

## **Общие сведения о железобетонных и каменных конструкциях.**

### **§ 1. Краткий исторический обзор.**

**1.1 Железобетонные конструкции** Железобетон по сравнению с другими строительными материалами появился сравнительно недавно и почти одновременно в Европе и Америке. Его история насчитывает не более 150 лет. Однако к настоящему времени он получил самое широкое распространение в строительстве, имеет свою историю и своих выдающихся деятелей.

Железобетонные конструкции - несущие элементы зданий и сооружений, изготавливаемые из железобетона, и сочетания этих элементов.

Появление железобетонных конструкций связано с большим ростом промышленности, транспорта и торговли во второй половине XIX в., когда необходимо было строительство новых фабрик, заводов, портов и многих других капитальных сооружений. К этому времени были развиты цементная промышленность и черная металлургия. Им предшествовал многовековой опыт строительства из камня, неармированного бетона, дерева и двухсотлетний опыт строительства из металла.

Исследования покрытий Царскосельского Дворца показали, что русские мастера еще в 1802 г. применяли армированный бетон, однако они не считали, что получили новый строительный материал, и не патентовали его.

Первым изделием из железобетона была лодка, построенная Ламбо во Франции в 1850 г. Первые патенты на изготовление изделий из железобетона были получены Монье в 1867... 1870 гг. В 1892 г. французский инженер Ф. Геннебик предложил монолитные железобетонные ребристые перекрытия и ряд других рациональных строительных конструкций и все последующие арматурные чертежи вычерчены условно, будто бетон является прозрачным, а арматура хорошо видимой по всей толще бетона). В России железобетон стали применять с 1886 г. для перекрытий по металлическим балкам.

В 1885 г. в Германии инж. Вайс и проф. Баушингер провели первые научные опыты по определению прочности и огнестойкости железобетонных конструкций, сохранности железа в бетоне, сил сцепления арматуры с бетоном и пр. Тогда же впервые инж. М. Кёнен высказал предположение, подтвержденное опытами, что арматура должна располагаться в тех частях конструкции, где можно ожидать растягивающие усилия.

В 1886 г. М. Кёнен предложил первый метод расчета железобетонных плит, который способствовал развитию интереса к новому материалу и более широкому распространению железобетона в Германии и Австро-Венгрии.

В 1891 г. талантливый русский строитель проф. Н. А. Белелюбский первым провел серию испытаний железобетонных конструкций: плит, балок, арок, резервуаров, силосов для зерна, моста пролетом 17 м, которые по методике испытаний и полученным результатам во многом превосходили работы зарубежных ученых и послужили базой для широкого распространения железобетона в строительстве. В 1911 г. в России были изданы первые технические условия и нормы для железобетонных сооружений.

Время появления предложений Ф. Геннебика т. е. конец XIX в., можно считать началом *первого этапа* в развитии железобетона, характеризуемого появлением в практике разного рода железобетонных стержневых систем. С этого времени повсеместно вошел в практику и метод расчета бетонных конструкций по допустимым напряжениям, основанный на законах сопротивления упругих материалов. На развитие железобетона в этот период большое влияние оказали труды ученых Н. М. Абрамова (по расчёту армированного железобетона) и И. Г. Малюги, А. А. Байкова, Н. А. Жидкевича, М. Беляева и др. (по разработке основ технологии бетона).

В 1904 г. в г. Николаеве по проекту инженеров Н. Пятницкого и А. Барышникова был построен первый в мире морской маяк из монолитного железобетона высотой 36 м, со стенами толщиной 10 см вверху и до 20 см внизу. Примерно в то же время были осуществлены безбалочные междуэтажные перекрытия склада молочных продуктов в Москве. Приоритет создания этих конструкций принадлежит русскому инженеру, впоследствии выдающемуся ученому проф. А. Ф. Лолейту. Однако в дореволюционной России не было условий для подлинного прогресса в развитии железобетона.

Впервые идея предварительного напряжения элементов, работающих на растяжение, была выдвинута и осуществлена в 1861 г. русским артиллерийским инж. А. В. Гадолиным применительно к изготовлению стальных стволов артиллерийских орудий.

Вопрос о применении предварительно напряженной арматуры в железобетонных конструкциях был поднят в 1928 г. в работах Э. Фрейссипэ, а затем в работах немецких инженеров Ф. Дишингера, Е. Хойера, У. Финстервальдера и др., послуживших началом практическому применению предварительно напряженных железобетонных конструкций.

После революции железобетонное строительство в России получило невиданный в мире размах. Необходимость максимально экономить материал и снижать стоимость железобетонных конструкций вынуждала советскую школу учитывать все наиболее передовое в европейской и американской практике и широко развивать собственные теоретические и экспериментальные исследования в области железобетона. В этих целях вскоре после революции был создан ряд научно-исследовательских институтов и лабораторий для теоретической и экспериментальной изучения физико-механических свойств бетона и железобетона. В строительных и транспортных вузах были организованы кафедры строительных конструкций. Все это позволило в короткий срок подготовить высококвалифицированных специалистов по железобетону. Это, в свою очередь, способствовало значительному расширению применения железобетона в гидротехническом и жилищно-гражданском строительстве.

