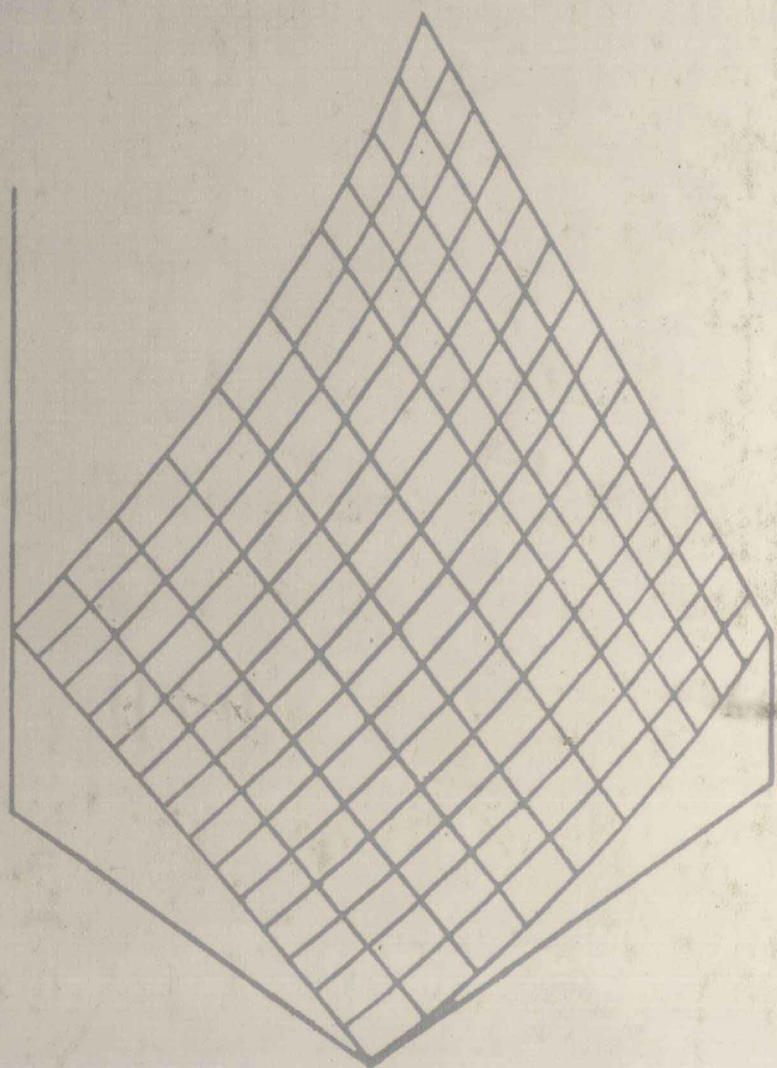


ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Ю. В. Зайцев
К. Л. Овсянников
В. Ф. Промыслов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Под общей редакцией
В. Ф. Промыслова

Допущено Министерством высшего и среднего специального
образования СССР в качестве учебного пособия для студентов
строительных специальностей вузов



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

ББК 38.6
З-17
УДК 624.04

Рецензенты:

кафедра железобетонных конструкций Московского
ордена Трудового Красного Знамени инженерно-
строительного института им. В. В. Куйбышева (зав.
кафедрой — заслуженный деятель науки и техники
РСФСР, проф., д-р техн. наук В. Н. Байков);
проф., д-р техн. наук В. М. Бондаренко (Все-
союзный заочный инженерно-строительный институт)

Зайцев Ю. В., Овсянников К. Л.,
Промыслов В. Ф.

З-17 Проектирование и монтаж железобетонных
конструкций: Учеб. пособие / Под ред. В. Ф.
Промыслова. — М.: Высш. школа, 1980. —
335 с., ил.

В пер.: 85 к.

