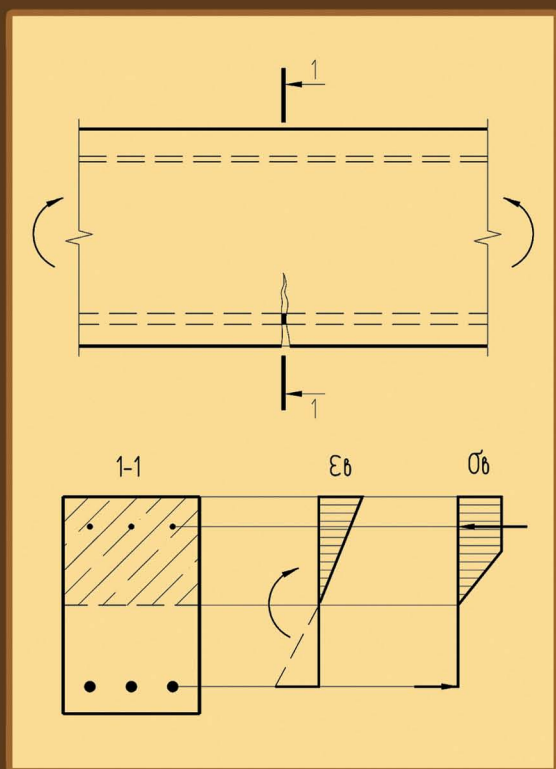


Э.Н. Кодыш И.К. Никитин Н.Н. Трекин

РАСЧЁТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

из тяжелого бетона

по прочности трещиностойкости и деформациям



Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, Н.Н. Трекин

**РАСЧЕТ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ
из тяжелого бетона по прочности,
трещиностойкости и деформациям**



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва, 2011

УДК 624.012.45.044

Рецензенты: руководитель лаборатории теории железобетона НИИЖБ,
доктор техн. наук, профессор *А.С. Залесов*

Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н.

Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. – Монография. М.:
Издательство АСВ, 2011. – 352 с.

ISBN 978-5-93093-723-7

Обобщен материал по расчету железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям. Даны рекомендации по расчету в соответствии со СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», СП-52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры», СП-52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции» и пособиями к упомянутым сводам правил.

Основное внимание в книге уделено раскрытию физического смысла основных методов расчета.

Для инженерно-технических работников строительных и проектных организаций, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISBN 978-5-93093-723-7

© Издательство АСВ, 2011
© Кодыш Э.Н., Никитин И.К.,
Трекин Н.Н., 2011

Научное издание

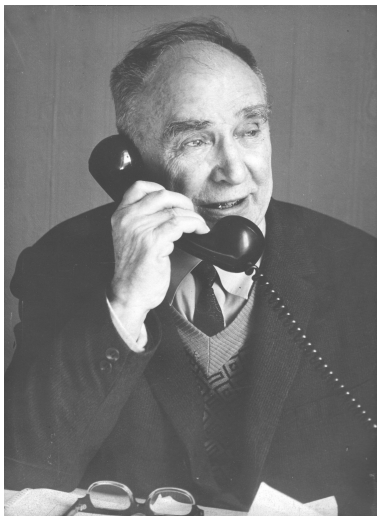
Эмиль Наумович **Кодыш**, Игорь Константинович **Никитин**,
Николай Николаевич **Трекин**

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
из тяжелого бетона по прочности,
трещиностойкости и деформациям

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Формат 60x90/16. Бумага офс.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. 22 п.л. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499) 183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>



*Посвящается
нашему Учителю
Васильеву Борису Федоровичу –
главному конструктору Гипротиса,
ЦНИИПромзданий, соавтору
основных нормативных докумен-
тов по железобетонным конст-
рукциям, многих типовых конст-
рукций и реальных проектов
(1903–1998 гг.).*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенствование железобетонных конструкций и разработка новых конструктивных решений в числе прочих факторов зависит от создания и внедрения новых методов расчета, обеспечивающих необходимую надежность, снижающих трудоемкость возведения и позволяющих получить максимальную экономию материалов. При этом важная роль принадлежит реализации положений новых норм по проектированию железобетонных конструкций (СНиП 52-01-2003), которые отражают достижения современной науки и практики проектирования железобетонных конструкций.