В 1925... 1932 гг. советские ученые В. М. Келдыш, А. Ф. Лолейт, А. А. Гвоздев, П. Л. Пастернак и другие на баз широких экспериментальных работ разработали общие методы расчета статически неопределимых стержневых систем (арок и рам), которые позволили запроектировать и построить много уникальных для своего времени общественных и промышленных зданий из железобетона: Центральный телеграф, Дом «Известий», здания министерств легкой промышленности и земледелия в Москве, почтамт и Дом промышленности в Харькове, Дома Советов в Ленинграде, Минске, Киеве и ряд других крупных сооружений.

В гидротехническом строительстве впервые железобетон был применен при строительстве Волховской ГЭС (1921... 1926 гг.), крупнейшей по тому времени. Плотина сооружалась на железобетонных кессонах, транспортируемых к месту установки на плаву. Главное здание станции железобетонное каркасное, с железобетонными аркадами, поддерживающими путь 130-тонного мостового крана. Так же широко железобетон был применен в главной подстанции и во всех вторичных подстанциях. Волховстрой явился первой большой практической школой советских специалистов по железобетону. Вслед за Волховской ГЭС были построены ДнепроГЭС (1927... 1932 гг.), Нижне-Свирская ГЭС (1928... 1934 гг.), в которых бетон и железобетон применялись еще более широко.

Примерно в 1928 г. железобетон стал широко использоваться в строительстве тонкостенных пространственных конструкций: разнообразных оболочках, складах, шатрах, сводах и куполах. Советский ученый В. З. Власов первым разработал общий практический метод расчета оболочек, значительно опередив зарубежную науку в этой области. В 1937 г. вышла в свет первая в мире «Инструкция по расчету и проектированию тонкостенных покрытий и перекрытий», составленная на основе теоретических и экспериментальных работ, проведенных под руководством А. А. Гвоздева.

Первый тонкостенный купол значительного диаметра (28 м) был построен в 1929 г. в Москве для планетария, а самый большой в то время гладкий купол диаметром 55, 5 м был сооружен в 1934 г. над зрительным залом театра в Новосибирске. Конструкцию купола разработал инж. Б. Ф. Матери по идее и под руководством П. Л. Пастернака.

Применение в строительстве рамных и тонкостенных пространственных систем с использованием их жесткости и монолитности следует считать *вторым этапом* в развитии железобетона.

В 1936 г. в СССР впервые был применен предварительно напряженный железобетон для изготовления опор канатной сети на закавказских железных дорогах. Широкому внедрению предварительно напряженных железобетонных конструкций во многом способствовали работы ученых В. В. Михайлова, А. А. Гвоздева, С. А. Дмитриева и др.

Огромную работу по изучению и созданию теории и практики железобетонных конструкций и по разработке наиболее прогрессивных решений проводят Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) и многие другие научно-исследовательские и проектные институты.

На основе глубокого изучения физических и упругопластических свойств железобетона, а также экспериментальных данных А. Ф. Лолейт, А. А. Гвоздев и другие (1931... 1934 гг.) создали теорию расчета железобетона по разрушающим усилиям. Она была положена в основу норм (ОСТ 90003-38), по которым рассчитывали все промышленные и гражданские здания и сооружения.

Широкую индустриализацию железобетонного строительства, развитие предварительно напряженных конструкций, внедрение высокопрочных материалов и разработку нового метода расчета железобетонных конструкций следует считать началом *третьего этапа* в развитии железобетонных конструкций. Выдающимся примером третьего этапа может служить построенная в 1965 г. башня Большого московского телецентра общей высотой 522 м. Нижняя часть до высоты 385 м выполнена из монолитного предварительно напряженного железобетона. Диаметр башни внизу 18, 0 м, а вверху - 8, 5 м при толщине стенки соответственно 46 и 30 см. На отметке 65 м ствол башни переходит в коническое основание диаметром понизу 61 м. На высоте 360 м расположены ресторан на 420 человек и смотровые площадки на 600... 700 человек. Нижняя часть конического основания выполнена в виде опорных

конструкций (ног) высотой 17, 3 м. На отметке 42 м оболочка конического основания имеет диафрагмовое кольцо, воспринимающее усилие от анкеровки канатов предварительно напряженной арматуры.

Советские ученые и инженеры осуществляли плодотворные научные и конструкторские исследования по всем направлениям теории и практики железобетона. Накопленный опыт и мощная строительная индустрия являются прочным фундаментом, обеспечивающим дальнейший прогресс железобетонных конструкций в нашей стране.

**1.2. Каменные конструкции.** *Под каменными конструкциями понимают несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений, выполненных путём соединения отдельных камней или каменных изделий строительным раствором.*

Каменные конструкции - наиболее древние, поскольку простейшие их виды можно было выполнять примитивными инструментами. В течение многих веков основным строительным материалом был камень. Известны сооружения из необработанных естественных камней еще каменного века. Во многих странах сохранилось большое количество выдающихся памятников каменного зодчества (крепости, соборы, дворцы и кремли). Позже для каменных конструкций применяли естественный камень, кирпич - как сырец, так и обожженный. Многие годы кирпич был основным материалом.

