

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

FORMATION OF THE MODERN RUSSIAN REGULATORY BASE IN THE FIELD OF CON- CRETE AND REINFORCED CONCRETE

С. А. ЗЕНИН, канд. техн. наук

Приводится история формирования современной российской нормативной базы в области проектирования конструкций из бетона и железобетона, начиная от истоков создания первых нормативных документов и до действующего в настоящее время СП 63.13330. Описывается развитие методов расчета и конструирования бетонных и железобетонных конструкций, приводимых в нормативной базе. Рассмотрены проблемы существующей нормативной базы по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предложены пути их решения. Сформулированы основные направления исследований и дальнейшего развития нормативной базы в области бетона и железобетона.

The history of formation of the modern Russian regulatory base in the field of design of structures from concrete and reinforced concrete is given, beginning from sources of creation of the first normative documents to acting now SP 63.13330. Development of methods of calculation and designing of the concrete and reinforced concrete constructions given in the regulatory base is described. Problems of the existing regulatory base on design of concrete and reinforced concrete constructions are considered, ways of their solution are proposed. The main directions of researches and further development of the regulatory base in the field of concrete and reinforced concrete are also offered.

Ключевые слова:

бетон, железобетон, нормативный документ, методы расчета, конструирование

Key words:

Concrete, reinforced concrete, normative document, calculation methods, designing

Как известно, зарождение железобетона обычно относят к 1850-1855 гг. и связывают с именами французов Ламбо и Монье и англичанина Уилкинсона.

Несколько позже железобетон начал применяться и в России – в 70-х годах XIX века инженер Жаринцев выполнил ряд конструкций из железобетона, хотя исследования покрытий Царскосельского дворца показали, что русские мастера ещё в 1802 г. применяли армированный бетон, однако не считали, что получили новый строительный материал, и не патентовали его.

С целью освоения нового в то время вида материала для несущих конструкций российские ученые и инженеры с середины второй половины XIX века начали проводить различные систематичес-

кие экспериментальные и теоретические исследования, а также предлагать способы расчета и конструирования зданий и сооружений. В числе таких людей следует отметить профессора Артура Фердинандовича Лолейта. Под его руководством были построены многочисленные здания и сооружения из железобетона. Кроме того, он публиковал ряд работ, посвященных применению, проектированию и расчету железобетонных конструкций, в частности, «Курс железобетона для строительных техникумов. Основы теории и проектирования», выпущенный в 1925 г. [1]. Работы А.Ф. Лолейта оказали прямое влияние на развитие в СССР норм по проектированию железобетонных конструкций.

В 1925 г. в Госплан СССР поступил на отзыв проект «Технических условий и норм проектирования и возведения железобетонных сооружений для гор. Москвы и Московской губернии», разработанный Управлением Московского Губернского Инженера при участии большинства московских специалистов по железобетону. В этих нормах Губинжа расчет железобетонных конструкций предполагался по методу допускаемых напряжений, широко применявшемуся в то время.



Рис. 1. Временные технические условия и нормы проектирования и возведения железобетонных сооружений», 1926 г.

ния, электроцентралы, дворцы труда, памятники революции; 2-й класс – утилитарно-капитальные сооружения; 3-й класс – удешевленное строительство. В соответствии с классом сооружения установлена градация технических требований к запасам прочности, выбора материалов и других технических условий. Также введена классификация бетона на пять марок, соответствующих величинам временного сопротивления сжатию: 200 кг и выше, 180, 140, 100 и 80 кг и ниже. Так же, как и в нормах Губинжа 1925 года, расчет железобетонных конструкций предписывалось выполнять методом допускаемых напряжений с применением гипотезы о пропорциональности между напряжениями и деформации. Кроме того, учитывались основные предпосылки расчета, применяемые на сегодняшний день: гипотеза плоских сечений и работа бетона на растяжение не учитываются.

Спустя год, в 1927 г. в СССР был основан Государственный институт сооружений (ГИС), затем переименованный в ВИС (Всесоюзный государственный научно-экспериментальный институт гражданских, промышленных и инженерных сооружений), ЦНИПС (Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений), ЦНИИСК (Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций), НИИЖБ (Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона). После организации ГИС в нем

сосредоточились основные опытные и теоретические исследования в области железобетона.

В 1928 г. Комиссия по строительству при СТО поручила А.Ф. Лолейту составить проект новых технических условий и норм на основе отзывов ведомств и учреждений, полученных в разное время на первоначальный проект норм, составленный Бюро нормирования Госплана СССР в 1926 г.

Проект был издан в 1929 г. под названием «Технические условия и нормы проектирования и возведения бетонных и железобетонных сооружений» (ТУиН), разослан специалистам и организациям на отзыв, а в апреле 1930 г. вынесен на обсуждение Первой Всесоюзной конференции по бетону и железобетону в Москве. На этой конференции с докладом «Новый проект норм» выступил А.Ф. Лолейт.

Центральным пунктом прений, развернувшихся на конференции вокруг проекта ТУиН, была гипотеза французского ученого Консидера, на которую А.Ф. Лолейт опирался ещё в ранних своих работах. Принятие этой гипотезы в корне меняло построение формул для расчета прочности изгибаемых элементов. Взамен общепринятой гипотезы о пропорциональности между напряжениями и деформациями предполагалось, что распределение напряжений в сечении очерчивается некоторой ломаной. Таким образом, первые трещины в растянутой зоне бетона ожидалось не тогда, когда крайнее волокно получит предельное удлинение, а тогда, когда такое удлинение будет достигнуто волокном, отстоящим от крайнего на некоторую величину. Но в резолюции по докладу было сказано: «Положенную в основу новых норм гипотезу Консидера о текучести бетона отвергнуть как недостаточно подтвержденную экспериментальными исследованиями. В связи с этим нормы переработать, выделив для этого комиссию в следующем составе...».

К 1930 г. были уже известны опровергающие Консидера опыты, но появились и новые, подтверждающие гипотезу. С другой стороны, А.Ф. Лолейтом была показана полная условность определения напряжений в арматуре и бетоне на основе предпосылок классической теории. Классическая теория железобетона – расчет по допускаемым напряжениям — при всех ее недостатках обладала одним хотя и сомнительным для любой теории преимуществом, позволившим ей просуществовать в ряде стран до совсем недавнего времени: она давала уверенность в том, что действительный запас прочности в конструкциях, рассчитанных по формулам классической теории, превышает расчетный. Снижение запасов прочности, продиктованное требованиями экономики и разрешенное углублением знаний, можно было бы рассматривать как некоторое усовершенствование классической теории. Но в действительности снижение запасов прочности ещё сильнее подчеркнуло дефектность теории, так как чем меньше запасы прочности, тем выше должна быть точность расчетов.