В пособии излагаются основные сведения о бетоне, сталь-
ной арматуре и железобетоне. Рассматриваются принципы
расчета железобетонных конструкций по предельным состоя-
ниям, особенности расчета и конструирования сборных желе-
зобетонных конструкций зданий и сооружений. Значительное
место отведено методам монтажа конструкций из сборных
элементов.

Предназначается для студентов строительных специаль-
ностей вузов.

З 30204—326
001 (01)—80 109—80

3202000000

6С4.05
ББК 38.6

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие охватывает основные разделы курсов «Железобетонные конструкции» и «Монтаж железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий», изучаемых студентами строительных специальностей. В пособии отражены решения VIII Всесоюзной конференции «Повышение эффективности и качества бетона и железобетона» (1977 г.), определившей основные пути развития эффективных железобетонных конструкций в СССР на десятую и одиннадцатую пятилетки. Дана новая методика расчета железобетонных конструкций в соответствии с введенной в 1977 г. главой СНиП II-21—75 «Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования». Отражен современный мировой уровень проектирования высокоэффективных предварительно напряженных конструкций (по материалам международных конгрессов ФИП по предварительно напряженному железобетону), а также других железобетонных конструкций, характеризующих научно-технический прогресс в рассматриваемой области.

Изложение материала в книге построено в предположении, что студенты уже знакомы со строительными материалами, сопротивлением материалов, основами строительной механики, а также с основными принципами объемно-планировочных решений зданий и сооружений.

Насыщенность книги контрольными вопросами, наличие примеров расчета делают пособие особенно удобным для использования

студентами-заочниками. Подробное физическое обоснование ряда положений и расчетных формул СНиП II-21—75, приведенное в книге, может оказаться полезным для проектировщиков и других специалистов в области железобетона.

Ю. В. Зайцевым написаны гл. I—XIII; К. Л. Овсянниковым — гл. XIV, § 5, 7, 10; В. Ф. Промысловым — гл. XIV, § 1, 3, 4, 9; С. А. Ивановым — гл. XIV, § 2, 6, 8; Ю. В. Зайцевым и В. Ф. Промысловым — предисловие, введение и гл. XV.

Авторы выражают благодарность рецензентам — коллективу кафедры железобетонных конструкций Московского ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева (зав. кафедрой — заслуженный деятель науки и техники РСФСР, проф., д-р техн. наук В. Н. Байков) и проф., д-ру техн. наук В. М. Бондаренко за ценные замечания, сделанные при рецензировании книги.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

История железобетона сравнительно коротка — лишь немногим более 100 лет прошло с того момента, когда были созданы первые железобетонные изделия. Открытие железобетона обычно приписывают французскому садовнику Жозефу Монье (1823—1906). Ему приходилось делать кадки из цементного раствора для цветов и апельсиновых деревьев. С целью увеличения прочности этих кадок он в 1861 г. попробовал заложить в их тело остои из металлической сетки. Кадки, неожиданно для самого изобретателя, оказались очень удачными и привлекли к себе внимание. Весьма вероятно, что открытие Ж. Монье не было бы замечено и не получило бы признания, если бы развитие производительных сил и производственных отношений общества не вызвало необходимости перехода к новому материалу, каким явился железобетон.

Действительно, подобного рода изделия и даже целые сооружения применялись и раньше, но способ армирования бетона был забыт, как не имеющий серьезного технического значения. Например, в той же Франции в 1850 г. инженер Ж. Ламбо сделал гребное судно из бетона, армированного отдельными стержнями. Это судно демонстрировалось на Всемирной выставке в Париже в 1855 г. и оказалось очень долговечным — в 20-е годы нашего века оно еще плавало в парке Мираваль.

Практически одновременно с Монье, в 1861 г., еще один француз инженер Ф. Куанье изложил основные положения строительства из армированного бетона и разработал проекты различных конструкций — балок, сводов, труб и т. д., что вместе с изделиями Монье было представлено на другой всемирной выставке, состоявшейся в 1867 г. В том же 1867 г. Ж. Монье взял свой первый патент на производство переносных сосудов из цементного раствора с металлической арматурой.

