повреждения кладки незначительные, общее состояние кладки работоспособное, снижение несущей способности не более 15% от первоначальной.

В этом случае проведение особых конструктивных мероприятий по восстановлению не требуется. Имеющиеся трещины заделываются раствором.

2. Несущая способность кладки по расчету достаточна и усиления не требуется, но ослабление кладки превышает $1/3$ первоначальной прочности, имеет место значительное расслоение кладки и большое количество трещин. Техническое состояние кладки оценивается как ограниченно работоспособное.

В этом случае производится восстановление путем местной перекладки захваченного глубокими трещинами участка стен, мелкие трещины затираются раствором. При сквозных трещинах перекладка ведется по очереди с двух сторон на толщину половины кирпича с каждой стороны. Столбы и простенки оштукатуриваются по конструктивной сетке из арматурной стали диаметром 4...6 мм с ячейками 15x15 см.

3. Несущая способность каменных элементов недостаточна, их техническое состояние оценивается как недопустимое (неработоспособное), требуется выполнение усиления.

Одним из наиболее эффективных методов повышения несущей способности существующей каменной кладки является включение ее в обойму. В этом случае кладка работает в условиях ограничения поперечных деформаций, а при использовании напряженных поперечных элементов обоймы – в условиях всестороннего сжатия, что существенно повышает сопротивление кладки воздействию продольной силы.

Устройство обоек повышает несущую способность кладки в $1,25 \div 2,5$ раза при незначительных трудозатратах. Обоймами усиливают как отдельные конструктивные элементы (столбы, простенки) (рис. 8.16), так и участки стен, работающие на центральное и внецентренное сжатие (рис. 8.17).

Наряду с традиционными решениями усиления каменной кладки всё более широкое применение находит метод усиления с использованием композитных материалов, который в ряде случаев является более эффективным. Ос-

новой технологии является инъектирование имеющихся трещин специальными растворами, выравнивание поверхности в зоне наклейки лент из углеродистых или стеклянных волокон, создание бандажей из композитных материалов с наружной и, при необходимости, с внутренней поверхности (при наличии сквозных трещин). Созданные таким образом бандажи включают в работу большую зону кирпичной кладки (рис. 8.17, г, 8.17, в).

Применяют четыре основных вида обойм: стальные, железобетонные, армированные растворные и из угле- и стекловолокна.

Основными факторами, влияющими на эффективность обойм, являются: процент поперечного армирования обоймы (хомутами), класс бетона или марка штукатурного раствора и состояние кладки, а также схема передачи усилия на конструкцию.

С увеличением процента армирования хомутами прирост прочности кладки растет не пропорционально, а по затухающей кривой.

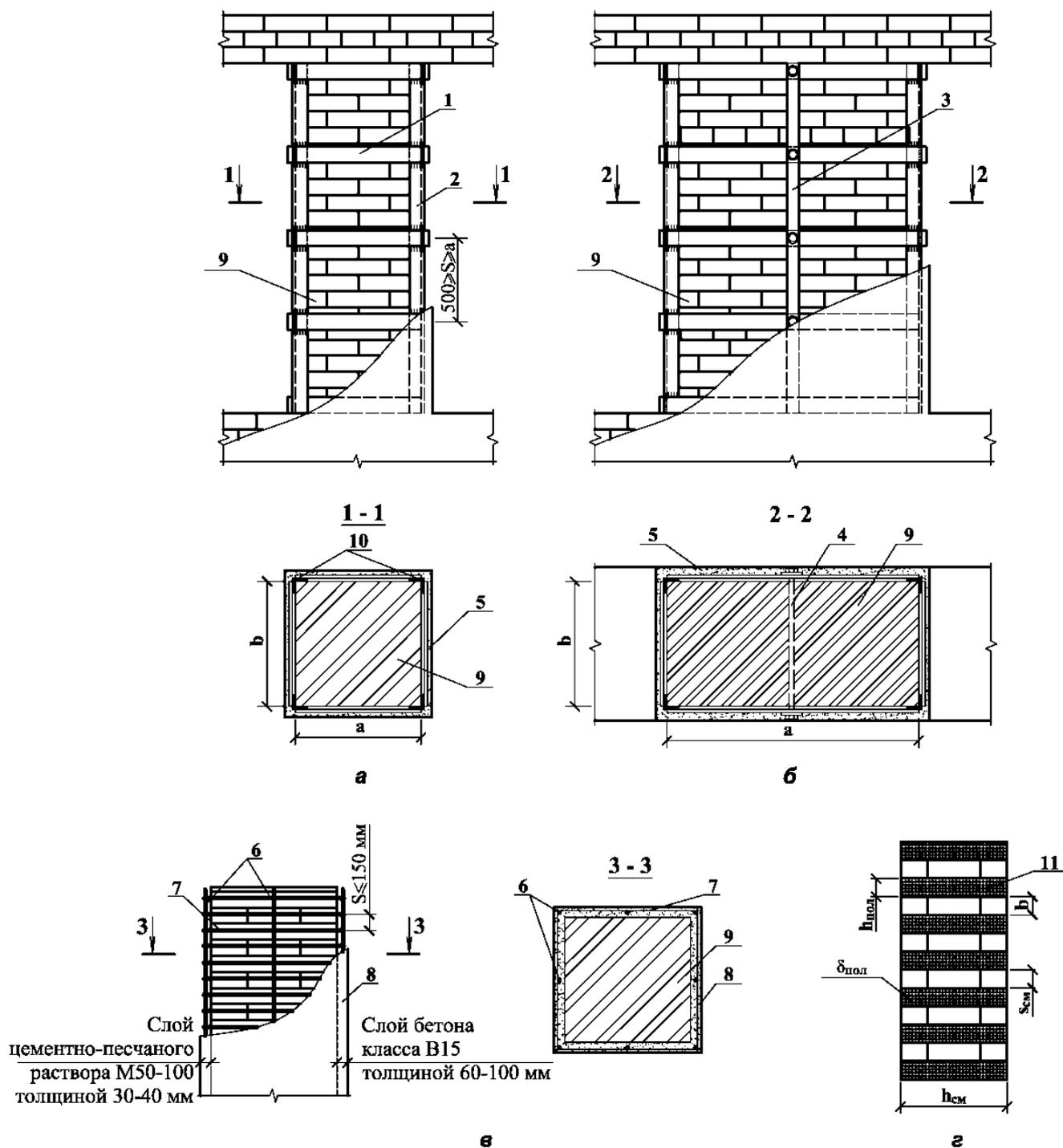


Рис. 8.16. Усиление каменных конструкций устройством обоймы: а – стальной, при соотношении сторон сечения меньше 1:2; б – то же, при соотношении сторон сечения больше 1:2; в – железобетонной и растворной; г – бандажами из углеволокна; 1 – хомуты (планки) из круглой или полосовой стали; 2 – уголки; 3 – промежуточные вертикальные планки из полосовой стали; 4 – стяжные болты; 5 – слой цементно-песчаного раствора; 6 – вертикальная арматура обоймы; 7 – сварные хомуты обоймы; 8 – растворная или железобетонная обойма; 9 – усиливаемый каменный элемент; 10 – слой цементно-песчаного раствора

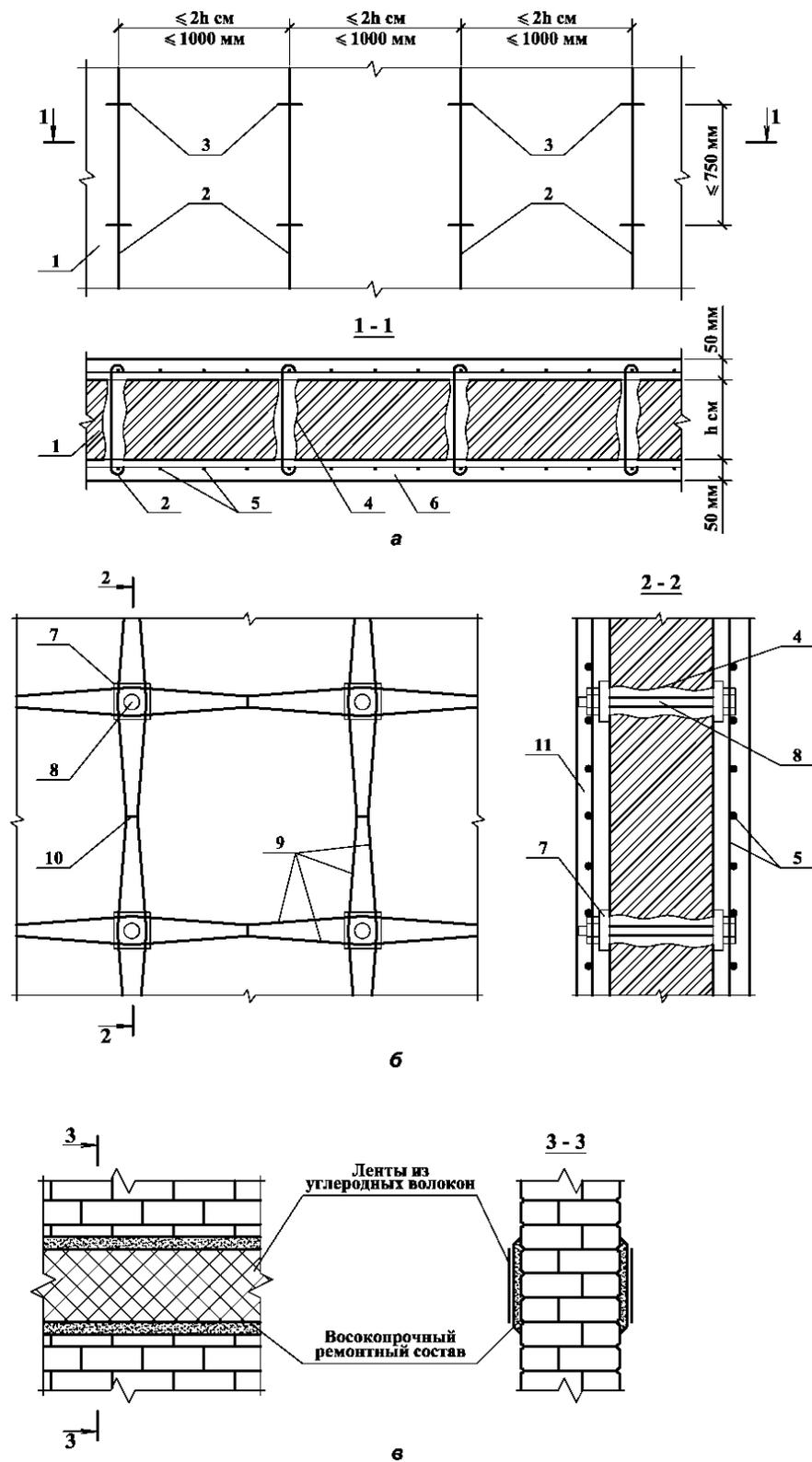


Рис. 8.17. Усиление стен обоями: а – железобетонной; б – штукатурной предварительно-напряженной; 1 – усиливаемая стена; 2 – арматурные стержни $\text{Ø}10\text{--}14 \text{ мм}$; 3 – хомуты-связи $\text{Ø}10 \text{ мм}$; 4 – отверстия в стене; 5 – арматурные сетки, привязанные к арматурным

стержням; 6 – бетон обоймы; 7 – стальные пластины с отверстиями для тяжей; 8 – тяжи-связи; 9 – арматурные стержни, приваренные к пластинам и попарно стянутые; 10 – сжимы; 11 – штукатурка из цементно-песчаного раствора

Опытами установлено, что кирпичные столбы и простенки, имеющие трещины, а затем усиленные обоймами, полностью восстанавливают свою несущую способность.