Желание зодчих совершенствовать конструкции требовало разработки способов их расчёта. В 1638 г. Галилей впервые определил несущую способность изгибаемого бруса. В конце XVIII в. Кулон предложил теорию расчёта каменного свода.

В первом опубликованном в России научном труде о прочности каменной кладки было изучено напряженное состояние каменной кладки при сжатии. Автор В. А. Гастев доказал, что при сжатии кладки каждый кирпич подвергается изгибу и в нем возникают напряжения сжатия, среза и растяжения.

Огромные масштабы строительства первых пятилеток при остром недостатке металла и цемента вызвали необходимость не только в увеличении объема, но и в расширении области применения каменных конструкций. Это потребовало дальнейшего развития исследований прочности этих конструкций.

Большую роль в развитии теории и практики каменных конструкций сыграли работы проф. Л. И. Онищяка и его учеников, выполненные начиная с 1932 г. в организованной им лаборатории каменных конструкций в Центральном научно-исследовательском институте промышленных сооружений (ЦНИПС).

К середине 30-х гг. методы расчета прочности каменных конструкций уже были основаны на большом экспериментальном материале. За период с 30-х до 50-х гг. произошла существенная эволюция каменных конструкций и материалов. Значительно расширилась область применения кирпичных стен, было внедрено армирование кирпичной кладки на основе теории расчета армокаменных конструкций.

В 30-е гг. советскими учеными были разработаны новые методы производства работ в зимнее время, в том числе и каменных. Многочисленные исследования прочности кладки, выполненной методом замораживания раствора с твердением его после оттаивания, новые издание соответствующих нормативных документов позволили ликвидировать сезонность в строительстве. С 1931 г. в зимнее время кладку начали вести без тепляков.

В развитии теории и практики каменных конструкции велика роль В. П. Некрасова, Л. И. Онищяка, С. А. Семенцова, С. В. Полякова, Ю. М. Иванова, В. А. Камейко, А. И. Рабиновича, И. Т. Котова, Н. И. Кравчени и других советских ученых.

Каменные конструкции возводят из имеющихся на местах материалов. Они просты в изготовлении, долговечны и огнестойки. Однако их возведение связано со значительными трудовыми затратами: каменные конструкции имеют сравнительно большую массу, высокую теплопроводность. Для повышения уровня механизации кладочных работ и сокращения сроков строительства в настоящее время применяют крупные блоки и панели заводского изготовления из кирпича, легких и ячеистых бетонов.

Дальнейшее развитие каменных конструкций идет по пути освоения и внедрения более эффективных каменных материалов и крупноразмерных конструкций, исследований по расчету прочности и устойчивости каменных конструкций и проектирования на этой основе эффективных конструкций сравнительно малой массы, позволяющих использовать местную сырьевую базу и индустриальные методы строительства.

## § 2. Основные требования.

**2.1. Надежность.** *Под надежностью понимают свойство конструкций зданий сохранять свои эксплуатационные показатели (обеспеченная безопасность и комфортабельность проживающих или*

работающих в них людей, отсутствие отрицательного влияния на технологический процесс, на работу машин и оборудования) в течение запроектированного (теоретического) срока службы. Практика эксплуатации зданий показывает, что проблема надежности строительных конструкций при снижении их массы является весьма актуальной. Расчеты надежности конструкций зданий являются неотъемлемой частью технико-экономического обоснования при их проектировании. От надежности зданий зависят эффективность капиталовложений, единовременные затраты и расходы на их содержание. Последние в период существования здания могут превышать единовременные затраты на их постройку.

Надежность зданий в основном характеризуется двумя коэффициентами:

$g_r$  - отношение фактического срока службы зданий до капитального ремонта к запроектированному сроку службы:

$g_t$  - отношение теоретических эксплуатационных затрат к фактическим в период до капитального ремонта зданий.

Коэффициенты надежности  $g_r$  и  $g_t$  не должны быть меньше единицы. Они зависят от качества исходных материалов, армирования заводской изготовления, разнообразных защитных мероприятий в соответствии со степенью агрессивности среды, проектно - изыскательских и строительно-монтажных работ, условий культуры эксплуатации зданий, своевременного проведения текущих и капитальных ремонтов. Коэффициенты надежности увеличиваются с повышением общей неразрезанности пространственной жесткости и устойчивости здания, поэтому во всех случаях рекомендуется узлы сопряжения конструкций из сборного железобетона замоноличивать так, чтобы они работали под нагрузкой как единые монолитные системы.

При проектировании необходимо стремиться к тому, чтобы при самых неблагоприятных условиях надежность каменных и железобетонных конструкций оставалась высокой. Теоретические и экспериментальные исследования, направленные на повышение надежности строительных конструкций, расширяются с каждым годом.

**2.2. Индустриальность.** Под индустриальностью конструкций зданий понимают возможность механизированного и автоматизированного их изготовления, а также возможность монтажа и полной отделки в кратчайшие сроки с помощью высокопроизводительных машин и механизмов, при минимальных расходах материалов, затратах ручного труда и общей стоимости (приведенных затратах). Требованиям индустриализации отвечают сборные железобетонные конструкции, изготавливаемые на заводах или полигонах сборного железобетона. Заводская готовность поставляемых на стройку строительных конструкций должна быть по возможности максимальной, чтобы исключить послеоперационные отделочные работы. Перевод большинства строительных процессов со строительной площадки на заводы сборного железобетона позволяет повысить надежность строительных конструкций, сократить сроки возведения зданий и снизить их стоимость.