В 1884—1886 гг. патенты Ж. Монье были куплены рядом фирм Германии и Австрии. Организованные Вайсом и Баушингером научные опыты доказали высокую эффективность соединения таких различных по своей природе и свойствам материалов, как сталь и бетон. Опыты не только установили надежную совместную работу бетона и арматуры, но и свидетельствовали о той хорошей защите от коррозии,

которую обеспечивает бетон арматуре. На основе этих же опытов Кенен в Германии в 1886 г. предложил первый в истории метод расчета железобетонных конструкций. В создание первых теоретических основ расчета железобетона и принципов его конструирования большой вклад внесли также Консидер, Генебик во Франции и Мёрш в Германии. К концу XIX в. усилиями этих и других ученых была создана теория расчета железобетона, основанная на методах сопротивления упругих материалов и исходящая из концепции допускаемых напряжений. После того как была создана научная основа для расчета размеров сечения элементов, новый строительный материал получил права гражданства. Широко стало развиваться строительство различных зданий и сооружений с применением железобетона. Своеобразным итогом развития железобетона в XIX в. стала Всемирная выставка в 1900 г. в Париже.

В России железобетон стал применяться с 1886 г. Для развития железобетона в России большую роль сыграли опыты Н. А. Белелюбского, испытывавшего в 1891 г. серии различных железобетонных конструкций — плит, сводов, резервуаров, труб и др. Серьезное значение для развития конструктивных форм железобетона имели предложения ряда русских ученых и инженеров, среди которых в первую очередь следует назвать Н. Н. Абрамова, С. И. Дружинина, Г. Г. Кривошеина, А. Ф. Лолейта, Н. И. Молотилова, В. П. Некрасова, Г. П. Передерия, И. С. Подольского, А. Э. Страуса и др. Тем не менее объемы применения железобетона в дореволюционной России были крайне невелики.

После Великой Октябрьской социалистической революции, когда перед советским народом встали грандиозные задачи восстановления страны и широкого капитального строительства, железобетон становится одним из средств решения этих задач. Железобетонные конструкции вначале стали применяться в гидротехническом и промышленном, а затем и в гражданском строительстве. С применением железобетона были воздвигнуты такие ГЭС, как Волховская, Днепровская и Свирская, цехи некоторых предприятий (Днепросталь, Запорожсталь, Магнитогорский, Ижевский), элеваторы и другие сложные инженерные сооружения, здание Центрального телеграфа и Дома «Известий» в Москве, Дом Промышленности в Харькове, Дом Советов в Ленинграде и т. п. В 1928 г. в СССР появились первые сборные железобетонные конструкции, примененные на строительстве ряда заводов, а также первые тонкостенные пространственные конструкции покрытий из монолитного железобетона — купола, складки, цилиндрические оболочки.

Развитие железобетонных конструкций сопровождалось интенсивной разработкой теории их расчета, где существенный вклад внесли такие ученые, как А. А. Гвоздев, А. Ф. Лолейт, П. Л. Пастернак, Я. В. Столяров, М. Я. Штаерман и др. В 1931 г. А. Ф. Лолейт выдвинул основные положения принципиально новой теории расчета железобетона по разрушающим усилиям взамен концепции допускаемых напряжений, переставшей удовлетворять требованиям практики. Новая теория исходила из того, что в изгибаемом железобетонном эле-

менте в стадии разрушения вследствие развития неупругих деформаций бетона и текучести арматуры напряжения в этих материалах достигают предельных значений. Для проверки новой теории были проведены обширные экспериментальные и теоретические исследования. В 1938 г. по инициативе А. А. Гвоздева основанная на новой теории методика расчета железобетонных конструкций по стадии разрушения была введена в нормы и технические условия НТГУ-38. Тем самым в СССР на несколько десятков лет ранее, чем в других странах, расчет железобетонных элементов по стадии разрушения был официально узаконен. Труды других советских ученых (М. С. Боришанского, А. П. Васильева, С. А. Дмитриева, В. И. Мурашева и др.) позволили распространить новые методы расчета на внецентренно-сжатые элементы, элементы с жесткой (несущей) арматурой, создать теорию расчета жесткости и трещиностойкости железобетона, разработать основы расчета статически неопределимых конструкций по методу предельного равновесия.