Стальная обойма состоит из вертикальных уголков устанавливаемых на растворе по углам очищенного от штукатурного слоя усиливаемого элемента, и хомутов из полосовой стали или круглых стержней, приваренных к уголкам. Расстояние между хомутами должно быть не более меньшего размера сечения и не более 50 см (рис. 8.17, а, б). Для включения обоймы в работу зазоры между кладкой и уголками зачеканиваются или инъцируются цементно-песчаным раствором. Стальная обойма должна быть защищена от коррозии слоем цементно-песчаного раствора толщиной 25÷30 мм. Для надежного сцепления раствора стальные уголки закрываются металлической сеткой.

Наряду с обычной стальной обоймой усиление каменных конструкций может выполняться обоймой с предварительным напряжением только поперечных хомутов или с преднапряжением поперечных хомутов и продольных стальных уголков. Обоймы по конструктивному исполнению могут быть навесными и работающими как обоймы-стойки. Несущая способность сжатых элементов из каменной кладки, усиленных предварительно напрягаемыми стальными навесными обоймами равна

$$N = N_{st} + m_g \cdot \varphi_{ms} \cdot \Delta N_{ms},$$

а обоймами-стойками

$$N = N_{st} + m_g \cdot \varphi_{ms} \cdot (\Delta N_{ms} + n \cdot N_{s2}),$$

где n – число уголков, непосредственно воспринимающих эксплуатационную нагрузку; N_{st} – значение эксплуатационной нагрузки на усиливаемый

элемент на период обследования; m_g —коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки [76]; φ_{ms} – коэффициент продольного изгиба [76]; ΔN_{ms} - приращение несущей способности усиленного элемента; N_{s2} - несущая способность металлических уголков, принимаемая

$$N_{s2} = \min [N_1; N_2];$$

N_1 – несущая способность вертикальных уголков обоймы-стойки из условия устойчивости в точке приложения усилий от поперечных хомутов;

N_2 – то же из условия устойчивости на участке между поперечными хомутами.

При выполнении расчетов усиления учитывать потери предварительных напряжений от усадки раствора между обоймой и кладкой, от релаксации, от деформации обжатия кладки по плоскости трещины. Минимальное значение усилия предварительного напряжения хомутов определяется из условия совместности работы каменной кладки и стальной обоймы.

Условия, при выполнении которых предварительное напряжение создается только в поперечных стержнях, а когда в стальных уголках, а также более подробные сведения по проектированию рассматриваемых обойм приведены в [Черных О.А. Прочность и деформативность каменных столбов, усиленных предварительно напрягаемыми металлическими обоймами].

Железобетонная обойма выполняется из бетона классов В12.5÷В15 с армированием вертикальными стержнями и сварными хомутами. Расстояние между хомутами должно быть не более 15 см. Толщина обоймы назначается по расчету и принимается от 6 до 10 см (рис. 8.16, в; рис. 8.17, а)

Обойма из раствора армируется аналогично железобетонной, но вместо бетона арматура покрывается слоем цементно-песчаного раствора марок М50÷М100 (рис. 8.16, в).

Обойма из композиционных материалов на основе специальных стекло-, арамидных и углеродных волокон, наклеиваемых на усиливаемый элемент специальными клеящими составами (рис. 8.16, г).

Расчет конструкций из кирпичной кладки, усиленных обоймами, при центральном и внецентренном сжатии при эксцентриситетах, не выходящих за пределы ядра сечения, производится по формулам:

при стальной обойме

$$N \leq \psi \cdot \varphi \cdot \left[\left(m_g \cdot m_k \cdot R + \eta \cdot \frac{2,5 \cdot \mu}{1 + 2,5 \cdot \mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) \cdot A + R_{sc} \cdot A'_s \right];$$

при железобетонной обойме

$$N \leq \psi \cdot \varphi \cdot \left[\left(m_g \cdot m_k \cdot R + \eta \cdot \frac{3 \cdot \mu}{1 + \mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) \cdot A + m_b \cdot R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A'_s \right];$$

при армированной растворной обойме

$$N \leq \psi \cdot \varphi \cdot \left[\left(m_g \cdot m_k \cdot R + \eta \cdot \frac{2,8 \cdot \mu}{1 + 2 \cdot \mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) \cdot A \right];$$

при обойме из углеволокна [508]

$$N \leq \psi \cdot \varphi \cdot \left[\left(m_g \cdot m_k \cdot R + \frac{2 \cdot \mu_{нов} \cdot R_{пол}}{100} \right) \cdot A \right].$$

Коэффициенты ψ и η принимаются: при центральном сжатии $\psi = 1$, $\eta = 1$; при внецентренном сжатии (по аналогии с внецентренно сжатыми элементами с сетчатым армированием):

$$\psi = 1 - \frac{2 \cdot e_0}{h}; \quad \eta = 1 - \frac{4 \cdot e_0}{h}.$$

В формулах (1)... (4):

N - продольная сила;

A - площадь сечения усиливаемой кладки;

A'_s - площадь сечения продольных уголков стальной обоймы или продольной арматуры железобетонной обоймы;

A_b - площадь сечения бетона обоймы, заключенная между хомутами и кладкой (без учета защитного слоя);

R_{sw} - расчетное сопротивление поперечной арматуры обоймы;

R_{sc} - расчетное сопротивление уголков или продольной сжатой арматуры;

φ - коэффициент продольного изгиба (при определении φ значение α принимается как для неусиленной кладки);

m_g - коэффициент, учитывающий влияние длительного действия нагрузки;

m_k - коэффициент условий работы кладки, принимаемый равным 1 для кладки без повреждений и 0,7 - для кладки с трещинами;

m_b - коэффициент условий работы бетона, принимаемый равным 1 - при передаче нагрузки на обойму и наличии опоры снизу обоймы, 0,7 - при передаче нагрузки на обойму и отсутствии опоры снизу обоймы и 0,35 - без непосредственной передачи нагрузки на обойму;

μ - процент армирования хомутами и поперечными планками, определяемый по формуле:

$$\mu = \frac{2 \cdot A_s (h + b) \cdot 100}{h \cdot b \cdot s},$$

где A_s - площадь поперечного сечения хомута или планки;

h, b - размеры сторон усиливаемого элемента;

s - расстояние между осями планок при стальных обоймах ($h \geq s \leq b$, но не более 50 см) или между хомутами при железобетонных и штукатурных обоймах ($s \leq 15$ см).

Учитывая, что при дискретном усилении каменных элементов (столбов, простенков) полосами из углеволокна, элементы усиления располагаются не в объеме кладки, как при усилении сетками, а по ее наружной поверхности, вводится коэффициент поверхностного армирования кладки

$$\mu_{нов} = \left(\frac{S_{арм}}{S_{см}} \right) \cdot 100,$$

где $\mu_{нов}$ – коэффициент поверхностного армирования кладки; $S_{арм}$ – площадь поперечного сечения полосы из углеволокна толщиной $\delta_{пол}$, определяемая по формуле (рис. 4, г)

$$S_{арм} = 2 \cdot \delta_{пол} \cdot h_{пол};$$

$S_{см}$ - площадь участка длинной стороны усиливаемого элемента, приходящаяся на одну полосу из углеволокна, определяемая по формуле (рис. 8.16, г)

$$S_{см} = 2 \cdot h_{см} \cdot (h_{пол} + b).$$

Несущая способность сжатого элемента из каменной кладки может быть оценена по условию (ООО «СК Практик»)

$$N \leq \psi \cdot \varphi \left[m_g \cdot m_k \cdot R + \frac{3 \cdot \mu}{1 + 3\mu} \cdot \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot R_{carbone}}{100} \cdot A \right],$$

где $\mu = \frac{2 \cdot A_{carbone} \cdot (h + b)}{h \cdot b \cdot s} \cdot 100$ - процент армирования кладки углеволокном

сечением $A_{carbone}$ при размерах сечения кладки $h \cdot b$ и расстоянием между осями бандажей по высоте кладки s ;

k_1, k_2 – коэффициенты, учитывающие склеиваемость холста ($k_1=0,9$) и дефекты работы ($k_2=0,8$);

h – толщина простенка (стены);

b – ширина простенка.

Соединительные планки стальных обойм рассчитывают как элементы безраскосных ферм :

- на силу, срезающую планки:

$$F = \frac{Q_{fic} \cdot S}{2 \cdot b} \quad)$$

- на момент, изгибающий планку в плоскости:

$$M = \frac{Q_{fic} \cdot S}{4},$$

где Q_{fic} - условная поперечная сила;

S - шаг планок;

b - расстояние между осями ветвей.

Условная поперечная сила ориентировочно определяется:

- для низкоуглеродистой стали:

$$Q_{fic} = 0,2 \cdot A_1,$$

- для низколегированной стали:

$$Q_{fic} = 0,4 \cdot A_1,$$

где A_1 - сечение ветви.

Сварные швы крепления планок к ветвям проверяют на совместное действие срезающих и изгибающих усилий:

$$\tau = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_M^2} \leq 0,7 \cdot R_{wf}, \text{ где } \tau_Q = \frac{F}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}, \tau_M = \frac{M}{W_f} = \frac{6 \cdot M}{0,7 \cdot k_f \cdot l_w^2},$$

где k_f, l_w - катет и длина сварного шва;

β_f - коэффициент условий работы шва;

R_{wf} - расчетное сопротивление шва срезу.

С увеличением размеров сечения (ширины) элементов при соотношении их сторон от 1:1 до 1:2,0 эффективность обойм несколько снижается, однако снижение незначительное, его можно не учитывать.

Когда соотношение сторон сечения элемента превышает указанную выше величину (широкие простенки, стены и т.п.), необходима установка дополнительных поперечных связей, пропускаемых через кладку и располагаемых по длине сечения на расстоянии не более $2h$ и не более 100 см, где h - толщина стены. По высоте стен расстояние между связями должно быть не более 75 см (рис. 8.17, б). Связи должны быть надежно соединены со сталь-

ными элементами обоймы. Расчет дополнительных поперечных связей производится по формуле (3), при этом коэффициент условий работы связей принимается равным 0,5.

Усиление поврежденных элементов обоймами рекомендуется вести с последующей инъекцией поврежденной трещинами кладки цементным раствором, что обеспечивает наиболее высокую несущую способность конструкций.