В итоге в 1931 г. Государственным институтом сооружений (ГИС) был разработан первый обязательный всесоюзный нормативный документ в области железобетона: «Железобетонные и бетонные конструкции и сооружения. Технические условия и нормы проектирования и возведения» [3] (рис. 2). Этот документ был разработан комиссией под председательством Семена Захаровича Гинзбурга, в которую входили профессора Николай Михайлович Беляев, Всеволод Михайлович Келдыш, Артур Фердинандович Лолейт, Петр Леонтьевич Пастернак и другие талантливые инженеры и ученые.

Документ состоял из четырех разделов и двух приложений. Первый раздел был посвящен общим положениям и экономике, второй – определению внутренних напряжений, подбору сечений и конструированию элементов, третий – техническим условиям на производство бетонных и железобетонных работ, четвертый – инструкции по проек-

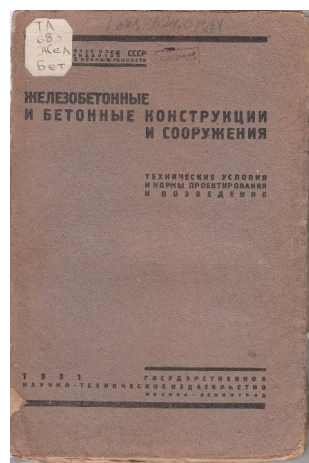


Рис. 2. Обложка норм «Железобетонные и бетонные конструкции и сооружения. Технические условия и нормы проектирования и возведения», 1931 г.

тированию состава бетона и контролю качества бетона на производстве. В приложения вошли временные технические условия на производство бетонных и железобетонных работ в зимнее время и инструкция по производству испытаний железобетонных конструкций и сооружений. Авторы этих норм стремились в максимальной степени использовать последние достижения техники, чтобы способствовать ускорению и удешевлению строительства.

Следует отметить, что в авторский коллектив данного документа вошел инженер Алексей Алексеевич Гвоздев (рис. 3), ставший впоследствии одним из блестящих специалистов в области железобетона; его имя носит сейчас НИИЖБ. Именно А.А. Гвоздев способствовал развитию отечественной нормативной базы в области проектирования железобетонных конструкций. Он проработал в ГИС-НИИЖБе почти 60 лет, из которых более 50 лет руководил лабораторией железобетонных конструкций, впоследствии – центральной лабораторией теории железобетона и арматуры. Под его руководством в начале 30-х годов XX века была создана первая экспериментальная база для проведения испытаний железобетонных конструкций в натуральную величину.

Именно благодаря А.А. Гвоздеву в начале 30-х годов советская наука в области железобетона получила большой импульс для своего развития, включая разработку нормативных документов.



**Рис. 3. Алексей Алексеевич Гвоздев
(1897-1986)**

На основе накопленного экспериментального материала по изучению элементов и стыков сборных конструкций и опыта их проектирования лаборатория А.А. Гвоздева в 1933 г. разработала «Временную инструкцию по сборным железобетонным конструкциям» [4], весьма актуальную на тот момент. В этом документе были приведены рекомендации по расчету и конструированию основных представителей несущих конструкций из сборного железобетона, а также узлов их сопряжений, наиболее эффективные конструктивные схемы зданий различного назначения, были рекомендованы новые для того времени фундаменты стаканного типа. В качестве основных вертикальных несущих конструкций одноэтажных промзданий рекомендовались сборные колонны Т-образного типа. Также в инструкции рекомендовались сварные соединения арматуры и стыки с опрессовкой муфт, тонкостенные сечения балочных и плитных элементов, балки переменного сечения

и многие другие новаторские на тот момент решения. В разделах, касающихся изготовления и монтажа сборных конструкций, приводились данные по новым прогрессивным методам производства, получавшим развитие в те годы: формование с вибрацией, вызревание с пропариванием и электропрогревом, монтаж с применением башенных кранов.

А.А. Гвоздев, развивая экспериментальную деятельность своей лаборатории по исследованию железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов с различными видами арматуры, уделял много внимания развитию общей теории железобетона. Вначале опытным путем была подтверждена идея А.Ф. Лолейта по переходу к расчету по стадии разрушения. Затем началась систематическая разработка теории расчета по трем предельным состояниям, как тогда было принято считать: по несущей способности, по деформациям (перемещениям) и по образованию или раскрытию трещин.

Результатом такой деятельности лаборатории явилась разработка в 1938 г. проекта норм расчета железобетонных конструкций по стадии разрушения [5], который в 1942 г. был утвержден как нормы военного времени.

С началом Великой Отечественной войны нормальная работа ЦНИПСа была нарушена. Однако

под руководством А.А. Гвоздева в это время были разработаны также Нормы проектирования и строительства железобетонных оборонительных сооружений и Указания по проектированию и применению бетонных и железобетонных конструкций в условиях военного времени.

После войны одним из знаковых результатов продолжения исследований по совершенствованию теории железобетона является работа «Введение в теорию расчета конструкций по предельному состоянию» [6], опубликованная в 1948 г. под редакцией д. т. н., проф. В.М. Келдыша, в которой также участвовал А.А. Гвоздев. Эта работа основана на результатах многолетних экспериментальных и теоретических разработок.

Можно сказать, что в указанной монографии были окончательно закреплены основные предпосылки и необходимость перехода от метода расчета железобетонных конструкций по допускаемым напряжениям к методу расчета по разрушающим усилиям, который был развит в методе расчета по предельным состояниям. Были затронуты основные вопросы теории железобетона: прочность, жесткость и трещиностойкость. Накопленный опыт позволил также показать, насколько метод допускаемых напряжений несовершенен по сравнению с методом разрушающих усилий. В этой работе А.А. Гвоздевым сформулирован вывод, который, по сути, является на сегодняшний день основным принципом расчета железобетонных конструкций как у нас в стране, так и за рубежом: «Расчет железобетонных конструкций должен строиться, исходя из “предельных состояний”, выбор которых определяется условиями службы сооружения. Различным “предельным состояниям” должны отвечать наиболее соответствующие им расчетные схемы».

Спустя год, в 1949 г, выходят в свет два нормативных документа (рис. 4), разработанные ЦНИП-Сом: Нормы и технические условия проектирования железобетонных конструкций (НиТУ-3-49) [7] и Нормы и технические условия проектирования бетонных конструкций (НиТУ-4-49) [8].