Изменения, принятые в новых нормах, были вызваны, во-первых, развитием самих железобетонных конструкций, совершенствованием технологии, нередко предъявляющей дополнительные требования к конструкциям, широким внедрением монолитного домостроения, а также появлением и распространением высокопрочных бетонов и арматурных сталей, потребовавшим корректировки расчетной базы, без которой применение этих материалов было бы невозможно.

Второй причиной изменения норм является развитие теории железобетона. Эта теория нуждается в непрерывном совершенствовании, осуществляемом усилиями многочисленных исследователей.

В результате разрабатываются новые методы расчета, приводящие к снижению расхода арматуры и бетона в железобетонных конструкциях, либо к увеличению долговечности конструкций.

Подход к определению внутренних усилий в нормальных сечениях претерпел принципиальное изменение по сравнению с принципами расчета, принятыми в предыдущих нормах. Это изменение заключается в замене расчетов, основанных в основном на результатах экспериментальных исследований, на расчеты, основанные на нелинейной деформационной модели. Положения этой модели заключаются в следующем:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента имеет линейный характер (гипотеза плоских сечений);

- связь между нормальными напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принята в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры;

- сопротивление бетона всей растянутой зоны не учитывается в расчете, если краевые относительные деформации бетона превысили предельные деформации растяжения.

Раньше все работы по совершенствованию методов расчета железобетона строились на обобщении многочисленных экспериментальных данных, полностью игнорируя гипотезу плоских сечений. По этому пути шли все страны СЭВ, а также Китай. Считалось, что железобетон настолько сложный и непредсказуемо изменчивый материал, что его поведение под действием нагрузок принципиально нельзя описать какой-то единой теорией. Методы, основанные на обобщении экспериментов, считались достаточно надежными, но вместе с тем приводили в ряде случаев к существенной экономии материалов по сравнению с расчетами по нормам ряда стран Запада. В этих странах придерживались методик расчета, в основе которых лежала гипотеза плоских сечений и соответствующие ей различные формулы, описывающие диаграммы σ – ϵ .

В настоящее время более отчетливо выявились недостатки принятых у нас методик расчета.

Во-первых, методики, принятые для расчета по разным предельным состояниям, плохо увязаны друг с другом; во-вторых, формулы, основанные на экспериментах, подразумевают определенные границы их обоснованного применения, что приводит к сомнительным результатам для ряда частных случаев, а также к затруднениям при программировании таких методик.

Разницу в результатах расчета по нашим нормам и нормам стран Запада можно оценить как не очень значительную, учитывая неточность всех принятых методик расчета, а выявленная экономическая эффективность некоторых методик, как выяснилось, мало влияет на фактические расходы материалов, учитывая многие другие факторы (конструктивные, технологические и т.п.).

Еще одной причиной перехода на новые принципы расчета явилось стремление к гармонизации отечественных норм с нормами стран Запада в связи с расширением экономических связей.

Принятая в настоящее время методика расчета нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели обеспечивает единый подход к расчету по любым предельным состояниям, при любых формах сечения, при любом характере внешних усилий, при любом расположении арматуры в пределах сечения, что исключает возникновение каких-либо неясностей или нелогичностей при расчетах.

Что касается расчета наклонных сечений, то подобной теоретической модели не было выработано, и поэтому этот расчет с некоторыми упрощениями остался прежним.

Расчет пространственных сечений на действие изгиба и кручения теперь основывается на учете кривых взаимодействия предельных значений изгибающих и крутящих моментов, поскольку считается, что при чистом изгибе и чистом кручении внутренние усилия в предельном состоянии выявляются наиболее правильно.

Значительные изменения претерпел расчет по трещиностойкости. Введенные в ранее действовавшие нормативные документы усложненные расчеты не обеспечивали повышение надежности и затрудняли понимание физического смысла происходящих процессов. Подробнее эти изменения приведены в гл. 4.

В развитие новых норм выпущены Своды правил и пособия, в которых приводятся положения, детализирующие требования норм, приближенные способы расчета, а также дополнительные материалы, необходимые для проектирования. Но как в нормах, так и в Сводах правил и пособиях к ним не приводятся с достаточной полнотой предпосылки, положенные в основу расчетных формул, выводы этих формул, физический смысл принятых зависимостей, обоснование инженерных и приближенных способов расчета. Между тем знание этих материалов необходимо при проектировании железобетонных конструкций. Сознательное, неформальное применение изложенных методов расчета помогает избегать грубых ошибок. Понимание физической сущности принятых зависимостей позволяет творчески

подходить к расчету, применять изложенные методы к иным случаям, не описанным в пособиях.