На рис. 8.18, 8.19 показано усиление столбов из кирпичной кладки, выполненное в музее-заповеднике, являющимся памятником русской архитектуры второй половины XVIII века. Целью усиления являлось устранение повреждений и повышение их несущей способности. Усиление столбов осуществлялось по специально разработанному проекту с выполнением следующих работ:

- инъектирование раствора в трещины кладки;
- разметку поверхности столбов в соответствии с проектом;
- очистку поверхности кладки от отслаивающихся частиц;
- выравнивание очищенной поверхности кладки столбов безусадочной шпатлевкой для реставрации;
- раскройку углеволокна фирмы «Sika» - «SikaWrapHex230C» на полосы проектной ширины;
- приклеивание элементов внешнего армирования из углеволокна с помощью клея «Sikadur 330».

Наряду с описанными методами усиления как отдельно стоящих каменных элементов (столбов, простенков), так и стен, с целью повышения несущей способности, возможно их усиление устройством обойм из сборных плитных железобетонных элементов. Соединение элементов обойм может быть в различных вариантах (рис. 8).

Основным требованием при устройстве таких обойм для эффективного включения их в работу является тщательное заполнение зазоров между

обоймой и поверхностью усиливаемого элемента цементно-песчаным раствором.



Рис. 8.18. Общий вид столбов из кирпичной кладки с повреждениями трещинами



а



б

*Рис. 8.19. Усиление столбов из кирпичной кладки в реконструируемом здании:
а – выравнивание поверхности кирпичной кладки столбов шпатлевкой; б – усиление столбов
бандажами из углеволокна*

Следует отметить, что рассмотренные методы усиления (кроме инъектирования) приводят к увеличению размеров поперечного сечения усиливаемого элемента. В случае же использования металлических обойм или поперечных арматурных стержней (хомутов) при железобетонной (растворной) обойме кроме увеличения размеров простенков возникает проблема, связанная с образованием конденсата на внутренней поверхности стены в зоне металлических уголковых обойм или поперечных арматурных хомутов, пропускаемых через кладку. Кроме этого, использование указанных методов усиления при наличии в межоконном простенке кирпичных четвертей весьма проблематично без их среза. Следует также отметить, что при реконструкции зданий с несущими конструкциями из каменной кладки, являющихся историческими памятниками, применение описанных методов усиления не всегда возможно, либо ведет к изменению архитектурных пропорций сооружения.

Усиление каменных перекрытий

1. При проектировании усиления перекрытий в реконструируемых зданиях следует стремиться к максимальному использованию существующих несущих конструкций при условии, что после восстановления и усиления они будут удовлетворять требованиям по прочности, жесткости, огнестойкости, тепло- и звукоизоляции.
2. Одним из конструктивных решений перекрытий в жилых зданиях старой постройки являются перекрытия в виде кирпичных сводов по стальным балкам (прокатные стальные двутавры, железнодорожные, а иногда и трамвайные рельсы). Такая конструкция встречается в основном в перекрытиях над подвалами или в лестничных площадках. Как правило, они находятся в работоспособном или ограниченно работоспособном состоянии и имеют несущую способность, достаточную для восприятия полезной нормативной нагрузки 15...20 МПа (150...200 кгс/м²).

3. Характерными повреждениями каменных сводчатых перекрытий являются: образование продольных и поперечных трещин; локальные разрушения каменной кладки свода на всю его толщину или часть ее, вызванные зыбкостью и большими прогибами балок; значительная коррозия нижней зоны стальных балок.
4. Восстановление элементов каменных сводчатых перекрытий заключается в зачеканке цементно-песчаным раствором трещин или выкрашившихся растворных швов, перекладке поврежденных или замене разрушенных участков кладки, очистке нижней полки балок от продуктов коррозии, при незначительной ее степени, и оштукатуривание их по сетке. При существенном поражении нижней полки балок коррозией под них подводятся новые стальные балки (сечение новых балок определяется расчетом) с последующей расклинкой зазора между сводами и верхом подводимых балок стальными клиньями. Затем производится оштукатуривание балок по закрепленной к ним сетке. Перед подводкой новой балки необходимо установить временное крепление под два пролета сводов, примыкающих к усиливаемой балке, и срезать полностью нижнюю полку балки заподлицо со сводом. Новую балку рекомендуется делать составной из двух элементов по длине, при этом их стык осуществлять на расстоянии от одной из опор, не превышающем $\frac{1}{3}$ пролета.
5. При изменении функционального назначения этажа, расположенного на перекрытии с каменными сводами, с увеличением полезной нагрузки иногда возникает необходимость в усилении существующих сводчатых перекрытий. Одним из распространенных методов усиления таких перекрытий является преобразование однопролетной схемы в двухпролетную путем подведения разгружающих прогонов и устройства дополнительных опор в виде стальных стоек (трубы, сварное коробчатое из швеллеров и т.п.) или кирпичных столбов. Нередко существующие стальные балки сводчатых перекрытий не отвечают требованиям жесткости на увеличиваемую вновь проектируемую нагрузку, в

этом случае целесообразно усилить балки путем приварки к их полкам полосовой стали на участках с максимальными изгибающими моментами. Сечение полосовой стали назначают по результатам расчета.

6. Усиление непосредственно каменных сводов с целью повышения их несущей способности может быть осуществлено одним из следующих методов: наращиванием железобетонной арочной плиты снизу (рис.8.20, а); подведением разгружающих стальных балок (рис. 8.20, б); устройством железобетонного арочного перекрытия взамен кирпичного (рис. 8.20, в); установкой затяжек для восприятия распора (рис. 8.21, а); наращиванием железобетонной плоской плиты сверху (рис. 8.21, б); наращиванием железобетонной арочной плиты сверху (рис. 8.21, в).
7. Выбор метода усиления сводов производится в зависимости от необходимой степени повышения их несущей способности с соответствующим обоснованием расчетом.
8. При восстановлении перекрытий из кирпичных сводов по металлическим балкам может возникнуть необходимость в их частичной или полной разборке. В этом случае следует иметь в виду, что жесткость балок в горизонтальной плоскости обеспечивается за счет взаимного равновесия горизонтальных составляющих сил (распоров), действующих в зонах опирания сводов на металлические балки. При разборке свода в направлении вдоль балок это равновесие может нарушиться и произойдет смещение балки в сторону разобранного участка и обрушения межбалочного заполнения. Для избежания такого обрушения разборку сводов необходимо выполнять полосами в направлении, перпендикулярном осям балок, или перед началом разборки укрепить все конструкции перекрытия в середине и в четвертях пролетов. Для этой цели можно применять горизонтальные распоры, например, из деревянных брусьев, которые устанавливаются на нижние полки балок в гнезда, пробиваемые в кирпичной кладке.

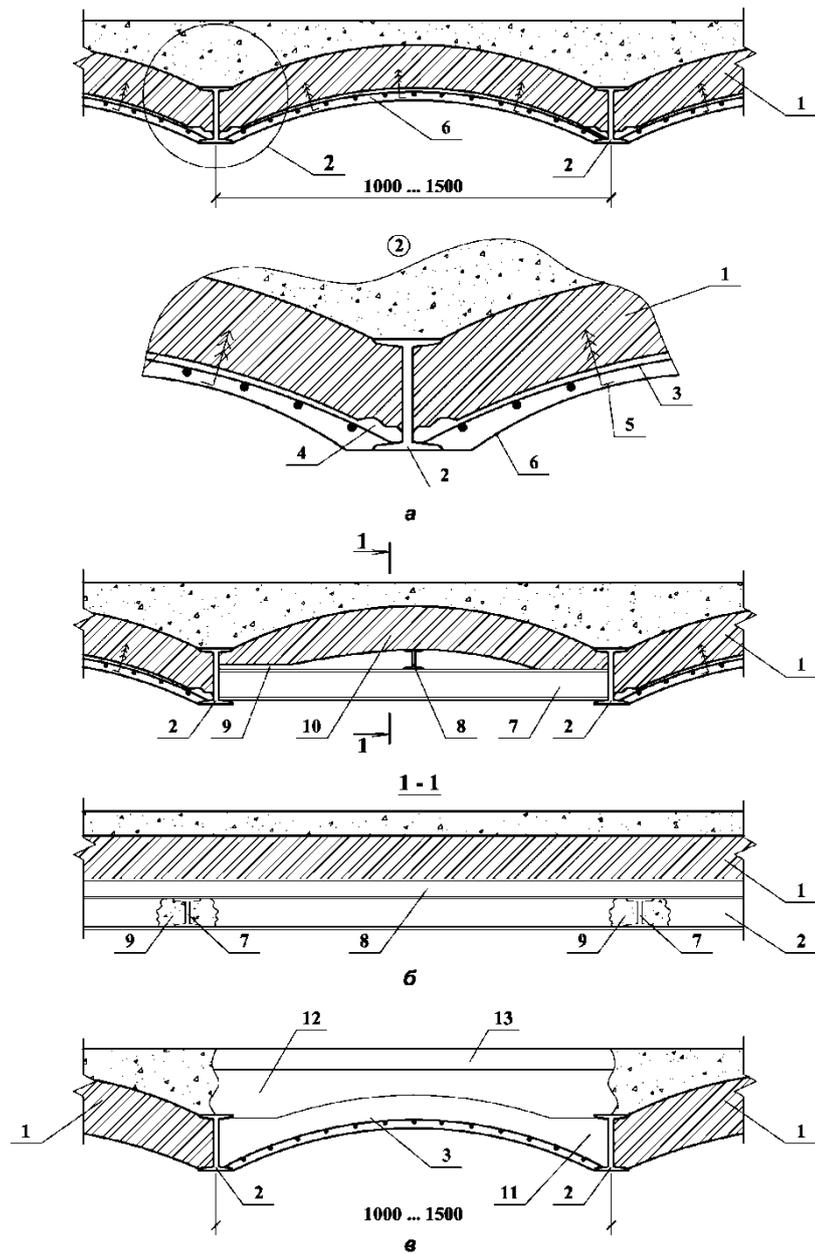


Рис. 8.20. Усиление каменных перекрытий: а – наращиванием железобетонной арочной плиты снизу; б – подведением разгружающих стальных балок; в – устройством железобетонного арочного перекрытия взамен кирпичного; 1 – свод из каменной кладки; 2 – несущие стальные балки (двутавр, рельс); 3 – арматурная сетка; 4 – пазы в перекрытии для опирания железобетонного наращивания; 5 – анкеры (ерши) для крепления сетки, забитые в швы кладки; 6 – железобетонное наращивание в виде арочной плиты; 7 – разгружающие поперечные балки, опирающиеся на несущие балки перекрытия; 8 – разгружающие продольные балки; 9 – ниши в перекрытии (после установки разгружающих балок заделать раствором); 10 – пространство между перекрытием и разгрузочными балками, заложённое каменной кладкой; 11 – арочное железобетонное перекрытие, выполненное вместо кирпичного; 12 – засыпка из керамзитового гравия; 13 – восстановленный пол