После Великой Отечественной войны в СССР началось широкое применение сборного железобетона, возникла заводская технология изготовления сборного железобетона, создан парк новых средств механизированного монтажа сборных железобетонных конструкций. В связи с переходом на полносборное строительство и освоением предварительно напряженных железобетонных конструкций существенно изменились конструктивные формы зданий и сооружений. В частности, появились новые конструктивные решения многоэтажных зданий из элементов заводского изготовления — каркасные, панельные, объемно-блочные, организовано проектирование типовых железобетонных изделий массового назначения.

Дальнейшее развитие получила теория железобетона. С 1955 г. для всех строительных конструкций введен расчет по принципиально новому методу предельных состояний. Этот метод, в частности, положен в основу действующих в настоящее время норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций.

Бетон и железобетон стали основными строительными материалами в нашей стране. Производство и применение железобетонных конструкций в десятой пятилетке неуклонно растет. В частности, в 1978 г. в строительстве было применено около 245 млн. м³ бетона и железобетона, в том числе сборного железобетона 122 млн. м³. На заводах было организовано массовое производство высокоэффективных предварительно напряженных конструкций, объем изготовления которых в нашей стране в 1978 г. достиг 28,2 млн. м³.

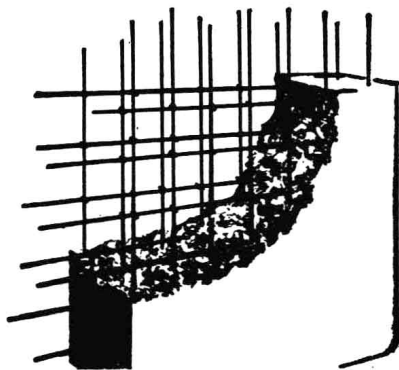
По данным ЦСУ СССР, производство сборного железобетона в нашей стране ведут около 6000 предприятий и производств, в том числе свыше 1400 межколхозных предприятий. Быстро растущая отрасль индустрии всего за четверть века своего развития превратилась в крупнейшую, технически оснащенную промышленность. Промышленность сборного железобетона теперь значительно превосходит другие отрасли производства строительных материалов и конструкций по объему продукции, численности персонала и стоимости основных производственных фондов.

Значительную роль в развитии промышленности сборного железобетона сыграло создание научно-технических основ массового производства и применения сборных железобетонных конструкций.

Быстро развивается типизация и унификация железобетонных конструкций для жилищно-гражданского и сельскохозяйственного производственного строительства. Предприятия сборного железобетона выпускают теперь для строительства практически только унифицированные конструкции. За счет этого представилась возможность организовать их массовое производство, специализировать предприятия, цехи и технологические линии, широко внедрить механизацию с использованием высокопроизводительного оборудования.

Большую роль в развитии производства современных эффективных сборных железобетонных конструкций играют цементная, металлургическая промышленность и промышленность нерудных строительных материалов. Заметим для примера, что в 1950 г. цемента было выпущено в стране всего 10 млн. т, а в 1977 г. производство его было доведено до 131 млн. т. При этом значительную долю выпуска составляет портландцемент М500, а средняя марка цемента повысилась до 400. В результате совместной работы металлургов и строителей была создана новая отрасль металлургии — производство арматурных сталей, выпуск которых достиг 12% общего объема стального проката в СССР.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ



■ Железобетон представляет собой сочетание двух материалов — бетона и стальной арматуры, работающих совместно благодаря сцеплению, возникающему между ними.