Авторы предлагаемой книги, связанные с разработкой Сводов правил и пособий к ним, считали своей целью разъяснить основные положения СНиП 52.01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» – в первую очередь новые положения и практические способы, приведенные в Сводах правил и пособиях, дать к ним необходимые комментарии.

Содержание книги ограничивается кругом вопросов, рассмотренных в Сводах правил и пособиях, выпущенных к СНиП 52.01-2003 – СП52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» [1] и СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции» [2], а также «Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры» [3] и «Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона» [4] (распространяются ЦНИИПромзданий), на которые в дальнейшем изложении делаются ссылки в тексте.

Названия глав книги повторяют названия соответствующих разделов Сводов правил и указанных пособий. Однако ограниченный объем не позволил осветить все разделы норм и пособий. В частности, не рассмотрен расчет элементов на местное сжатие и отрыв, расчет закладных деталей, стыков элементов и др. Каждый из этих вопросов является достаточно самостоятельным, имеющим свои особенности, и для их изучения следует пользоваться специальной литературой. Не приведены также методы расчета некоторых элементов (элементы круглого, кольцевого сечений, элементы непрямоугольного сечения при действии кручения и др.). Знание общих закономерностей, изложенных в книге, поможет разобраться в расчетах этих элементов.

Предполагается, что читатель хорошо знаком с указанными пособиями.

Данная книга продолжает сложившуюся традицию – с выходом пересмотренных нормативных документов выпускать новую работу, поясняющую физический смысл методики расчета.

Первая книга «Расчет железобетонных конструкций по прочности, деформациям, образованию и раскрытию трещин» (авторы Б.Ф. Васильев, И.Л. Богаткин, А.С. Залесов, Л.Л. Паньшин) была выпущена в 1965 г. и поясняла требования СНиП II-V.1-62. Вторая – «Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструк-

ций» под редакцией А.А. Гвоздева была выпущена в 1978 г. и разъясняла новые положения расчета и конструирования, приведенные в СНиП II-21-75. Третья – «Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям» (авторы А.С. Залесов, Э.Н. Кодыш, Л.Л. Лемыш, И.К. Никитин) была выпущена в 1988 г. и поясняла требования СНиП 2.03.01-84. Четвертая – «Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям» (авторы Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, Н.Н. Трекин) с пояснениями к СНиП 52-01-2003 и сводам правил СП 52-101-2003, СП 52-102-2004 намечается к выпуску в 2010 г. Авторы, кроме второй книги, начинали работать под руководством Б.Ф. Васильева в Гипротисе (объединился в 1963 г. с ЦНИИ-Промзданий). К сожалению, из ныне здравствующих только Александр Сергеевич Залесов – основной автор новых норм – не смог принять участия в написании этой книги, но любезно дал согласие на использование части его материалов, вошедших в предыдущую работу.

Предисловие, введение, главы 1, 2 и 5 написаны д-ром техн. наук Э.Н. Кодышем, разд. 3.1, 3.2.1–3.2.8 – д-ром техн. наук Н.Н. Трекиным, разд. 3.2.9–3.2.12, 3.3–3.5, гл. 4 – И.К. Никитиным.

ВВЕДЕНИЕ

Бетон и железобетон остаются наиболее широко применяемыми материалами для строительства зданий и сооружений. Кроме долговечности и высокой огнестойкости этому способствует появление высокопрочных бетонов и сталей, повышение технологичности изготовления и монтажа.

Использование современных опалубочных систем и средств подачи бетона вызвало резкое увеличение объема монолитного домостроения.

Начальным этапом строительства является проектирование.

Технически грамотное архитектурное и конструктивное вариантное проектирование позволяет возводить современные здания и сооружения с наиболее эффективным использованием ценных свойств и уникальных возможностей железобетона и в особенности монолитного.

Современная школа проектирования в нашей стране начала бурно развиваться в 30-е гг. XX века, когда широко развернулось промышленное, транспортное и энергетическое строительство.