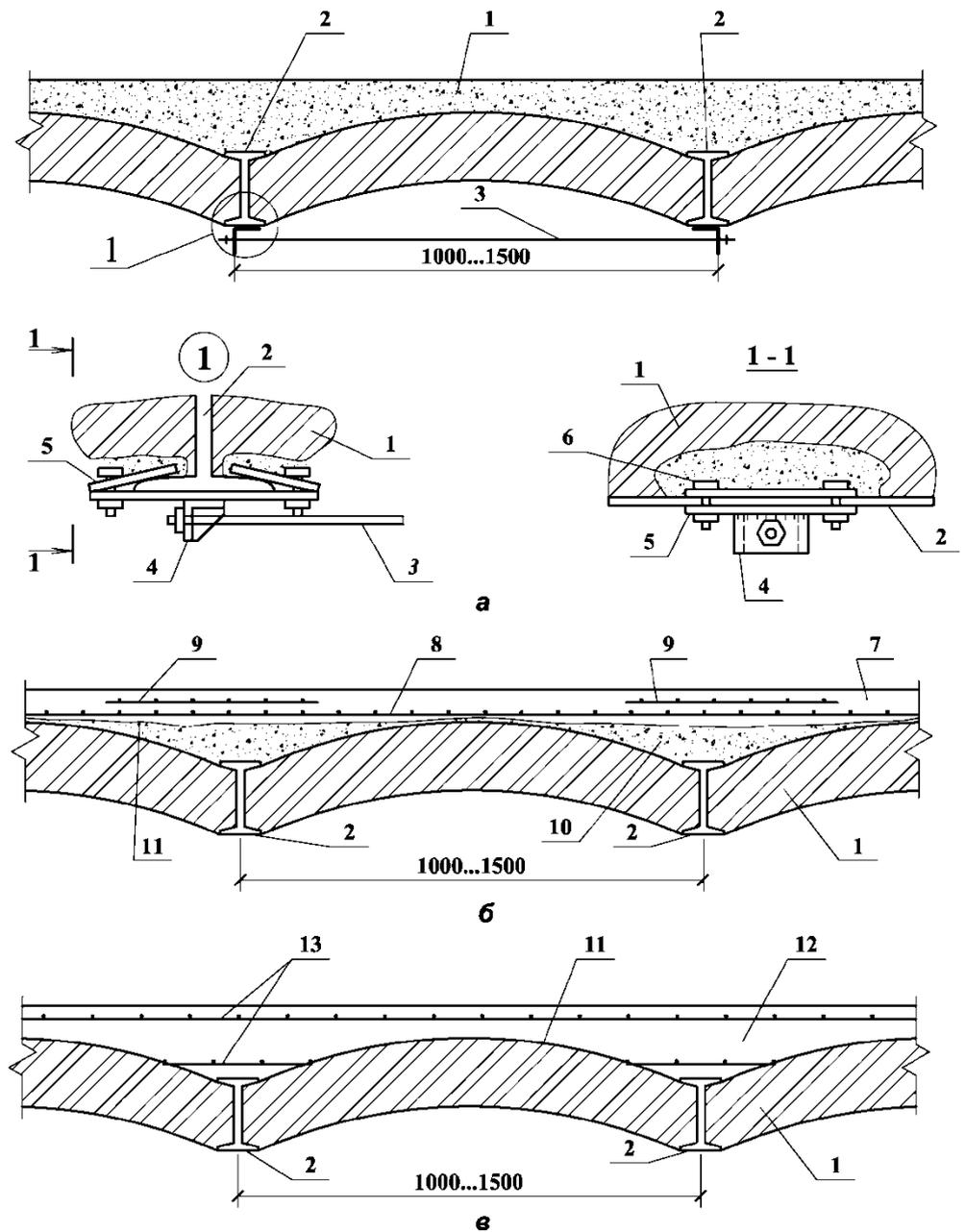


Рис.8.21. Усиление каменных перекрытий: а – установкой затяжек для восприятия распора; б – наращиванием железобетонной плиты сверху; в – наращиванием железобетонной арочной плиты сверху; 1 – свод из каменной кладки; 2 – несущие металлические балки (двутавр, рельс); 3 – затяжка из арматурных стержней с гайками на концах; 4 – упор для затяжки в виде стального уголка с ребрами жесткости; 5 – крепление упора к полке балки с помощью пластин и болтов; 6 – ниши в перекрытии (после устройства крепления заполнить раствором); 7 – наращиваемая железобетонная плита; 8 – нижние пролетные арматурные сетки усиления; 9 – верхние надопорные арматурные сетки усиления; 10 – забутовка из боя кирпича на растворе; 11 – поверхность перекрытия, подготовленная к бетонированию; 12 – наращиваемая арочная железобетонная плита; 13 – арматурные сетки

Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций

Обеспечение надёжности зданий и сооружений, под которой в строительстве понимается способность сооружения функционировать в нормальных условиях эксплуатации в течение заданного срока службы, зачастую требует усиления строительных конструкций как эксплуатируемых зданий, так и зданий, подлежащих реконструкции или находящихся в зоне влияния нового строительства. Опыт показывает, что повреждения конструкций здания происходят в результате взаимодействия ряда факторов, основными из которых являются:

- ошибки при проектировании, возведении и эксплуатации фундаментов;
- развитие недопустимых деформаций зданий и сооружений;
- повреждение фундаментов;
- увеличение нагрузок на фундаменты.

Установление главной причины неблагоприятного состояния здания или неблагоприятного сочетания причин требует от специалиста изучения и анализа всех обстоятельств, влияющих на работу системы "основание–фундамент–наземные конструкции".

Ошибки при проектировании, возведении и эксплуатации фундаментов

Основными причинами отказов фундаментов являются ошибки, допускаемые при проведении инженерно-геологических изысканий, при проектировании, изготовлении и эксплуатации конструкций. Большая часть ошибок носит субъективный характер и может быть устранена при тщательном соблюдении требований соответствующих нормативных документов, при контроле качества изготовления конструкций и при соблюдении норм эксплуатации. Опыт показывает, что ошибки могут произойти на одной из стадий создания фундамента или, что происходит чаще всего, одновременно на нескольких стадиях.

Ошибки могут привести как к отказу фундамента вследствие роста его деформативности, снижения прочности или трещиностойкости, так и к чрезмерному запасу прочности или трещиностойкости. В первом случае ошибка более опасна с точки зрения возможных последствий, но с экономической точки зрения оба типа ошибок одинаково недопустимы, так как могут вызвать большую или меньшую стоимость ремонта (в первом случае) или дополнительные затраты при возведении фундамента (во втором случае).

Помимо субъективных, встречаются и объективные ошибки. Они могут быть вызваны либо внесением в последующие этапы осуществления фундаментов субъективных ошибок, сделанных на предыдущих этапах, либо отсутствием достаточно точных приборов для исследований, адекватных расчётных моделей, экспериментально обоснованных методик расчётов.

Ошибки в проектировании и сооружении фундаментов являются наиболее серьёзными ошибками в строительстве, так как изменение схемы напряжённо-деформированного состояния фундаментов приводит к затруднениям в эксплуатации всего сооружения, к необходимости его ремонта или восстановления. Эти ошибки могут полностью перечеркнуть все сложности расчёта, изготовления и эксплуатации надфундаментных конструкций.

В табл. 4.2.1 приведены типичные ошибки и пути их недопущения. В табл. 2.2 даны основные причины развития неравномерной осадки. В табл. 2.3 приведены мероприятия по уменьшению чувствительности конструкции сооружений к неравномерным осадкам.

Ошибки и пути недопущения и устранения их последствий

1. Ошибки при проведении инженерно-геологических изысканий		
Описание возможных ошибок	Последствия ошибок	Пути недопущения и устранения последствий
1	2	3
Использование при проведении изысканий устаревших нормативных документов и назначение в отчётах "несущего слоя", "рекомендуемого типа фундамента", "расчётного сопротивления грунта" по интуиции на основе предыдущего опыта	Назначение неоптимального варианта фундамента, неточный выбор несущего слоя, неправильный расчёт размеров фундамента	Несущий слой следует назначать при проектировании фундаментов; расчётное сопротивление грунта рассчитывается и назначается исходя из его характеристик и применяемых конструкций и размеров фундаментов; рекомендуемый тип фундамента определяется из вариантного технико-экономического анализа
Назначение глубины скважин при изысканиях без учёта требований проектировщиков	Неизвестна глубина сжимаемой толщи – невозможен точный расчёт осадок, затруднено назначение оптимального варианта фундамента	Глубина скважин назначается с учётом требований проектной организации и норм проектирования
Назначение инженерно-геологических условий площадки строительства без специальных изысканий по аналогии с результатами изысканий на построенных поблизости объектах	Назначение неоптимального варианта фундамента, проектирование фундаментов с заниженной или завышенной несущей способностью. Необходимость затрат на усиление фундаментов	Проведение изысканий на всех площадках строительства, особенно при нерегулярном залегании слоёв грунта, при наличии уклонов рельефа местности, пойм рек и т.д.
Недостаточный объём изысканий, редкое расположение скважин и шурфов, недостаточная глубина, неполная характеристика свойств грунтов (рис. 2.1)	Неполное представление о неоднородности грунтов и неравномерности напластований, что может привести к прогибу или перегибу здания, появлению трещин, необходимости сдвижки строящегося объекта, срубки большого объёма свай и т.д.	Проведение изысканий в полном объёме
2. Ошибки вследствие неточности исходных данных для проектирования		
Неточные данные о нагрузках и других воздействиях. Например, выдача только статических нагрузок от оборудования, которое в действительности создаёт и динамические нагрузки; не указывается возможность агрессивных воздействий технологических жидкостей на грунт при их аварийном выбросе; не	Необходимость последующего усиления фундаментов под оборудование (переход от жёсткой схемы к гибкой или наоборот; увеличение или уменьшение массы фундамента; устройство виброгасителей и др.). Пучение грунта, подъём фундаментов при аварийных выбросах агрессивных жидкостей, нарушение	Представление полных данных о силовых и других воздействиях на фундаменты. Проектирование фундаментов с учётом этих воздействий – устройство гибких или массивных фундаментов, защита специальным покрытием в месте возможного выброса агрессивных жидкостей, за-