Наибольший интерес представляют нормы по железобетону НиТУ-3-49, которые содержат 48 страниц и состоят из пяти разделов: 1. Определение и область применения, 2. Материалы, 3. Основные расчетные положения, 4. Основные указания по конструированию и 5. Расчет и конструирование основных элементов. Нормы распространялись на железобетонные конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений из обычного (тяжелого) и легкого бетонов.

В указанных нормах введена новая система расчетных характеристик бетона (по маркам), при чем расширен параметрический ряд марок бетонов до 12 – от М50 до М600, даны требования к арматурному прокату. В качестве основных прочностных характеристик материалов приведены расчетные сопротивления. Следует отметить, что основные расчетные требования опираются на метод расчета сечений по разрушающим усилиям. Коэффициенты запаса принимаются едиными в зависимости от отношения усилия от временной нагрузки к усилию от постоянной нагрузки с учетом вида

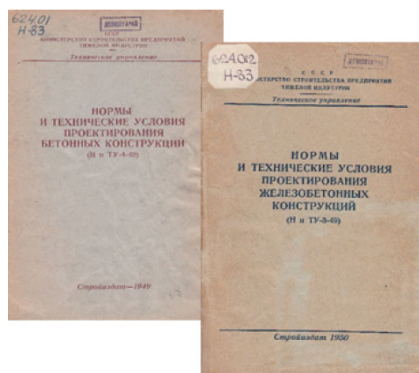


Рис. 4. Обложки норм и технических условий проектирования бетонных и железобетонных конструкций 1949–1950 гг.

№ п/п	Комбинация воздействий	Отношение $T_{\text{н}}/T_{\text{л}}$	Причины разрушения		
			достижение бетоном предела прочности при сжатии как арму- турой предела теку- чести	в остальных эле- ментах конст- рукций	
			K	K_1	
1	Основные	До 2,0 Больше 2,0	2(1,85) 2,2(2,0)	1,8 2,0	2,2 2,4
2	Основные и до- полнительные	До 2,0 Больше 2,0	1,8 2,0	1,6 1,8	2,0 2,2
3	С учетом особ- ных воздейст- вий	При любом отно- шении	1,6	1,5	1,8

Примечания. 1. Для центрально-сжатых элементов сечением менее 30х30 см или диаметром менее 30 см, а также для внецентренно-сжатых элементов с большей стороной сечения менее 30 см все коэффициенты запаса, указанные в табл. 2(2), соответственно увеличиваются на 25%.

Рис. 5. Коэффициенты запаса согласно нормам НиТУ-3-49

разрушения (растяжение или сжатие) и вида конструкции (рис. 5).

В конструктивных требованиях содержатся указания по анкеровке арматуры, устройству отгибов и стыков арматуры, по назначению защитных слоев бетона и расстояний между стержнями. В разделе 5 содержатся конкретные расчетные зависимости для выполнения расчетов по прочности центрально сжатых и внецентренно сжатых элементов с учетом продольного изгиба, причем приведены данные для учета косога внецентренного сжатия. Также показаны зависимости для расчетов по прочности и трещиностойкости изгибаемых элементов любой симметричной формы поперечного сечения, а также таврового сечения. Кроме того, имеется раздел, посвященный расчету элементов, работающих на кручение и изгиб с кручением. Все методики расчетов также сопровождаются детальными указаниями по конструированию элементов, причем как сборных, так и монолитных. Следует отметить, что указания по преднапряженным конструкциям в НиТУ-3-49 отсутствуют.

Благодаря непрекращающимся теоретическим и экспериментальным исследованиям нормативные документы 1949 г. были основательно дополнены и расширены. Результатом этого стал выпуск в 1955 г. Норм и технических условий проектирования бетонных и железобетонных конструкций (НиТУ 123-55) [9], разработанных также ЦНИПСом. В этих нормах указания по проектированию бетонных и железобетонных конструкций были объединены в один документ (рис. 6). Объем документа составил 108 страниц, число разделов также возросло до 11. Требования к материалам более детализированы и выделены в отдельные главы для бетона и для арматуры. Для конструкционных бетонов дано разделение по маркам и с учетом вида бетона: легкие и тяжелые. Введено понятие степени морозостойкости бетона, а также сформулированы требования к составу бетонов.

Отдельно следует отметить указания по определению характеристик бетона и арматуры. Впервые введено разделение прочностных характеристик на нормативные и расчетные значения. Расчетные значения сопротивлений бетона определяются делением нормативных значений на соответствующие коэффициенты однородности. Для арматуры приведены соответствующие нормативные и расчетные значения сопротивлений, при этом впервые учтен вид ее работы в конструкции (растяжение или сжатие).

Нормативным документом предписывалось выполнять расчеты конструкций по несущей способности (прочности и устойчивости), по деформациям, а также по образованию или раскрытию трещин. Расчеты по прочности предусмотрены по-прежнему — методом разрушающих усилий. При этом по сравнению с нормами 1949 г. коэффициенты запаса не общие, а дифференцированные и принимаются в виде коэффициентов условий работы для бетона и арматуры с учетом вида конструкции, ее работы и других факторов.

В нормах впервые приведены предельно допустимые значения прогибов изгибаемых конструкций, а также ширина раскрытия трещин (пока только одно значение — 0,2 мм). Также впервые принято разделение нагрузок на расчетные и нормативные и учет этого при расчете по прочности, трещиностойкости и деформациям. Кроме того, указывается, что деформации конструкций следует определять с учетом неупругой работы бетона. Впервые введен расчет изгибаемых элементов по наклонным сечениям на действие изгибающего момента и по поперечной силе. Расчетам по деформациям посвящен отдельный раздел. В этом разделе указана необходимость учета жесткости элемен-



Рис. 6. Нормы НиТУ 123-55

та при расчете по деформациям и приведены соответствующие зависимости для определения жесткостей элементов с учетом длительности действия нагрузок, упругопластических моментов сопротивления. Также впервые приведена методика по расчету образования и раскрытия трещин: ширина раскрытия трещин определяется по формуле Мурашева

$$a_T = \psi \frac{\sigma_a}{Ea} l_T. \quad (1)$$

Отдельные разделы норм посвящены конструктивным требованиям к бетонным и железобетонным конструкциям, а также указаниям по конструированию элементов. Эти разделы по сравнению с аналогичными разделами норм 1949 г. весьма расширены и дополнены благодаря многочисленным экспериментам и практике проектирования и строительства.