В целях повышения эффективности предприятий сборного железобетона в России проведена большая работа по межотраслевому модулированию основных строительных параметров зданий (продольный шаг колонн, пролеты и высоты помещений, привязки конструкций к основным продольным и поперечным осям). На этой основе осуществлена межотраслевая унификация конструктивных схем зданий и сооружений и строгая типизация сборных железобетонных элементов.

**2.3. Модулирование габаритных параметров.** Под модулированием габаритных параметров строительных конструкций понимают единую модульную систему (ЕМС), предусматривающую градацию размеров по горизонтали и вертикали на базе модуля 100 мм (М) или укрупненного модуля, кратного 100 мм. Под модулем понимают условную единицу измерения, применяемую для координации размеров зданий, их элементов, строительных изделий и элементов оборудования зданий. Для многоэтажных промышленных зданий принята унифицированная сетка колонн 9 x 6 м под временные нормативные нагрузки на перекрытия 5, 10 и 15 кН/м<sup>2</sup> и сетка колонн 6 x 6 м под временные нормативные нагрузки 10, 15, 20 и 25 кН/м<sup>2</sup>; высоту этажей Н принимают кратной укрупненному модулю 1,2 м, например 3,6; 4,8; 6 м (см. рис.11). Сетка колонн может быть увеличена до 12 x 6 и 18 x 6 м. При этом достигают экономии рабочей площади на 6...8 %. Иногда для повышения универсальности и удобства размещения оборудования промышленные многоэтажные здания проектируют пролетами 24, 30 и 36 м. В гражданских зданиях укрупненным модулем для сетки осей принят размер 200 мм (2М). Расстояние между осями сетки в продольном и поперечном направлениях назначают 2...6,4 м, в каркасных зданиях – 6 м. Высота этажей административных зданий 3,3; 3,6 м, кратная модулю 300 мм (3М). Модульная система является предпосылкой внедрения индустриальных методов сборного строительства.

**2.4. Унификация.** Под унификацией объемно-планировочных решений зданий понимают рациональное сокращение числа объектов одинакового функционального назначения, пригодных в жилищном,

*культурно-бытовом или промышленном строительстве.* Она базируется на модулированных габаритных параметрах. Основные объемно-планировочные параметры зданий: шаг колонн, высота этажа, размещение конструктивных элементов по отношению к разбивочным осям здания. Унификация объемно-планировочных решений зданий позволяет унифицировать конструктивные схемы строительных конструкций.

*Под унификацией конструктивных схем понимают приведение их к ограниченному количеству типов, пригодных для удовлетворения нужд самого разнообразного назначения.* Унификация конструктивных схем строительных конструкций позволяет резко сократить количество типоразмеров элементов конструкций, что положительно сказывается на их возведении (монолитные конструкции), технологии изготовления, транспортировании и монтаже (сборные конструкции).

Унификация объемно-планировочных решений и конструктивных схем строительных конструкций является основой современного индустриального строительства и позволяет создать серии экономичных типовых проектов для массового применения, вследствие чего снижаются сроки и стоимость строительства и повышается его качество.

Типовые проекты являются основой стандартизации элементов конструкций и узлов их сопряжении, без чего невозможен технический прогресс в строительстве. Стандартизация является высшей ступенью типизации. Назрела необходимость перевода значительного количества типовых конструкций в стандарты, что позволит значительно повысить качество строительной продукции. Отступление от унифицированных конструктивных схем приводит к появлению доборных конструктивных элементов и нетиповых сопряжений, требующих дополнительных затрат времени и средств на всех стадиях проектирования и возведения конструкций.

При разработке типовых проектов широко применяют принцип блочной компоновки зданий, согласно которому все вспомогательные помещения объединяют в одно здание, под одной крышей. При такой компоновке достигается максимальная повторяемость одних и тех же типовых элементов, упрощаются узлы в местах примыканий и уменьшается количество типоразмеров изделий.

В России вопросами модулирования габаритных параметров зданий, унификацией объемно-планировочных решений и конструктивных схем занимаются крупнейшие проектные институты. Организована публичная библиотека типовых проектов, которые являются обязательными для применения проектными и строительными организациями, а также предприятиями, изготовляющими сборные железобетонные изделия и конструкции.

**2.5. Требования к конструктивным схемам.** При проектировании строительных конструкций следует применять конструктивные решения, которые в максимальной степени отвечали бы экономическому расходованию металла, леса и цемента, максимальному снижению массы конструкций, трудоемкости и стоимости изготовления и возведения зданий. При этом учитывают местные условия района строительства: вид и качество строительных материалов и изделий, наличие заводов сборных железобетонных конструкций, оснащенность строительства машинами и механизмами.

Технико-экономическое обоснование принятых решений при проектировании конструкций имеет исключительно важное значение. В результате сопоставления вариантов принимают проектное решение, при котором конструкции имеют наименьшую стоимость в деле, наименьшую собственную массу и удовлетворяют в наибольшей степени эстетическим требованиям при всех прочих равных условиях (надежность, прочность, устойчивость).