указывается односторонний нагрев фундамента и пр.	нормальной эксплуатации здания, трещинообразование при одностороннем нагреве	щита фундаментов от одностороннего нагрева или его учёт при проектировании
Неточные данные о расположении и размерах фундаментов ранее построенных объектов, подземных коммуникаций, расположенных вблизи проектируемого объекта	Неточное или неправильное назначение отметок подошвы фундаментов, возможные деформационные воздействия на фундаменты и конструкции здания	Представление полных данных о расположении и размерах ранее построенных близко расположенных фундаментов и подземных коммуникаций (каналов, тоннелей, трубопроводов и пр.)
Неточные данные об условиях эксплуатации фундаментов	Неучёт при проектировании возможных дополнительных силовых и других воздействий на фундаменты	Представление полных данных о возможных дополнительных силовых и других воздействиях на фундаменты
3. Ошибки в расчёте фундаментов		
Использование неточных расчётных схем – чрезмерно усложнённые или упрощённые расчётные схемы, не отражающие фактического состояния грунта и фундамента, не учитывающие трещинообразование, перераспределение контактных давлений, реализацию распора, внецентренную нагрузку и т.д.	Отличие в величинах и знаках моментов (для статически неопределимых фундаментных плит), неправильное размещение арматуры, её перерасход, снижение фактической прочности и трещиностойкости или их необоснованное повышение	Применение методов расчёта, учитывающих действительную работу железобетона и грунта. Использование готовых программ расчёта на ЭВМ, учитывающих действительную работу железобетона и грунта
Неучёт в расчёте возможных фактических условий производства работ, например, промораживания грунта под подошвой фундаментов под внутренние стены и колонны при их мелком заложении	Дополнительные деформационные воздействия на фундаменты и конструкции здания в связи с промораживанием и оттаиванием основания. Необходимость проведения ремонта	Учёт всех особенностей последующего производства работ при расчёте фундаментов
Неучёт в расчёте возможных воздействий при эксплуатации, например, динамических воздействий большегрузного транспорта на фундаменты, силового воздействия дополнительного пригруза грунта, действия сил отрицательного трения на сваи и др. (рис. 2.2)	Дополнительные деформационные и силовые воздействия на фундаменты и конструкции здания	Учёт при проектировании всех возможных воздействий на конструкции фундаментов
Проведение неполных расчётов – неполный расчёт хрупкой прочности, неучёт распора и т.д.	Возможное исчерпание прочности фундаментов	Подробный расчёт конструкций фундаментов
4. Ошибки при производстве работ		

Недопустимые отклонения прочностных характеристик бетона и стали от проектных	Снижение прочности и трещиностойкости конструкций, возможное хрупкое или вязкое разрушение всего сооружения вследствие разрушения фундамента	Инструментальный контроль характеристик материалов при производстве работ
Недопустимые отклонения геометрических размеров (сечений бетона, положения фундаментов относительно осей здания, положения арматуры)	Снижение прочности и трещиностойкости, действие дополнительных усилий на фундаменты (моментов), возможное хрупкое или вязкое разрушение фундамента	Инструментальный контроль геометрических характеристик фундаментов
Разрушение структуры грунта в котловане вследствие инсоляции, обводнения, высыхания, набухания	Дополнительные осадки фундамента, деформационные воздействия на здание	Принятие мер по предотвращению расструктурирования грунта в котловане
Промораживание дна котлована	То же	Защита дна котлована от промораживания
Неучёт отличия фактических грунтов в основании фундаментов от заложенных в проекте, отсутствие авторского надзора при вскрытии котлована	Дополнительные осадки, деформационные воздействия на фундаменты и здание, действие дополнительных усилий в конструкциях здания	Тщательный авторский надзор, проверка соответствия проектных и фактических грунтовых условий, внесение необходимых изменений в проект при их отличии
Попадание под подошву фундаментов замороженного неуплотнённого (рыхлого) водонасыщенного грунта – наблюдается при разработке котлованов в зимних условиях	Дополнительные осадки, деформационные воздействия на фундаменты и здание	Тщательный контроль котлована перед устройством фундаментов
Недостаточно тщательная заделка стаканного стыка колонн и фундаментов	Изменение расчётной схемы колонн и фундаментов	Контроль качества
Недостаточное уплотнение обратной засыпки пазух фундаментов	Осадка поверхности пола над фундаментами	То же
5. Ошибки при эксплуатации объекта		
Загрузка территории вблизи фундаментов (рис. 2.2)	Передача дополнительной нагрузки на фундамент; осадка фундамента, превышающая расчётную; появление трещин в надфундаментной конструкции	Дополнительный пригруз должен быть учтён в расчётах; сверх расчётной величины загрузка недопустима
Подъём уровня грунтовых вод вследствие поступления технологических стоков в грунт	Дополнительная осадка или просадка грунта, необходимость ремонта	Учёт возможного подъёма уровня грунтовых вод при проектировании

Передача неучтённых в расчёте нагрузок и воздействий на фундаменты, например, загрузка перекрытий сверх расчётной нагрузки, надстройка здания без расчёта, установка дополнительного оборудования с динамическими нагрузками, возведение дополнительных внутренних стен и перегородок, устройство новых каналов, приямков и подпорных стен рядом с фундаментами, что ведёт к изменению ранее принятой расчётной схемы фундамента, оголение стволов свай при разработке новых котлованов	Дополнительные осадки, трещинообразование в фундаментах и конструкциях здания	Учёт возможных силовых и других воздействий при проектировании фундаментов. Недопущение действия неучтённых в расчёте силовых и других факторов без соответствующего расчётного обоснования с возможными мероприятиями по усилению фундаментов. Следует учитывать возможность передачи на основание повышенных нагрузок
Замачивание грунта агрессивными стоками	Преждевременное разрушение фундаментов	Проектирование защитных мероприятий при соответствующем обосновании

Таблица 8.2

Основные причины развития неравномерных осадок

Вид осадки	Причины развития неравномерной осадки	Степень влияния указанных причин на развитие неравномерной осадки
1	2	3
Осадка от уплотнения грунта	<ol style="list-style-type: none"> 1. выклинивание отдельных слоёв грунта в пределах контура здания; 2. линзообразное залегание отдельных видов грунта; 3. неодинаковая мощность слоёв грунта, залегающих в основании; 4. неодинаковая плотность грунта или неравномерное распределение в грунте различных включений (торф и др.); 5. неодинаковые нагрузки на отдельные фундаменты и разные размеры фундаментов при равных контактных давлениях; 6. неодинаковое влияние соседних фундаментов на осадку фундаментов в средних и крайних частях сооружения; 7. одновременное загрузку фундаментов в период постройки сооружения; 8. загрузка отдельных фундаментов нагрузкой меньше проектной; 9. неодинаковое набухание грунта вследствие причин указанных в п.п. 1–4; 	Основное влияние. Неравномерность осадки определяется расчётом
Вспучивание	10. откопка одного котлована на различную глубину;	Незначительное

фундаментов из-за набухания грунта при уплотнении под нагрузкой	<ul style="list-style-type: none"> 11. большее набухание грунта под центральной частью котлована, чем под краями и углами; 12. различная продолжительность набухания грунта в отдельных частях котлована; 13. неодинаковое сопротивление грунта сдвигу вследствие причин, указанных в п.п. 1–4; 	<p>влияние может быть при глубине котлована более 5 м</p> <p>Незначительное влияние при давлении на подошве меньше 0,1 МПа</p>
Осадка разрушения, с пластическими деформациями	<ul style="list-style-type: none"> 14. неодинаковое развитие зон пластических деформаций вследствие причин указанных в п. 5, 7, 8; 15. воздействие метеорологических факторов: промерзание и оттаивание грунта в основании при устройстве фундаментов и строительстве зданий, набухание и размягчение грунта в основании при увлажнении его атмосферными водами, высыхание грунта в основании под воздействием солнечной радиации и ветра; 16. воздействие грунтовых вод: разрушение слоёв грунта гидростатическим давлением, разрушение грунта в результате гидродинамического воздействия, суффозия грунта потоком грунтовых вод в котлован или приямки; 	<p>Большое влияние при недостатках в организации работ</p>
Осадка разрушения вследствие нарушения структуры грунта при производстве работ	<ul style="list-style-type: none"> 17. динамическое воздействие на водонасыщенные, очень пористые пылеватые и глинистые грунты при перемещении механизмов по дну котлована; при ударах землеройных машин о грунт, например, при разработке прочного или мёрзлого грунта; при выполнении взрывных работ около возводимого сооружения 	<p>Небольшое влияние</p>

Таблица 8.3

Мероприятия по уменьшению чувствительности конструкций сооружений к неравномерным осадкам

Вид деформации	Вид сооружения	Рекомендуемые мероприятия
1	2	3
Крен	Жёсткие высокие сооружения	<ul style="list-style-type: none"> 1. возведение сооружений с обратным креном, равным половине расчётного значения; 2. устройство фундаментов с регулируемым креном, регулируемой осадкой; 3. устройство непрерывного армирования вдоль всех наружных и внутренних стен в виде сварной арматуры, железобетонных или железокирпичных поясов; 4. разрезка здания на части осадочными швами, располагаемыми в местах резкой неоднородности грунтов основания, перепадов высот, поворотов здания и в местах температурных швов; 5. увеличение глубины заделки опор перемычек, прогонов и настилов перекрытий; 6. устройство общей перемычки над проёмами разделёнными

		протенками с шириной менее половины высоты проёмов; 7. повышение прочности заделки анкеров перекрытий и прогонов; 8. уменьшение коэффициента условий работы в 1,5 раза при расчёте элементов стен и фундаментов на центральную нагрузку; 9. устройство однотипных несущих конструкций; 10. возведение отдельных колонн на ленточных фундаментах, соединённых с фундаментами наружных стен; 11. устройство осадочных швов в местах примыкания различно нагруженных стен; 12. придание отдельным частям здания различных подъёмов в соответствии с ожидаемыми осадками; 13. устройство жёстких коробчатых фундаментов, забивка свай-стоек;
	Многоэтажные здания с несущими каркасами	14. устройство жёстких фундаментов – перекрёстных сплошных, ребристых плит, коробчатых фундаментов; 15. разрезка здания осадочными швами в соответствии с п. 4; 16. распределение собственного веса конструкций равномерно между отдельными фундаментами;
	Одноэтажные производственные здания	17. устройство свай-стоек; 18. устройство разрезных конструкций; 19. применение гибких неразрезных конструкций; 20. выполнение п.п. 3–5, 8–10, 14;
Перекас		21. выполнение п.п. 2–11 в месте ожидаемого перекаса

Развитие недопустимых деформаций. Общие или местные недопустимые деформации зданий могут возникнуть за счет проявления природных и техногенных процессов, а также за счет ошибок или отклонений от нормативных документов, допускаемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации.

К природным факторам, способствующим развитию неравномерных осадок сооружений, относится неоднородность грунтового основания по площади и по глубине, наличие в нем линз торфа, легко сжимаемого грунта, скопления валунов или других твердых включений, например остатков существовавших ранее построек, наличие пустот и карста. Современные методы расчета позволяют учитывать эти факторы при проектировании фундаментов до минимума снижая их негативное влияние на деформации сооружения. По другому обстоит дело, когда из-за ошибок изыскателей (не выявленные плывуны,

линзы торфа, неправильная оценка карстоопасности участка и т.д.) и проектировщиков (переоценка несущей способности основания, ошибки при проектировании фундаментов примыкающих зданий или подвальных помещений под частью здания и т.д.) эти факторы не учтены или учтены недостаточно. В этих случаях следует ожидать развития существенных неравномерных осадок, превышающих значения допускаемых, что, как правило, сопровождается развитием в конструкциях сооружения осадочных трещин (рис.8.22).