Бетон, хорошо сопротивляющийся сжатию, имеет сравнительно небольшую прочность на растяжение. Поэтому и возникла идея — растянутую зону бетонных элементов конструкции усиливать (армировать) стальными стержнями, хорошо работающими на растяжение (рис. I. 1, а). Элементы, работающие на сжатие (рис. I. 1, б), также целесообразно армировать, поскольку сжатым стальным стержням, находящимся в бетоне, потеря устойчивости практически не грозит, и они существенно повышают прочность сжатого бетона.

Хорошей совместной работе бетона и арматуры способствует удачное сочетание трех физических факторов: 1) надежного сцепления между бетоном и арматурой; 2) практически одинаковых значений коэффициентов линейного температурного расширения ($\sim 10^{-5}$); 3) защиты от коррозии и огня, которую создает для арматуры плотный (с досточным содержанием цемента) бетон.

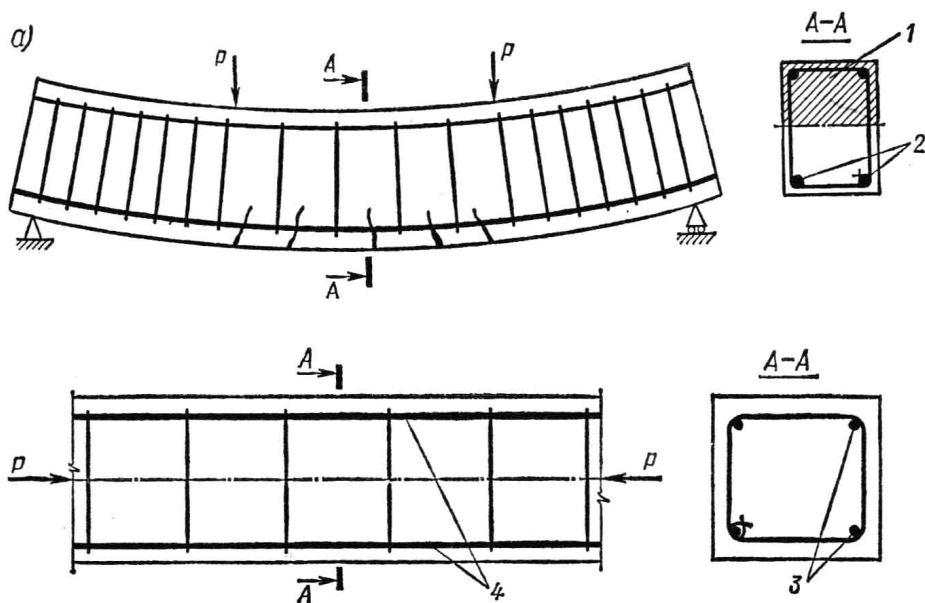
Железобетон, несмотря на свою сравнительно короткую историю, получил исключительно широкое применение во всех отраслях строительства. Этому способствовали его важные технико-экономические преимущества: возможность использования сравнительно дешевых местных материалов (песка, щебня, гравия), составляющих до 70—80% массы

железобетона; исключительная долговечность железобетона (арматура защищена от коррозии, а прочность бетона не только не снижается во времени, но и может даже расти); высокая огнестойкость и др.

В то же время железобетон имеет сравнительно большую собственную массу, для снижения которой рекомендуется использовать тонкостенные и пустотные конструкции, применять облегченные и легкие бетоны на пористых заполнителях.

По способу выполнения железобетонные конструкции могут быть **сборными** из элементов заводского или полигонного изготовления, **монолитными**, возводимыми непосредственно на месте строительства, а также **сборно-монолитными**, собираемыми из элементов с заполнением отдельных участков монолитным бетоном на месте строительства. Сборные железобетонные конструкции являются наиболее индустриальными. Если железобетонную конструкцию до приложения внешней нагрузки подвергают интенсивному обжатия путем натяжения арматуры, то полученную конструкцию называют **предварительно напряженной**. Она обладает значительно большей жесткостью и рядом других преимуществ.