Следует отметить, что проектирование предварительно напряженных конструкций по-прежнему предусматривалось по отдельному документу – Инструкции по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Исследования в области железобетона продолжались, и следующим этапом в создании нормативной базы в области железобетона стали Строительные Нормы и Правила, разработанные НИИЖБ совместно с ГИПРОТИСом и вошедшие в действие в январе 1963 г.: глава СНиП II-В.1-62 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования [10]. Нормы состоят из 13 разделов и трех приложений. По сути это несколько усовершенствованная редакция НГТУ 123-55. При этом имеет место также много интересных нововведений. В частности, коэффициенты условий работы стали применяться при определении расчетных значений сопротивлений бетона и арматуры, а не в расчетных зависимостях, введены классы арматурной стали с учетом способа ее производства, которые существовали вплоть до конца XX века. Даны рекомендации по применению арматурных сталей в различных случаях. Также впервые приведены указания по расчету конструкций на выносливость. Однако основным нововведением можно назвать разделение расчетов конструкций на выполняемые по трем предельным состояниям: 1-е предельное состояние (по прочности и по выносливости), 2-е предельное состояние (по деформациям), 3-е предельное состояние (по образованию и по раскрытию трещин).

Кроме того, в СНиП II-В.1-62 введены положения по расчету конструкций с напрягаемой арматурой.

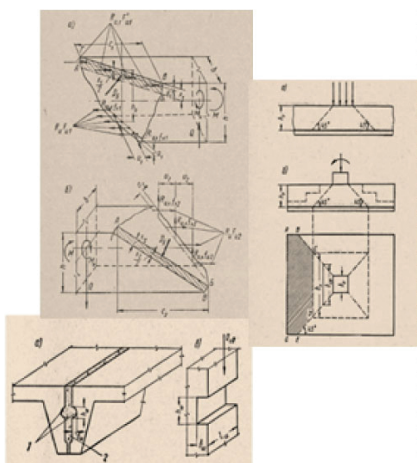


Рис. 7. Отдельные иллюстрации к новым расчетным методикам СНиП II-В.1-62 (кручение, продавливание, шпонки)

Для таких конструкций предложены три категории трещиностойкости, приведены указания по определению потерь предварительного напряжения, а также расчету таких конструкций. В части предельно допустимых величин для расчетов по 2-й группе также внесены изменения по предельным величинам прогибов, а также впервые введены дифференцированные значения предельно допустимой ширины раскрытия трещин, варьирующихся от 0,1 до 0,3 мм. Для конструкций колонн существенно расширены возможности по определению их расчетных длин с учетом различных условий закрепления и условий работы.

В части расчетных методик в СНиП II-В.1-62 также введено много нового (рис. 7). Предложена расчетная модель для расчета нормальных сечений изгибаемых элементов при косом изгибе. Также разработана методика расчета нормальных

сечений изгибаемых элементов кольцевого сечения. Претерпел изменение расчет наклонных сечений – расчетные требования существенно дополнены, включая учет преднапряжения, переменной высоты балок, различных форм сечений и двухосного действия поперечных сил. Для внецентренно сжатых элементов разработаны методика расчета элементов кольцевого сечения и расчетная модель для косога внецентренного сжатия. Откорректирована методика учета продольного изгиба внецентренно сжатых элементов. Отдельно следует отметить серьезную проработку вопроса расчета элементов на кручение: впервые разработана и введена методика расчета элементов на кручение с изгибом по пространственным сечениям. Кроме того, впервые введена методика расчета плоских плит на продавливание. В первый раз приведены методики расчета закладных деталей и расчета бетонных шпонок.

Методика расчета конструкций по деформациям в СНиП II-V.1-62 также существенно откорректирована. Введено понятие полных деформаций, зависящих от длительности действия нагрузок, приведена методика расчета момента образования трещин. Кроме того, дополнена методика по расчету ширины раскрытия трещин в части определения напряжений в растянутой арматуре, по учету влияния продольной силы, по определению расстояния между трещинами. Сама ширина раскрытия трещин определяется с учетом длительности действия нагрузок. Следует отметить, что впервые введена методика определения ширины наклонных трещин.

Конструктивные требования, приведенные в СНиП II-V.1-62, также существенно дополнены и расширены по сравнению с НиТУ 123-55. Впервые введена таблица с минимально допустимыми процентами армирования для отдельных видов конструкций с учетом марок бетона (в НиТУ 123-55 дано минимальное содержание арматуры в зависимости от марки стали и бетона). Введен подраздел, касающийся проектирования стыков сборных конструкций, что весьма актуально на тот момент.

Этот весьма революционный для своего времени документ в 1970 г. претерпел некоторые изменения (уточнение общих положений, расширение сортамента арматурного проката, учет выносливости, конструктивные требования и т.п.) и был издан как СНиП II-V.1-62* [11].

Новый документ действовал до 1975 г., когда, учитывая имеющиеся достижения науки и техники, был выпущен СНиП II-21-75 Бетонные и железобетонные конструкции [12]. Этот нормативный документ был разработан НИИЖБом и ЦНИИПромзданий с участием достаточного большого числа научно-исследовательских и проектных институтов и введен в действие в январе 1977 г.

По своему содержанию СНиП 1975 г. содержит только 5 глав и 6 приложений. Это связано в первую очередь с самым основным изменением – полным переходом с метода расчета по разрушающим усилиям на метод расчета по предельным состояниям. Следует отметить, что указанный метод применяется и сейчас, причем не только для железобетонных конструкций, но и для конструкций из других материалов. Кроме того, такой метод взят за основу во многих зарубежных нормах (например, Eurocode 2 [13]).

Первая глава СНиП 1975 г. содержит основные положения, основные расчетные требования и дополнительные требования по расчету преднапряженных конструкций. Среди существенных изменений следует отметить уже упомянутое указание по обеспечению требований расчетов по предельным состояниям двух групп. Расчет по предельным состояниям первой группы должен обеспечивать конструкции от разрушения (прочностной расчет), от потери устойчивости формы или положения, от усталостного разрушения, от разрушения под совместным действием силовых факторов и от неблагоприятных влияний внешней среды. Расчет по предельным состояниям второй группы должен обеспечивать конструкции от образования трещин и их чрезмерного раскрытия, от чрезмерных пере-

мещений (прогибов, перекосов и т.п.).

Также следует отметить введение 3-х категорий по трещиностойкости для всех видов конструкций (а не только для преднапряженных, как в СНиП 1962 г.).