При проектировании монолитных конструкций предусматривают для каждого объекта минимальное количество унифицированных размеров сечений балок, колонн и других элементов и исходят из индустриальных методов их возведения. Для армирования конструкций широко используют унифицированные арматурные изделия в виде сеток и каркасов заводского изготовления. Предусматривают мероприятия, обеспечивающие развитие в узлах элементов конструкций пластических деформаций, значительно повышающих сопротивление конструкций непродолжительному действию внешних воздействий.

**2.6. Технико-экономическая эффективность.** *Под технической эффективностью понимают способность конструкций к наиболее полному и длительному удовлетворению заданных эксплуатационных требований с учетом возрастающих эстетических запросов людей.* Решающими показателями технической эффективности каменных и железобетонных конструкций являются энергоемкость и трудоемкость их изготовления, расход исходных материалов, масса, долговечность и надежность в эксплуатации при соблюдении установленных правил.

*Под экономической эффективностью понимают минимум приведенных затрат на готовые конструкции «в деле».* Она повышается за счет применения рациональных тонкостенных пространственных и неразрезных (статически неопределимых) систем, камня, бетонов и сталей

повышенной прочности и разнообразных легких бетонов и каменных материалов. Наиболее целесообразными считают конструкции с лучшими технико-экономическими показателями при всех прочих равных условиях (надежность, индустриальность, технологичность, эксплуатационные качества, экономичность и др.).

### **§ 3. Применение. Перспективы развития**

**3.1. Применение.** Каменные и армокаменные конструкции используют во всех климатических районах. Каменные конструкции применяют в качестве несущих конструкций для внецентренно сжатых элементов с ограниченным эксцентриситетом приложения внешних сил. Армокаменные конструкции расширяют область применения каменных конструкций, приближая их к железобетонным. Каменные конструкции недостаточно совершенны для зданий и сооружений, подвергающихся динамическим воздействиям, для строительства в сейсмических районах, в условиях воздействия агрессивной среды, систематических технологических температур выше 100°С, в зонах вечной мерзлоты, просадочных и набухающих грунтов и на подрабатываемых территориях. Наряду с искусственными каменными материалами (кирпич, пустотелые керамические или бетонные камни, сплошные камни и блоки из легких и ячеистых бетонов) рекомендуется применять природные каменные материалы (известняк, туф), выпиливаемые из массивов горных пород.

Железобетонные конструкции широко используют в капитальном строительстве при воздействии температур не выше 50 °С и не ниже -70 °С. В каждой отрасли промышленности и жилищно-гражданском строительстве имеются экономичные формы конструкций из сборного, монолитного или сборно-монолитного железобетона.

Во многих случаях конструкции из железобетона (особенно предварительно напряженного) целесообразнее каменных или стальных. К ним относятся: атомные реакторы, мощные прессовые устройства, морские сооружения, мосты, аэродромы, дороги, фабрично-заводские, складские и общественные здания и сооружения; тонкостенные пространственные конструкции, силосы, бункера и резервуары; напорные трубопроводы; фундаменты под прокатные станы и под машины с динамическими нагрузками, башни, высокие дымовые трубы, сваи, кессонные основания, подпорные стены и многие другие массивные сооружения.

Большое применение железобетон находит при устройстве набережных, тепло- и гидроэлектрических станций, плотин, шлюзов, доков и других гидротехнических сооружений. Железобетон является незаменимым строительным материалом в санитарно-техническом и подземном строительстве. Он в значительной степени вытеснил древесину и металл при горных разработках. В строительстве железобетонных судов и плавучих доков еще до войны Россия достигла значительных результатов. На изготовление железобетонных линейных конструкций расходуется в 2...3 раза, а на изготовление плит, настилов, труб в 10 раз меньше металла, чем на стальные конструкции.

**3.2. Перспективы развития.** Каменные конструкции из штучных материалов (кирпич, керамика, блоки) продолжают занимать большой объем в современном строительстве. Развитие каменных конструкций идет по пути укрупнения штучных материалов и применения крупных каменных блоков и панелей.

Железобетонные конструкции, особенно предварительно напряженные, получили массовое использование в строительстве и имеют широкую перспективу для дальнейшего развития.

Основными направлениями в совершенствовании железобетонных конструкций (снижение стоимости при одновременном повышении качества) являются:

- 1) удовлетворение требований непрерывно развивающихся «Технических правил по экономному расходованию строительных материалов» (ТП-101-81);
- 2) применение конструктивных решений, снижающих массу конструкций и позволяющих наиболее полно использовать: физико-механические свойства исходных материалов, местные строительные материалы, бетоны высоких классов (40 и выше), лёгкие бетоны, холодную пропитку бетонов мономерами и высокопрочную арматуру (1000 МПа и выше), механизированное и автоматизированное изготовление конструкций;
- 3) повышение долговечности, надежности и технологичности конструкций, снижение их приведённых затрат, материалоемкости, энергоёмкости, трудоемкости изготовления и монтажа;
- 4) разработка новых, уточнение и упрощение существующих методов расчета конструкций, особенно пространственных, тонкостенных и с предварительным напряжением арматуры;

5) развитие методов расчета с использованием ЭВМ и высокопроизводительных методов конструирования (САПР), технологии изготовления и возведения конструкций сборных, сборно-монолитных и монолитных;

6) повышение качества, упрочнение и удешевление стыков сборных и сборно-монолитных конструкций;

7) изучение физико-химических и механических процессов взаимодействия стальной арматуры с бетоном в целях наиболее эффективной борьбы с появлением и раскрытием трещин в конструкциях;

8) совершенствование методов подбора и изготовления бетона (особенно легкого и ячеистого), с тем чтобы получать железобетон с заранее заданными свойствами;

9) повышение сейсмической и динамической стойкости конструкций;

10) увеличение долговечности конструкций в зданиях с агрессивными средами, а также при эксплуатации в низких и высоких температурах.