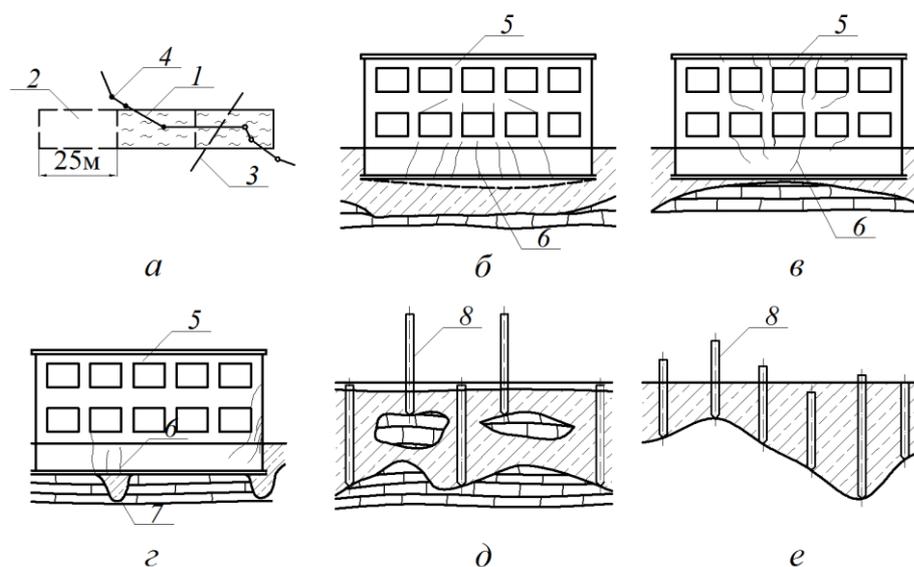


Рис. 8.22. Последствия недостаточного объема гидрогеологических изысканий на предпроектной стадии: а – изменение места расположения здания на 25 м после вскрытия котлована и обнаружения границы резко разнородных грунтов, не установленных изысканиями; б-г – деформации зданий из-за не учета неравномерной толщи сжимаемого грунта, наличия «карманов» и т.п. д, е – недобивка свай из-за сложных грунтовых условий; 1 – начальное положение здания; 2 – положение здания после передвижки; 3 – граница резко разнородных грунтов; 4 – скважины; 5 – здание; 6 – трещины; 7 – «карман» выветривания; 8 – свая

Другой причиной развития недопустимых деформаций является не предусмотренное проектом ухудшение свойств грунтов основания в процессе эксплуатации или строительства здания, которое может произойти по ряду причин.

Одной из таких причин являются колебания уровня подземных вод, вызванные изменением гидрогеологических условий в районе расположения зда-

ния, что приводит к развитию дополнительных деформаций основания. Отрицательное влияние на строительные свойства грунтов оказывают и факторы эксплуатационного характера. К ним относится подтопление и вымывание основания атмосферными, бытовыми или технологическими водами, связанное с низким качеством отмостки и нарушениями в организации отвода дождевых и талых вод от стен здания, устройством дополнительных вводов, а также с аварийными и систематическими сбросами или утечками из коммуникаций. Возможно также промораживание грунтов в подвалах при нарушении режима отопления.

Отдельно следует отметить техногенное загрязнение основания кислотами, маслами и т.п., входящими в технологический цикл ряда производств, что существенно ухудшает свойства грунтов основания.

К значительным ухудшениям строительных свойств верхних слоев грунтов может привести нарушение их природной структуры при разработке котлованов – движение по дну котлована тяжелой техники, что особенно опасно в случае ленточных глин, размораживание котлованов или их заливка водой и последующее вымывание грунтов основания при откачивании воды и т.д.

При отрицательных температурах основания под фундаменты, состоящие, в основном, из глинистых и пылеватых грунтов, мелких и среднезернистых песков промерзают, что может вызвать увеличение их объема – пучение грунтов. Происходит это потому, что в этих грунтах вода в связанном состоянии в капиллярах находится выше грунтовых вод, а при замерзании верхних слоев грунта происходит подсасывание воды из нижних слоев. При этом объем увеличивается и при температуре – 22 °С давление от льда достигает 20 Па, что вызывает разрушение фундаментов и вышележащих стен.

При отрывке котлованов возможен также излишний выбор грунта в основании и плохое уплотнение вновь подсыпанного.

Еще одной причиной недопустимых дополнительных осадков существующих зданий и сооружений является уплотнение грунтов под воздействием

нагрузок, передаваемых на основание новыми постройками, возведенными вплотную к ним или в непосредственной близости от них.

Следует также отметить вибрационные или динамические воздействия на грунты основания от авто- и железнодорожного транспорта, линий метрополитена, оборудования, установленного в сооружении, и промышленных установок, расположенных вблизи существующих зданий.

Характерные повреждения зданий, вызванные некоторыми из перечисленных причин, показаны на рис. 8.23, 8.24.

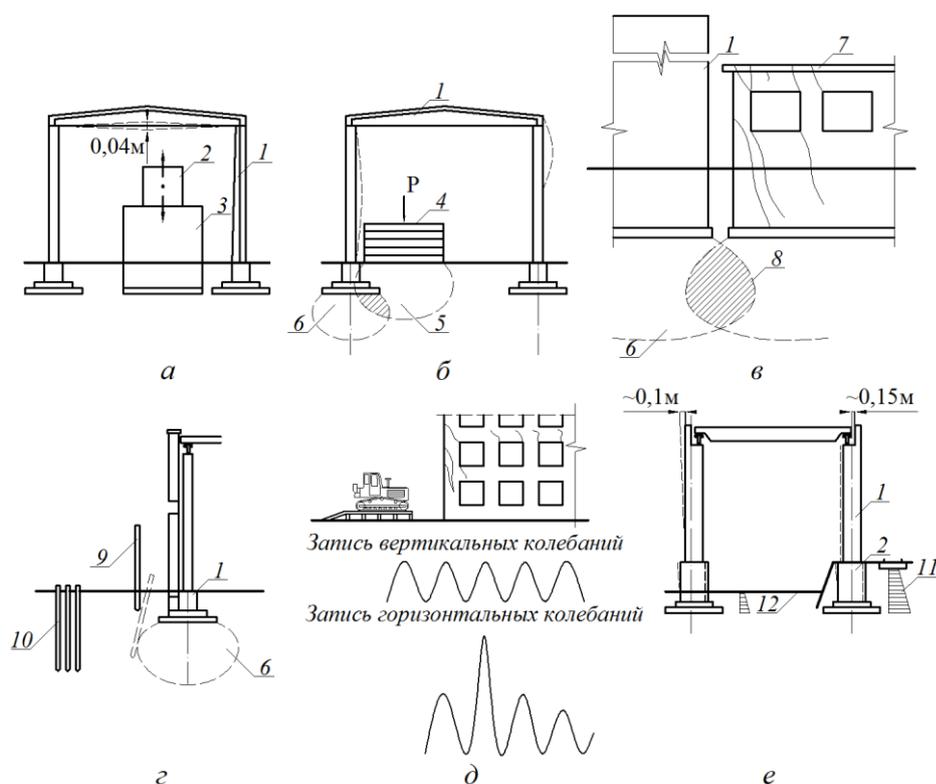


Рис.8.23. Неучет отдельных воздействий при эксплуатации здания при разработке его проекта: а – динамическое воздействие оборудования через грунт и фундамент на здание; б – действие пригруза; в – влияние построенного рядом здания; г – затруднения в погружении свай рядом с ранее построенным зданием; д – воздействие вибрации от машин; е – действие бокового давления грунта на фундаменты; 1 – здание; 2 – оборудование; 3 – фундамент; 4 – пригруз; 5 – уплотненная зона под пригрузом; 6 – уплотненная зона под фундаментом; 7 – ранее построенное здание; 8 – наложение напряженных зон; 9 – сваи, забиваемые рядом с фундаментами здания; 10 – сваи, забиваемые на удалении от фундаментов здания; 11 – боковое давление грунта; 12 – приямок

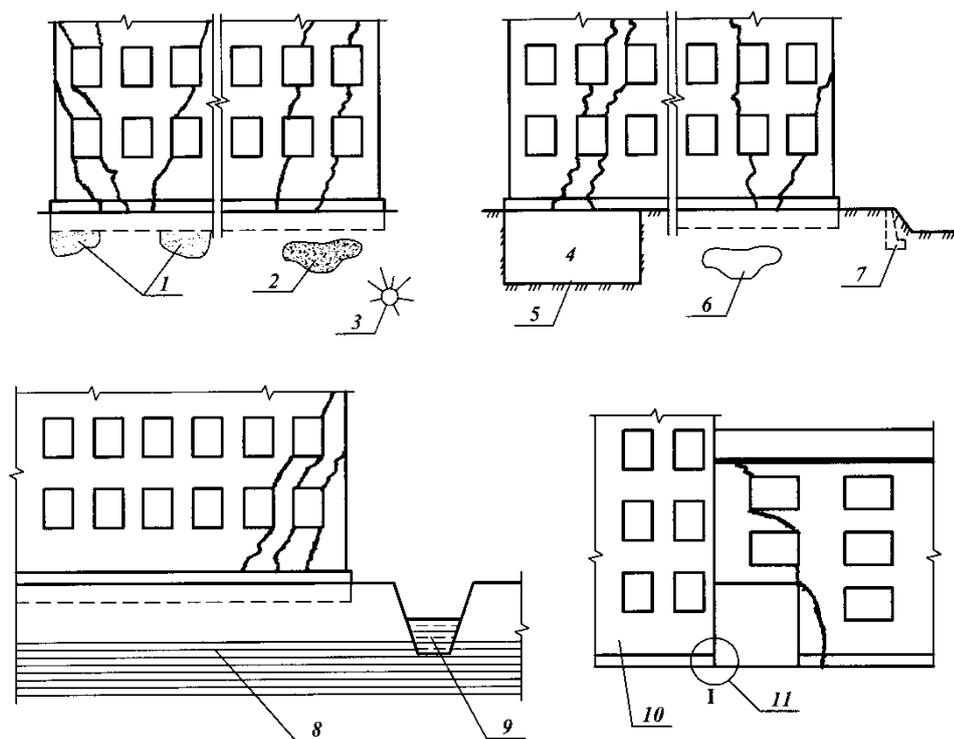


Рис. 8.24. Осадочные трещины в конструкциях: 1 - слабые грунты; 2 - карст; 3 - прорыв водопровода; 4 - подвал; 5 - плотный грунт; 6 - жесткая опора; 7 - сдвиг подпорной стенки; 8 - пилы; 9 - траншея; 10 - пристраиваемое здание; 11 - зона наложения дополнительных нагрузок

Серьезное воздействие на основание и фундаменты существующих зданий может оказать проведение рядом с ними строительных работ. Здесь, прежде всего, надо отметить разработку вблизи существующих зданий котлованов, траншей, прокладку подземных коммуникаций, транспортных тоннелей и т.п. При несоблюдении необходимых технологических требований или в силу допущенных ошибок при проектировании и производстве работ это может привести к промерзанию грунтов под фундаментами (рис. 8.25, а), увеличению осадки за счет смещения шпунтового ограждения (рис. 8.25, б), выпору грунта из-под подошвы фундамента в сторону котлована (рис. 8.25, в), выносу (суффозии) грунта основания фундамента при откачке воды из траншеи, или неравномерным осадкам фундаментов при водопонижении. При строительстве новых зданий вблизи существующих необходимы мероприятия, которые бы препятствовали увлажнению оснований существующих фундаментов при отрывке вблизи них новых котлованов, иначе произойдет их промерзание, и

как следствие, деформации в здании. Примеры возможных деформаций зданий, вызванных откачкой воды из траншеи и при понижении уровня подземных вод, показаны на рис. 8.26 и 8.27.