Рис. 1. 1. Расположение арматуры в железобетонных элементах и их работа под нагрузкой; а — изгибаемый элемент; б — сжатый элемент; 1 — сжатая зона; 2 — рабочая растянутая арматура; 3, 4 — рабочая сжатая арматура



шеств. Предварительно напряженный железобетон получает в настоящее время все большее применение.

«Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденными XXV съездом КПСС, предусматриваются дальнейшее повышение уровня индустриализации строительства и степени заводской готовности строительных конструкций и деталей, существенное увеличение выпуска укрупненных и облегченных строительных конструкций заводского изготовления, расширение практики полносборного строительства и монтажа зданий и конструкций, в том числе с применением эффективных железобетонных конструкций из высокопрочных и легких бетонов.

С учетом этого советские строители призваны решить следующие задачи:

осуществить переход к массовому внедрению конструкций и изделий повышенной заводской готовности из высокопрочных и легких бетонов, предварительно напряженных конструкций, обеспечивающих значительное снижение массы конструктивных элементов, уменьшение их материалоемкости, повышение общего уровня индустриализации строительства;

улучшить прочностные свойства и стойкость бетонов за счет повышения качества исходных материалов, применения эффективных химических добавок, совершенствования бетонносмесительного оборудования;

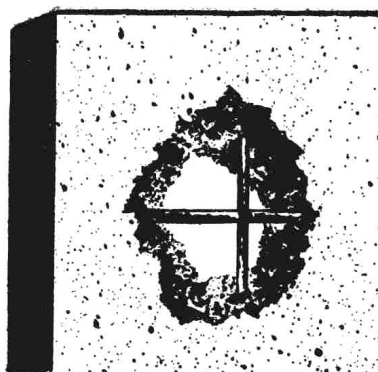
повысить технический уровень производства сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций за счет освоения наиболее совершенных технологических процессов и высокопроизводительного оборудования;

разработать и внедрить систему управления качеством при производстве железобетонных конструкций.

1. В чем состоит сущность железобетона?
2. На чем основана совместная работа арматуры и бетона? Каковы преимущества железобетона?
3. Как различаются железобетонные конструкции по способу возведения?
4. Каковы основные направления развития строительных конструкций в соответствии с решениями XXV съезда КПСС?

**КОНТРОЛЬНЫЕ
ВОПРОСЫ**

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА, АРМАТУРНОЙ СТАЛИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА



§ II.1. БЕТОН

■ **Общие свойства и структура.** Бетон должен обладать необходимой прочностью (в том числе прочностью сцепления с арматурой) и плотностью (непроницаемостью).

Бетоны классифицируют по ряду признаков:

по *структуре*: плотные; крупнопористые и поризованные — с заполнителем и искусственной пористостью цементного камня; ячеистые — без заполнителя и с искусственно созданными замкнутыми порами;

по *объемной массе*: особо тяжелые, тяжелые, облегченные, легкие, особо легкие;

по *виду вяжущего*: цементные, силикатные, на гипсовом вяжущем, на смешанных и специальных вяжущих;

по *виду заполнителя*: на плотных, пористых или удовлетворяющих специальным требованиям заполнителях (по биологической защите, жаростойкости, химической стойкости и др.);

по *зерновому составу заполнителей*: крупнозернистые — с крупным и мелким заполнителем; мелкозернистые — только с мелким заполнителем;

по *условиям твердения бетона*: естественного твердения; подвергнутые тепловой обработке при атмосферном давлении; подвергнутые автоклавной обработке.