В проектах широко использовались и продолжают использоваться теоретические разработки, подтвержденные экспериментальными исследованиями в таких ведущих институтах, как НИИЖБ, ЦНИИСК, НИИОСП, ЦНИИПромзданий, ЦНИИЭПжилища, МНИИТЭП, ЦНИИПСК, ЦНИИС, НИИС и др.

В нашей стране возникли и успешно развивались научные школы, возглавляемые такими крупными учеными, как А.Ф. Лолейт, Я.В. Столяров, П.Л. Пастернак, А.А. Гвоздев, О.Я. Берг, В.И. Мурашев, В.Н. Байков, Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, Н.Н. Складнев, А.В. Забегаев, П.Ф. Дроздов, Б.Ф. Васильев и др.

В настоящее время эти традиции успешно продолжают и развивают научные школы, созданные и возглавляемые В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко, А.С. Залесовым и др.

Научные разработки способствуют развитию строительства путем совершенствования нормативных документов, которые являются составной частью технического регулирования в строительстве, призванного обеспечить требуемый уровень надежности и качества.

Объектами регулирования являются:

– продукция строительства – здания и сооружения различного назначения;

– процессы, работы и услуги в области градостроительной деятельности – по освоению территорий, планировке и застройке, а

также в области создания и эксплуатации продукции строительства, включая инженерные изыскания, проектирование зданий и сооружений, их возведение, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию.

До июля 2003 г. существовала система нормативных документов в строительстве – СНиП 10-01-94 «Строительные нормы и правила. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».

Условно эту систему можно разделить на четыре уровня.

1. Строительные нормы и правила (СНиП) и Государственные общесоюзные стандарты (ГОСТ). Нарушение требований этой высшей формы контроля могло преследоваться по закону.
2. Территориальные строительные нормы (ТСН, а для Москвы МГСН), нормы органов государственного надзора (Противопожарная служба МВД, Госгортехнадзор, Госкомсанэпидемнадзор, Энергетический надзор и т.д.).
3. Ведомственные (ВСН) и отраслевые строительные нормы (ОСН).
4. Своды правил (СП), рекомендации, пособия, инструкции.

Документы 2–4-го уровней не противоречат первому, а только уточняют и развивают отдельные положения нормативных документов первого уровня.

В строительстве в настоящее время существует около 700 обязательных нормативных документов, из них примерно 500 – это нормативные документы, принятые до 90-х гг. прошлого века, в настоящее время нуждающиеся в пересмотре или исправлении.

27 декабря 2002 г. был принят, а с 1 июля 2003 г. вступил в силу Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании в строительстве». Этот закон устанавливает требования, аналогичные действующим за рубежом.

В частности (ст. 4 п. 3), федеральные органы исполнительной власти, в том числе Росстрой РФ, вправе издавать в сфере технического регулирования акты только рекомендательного характера. В этом законе заметно снижен объем обязательных государственных требований. Предусмотрены следующие: безопасность излучения, биологическая безопасность, взрывобезопасность, механическая, пожарная, промышленная, химическая, электрическая, ядерно-радиационная, электромагнитная совместимость безопасности и обеспечения работы приборов и оборудования, а также единство измерений.

К сожалению, в этом законе специфика строительства была мало представлена. В строительстве помимо безопасности, есть еще очень важный момент – обеспечение благоприятных условий для жизнедеятельности, комфортности, но в новом законе он отсутствует, а из обеспечения благоприятных условий для жизнедеятельности вытекают все планировочные решения, особенно градостроительные, такие как отдаленность объектов обслуживания от жилья и т.д. Поэтому у создателей строительного нормирования возникают трудности по совместимости упомянутого закона с основополагающими требованиями градостроительства.

Новый закон предполагает семилетний срок перехода на новую систему регулирования: «В течение семи лет действующие сейчас нормативные документы, направленные на обеспечение безопасности, будут правомочными».

По новому закону вводится «Технический регламент». Это нормативный документ, в котором сконцентрированы требования к продукции. В отличие от действующих сегодня он будет законом, подлежащим утверждению в Государственной Думе. Технические регламенты будут двух видов: общий технический регламент и специальный технический регламент. На начало 2009 г. не разработано ни одного технического регламента.