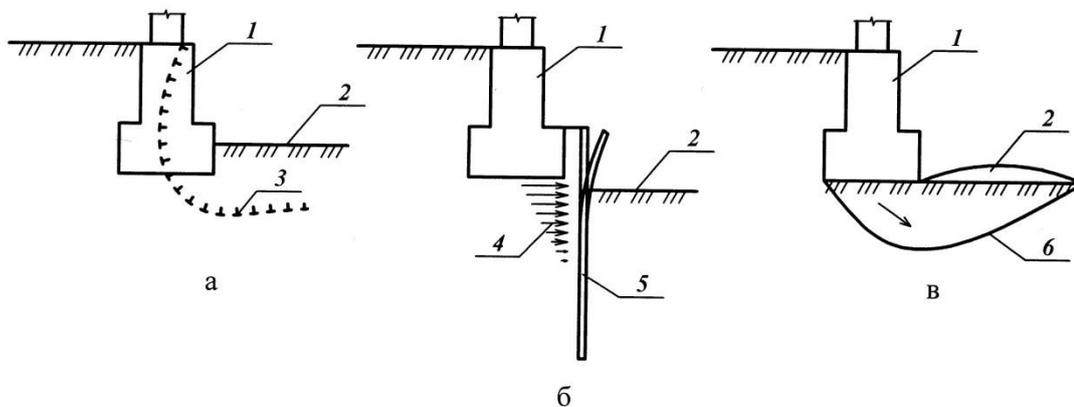


Рис.8.25. Возможные причины развития дополнительных осадок существующих зданий и сооружений (по Б.И.Далматову): 1 – существующий фундамент; 2 – дно траншеи или котлована; 3 – граница промерзания; 4 – давление грунта; 5 – шпунт; 6 – поверхность скольжения

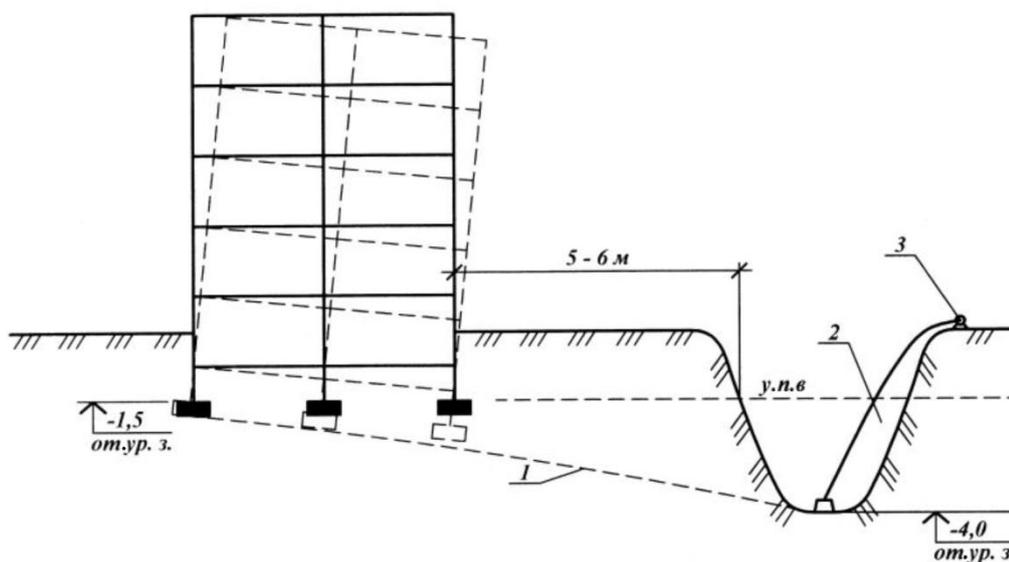


Рис. 8.26. Деформация здания при откачке воды из траншеи: 1 – уровень подземных вод после откачки воды; 2 – траншея; 3 – водоотливной насос

Не менее серьезное влияние на состояние фундаментов и оснований существующих зданий может оказать и само производство строительных работ

на примыкающих площадках. Особенно существенно это влияние проявляется при динамических воздействиях, вызванных погружением шпунта, устройством свайного фундамента или разборкой предназначенного к сносу строения. В Москве отмечен ряд случаев, когда здания получили значительные дополнительные осадки, сопровождавшиеся появлением и развитием трещин на их стенах, уже при организации строительной площадки, при завозе на нее элементов строительных конструкций и материалов и движением по площадке тяжелой строительной техники.

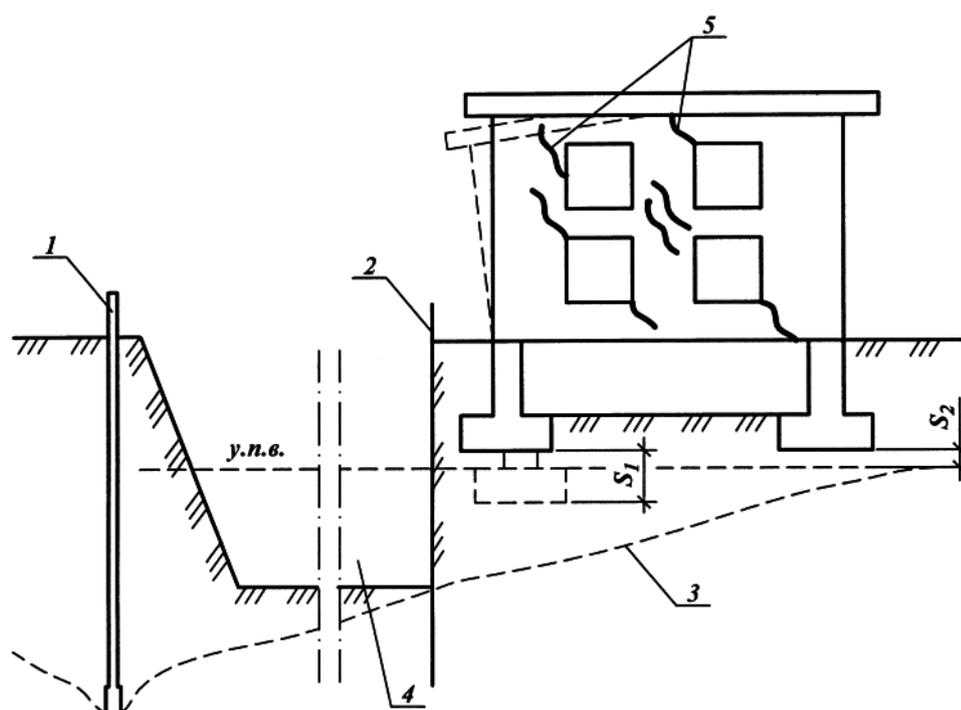


Рис.8.27. Деформации здания при понижении уровня подземных вод: 1 – иглофильтры; 2 – шпунт; 3 – уровень подземных вод после водопонижения; 4 – котлован; 5 – трещины в здании

Несоблюдение жестких требований к правилам проведения строительных работ в стесненных условиях реконструкции может привести к недопустимым деформациям и даже авариям зданий, требующим больших затрат на капитальный и восстановительный ремонт.

Наиболее характерные причины развития неравномерных осадок зданий и сооружений в обобщенном виде приведены в табл.8.2, а рекомендуемые мероприятия по уменьшению чувствительности конструкций к неравномерным осадкам – в табл.8.3.

Повреждение фундаментов. Обычная городская застройка, включая и промышленные предприятия, характеризуется наличием зданий и сооружений, возраст которых может различаться десятилетиями и даже столетиями. Естественно, что конструкции и материалы таких зданий, а также степень их износа могут существенно отличаться. Обследования показали, что здания постройки XVIII-XX вв. возводились, как правило, на ленточных и столбчатых фундаментах, основным материалам которых являлась валунная, бутовая или кирпичная кладка на известковом растворе, иногда подстилаемая песчаной подготовкой или деревянными лежнями, как это показано на рис. 8.28, а. Нередко встречаются фундаменты и на деревянных сваях (рис.8.29, б).

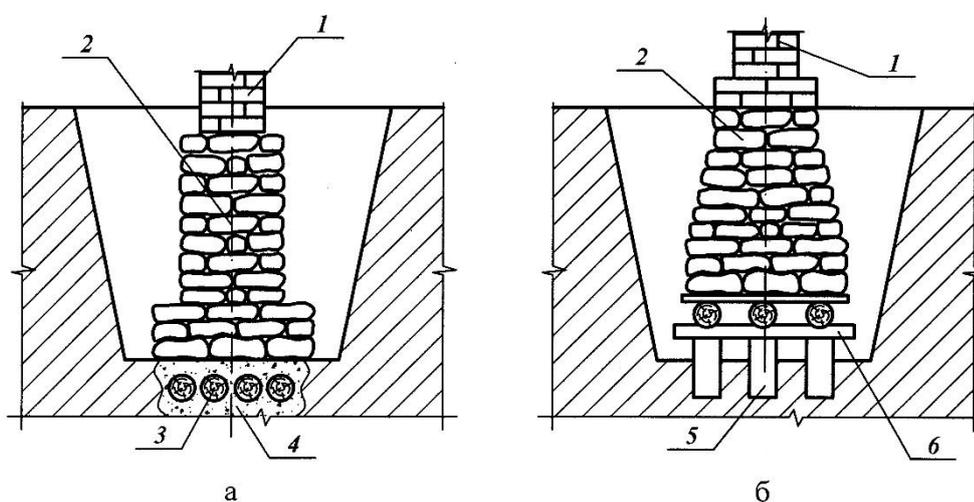


Рис. 8.28. Традиционные конструкции фундаментов старых зданий: а – бутовый фундамент на естественном основании; б – фундамент на сваях; 1 – кирпичная кладка стен; 2 – бутовая кладка на растворе; 3 – деревянные лежни; 4 – каменная забутовка; 5 – деревянные сваи; 6 – деревянный ростверк

При различиях в составе материалов кладочных элементов и связующих их растворов, выделяются типичные конструктивные схемы бутовых фундаментов, показанные на рис. 8.29, 8.30. Анализируя конструкции этих фундаментов можно выделить следующие отдельные составные элементы, присущие бутовым фундаментам (рис.8.29, 8.30) [Коррозия: Справочник /Под ред. Л.Л. Шрайера].

Наиболее распространенной технологией устройства бутовых фундаментов в 17–19 вв. была схема «фундаментный ров». По этой схеме в земляную траншею послойно набрасывался крупный бутовый камень. В пустоты между бутом (крупными валунами или глыбами) засыпался материал более мелкой фракции. Далее, если использовалась техника кладки «под залив», бутовая подушка послойно проливалась строительным раствором. Часто бутовая подушка укладывалась «насухо». В том и в другом случае бутовый материал находился в непосредственно жестком контакте (рис. 8.29, схемы Б, В, Г).