Основным направлением технической политики в области строительства являются снижение его стоимости, энергоемкости и трудоемкости при высокой долговечности и надежности зданий, повышение технологичности как отдельных элементов, так и конструкций в целом. К настоящему времени наибольшее распространение в жилищно-гражданском строительстве получили полносборные каркасные и бескаркасные многоэтажные здания и здания из объемных элементов.

*Под каркасными понимают здания основной несущей конструкцией которых является железобетонный каркас, состоящий из колонн и ригелей или из одних колонн (при безригельной схеме). Безригельная схема уменьшает количество монтажных элементов, общую массу железобетонных конструкций, исключает устройство трудоемких консолей на колоннах и упрощает монтаж каркаса. Каркасные здания из-за относительно большого количества сборных элементов оказываются более трудоемкими в изготовлении и монтаже и менее экономичными по сравнению с бескаркасными зданиями. Они целесообразны при высоте зданий не менее 10 этажей и широком применении в ограждающих конструкциях (панели наружных и внутренних стен), панелях перегородок, перекрытиях легких тепло- и звукоизоляционных материалов.*

*Под бескаркасными понимают здания, в которых полностью отсутствуют колонны, ригели и обвязки. Состоят они из крупных элементов (чаще всего размером на комнату) — панелей стен, перегородок и плит перекрытий. Бескаркасные крупнопанельные здания строят в основном с несущими поперечными стенами с шагом до 6 м и более. В таких зданиях полностью используют несущую способность поперечных стен. Панели наружных стен выполняют только теплозащитные функции, поэтому их изготавливают из легкого местного материала.*

В бескаркасных зданиях, по сравнению с каркасными, в среднем на 20% сокращается число монтируемых элементов и выравнивается их масса, вследствие чего снижаются сроки строительства и уменьшаются приведенные затраты. В них представляется возможность передачи усилий через подстилающий растворный слой, что позволяет на 60... 70% сократить массу металлических закладных частей и повысить капитальность зданий в отношении повреждения закладных стальных деталей коррозией или огнем.

*Под зданиями из объемных элементов понимают здания, монтируемые из крупных объемных блоков. Их конструктивная схема в большинстве случаев является бескаркасной. Эти здания особенно перспективны, так как в большей степени отвечают требованиям индустриализации и позволяют почти полностью перевести строительство зданий на заводской конвейер, включая весь комплекс санитарно-технических, электромонтажных и архитектурно-отделочных работ. На строительной площадке выполняют лишь монтаж готовых квартир.*

Многоэтажные производственные каркасные здания с балочными перекрытиями (рис. 10) получили широкое распространение в химической, радиотехнической и других отраслях промышленности. По этой схеме строят также многие общественные здания.

Увеличение числа этажей сказывается главным образом на усилении сечения колонн и вертикальных связевых диафрагм нижних этажей, что меньше влияет на затраты материалов и общую стоимость здания, чем увеличение толщины несущих панелей в бескаркасных зданиях. В каркасных зданиях целесообразно горизонтальные нагрузки передавать ядру жесткости из монолитного железобетона. Каркас здания привязывают к ядру жесткости и он воспринимает только вертикальные нагрузки. При больших размерах в плане и большой высоте здания с монолитным ядром жесткости оказываются экономичнее каркасных зданий без ядра жесткости.

Многоэтажные здания с безбалочными перекрытиями (рис. 11) сооружают на предприятиях пищевой промышленности, холодильниках и других производствах с повышенными требованиями к чистоте помещений. Наиболее экономичны многоэтажные здания с укрупненной сеткой колонн (6 x 12; 6 x 18; 12

х 12 м), так как они обеспечивают быструю и рациональную перестройку технологии производства. В многоэтажных производственных зданиях целесообразно применять предварительно напряженные ригели с внешним армированием. Монолитные железобетонные перекрытия или покрытия с внешней профилированной листовой арматурой возводят без применения опалубки. Формой для них служит профилированный настил, уложенный на несущие конструкции — балочную клетку, прогоны, несущие стены; настил используют в качестве подмостей, а после укладки бетона он является арматурой плиты.

В целях создания гибкой планировки цехов, модернизации и усовершенствования производства в последнее время все шире внедряют в строительство многоэтажные производственные здания с техническими этажами и пролетами междуэтажных перекрытий до 36 м.

#### **§ 4. Железобетонные конструкции без предварительного напряжения**

**4.1. Сущность и преимущества.** Как и любой другой искусственный или естественный каменный материал, бетон сопротивляется разрыву примерно в 15...20 раз слабее, чем сжатию. Кроме того, он является хрупким материалом.