Кроме того, впервые вводится понятие случайного эксцентриситета для расчета по прочности бетонных и железобетонных конструкций на действие продольных сил, обусловленного неучтенными в расчете факторами.

Исключен подраздел, посвященный определению усилий в элементах статически неопределимых конструкций, часть его требований перенесена в остальные разделы нового СНиП.

Потери преднапряжения в конструкциях с напрягаемой арматурой получили окончательную классификацию на первые и вторые потери.

Также серьезные изменения претерпели указания к материалам бетонных и железобетонных конструкций – собственно к бетону и к арматуре. Впервые введена градация бетонов, которая используется в расчетных методиках и учитывается в конструктивных требованиях. Это тяжелые бетоны, бетоны на пористых заполнителях, ячеистый бетон, крупнопористый бетон и поризованный бетон. Впервые введены марки бетонов по морозостойкости и водонепроницаемости. Для различных условий работы конструкций даны рекомендации по назначению этих марок. Также впервые разработаны параметрические ряды бетонов по всем маркам в зависимости от их вида, при этом выросла максимальная марка по прочности для тяжелых бетонов (с М600 до М800).

В части нормативных и расчетных характеристик бетона также внесены серьезные изменения: в СНиП введены определения нормативной кубиковой прочности с учетом соответствующих коэффициентов вариации и нормативной призмной прочности бетона (рис. 8). Для определения расчетных сопротивлений бетона введена система коэффициентов безопасности при сжатии и растяжении. Приведены таблицы с расчетными значениями сопротивлений бетона на сжатие и растяжение для предельных состояний двух групп. Также упорядочена система коэффициентов условий работы бетона в конструкциях.

Для арматуры введена четкая градация по ее видам согласно имеющимся стандартам и рекомендации по ее применению в конструкциях. Также четко установлено, что в качестве нормативного сопротивления принимается предел текучести (физический или условный) и временное сопротивление разрыву. Кроме того, приведены табличные данные с нормативными значениями сопротивлений для основных видов стержневой и проволочной арматуры. Как и для бетона, расчетные сопротивления арматуры определяются с учетом коэффициентов безопасности и дополнительных коэффициентов условий работы.

Расчетные методики также претерпели некоторые изменения. Для бетонных конструкций исключен расчет прочности нормальных сечений центрально сжатых элементов. Учет продольного изгиба в методика расчета внецентренно сжатых бетонных элементов претерпел изменения и основан на явном применении формулы Эйлера для устойчивости стержня:

$$N_{кр} = \frac{6,4E_6}{l_0^2} \left[\frac{I}{k_{дл}} \left(\frac{0,11}{0,1 + t/k_H} + 0,1 \right) + nI_a \right] \quad (2)$$

Нормативная кубиковая прочность бетона принимается равной

$$R^n = \bar{R}(1 - 1,64\sigma), \quad (11)$$

где $\bar{R}$ — см. п. 2.2 настоящей главы;

σ — коэффициент вариации прочности бетона, принимаемый согласно табл. 10.

Нормативная призмная прочность бетона для основных видов бетона принята равной:

для тяжелого бетона, бетона на пористых заполнителях и поризованного

$$R_{np}^n = R^n (0,77 - 0,0001\bar{R}), \quad (12)$$

но не менее 0,72 R^n ;

для ячеистого бетона

$$R_{np}^n = R^n (0,95 - 0,0005\bar{R}). \quad (13)$$

Рис. 8. Выдержка из СНиП II-21-75 в части определения прочностных характеристик бетона

В расчете прочности нормальных сечений железобетонных изгибаемых и внецентренно сжатых элементов на действие продольных сил и изгибающих моментов введено понятие относительной высоты сжатой зоны и ее граничного значения, которые применяются на сегодняшний день и позволяют принимать оптимальные конструктивные решения. Учет продольного изгиба для расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов также выполняется с применением формулы Эйлера для устойчивости стержня.

Отдельно следует отметить разработку методики расчета нормального сечения по прочности на действие изгибающих моментов и продольных сил по общему случаю – при любых сечениях, внешних усилиях и армировании (рис. 9).

Расчет наклонных сечений также выполняется на действие поперечных сил и изгибающих моментов, при этом соответствующий раздел несколько сокращен, в частности, исключены указания по расчету балок переменной высоты.

Был также усовершенствован расчет элементов на кручение. Теперь прочностной расчет выполняется для нескольких возможных схем расположения сжатой зоны пространственного сечения.

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают в себя расчеты по образованию и раскрытию нормальных и наклонных трещин, а также по деформациям. При этом ширина раскрытия нормальных трещин теперь определяется по эмпирической формуле, учитывающей различные факторы: профиль, диаметр и содержание арматуры, вид работы элемента, напряжение в растянутой арматуре:

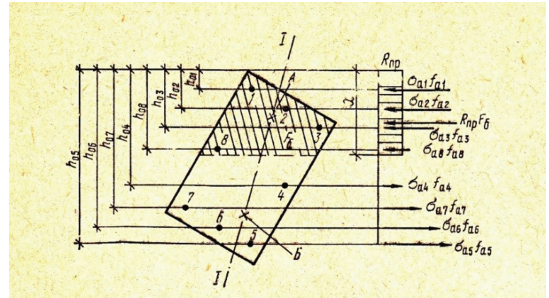
$$\sigma_T = k c_{дн} \eta \frac{\sigma_a}{E_a} 20(3,5 - 100\mu)^3 \sqrt{d}. \quad (3)$$

Введен новый расчет по закрытию трещин. Расчеты по деформациям также изменены. В расчете кривизны элементов приведены усовершенствованные методики, позволяющие учитывать наличие трещин в растянутой зоне или их отсутствие.

Конструктивные требования также дополнены и уточнены. Среди особенностей конструктивных требований следует отметить впервые введенную зависимость для расчета длины анкеровки ненапрягаемой арматуры, которая учитывает напряженное состояние окружающего бетона и анкеруемой арматуры, ее профиль.

На выпуске норм 1975 г. работа советских ученых и инженеров по исследованию железобетона не была остановлена. Результатом их плодотворной деятельности стал выход главы СНиП 2.03.01-84 [14], введенной в действие в 1986 г. Как и все прочие нормы СНиП 1984 г., эта глава разработана авторским коллективом НИИЖБ и ЦНИИПромзданий. Этот СНиП стал последним, выпущенным при непосредственном участии А.А. Гвоздева. Здесь собраны, по сути, все основные результаты деятельности советских ученых и инженеров, занимавшихся весь этот период теорией и практикой железобетона. Среди основных достоинств данного нормативного документа является то, что методики расчета и положения по конструированию, приведенные в нем, апробированы на практике, длившейся десятилетиями.