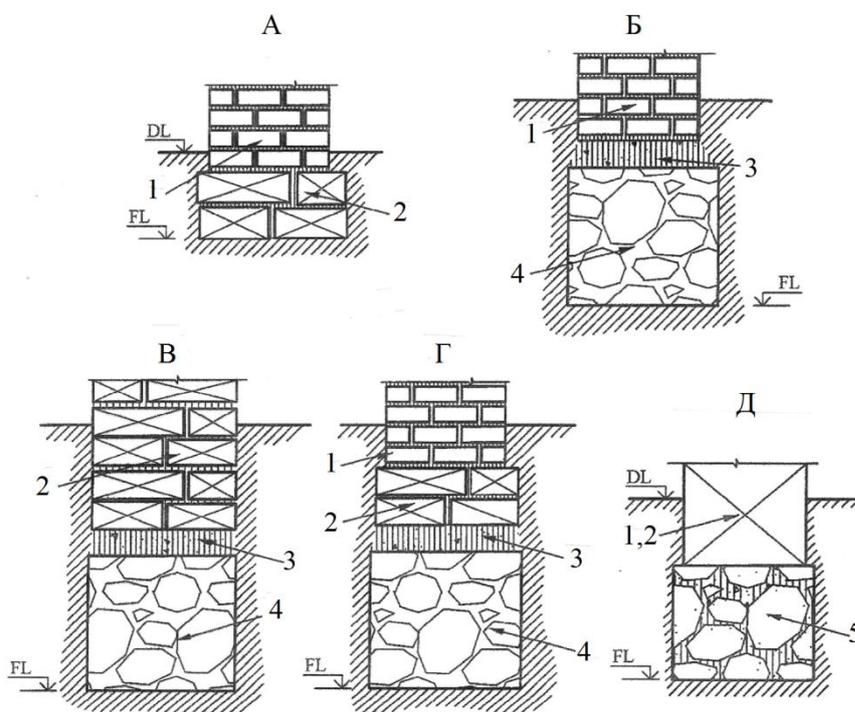


Рис.8.29. Конструктивные схемы бутовых фундаментов с прямоугольным поперечным сечением

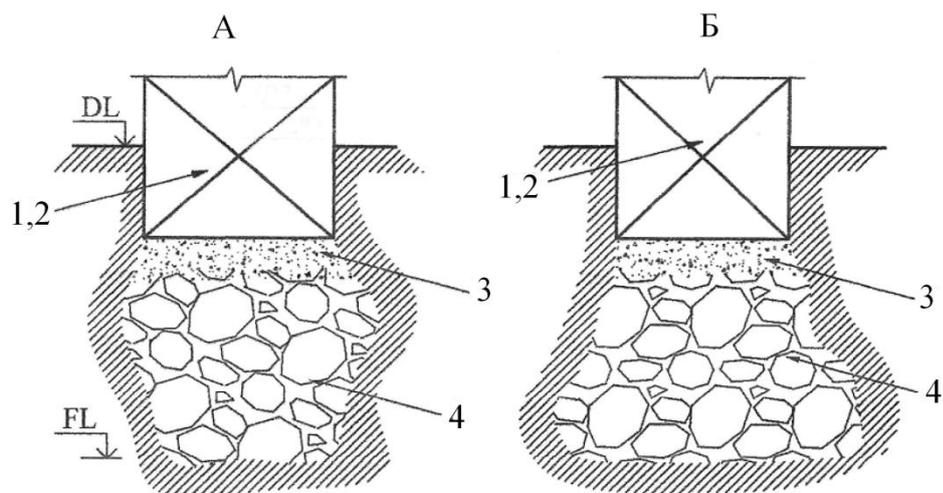


Рис.8.30. Конструктивные схемы бутовых фундаментов с трапециевидным поперечным сечением

1 – кладка из красного кирпича на известково-песчаном или цементно-песчаном растворе. Толщина горизонтальных и вертикальных швов составляет 0,5...2 см. Эта кладка, как правило, первоначально являлась элементом цоколя или стены, поэтому ее высота напрямую зависит от мощности техногенных накоплений, сформировавшихся за время эксплуатации здания.

2 – кладка из тесаных белокаменных блоков на известково-песчаном или романцементно-песчаном растворе. Толщина горизонтальных швов 0,5...5 см, вертикальных швов – до 5 см.

3 – выравнивающий слой, представленный известково-песчаным или романцементно-песчаным раствором с заполнителем в виде щебня, дресвы белого камня, боя кирпича и т.д. Мощность такого слоя может достигать 20 см.

4 – бутовая подушка фундамента: забутовка из глыб и валунов, как правило, осадочных горных пород, пространство между которыми просыпалось материалом из тех же пород более мелкой фракции, а также строительным мусором (бой кирпича, камень кладочного раствора и т.д.).

Крупный бут находится в непосредственном контакте и часто плохо пролит строительным раствором. В качестве вяжущего состава применялись известково-песчаный, романцементно-песчаный, глиняный и другие растворы.

5 – бутовая подушка фундамента: забутовка из крупного щебня, гальки, дресвы, как правило, осадочных горных пород, а также строительного мусора (бой кирпича, камень кладочного раствора и т.д.). Бутовый материал обильно пролит раствором и не контактирует между собой.

Встречаются конструкции бутовых подушек, в которых бутовый материал укладывался «под лопатку» (по аналогии с кирпичной кладкой) или обильно послойно проливался строительным раствором. В таких конструкциях бутовый камень может оказаться разделенным слоями строительного раствора значительной мощности (рис.8.29, схема Д).

По верху бутовой подушки, как правило, укладывался выравнивающий слой, который служил подготовкой для кирпичной или белокаменной кладки.

Вследствие длительных процессов нарастания техногенной толщи грунтов кирпичная и белокаменная кладки цокольной части стены в настоящее время являются верхним элементом фундамента.

При технологии устройства фундамента «фундаментный ров» форма земляной траншеи полностью определяла поперечное сечение бутовой подушки. Так как траншея копалась вручную, она часто сужалась к низу и таким образом фундамент выполнялся «в распор» траншеи (рис.8.30, схема А).

Конструкциям фундаментов 17–19 вв. свойственна неодинаковая глубина их заложения в пределах одного здания или сооружения. Примером этого могут служить фундаменты Останкинского дворца, глубина заложения которых изменяется от 0,5 до 2,2 м, или фундаменты Государственного исторического музея, глубина заложения которых изменяется от 2,0 до 8,0 м.

С первой четверти XX в. началось массовое применение бетонных и железобетонных фундаментов.

Степень износа фундаментов, относящихся к различным периодам их возведения, различна и не всегда соответствует возрасту зданий. Анализ результатов многочисленных исследований показывает, что износ фундаментов обуславливается двумя группами причин – физико-механическими и механическими.

Физико-механические причины являются результатом взаимодействия материала фундамента с окружающей средой. К ним относятся гниение деревянных элементов фундаментов, выщелачивание вяжущего, разрушение кладки в агрессивной среде, коррозия арматуры, особенно интенсивная при агрессивных подземных водах и блуждающих токах, и т.п.

К механическим причинам относятся неравномерные деформации основания и различные внешние воздействия (земляные работы вблизи здания, динамические воздействия транспорта и строительных механизмов, необоснованное увеличение нагрузок и т.д.). Характерными видами разрушения здесь являются расслоение кладки и выкрашивание раствора из швов, трещины в

бетонных и железобетонных фундаментах, приводящие к потере не только их прочности, но и жесткости.

Причиной разрушения фундаментов или их преждевременного износа могут явиться и следующие обстоятельства: неудовлетворительное качество строительных материалов; ошибки конструктивного характера при проектировании фундаментов; ошибки технического и технологического характера, допущенные при производстве строительно-монтажных работ (смещение фундаментов с проектной оси, укладка фундаментов на замороженный грунт и т.п.).

Отдельно следует отметить разрушение гидроизоляции фундаментов и нарушение работы дренажей, что особенно важно при наличии заглубленных помещений. Причиной разрушения гидроизоляции и нарушения работы дренажных систем могут быть как физико-механические, так и механические воздействия на фундамент и дренаж, дефекты смотровых колодцев, засорение дрен и коллекторов, разрушение выпусков дренажа (устья), а последствиями – замачивание материалов фундаментов и их преждевременное разрушение, а также повышенная влажность в помещениях.

Увеличение нагрузок на фундаменты. Реконструкция и капитальный ремонт зданий практически всегда сопровождаются увеличением нагрузок на фундаменты. Это происходит по следующим причинам:

– в старых зданиях перекрытия выполнялись из деревянных балок с накатом из пластин (шаг балок – 107 см или 1,5 аршина), стропила из бревен, лестницы деревянные и т.д. При реконструкции и капитальном ремонте зданий эти элементы заменяются, как правило, на железобетонные или металлические, как более прочные, долговечные и более безопасные в пожарном отношении, но и более тяжелые;

– перебивка этажей и оконных проемов в зданиях с высотой помещений 3,5-5,2 м с целью получения дополнительных этажей;

- перепланировка здания с целью получения более просторных помещений, что зачастую связано с ликвидацией ряда несущих элементов и передачи на оставшиеся дополнительные нагрузки;

- замена мансардных помещений и высоких чердаков дополнительным этажом за счет небольшого наращивания стен;

- надстройка дополнительных этажей.

Проведение перечисленных видов работ может привести к увеличению первоначальной постоянной нагрузки на фундаменты на 30 – 50 %. Такое существенное увеличение нагрузки может потребовать устройства новых дополнительных фундаментов, поэтому при реконструкции стремятся использовать по возможности более легкие бетоны и материалы.

Наряду с увеличением постоянных нагрузок возможно увеличение временных нагрузок (новый станочный парк, переоборудование капитальных зданий под книгохранилища, архивы и т.п.), а также и кратковременных нагрузок, например за счет использования более мощных мостовых кранов.

Одной из важнейших задач подготовки проекта реконструкции или капитального ремонта здания является детальная оценка изменения его конструктивной схемы в увязке с существующим исполнением фундаментов и определение новых нагрузок на существующие и дополнительно проектируемые фундаменты. При этом необходимо иметь в виду, что если здание или сооружение имеет трещины и другие дефекты, увеличивать нагрузки на них можно только после усиления конструкции самого здания.

В заключение следует отметить, что увеличение нагрузок на фундаменты реконструируемых зданий во многих случаях удается без принятия дополнительных мер по укреплению рабочего слоя грунтов основания. Это объясняется тем, что прежними нормами или методами проектирования оснований и фундаментов допускались значительно меньшие нагрузки на грунты, чем позволяла их фактическая несущая способность. Кроме того, за время эксплуатации сооружения грунты основания под действием нагрузки от фунда-

ментов уплотняются и приобретают новые улучшенные строительные свойства, что будет рассмотрено ниже и, что можно учесть при проектировании реконструируемых объектов.