Средняя относительная предельная растяжимость бетона  $E_{BTU} = (Dl_{tu} / l)100\% = 0,015\%$  (0,15 мм на 1 м) примерно в 13 раз меньше средней относительной предельной сжимаемости  $e_{BU} = (Dl_{pu} / l)100\% = 0,2\%$  (2 мм на 1 м). Именно хрупкость не позволяет во многих случаях использовать прочность бетона при растяжении, даже когда напряжения, вызываемые внешними силами, невелики. Это объясняется тем, что из-за колебаний температуры, неравномерного высыхания, случайных динамических воздействий трещины в бетоне могут возникнуть еще в период строительства. Поэтому из бетона выполняют конструкции, воспринимающие сжимающие усилия: стены, массивные фундаменты, колонны, подпорные стенки и другие сооружения. Бетонные конструкции применяют иногда при работе на изгиб при малых растягивающих напряжениях, не превышающих предела прочности бетона при осевом растяжении.

Центрально растянутые, внецентренно сжатые или растянутые и изгибаемые элементы, несущая способность которых обусловлена прочностью (сопротивляемостью) материала на разрыв (растяжение), выполняли обычно из дефицитной стали или недолговечной древесины.

Исследования показали, что разрушение бетонных балок происходит от разрыва нижних (наиболее растянутых) волокон (рис. 13, а). При этом несущая способность сжатой зоны балки используется не более чем на 5...7%. Если усилить растянутую зону балки так, чтобы она могла воспринимать необходимые растягивающие усилия, то соответственно будет возрастать несущая способность всей балки, вплоть до полного исчерпания прочности ее сжатой зоны.

Наиболее подходящим материалом, позволяющим в широких пределах повышать сопротивляемость растянутых зон бетонных балок, оказалась стальная арматура (рис. 13, б), одинаково хорошо сопротивляющаяся растяжению и сжатию. Относительное удлинение стали при разрыве в сотни раз превышает предельное относительное удлинение бетона. Сталь — прочный упругопластический материал.

При достаточном армировании железобетонная балка разрушится при полном исчерпании несущей способности сжатой зоны, следовательно, прочность ее по сравнению с бетонной (неармированной) балкой в зависимости от класса бетона может возрасти примерно в 15...20 раз.

*Железобетоном называют комплексный строительный материал, в котором бетон и стальная арматура, соединенные взаимным сцеплением, работают под нагрузкой как единое монолитное тело. При этом имеется в виду, что бетон в основном предназначается для восприятия сжимающих усилий, а стальная арматура — преимущественно растягивающих.* При таком распределении функций между бетоном и стальной арматурой железобетон, в основном (98%) каменный материал, способен воспринимать растягивающие усилия вплоть до полного использования несущей способности сжатой зоны изгибаемых, внецентренно сжатых или растянутых элементов. Железобетон можно рассматривать как комплексный армированный материал, обладающий анизотропией (т. е. зависимостью механических и деформативных свойств от направления действия внешних нагрузок), обусловленной армированием и нелинейностью деформирования связанной с трещинообразованием, пластическими свойствами бетона и стали.

*Под железобетонными конструкциями без предварительного напряжения понимают конструкции, в которых арматура уложена без предварительного натяжения.* Основными преимуществами железобетонных конструкций являются высокая прочность, долговечность, огнестойкость, стойкость против атмосферных явлений, малые эксплуатационные расходы на содержание зданий и сооружений, гигиеничность, экономичность ввиду повсеместной распространенности сырьевых материалов.



**4.2. Недостатки.** Основные недостатки железобетонных конструкций без предварительного напряжения (без напрягаемой арматуры) несложно проследить на примере работы под нагрузкой простой балки. За счет сцепления с арматурой бетон растянутой зоны балки работает на растяжение под воздействием внешней нагрузки вместе с арматурой. Предельная растяжимость бетона  $e_{btu} = 0,00015$  в сотни раз ниже предельной растяжимости стальной арматуры, поэтому при совместном растяжении со сталью цельность бетона сохраняется только в начальный период эксплуатации.

Учитывая, что до появления трещин деформации бетона  $e_{btu}$  растянутой зоны балки на уровне арматуры и арматуры  $e_s$  в любой точке их соприкосновения равны между собой, получим

$$e_{btu} = e_s = s_{bt} / (v_t * E_b) \quad (1)$$

Напряжение в арматуре, по закону Гука,

$$s_s = e_s E_s = s_{bt} * E_s / v_t * E_b = a * s_{bt} / v_t, \quad (2)$$

где  $a = E_s / E_b$  — коэффициент приведения арматуры к бетону, показывает, что каждую единицу площади сечения арматуры можно условно приравнять а единицам площади бетона и привести материал арматуры к материалу бетона, т. е. получить однородное (приведенное) бетонное сечение;  $v_t = 0.5$  — коэффициент упругих деформаций бетона при растяжении.