СНиП состоит из шести основных разделов и пяти приложений. Так же, как и нормы 1975 г.,



СНиП 2.03.01-84 регламентирует проведение расчетов по методу предельных состояний. СНиП сохраняет многие положения норм предыдущего поколения, а в ряде случаев и дополняет их. Среди существенных изменений можно отметить переход от марок бетона по прочности на классы бетона. При этом параметрические ряды классов и марок существенно расширены. Введены дополнительные марки по средней плотности для легких, ячеистых и поризованных бетонов, а также марки бетонов по самонапряжению. Также был расширен параметрический ряд классов арматуры в связи с появлением новых производственных технологий. Коэффициенты безопасности при определении расчетных характеристик материалов стали именоваться коэффициентами надежности по материалам ввиду принятия единого полувероятностного метода с системой коэффициентов надежности в отечественной нормативной базе (рис. 10). Среди расчетных методик отличий немного: внесены отдельные корректировки в расчетные зависимости по расчету нормальных сечений. Однако для расчета наклонных сечений на действие поперечных сил предусмотрена необходимость выполнения расчетов не только по наклонной трещине, но и по наклонной полосе между наклонными трещинами:

$$Q \leq 0,3\varphi_{wl}\varphi_{bl}R_b b h_0. \quad (4)$$

Методика расчета по наклонным сечениям также уточнена, предусмотрен учет влияния продольных сил.

В части методик расчетов по предельным состояниям второй группы там также внесены отдельные корректировки расчетных зависимостей (при расчете по трещинообразованию, ширине раскрытия наклонных трещин, определению прогибов).

Введен дополнительный раздел, касающийся указаний по расчету и конструированию железобетонных конструкций при реконструкции зданий и сооружений. В разделе приведены общие указания, а также указания по выполнению поверочных расчетов таких конструкций и их конструированию.

На этом СНиПе заканчивается эпоха советских нормативных документов по железобетону. СССР прекращает свое существование, и дальнейшую работу по развитию норм выполняют российские специалисты — А.С. Залесов, Е.А. Чистяков, Т.А. Мухамедиев, Н.И. Карпенко, И.К. Никитин, Э.Н. Кодыш и другие. Работа выполняется при острой нехватке финансирования в сложных условиях того времени. При этом к началу 2000-х гг. в российской нормативной базе назрели изменения — было принято решение о разделении норм на обязательные и добровольные (соответственно, СНиП и СП), причем в обязательных нормах было решено отразить минимальное число требований.

В итоге в 2003-2004 гг. выходит в свет несколько нормативных документов, разработанных НИИЖБом взамен СНиП 2.03.01-84. Основной — это СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [15], а нормы добровольного применения — СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [16] и СП 52-102-2004 Предварительно напряженные железобетонные конструкции [17].

СНиП 52-01-2003 представляет собой только основные положения по проектированию конструк-

Вид бетона	Коэффициенты надежности по бетону при сжатии и растяжении γ_{bc} и γ_{bt} для расчета конструкций по предельным состояниям			
	первой группы		второй группы	
	γ_{bc} при назначении класса бетона по прочности		γ_{bt} и γ_{bt}	
	на сжатие	на растяжение		
Тяжелый, напрягающий, мелкозернистый, легкий и поризованный	1,3	1,5	1,3	1,0
Ячеистый	1,5	2,3	—	1,0

Арматура	Коэффициент надежности по арматуре γ_s при расчете конструкций по предельным состояниям	
	первой группы	второй группы
Стержневая классов: A-I, A-II		
A-III диаметром, мм: 6-8	1,05	1,00
10-40	1,10	1,00
A-IV, A-V	1,07	1,00
A-VI, A-VII	1,15	1,00
A-IIIa с контролем: удлинения и напряжения	1,20	1,00
только удлинения	1,10	1,00
Проволочная классов: Вр-I	1,20	1,00
В-II, Вр-II	1,20	1,00
К-7, К-19	1,20	1,00

Примечание. Обозначения классов арматуры — в соответствии с п. 2.24а*.

Рис. 10. Коэффициенты надежности по материалам по СНиП 2.03.01-84

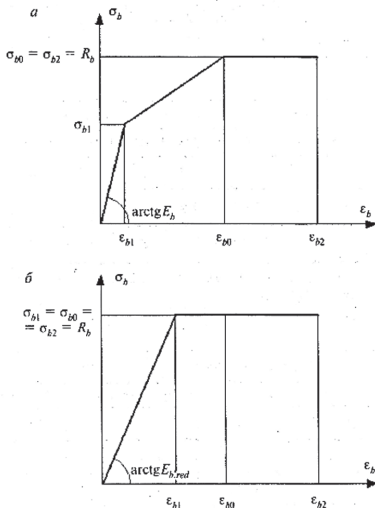


Рис. 11. Диаграммы состояния бетона по СП 52-101-2003

расчетных диаграмм привело к возможности разработки и внедрения метода расчета прочности нормальных сечений по деформационной модели (рис. 12), который приведен в СП наряду с традиционным методом расчета по предельным усилиям. Методика расчета по деформационной модели универсальна и позволяет рассчитывать любые формы сечений с любым расположением арматуры, давая при этом полную картину распределения напряжений по сечению.

Остальные расчетные методики также претерпели изменения по сравнению со СНиП 84 г. В частности, для наклонных сечений разработан упрощенный метод расчета на действие поперечных сил. Методика расчета на кручение полностью переработана, при этом она также основана на рассмотрении пространственного сечения. Также переработана методика расчета на продавливание – предусмотрен учет изгибающих моментов, чего раньше не было.

По второй группе предельных состояний следует отметить возврат к формуле Мурашева для расчета ширины раскрытия нормальных трещин, а также уточнение методики расчета по деформациям, которая также включает в себя возможность расчета по деформационной модели.

Среди основных изменений в конструктивных требованиях следует отметить корректировку методики определения длины анкеровки:

$$l_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}. \quad (5)$$

В таком виде отечественные нормы просуществовали до 2011 г., когда был разработан новый нормативный документ по железобетону, который действует по состоянию на сегодняшний день – это СП 63.13330.2012 [18], введенный в действие в 2012 г. СП разработан НИИЖБом, который стал носить имя А.А. Гвоздева, при участии специалистов РААСН и ОАО «ЦНИИПромзданий».