Общий технический регламент – это документ, содержащий общие требования ко всей продукции. Для строителей выделена категория общего технического регламента, которая называется «Безопасность строительства зданий и сооружений и безопасное использование прилегающих к ним территорий». Отныне будет регламентирована не безопасность строительных работ, а безопасность строительной продукции.

Специальные технические регламенты устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции, процессам в производстве, эксплуатации, перевозке и утилизации, которые не освещены в «Общем техническом регламенте». Следовательно, ряд требований СНиП перейдут в технический регламент.

Набор таких общих технических регламентов содержится в законе – это безопасность эксплуатации и утилизации оборудования, пожарная безопасность, безопасность самих зданий и сооружений и безопасное использование прилегающих территорий, биологическая безопасность, электромагнитная совместимость, экологическая безопасность. Ответственные за экологическую безопасность будут формулировать свои требования к строительству, поэтому будущему

строителю обязательно нужно будет знать регламент по экологической безопасности.

Министерства и ведомства смогут утверждать только рекомендательные нормативные документы. Технические нормы будут проходить через Государственную Думу и через Правительство Российской Федерации. Ведомственные нормы могут быть только рекомендательными.

К концу 2006 г. в системе нормативной документации сложилась парадоксальная ситуация: с 2002 по 2005 г. постановлениями Госстроя России был утвержден ряд новых СНиПов и этими же постановлениями отменены старые СНиПы. Однако Минюстом РФ новым документам было отказано в государственной регистрации в соответствии с Федеральным законом № 184 (ст. 4 п. 3) и нормативная база в значительном объеме перестала юридически действовать.

В конце 2006 г. Министерство промышленности и энергетики совместно с Министерством регионального развития выпустили письмо, обязывающее впредь (до вступления в силу соответствующих технических регламентов) использовать в обязательном порядке СНиПы, утвержденные Госстроем РФ. На основе предложений комиссии Государственной Думы РФ 1 мая 2007 г. президент Российской Федерации В.В. Путин подписал принятый Думой Федеральный закон № 65-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О техническом регулировании».

В подготовке этого закона принимали активное участие строители, и в нем содержится ряд положений, учитывающих специфику строительной отрасли:

- во многих статьях термин «процесс производства» заменен словами «или к связанным с ними процессами проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки»;

- узаконен нормативный документ добровольного применения «Свод правил»;

- установлен срок разработки первых технических регламентов – до 1 января 2010 г., включая «О безопасности зданий и сооружений» и «О безопасности строительных материалов и изделий»;

- до разработки и вступления в действие соответствующих технических регламентов уполномочить Правительство РФ и федеральные органы исполнительной власти вносить изменения в нормативные документы и правовые акты.

Вышеупомянутый нормативный документ Свод правил (СП) – это рекомендательный нормативный документ, который содержит проверенные на практике положения и является официально при-

знанным документом. Официальное признание СП означает одобрение федеральными органами власти. В частности, они могут содержать:

- рекомендации по выбору типологических, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий;

- рекомендации по применению градостроительных решений и социальных нормативов;

- методы расчета и проектирования строительных конструкций, оснований зданий и сооружений и их инженерных систем, прогнозирование срока службы, обеспечение ремонтпригодности;

- правила применения материалов, изделий, оборудования, строительных конструкций и инженерных систем для зданий с различными режимами эксплуатации и в разных климатических зонах.

Как уже отмечалось выше, выполнение рекомендаций СП не является обязательным. Однако если заказчик с генпроектировщиком при заключении договора на проектирование объекта предусматривают его применение, то на данном конкретном объекте СП становится обязательным к применению документом.

Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1.1. Группы и виды предельных состояний

Расчеты железобетонных конструкций, впрочем, как и конструкций из других материалов или комбинированных, ведутся по группам предельных состояний.

Предельное состояние конструкций является границей, за которой эксплуатация конструкций не обеспечивает безопасность для людей, оборудования, зданий или не отвечает санитарно-гигиеническим, функциональным или технологическим требованиям.

При расчете железобетонных конструкций рассматриваются две группы предельных состояний: первая группа – по несущей способности и вторая группа – по пригодности к нормальной эксплуатации.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают в себя: расчет по прочности, обеспечивающий конструкции от разрушения; расчет на устойчивость, обеспечивающий устойчивость формы или положения конструкций; расчет на защиту от прогрессирующего обрушения – относительно новое требование, вызванное террористическими актами, заключающееся в предотвращении лавинного обрушения всех конструкций здания или сооружения при разрушении отдельных элементов или участков. К этой же группе относятся такие расчеты, как расчет на всплывания заглубленных резервуаров или иных сооружений, расчет на усталостное разрушение под воздействием многократно повторяющихся или циклических нагрузок и т.д.