С возрастанием внешней нагрузки напряжения в бетоне растянутой зоны сечения возрастают до предела прочности на растяжение  $R_{bt, ser}$  и бетон этой зоны начинает трескаться; деформация бетона в момент трещинообразования

$$e_{crc} = R_{bt, ser}$$

что соответствует, например, для наиболее массовой арматуры из стали класса А-III и бетона класса В-30 22,5 МПа. Учитывая развитие деформаций ползучести бетона, снижающие во времени расчетный модуль деформации, действительные напряжения в арматуре в период образования трещин могут достигать 30 МПа и более. Однако их значение всегда остается небольшим по сравнению с расчетной прочностью стальной арматуры. Значит, к моменту образования трещин в растянутой зоне балки (выход растянутого бетона из работы) арматура слабо помогает работе растянутой зоны; вследствие этого в ней образуются и раскрываются многочисленные трещины на ранних стадиях работы балки, что весьма нежелательно, так как в трещины может попадать влага и вызывать опасную коррозию арматуры. Нагрузка в момент образования трещин обычно составляет 15...25% разрушающей.

С увеличением внешней нагрузки начинается активный процесс развития по высоте сечения и раскрытия ранее образованных трещин по длине балки. Вследствие этого быстро уменьшается высота сжатой зоны, что резко (до 5 раз) снижает приведенный момент инерции сечения, а следовательно, и жесткость балки. Это, в свою очередь, способствует резкому возрастанию прогиба балки, находящегося в обратной зависимости от приведенного момента инерции.

Многолетний опыт эксплуатации железобетонных конструкций без предварительного напряжения в наиболее благоприятных условиях показал, что при раскрытии трещин более 0,4 мм возможно проникновение паров воздуха в трещины, вызывающих коррозию арматуры. Поэтому нормы запрещают дальнейшую эксплуатацию железобетонных конструкций как только ширина раскрытия трещин в них превысит 0,4 мм. Экспериментальные исследования показывают, что в момент максимально допустимой ширины раскрытия трещин и величины прогиба, напряжения в гладкой арматуре не превышают 250...300 МПа. При переходе на арматуру периодического профиля, сцепление которой с бетоном в 2...3 раза выше по сравнению с гладкой арматурой, увеличивается число трещин, уменьшается ширина их раскрытия (< 0,4 мм), а напряжения в арматуре возрастают до 590 МПа. Вот почему в обычных железобетонных конструкциях невозможно рационально использовать арматуру с пределом текучести более 590 МПа, что соответствует пределу текучести арматуры классов А-IV и А-IVС. Поэтому нормы запрещают применять для армирования железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуру выше класса А-IV.

Из-за низкой прочности применяемой арматуры, малой трещиностойкости и жесткости оказывается невыгодным применение в железобетонных конструкциях без предварительного напряжения современных бетонов повышенной и высокой прочности. Поэтому масса таких конструкций оказывается высокой, что ограничивает величину перекрываемых ими пролетов по сравнению с деревянными и особенно с металлическими конструкциями. Известно, что усилия от собственного веса балки возрастают пропорционально квадрату пролета, следовательно, с ростом пролета вес железобетонной балки возрастает значительно быстрее, чем ее пролет. С ростом веса балки уменьшается полезная нагрузка, которую она способна выдержать. При величине пролета более 12 м железобетонная балка без предварительного напряжения начинает в основном «нести себя», т. е. она становится по экономическим соображениям нецелесообразной из-за большого собственного веса.

- Практика эксплуатации таких конструкций показывает, что при ударных, вибрационных и особенно знакопеременных нагрузках происходит опасное раскрытие трещин, что снижает их несущую способность по выносливости. Следовательно, основными недостатками железобетонных конструкций без предварительного напряжения являются: 1) раннее образование трещин в растянутых зонах элементов вследствие слабого включения в работу арматуры в этот момент и быстрое их раскрытие до предельно допустимой величины; 2) быстрый рост прогибов элементов до предельной величины после образования трещин в их растянутых зонах; 3) невозможность использования для армирования высокоэффективных сталей повышенной и высокой прочности, позволяющих в несколько раз сократить расход стали в строительстве из-за быстрого раскрытия трещин и быстрого роста прогибов; 4) чрезмерная массивность из-за большого собственного веса; 5) недостаточная выносливость.

Инженерная мысль во всех странах в течение длительного периода упорно стремилась преодолеть названные недостатки железобетонных конструкций без предварительного напряжения. Работа шла в разных направлениях и выполнялась различными путями, но полноценные результаты были получены только с внедрением в практику предварительного напряжения бетона посредством обжатия его предварительно напряженной арматурой повышенной и особенно высокой прочности. Этот новый принцип армирования явился крупнейшим завоеванием техники, шагом вперед по пути развития железобетона. С его помощью удалось успешно преодолеть основные недостатки железобетонных конструкций без предварительного напряжения. Предварительное напряжение арматуры дает возможность использовать железобетонные конструкции там, где они ранее считались неприменимыми.

Сооружения с размерами пролетов, которые еще совсем недавно считалось целесообразным перекрывать только металлом, в настоящее время решаются в виде легких железобетонных преднапряженных конструкций, что обусловлено их высокой трещиностойкостью, жесткостью и относительной легкостью. Решающим фактором широкого внедрения во все отрасли строительства преднапряженных железобетонных конструкций являются их высокие технико-экономические показатели.

Эти конструкции таят богатейшие возможности для принятия самых смелых архитектурных решений.