Этим документом по сути был осуществлен возврат к ранее существовавшей структуре норм – он объединил в себе положения СНиП 52-01-2003 и СП, разработанных в его развитие (СП 52-101-2003, 52-102-2004 и СП 52-103-2007). Сразу следует отметить, что кардинальных отличий приведенных в СП 63.13330 методик от СНиП и СП 2003-2004 гг. практически нет. Этот СП состоит из

ций из бетона и железобетона. Расчетные методики приведены в сводах правил – СП 52-101 и СП 52-102. При этом указанные своды правил распространяются только на конструкции из тяжелых бетонов. Среди существенных изменений по сравнению со СНиП 1984 г. можно назвать введение диаграмм состояния бетона и арматуры для выполнения расчетов, причем для бетона предложены две диаграммы – двухлинейная и трехлинейная (рис. 11). Введение этих

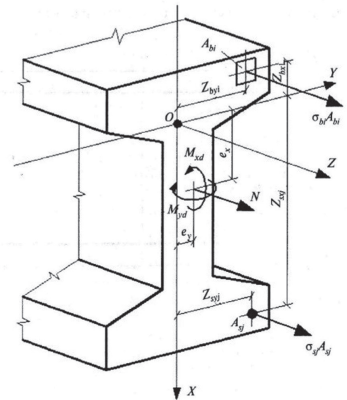


Рис. 12. Расчетная схема нормального сечения железобетонного элемента по деформационной модели по СП 52-101-2003

13 разделов и 9 приложений. Среди основных нововведений можно назвать введение криволинейной диаграммы для бетона (рис. 13), положений по расчету плоскостных элементов плит и стен по прочности (рис. 14), положений по расчету конструктивных систем зданий. Также для преднапряженных конструкций предусмотрена возможность учета натяжения арматуры на бетон (чего не было в СП 52-102-2004). Кроме того, методики СП 63.13330 дополнены расчетами, которые не были включены в СП 52-101-2003 – расчет закладных деталей, расчет колонн круглого и кольцевого сечений, расчет коротких консолей и бетонных шпалок и т.п.

В настоящее время согласно Постановлению Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. №1521 [20] СП 63.13330.2012 содержится в перечне норм обязательного применения для обеспечения требований Федерального закона ФЗ-384 [19].

По состоянию на сегодняшний день в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполняется пересмотр СП 63.13330.2012, который действует уже порядка 5 лет. Необходимость этого пересмотра возникла в связи с наличием новых нормативных документов и переработкой ряда действующих нормативных документов, касающихся материалов и методов расчета бетонных и железобетонных конструкций.

В части дальнейшего развития отечественных норм по железобетону можно отметить следующее.

Методы расчета, изложенные в СП 63.13330, основаны на методе предельных состояний двух групп – по прочности и по пригодности к нормальной эксплуатации. Данный метод является на сегодняшний день основным для всех видов строительных конструкций, включая конструкции из железобетона. При расчете по указанному методу устанавливаются предельные состояния в отношении конструкций, для которых разработана система условных расчетных коэффициентов, гарантирующих отсутствие наступления указанных состояний при неблагоприятных сочетаниях нагрузок и воздействий и наименьших прочностных характеристиках материалов. Такой подход, используемый в методе предельных состояний, в целом можно назвать полумвероятностным, так как изменчивость факторов, влияющих на общую прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонной конструкции, заложена именно в системе коэффициентов.

В общем случае расчетные методики, приведенные в СП 63.13330, апробированы на практике проектирования, начиная с 30-40-х годов прошлого столетия. При этом они постоянно совершенствуются с учетом развития технологий и новых материалов. Для этого разрабатываются отдельные своды правил, касающиеся отдельных методик проектирования, в развитие положений СП 63.13330 (по сборно-монолитным конструкциям, по конструкциям из легких бетонов и ячеистых бетонов, сталежелезобетонным конструкциям, конструкциям из бетона с металлической и неметаллической фиброй и т.п.)

При этом можно отметить следующее, что позволит улучшить общее качество проектирования железобетонных конструкций различных видов, а также зданий и сооружений из них.

В части систематизации нормирования в области проектирования (не только железобетонных конструкций, но и в целом) представляется целесообразным навести порядок в присвоении номеров

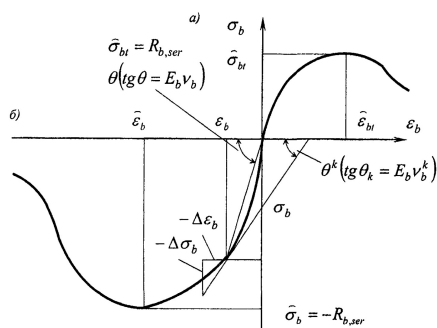


Рис. 13. Криволинейные диаграммы деформирования бетона по СП 63.13330.2012

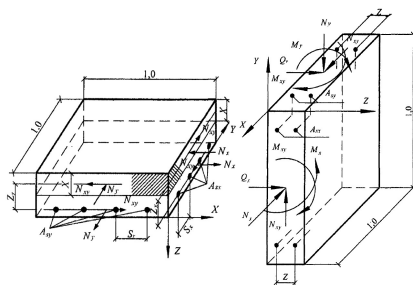


Рис. 14. Схемы усилий к расчету плоских элементов плит и стен по СП 63.13330.2012

Сводов Правил. В настоящее время отсутствует какая-либо систематизация в нумерации, позволяющая по номерам СП ориентироваться в их многообразии. Предлагается выполнить реформу в системе строительного нормирования в части четкой классификации и систематизации сводов правил: назначить главенствующие СП по отдельным направлениям, и второстепенные СП, в развитие которых они написаны. Эту же идеологию необходимо соблюсти и в нумерации СП. Нумерацию главенствующих СП целесообразно выполнить также по основным направлениям. В части конструкций следует выделить их типы, на основании которых составить СП по трем направлениям: проектирование, строительство и эксплуатация. Такую систематизацию можно выполнить в рамках отдельных НИР или мониторинговых работ. Помимо прочего, разработка указанной классификации позволит также выявить узкие места в нормативной базе и перспективные направления для ее развития.

В нормативной базе бытует понятие научно-технического сопровождения проектирования. В настоящее время нет положений, четко регламентирующих такой вид работ. При этом подключение научных специализированных институтов в ряде случаев является необходимым и обязательным с позиции помощи проектным организациям и экспертным органам. Это позволит принимать оптимальные решения, не снижая их надежность, учитывая высокую квалификацию сотрудников НИИ в решении отдельных узкоспециализированных вопросов и собственно разработку данными институтами норм и правил проектирования. Необходимо разработать отдельный нормативный документ, касающийся указанного направления в части проектирования железобетонных конструкций. Этот документ должен содержать конкретные требования к участникам выполнения данных работ, перечень возможных работ и результаты данных работ по сопровождению, так как оно постоянно вызывает вопросы со стороны заказчиков и экспертных организаций.