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают в себя: расчет по образованию и раскрытию трещин для предотвращения недопустимого образования трещин или их раскрытия в конструкции; расчет по деформациям для предотвращения недопустимых перемещений конструкции (прогибов, углов поворота, углов перегиба, колебаний).

Наиболее важной и ответственной является первая группа предельных состояний, поскольку она предопределяет само существование конструкции.

При расчете конструкций по прочности усилия от расчетных значений нагрузки не должны превышать усилий, которые могут быть восприняты сечениями железобетонных элементов (несущая способность элемента) при расчетных сопротивлениях материалов

(бетона и арматуры) с учетом соответствующих коэффициентов условий работы.

При расчете конструкций на устойчивость формы расчетное значение нагрузки не должно превышать значения одинаковой по схеме распределения нагрузки, вызывающей достижение данного вида предельного состояния и деленной на коэффициент больше единицы. Этим обеспечивается запас при расчете на устойчивость не меньший, чем при расчете на прочность.

При расчете конструкций на устойчивость положения отношение расчетных значений нагрузок и вычисленных по ним усилий, благоприятных с точки зрения устойчивости положения конструкций к нагрузкам или усилиям, неблагоприятным с той же точки зрения, должно быть больше единицы. Предельные значения указанного отношения принимаются в зависимости от точности предпосылок расчета и ответственности конструкций.

Таким образом, задачей проектирования является недопущение в конструкции с нормируемым запасом предельного состояния первой группы.

Расчет по второй группе предельных состояний включает в себя две основные подгруппы предельных состояний – проверку трещиностойкости железобетонных конструкций и проверку их перемещений (деформаций).

Образование и раскрытие трещин представляет опасность для нормальной эксплуатации конструкций: в определенных условиях возникает коррозия арматуры, ухудшается внешний вид элементов, они становятся более проницаемыми под давлением жидкостей или газов. В зависимости от назначения и условий эксплуатации устанавливаются различные требования к трещиностойкости конструкций, которые должны обеспечиваться расчетом по образованию и раскрытию трещин.

Необходимость ограничения деформаций связана с рядом причин: отрицательным психологическим воздействием на людей больших видимых прогибов, неприятными ощущениями людей при колебании конструкций, нарушением условий для нормальной эксплуатации технологического оборудования, возможным повреждением смежных конструкций при деформациях элементов и др. С учетом условий работы и назначения конструкций устанавливаются предельные значения деформаций, которые должны обеспечиваться расчетом.

Проверка по группам предельных состояний должна проводиться для всех периодов существования элементов или заданий и сооружений – изготовление, транспортировка, монтаж и эксплуатация.

1.2. Основные положения по расчету железобетонных элементов

При расчете железобетонных элементов по предельным состояниям в первую очередь вычисляются усилия от внешней нагрузки (изгибающие и крутящие моменты, продольные и поперечные силы), действующие в сечениях элемента. Далее определяются внутренние предельные силы, которые может воспринять элемент в рассматриваемых сечениях, исходя из его прочности и трещиностойкости, которые сравниваются с соответствующими усилиями от внешней нагрузки. Кроме того, по усилиям от внешней нагрузки находятся ширина раскрытия трещин и деформации железобетонного элемента, которые также сравниваются с их предельно допустимыми значениями.

Первая часть задачи – определение усилий в сечениях элементов – решается на основе статического расчета конструкции в целом. Для статически определимых железобетонных конструкций нахождение усилий в сечениях от внешней нагрузки не вызывает затруднений, они вычисляются из равновесия всех сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Вычисление усилий в статически неопределимых конструкциях (рамах, неразрезных балках и др.) необходимо производить, как правило, с учетом действительных жесткостей, т.е. влияния трещин и неупругих деформаций бетона и арматуры, а также с учетом влияния искривления геометрических осей сжатых элементов на усилия в них (расчет по деформированной схеме).

В отдельных случаях для конструкций, методика расчета которых с учетом неупругих свойств железобетона еще недостаточно разработана, допускается вычисление усилий производить как для сплошного упругого тела.

Расчеты статически неопределимых конструктивных систем рекомендуется производить на компьютерах с использованием современных программных комплексов, основанных на математических методах расчета, например, методом конечных элементов. Для упрощения расчетов могут использоваться достаточно обоснованные приближенные методы.

При определении усилий в сечениях железобетонных элементов инженер должен также считаться с возможными отклонениями этих усилий от значений, полученных из статического расчета. Наиболее реальными и существенными являются отклонения эксцентриситета продольной силы, вызванные случайными причинами, которые не могут быть оценены расчетом. К ним относятся: неоднородность свойств бетона по сечению; начальное искривление сжатого элемента или его отклонение от вертикали; неучтенные горизонтальные силы, дефекты монтажа и др.

Для учета этих отклонений в расчет вводится величина так называемого случайного эксцентриситета, которая принимается большей из двух величин – $1/600$ длины сжатого элемента или расстояния между сечениями, закрепленными от смещения, и $1/30$ высоты сечения элемента. Кроме того, для конструкций, образуемых из сборных элементов, следует учитывать возможное взаимное смещение элементов при возведении здания, зависящее от вида конструкций, способа монтажа и т.п. При отсутствии соответствующих данных в СП и пособиях, рекомендуется случайный эксцентриситет принимать не менее 1 см. Для статически определимых конструкций случайный эксцентриситет суммируется с эксцентриситетом, полученным из статического расчета. Что же касается элементов статически неопределимых конструкций, то здесь расчетный эксцентриситет принимается как наибольшее значение эксцентриситета из статического расчета и случайного. Менее жесткое отношение к случайному эксцентриситету в статически неопределимых конструкциях объясняется тем, что наличие связей сжатых элементов с другими элементами конструкции смягчает влияние случайного эксцентриситета.

Наиболее существенное влияние случайный эксцентриситет оказывает в том случае, когда эксцентриситет, получаемый из статического расчета, мал или равен нулю. В результате введения случайного эксцентриситета все сжатые элементы, по существу, рассматриваются как внецентренно сжатые, и такое понятие, как центрально сжатые элементы, исключается.

Наряду с внешними усилиями при расчете конструкций необходимо учитывать усилия от вынужденных деформаций, например от температурных воздействий. С этим вопросом связано определение длин температурных блоков, при которых можно не учитывать усилия от температурных воздействий.

В пособии к СНиП 2.03.01-84 были приведены расстояния между температурно-усадочными швами. Опыт эксплуатации зданий и

сооружений свидетельствует, что длины блоков по этому пособию были назначены правильно. В то же время расчеты, в которых усилия в колоннах определялись в предположении их упругой работы, не подтверждали принятые в пособии расстояния между температурно-усадочными швами. Как показал анализ, основные причины этого несоответствия следующие:

1) в связи с неупругой работой железобетона, особенно в стадии, близкой к разрушению, жесткости колонн существенно ниже вычисленных как для сплошного упругого тела; соответственно и ниже усилия, возникающие в колоннах при их перемещениях от температурных деформаций перекрытий (покрытий);

2) при длительных температурных воздействиях (длительных смещениях) усилия в колоннах снижаются, релаксируют;

3) вследствие податливости узлов сопряжения сборных элементов общие удлинения (укорочения) дисков перекрытия (покрытия) меньше обычно принимаемых в расчете.

Учет этих факторов и позволил обосновать расчетом приемлемость рекомендаций по длинам температурных блоков для колонн с гибкостью $l/h \leq 9$ при расчетном температурном перепаде $\Delta t = 40$ °С. Для более гибких колонн ($l/h > 9$) и при меньшем температурном перепаде ($\Delta t < 40$ °С) длины температурных блоков были увеличены и приведены соответствующие поправочные коэффициенты. Если длина температурно-усадочного блока не превышает допустимого пособием значения, то усилия в колоннах и элементах перекрытия (покрытия) допускается определять без учета температурно-усадочных воздействий. Но при необходимости длины блоков могут быть еще больше увеличены; при этом потребуется расчет указанных конструкций на совместное действие внешних нагрузок и вынужденных деформаций с учетом приведенных выше факторов.