В части систематизации нормирования проектирования железобетонных конструкций необходимо выделить три упомянутых основных направления. Это проектирование, строительство и эксплуатация. Если два первых более или менее поддержаны нормативно, то последнее никак – нормы практически отсутствуют. При этом эксплуатация здания – наиболее длительный этап в жизни здания по сравнению с его проектированием и строительством. Представляется необходимым также рассмотреть возможность разработки норм эксплуатации железобетонных конструкций и зданий из железобетона. При этом первоначально, перед разработкой норм по данному направлению необходимо подготовить классификацию, указанную выше, с выделением основных направлений для нормирования по данному вопросу.

Проектирование железобетонных конструкций состоит из двух этапов. Первый этап – разработка конструктивной системы здания в целом, второй – проектирование узлов и конструкций конкретной системы. В настоящее время по конструктивным системам зданий практически отсутствуют нормативные документы. Разработан только проект норм по конструктивным системам крупнопанельных зданий. Следует разработать пакет норм, касающийся также монолитных конструктивных систем зданий, а также сборно-монолитных конструктивных систем, которые должны содержать общие требования к проектированию таких систем, что снимет достаточно большое число вопросов у проектных организаций.

Также открытым является вопрос проектирования стальных закладных деталей железобетонных конструкций. В СП 63.13330 есть только отдельное приложение с общими указаниями. В целом проектные организации пользуются устаревшими указаниями и пособиями. Необходимо выполнить ряд НИР и НИОКР по данному вопросу с целью разработки отдельного нормативного документа статуса СП с детальными требованиями к проектированию стальных закладных деталей в железобетонных

конструкциях с учетом современных требований и технологий.

В настоящее время расчеты конструктивных систем зданий из железобетона, их конструкций и узлов выполняется с применением метода конечных элементов (МКЭ). Собственно разработка конечно-элементных расчетных моделей, подходов к самому моделированию и выполнение расчетов зданий и конструкций из железобетона с применением МКЭ вызывает множество вопросов. Для их решения также необходимо провести ряд теоретических исследований в рамках НИР с целью разработки нормативного документа (в частности, пособия) по проектированию железобетонных конструкций с применением МКЭ.

Отдельным направлением необходимо выделить вопрос выполнения вероятностных расчетов. Как известно, применяемые методы в целом являются полувероятностными, с применением ряда коэффициентов надежности, гарантирующих ненаступление того или иного предельного состояния. Представляется, что вероятностные расчеты при соответствующем обосновании позволят выполнять конструкции и конструктивные системы из железобетона с необходимым (заданным) уровнем надежности, сохраняя при этом оптимальные параметры конструкций (в частности, по расходу материалов). Это также было отмечено в работе [21]. Для этого необходимо выполнение ряда научно-исследовательских поисковых работ с целью оценки возможности выработки основных положений по альтернативному нормированию необходимой надежности железобетонных конструкций с применением вероятностных методов расчета, с использованием современных средств, различных теорий математического аппарата и вычислительных технологий.

В части нормирования эксплуатации железобетонных конструкций и зданий из железобетона следует отметить необходимость оценки остаточного ресурса (срока службы) для того или иного периода времени. Четкие методики по данному вопросу в нормативной базе отсутствуют. Рекомендуется также рассмотреть возможность проведения ряда научно-исследовательских работ для разработки методики оценки остаточного ресурса. Решение этого вопроса в целом может позволить более конкретно планировать бюджеты для управляющих компаний, назначать конкретные сроки и периодичность обследования зданий из железобетона, а также более корректно оценивать стоимость зданий и их помещений.

Не следует забывать про необходимость совершенствования самого СП 63.13330. Такая необходимость вызвана совершенствованием как общей нормативной базы в России, так и отдельных расчетных методик. Некоторые положения действующего СП 63.13330 требуют своего дальнейшего рассмотрения и изучения (в части расчетов конструкций, конструирования и контроля качества и т.п.). После пересмотра СП 63.1330 следует продолжать выполнение отдельных НИР для решения данных вопросов с целью его усовершенствования.

Библиографический список

1. *Лолейт А.Ф.* Курс железобетона для строительных техникумов. Основы теории и проектирования. — М.-Л., 1925.
2. Временные технические условия и нормы проектирования и возведения железобетонных сооружений. — М., Плановое хозяйство ГОСПЛАНа СССР, 1926.
3. Железобетонные и бетонные конструкции и сооружения. Технические условия и нормы проектирования и возведения. — М.-Л.: ГНТИ, 1931.

4. Временная инструкция по сборным железобетонным конструкциям. — М.: Госстройиздат, 1933.
5. Нормы и технические условия проектирования железобетонных конструкций ОСТ 90003-38. — М.: Госстройиздат, 1939.
6. Введение в теорию расчета конструкций по предельному состоянию. Вып. 1. Под ред. В.М. Келдыша. — М.: Стройиздат, 1948.
7. Нормы и технические условия проектирования железобетонных конструкций (НиТУ-3-49). М.: Стройиздат, 1950.
8. Нормы и технические условия проектирования бетонных конструкций (НиТУ-4-49). — М.: Стройиздат, 1949.
9. Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций (НиТУ-123-55). — М.: Гос. изд-во по стр-ву и арх-ре, 1955.
10. СНиП II-B.1-62 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1962.
11. СНиП II-B.1-62* Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1970.
12. СНиП II-21-75 Бетонные и железобетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1976.
13. Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. 1992-1-1. - European Committee for Standardization. 2002.
14. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1984.
15. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М., 2004.
16. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. — М., 2004
17. СП 52-102-2004 Предварительно напряженные железобетонные конструкции. — М., 2005.
18. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М., 2012.
19. Федеральный Закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» №384-ФЗ.
20. Постановление Правительства Российской Федерации №1521 от 26.12.2014 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
21. Залесов А.С., Зенин С.А. Фактическое состояние и перспективные направления развития нормативной базы железобетона. // ПГС. 2013, № 1. С. 55-57.

Автор:

Сергей Алексеевич ЗЕНИН, канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey ZENIN, Ph.D. in Engineering, Head of the Laboratory of the Theory of reinforced concrete and constructive systems of the NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab01@mail.ru

тел.: +7 (916) 115-31-81