1.3. Нагрузки и воздействия

Расчетные значения нагрузок, используемые для первой и второй групп предельных состояний, определяются по их нормативным значениям с учетом коэффициентов надежности по нагрузкам и коэффициентов сочетаний нагрузок. При расчете на прочность и устойчивость коэффициент надежности по нагрузке γ_f принимается большим единицы в соответствии с указаниями СНиП 2.01.07-85*; при расчете при 2-й группе предельных состояний, как правило, принимается $\gamma_f = 1,0$.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	8
Глава 1. Общие положения по расчету железобетонных элементов	13
1.1. Группы и виды предельных состояний	13
1.2. Основные положения по расчету железобетонных элементов	15
1.3. Нагрузки и воздействия	17
Глава 2. Материалы для железобетонных конструкций	20
2.1. Бетон	20
2.2. Перспективы совершенствования бетона	26
2.3. Арматура	29
2.4. Анкеровка арматуры	35
2.5. Факторы запаса. Нормативные и расчетные сопротивления	41
Глава 3. Расчет железобетонных элементов по прочности	51
3.1. Основные положения	51
3.2. Расчет прочности нормальных сечений	53
3.2.1. Расчетная схема усилий	53
3.2.2. Характер разрушения железобетонного элемента	54
3.2.3. Напряжения в бетоне сжатой зоны	56
3.2.4. Напряжения в сжатой продольной арматуре	62
3.2.5. Напряжения в продольной арматуре, расположенной	64
3.2.6. Расчетные уравнения для нормальных сечений	70
3.2.7. Расчет нормальных сечений	75
3.2.8. Изгибаемые элементы	81
3.2.9. Расчет элементов на кривой изгиб	96
3.2.10. Внецентренно сжатые элементы	105
3.2.11. Продольный изгиб	120
3.2.12. Внецентренно растянутые элементы	129
3.3. Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям	136
3.3.1. Формы разрушения	136
3.3.2. Расчет по наклонной трещине	138
3.3.3. Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил	139
3.3.4. Практические методы расчета элементов, армированных хомутами без отгибов, на действие поперечной силы	149
3.3.5. Расчет элементов, армированных отогнутыми стержнями, на действие поперечной силы	161
3.3.6. Практические методы расчета элементов без поперечной арматуры на действие поперечной силы	162

3.3.7. Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие изгибающего момента	167
3.3.8. Расчет железобетонных элементов по наклонным	184
3.4. Расчет по прочности пространственных сечений железобетонных элементов	185
3.5. Расчет по прочности на продавливание.....	198
Глава 4. Расчет элементов железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы.....	210
4.1. Расчет железобетонных конструкций по образованию трещин.....	210
4.1.1. Расчет изгибаемых элементов.....	210
4.1.2. Расчет внецентренно сжатых элементов.....	219
4.1.3. Расчет растянутых элементов	222
4.1.4. Примеры расчета.....	226
4.2. Расчет железобетонных конструкций по раскрытию трещин	235
4.2.1. Предельно допустимая ширина раскрытия трещин.....	235
4.2.2. Определение ширины раскрытия трещин.....	237
4.2.3. Определение напряжения в растянутой арматуре.....	240
4.2.4. Учет длительности действия нагрузки.....	254
4.2.5. Примеры расчета.....	257
4.3. Расчет железобетонных конструкций по деформациям	270
4.3.1. Предельно допустимые прогибы	270
4.3.2. Общие положения по определению прогибов.....	272
4.3.3. Определение кривизны на участках без трещин в растянутой зоне	276
4.3.4. Определение кривизны на участках с трещинами в растянутой зоне	281
4.3.5. Упрощенные способы определения прогибов.....	291
4.3.6. Определение углов деформации сдвига.....	297
4.3.7. Определение прогиба, вызванного деформациями сдвига для частных случаев	299
4.3.8. Определение продольных деформаций.....	302
4.3.9. Примеры расчета.....	305
Глава 5. Предварительное напряжение	316
Приложение 1. Значения физических величин и основные обозначения.....	335
Приложение 2. Соргамент арматуры.....	343
Приложение 3. Некоторые единицы СИ и их соотношение с ранее изъятими	345
Приложение 4. Соотношение класса и марки. Соотношение расчетных сопротивлений арматуры по старым и новым нормам	346
Список литературы	347