Для бетонов, применяемых в несущих железобетонных конструкциях и рассматриваемых в настоящем курсе, рекомендуется пользоваться следующими сокращенными названиями:

«тяжелый бетон» в соответствии с приведенной выше классификацией означает бетон плотной структуры, тяжелый, на цементном вяжущем, на плотных заполнителях (песчанике, граните, диабазе и др.), крупнозернистый, при любых условиях твердения;

«бетон на пористых заполнителях» — то же, но на пористых естественных или искусственных заполнителях (пемзе, туфе, перлите, керамзите и др.).

Свойство бетона уменьшаться в объеме при твердении в воздушной среде называют *усадкой*, а его свойство увеличиваться в объеме при твердении в воде — *набуханием*. Бетоны, изготовленные на некоторых специальных цементах, не имеют усадки. Усадка бетона связана с физико-химическими особенностями процесса гидратации цементного камня и проходит наиболее интенсивно в начальный период твердения бетона, затем постепенно замедляется.

Неравномерное высыхание бетона вызывает неравномерную усадку (поверхностные слои испытывают большую усадку), появляются усадочные напряжения и усадочные трещины в поверхностных слоях. Однако даже при обеспечении равномерной по толщине усадки на поверхности зерен заполнителя, препятст-

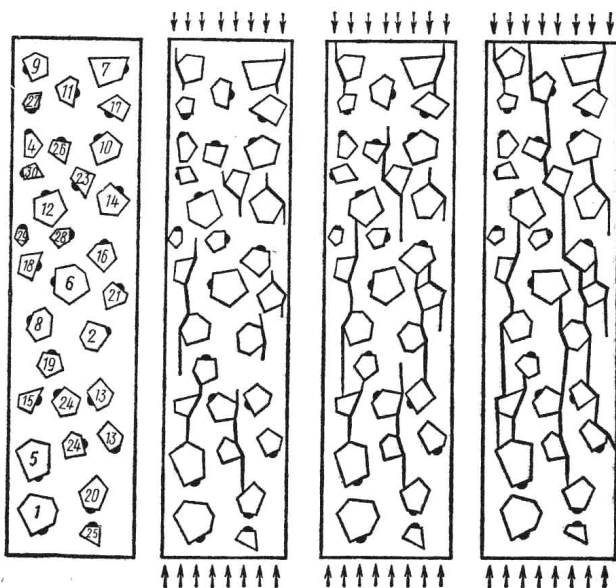


Рис. II. 1. Последовательные этапы развития трещин в бетонной призме при сжатии

вующих свободной усадке цементного камня, появляются усадочные напряжения; возникают так называемые контактные трещины, т. е. трещины на площадках контакта между цементным камнем и зернами заполнителя.

Усадочные напряжения учитываются системой расчетных коэффициентов и конструктивными требованиями по армированию железобетонных элементов. Для уменьшения усадочных напряжений применяют как технологические меры (подбор состава, увлажнение поверхности бетона и др.), так и конструктивные (устройство деформационных швов при большой протяженности конструкций).

Прочность. Разрушение сжимаемого образца бетона обычно начинается с развития упомянутых выше контактных трещин, что происходит при достижении сжимающими напряжениями определенной величины, называемой *нижней границей микроразрушений*. Трещины развиваются в основном вдоль усилий сжатия, но по разным причинам могут и слегка отклоняться от этого направления. Расчетная схема развития трещин в бетонной призме по мере увеличения нагрузки показана на рис. II.1.

При проектировании конструкций назначаются контрольные характеристики качества бетона, называемые проектными марками. В зависимости от вида и условий работы конструкции проектную марку назначают по следующим признакам: прочности на осевое сжатие, прочности на осевое растяжение, морозостойкости, водонепроницаемости. *Проектная марка М* по прочности на осевое сжатие (сокращенно — проектная марка) является основной характеристикой бетона и представляет собой сопротивление R (кгс/см²) осевому сжатию (кубиковая прочность) бетонных кубов с размером ребра 15 см в возрасте 28 сут, изготовленных и испытанных согласно ГОСТу. Прочность бетона нарастает в течение длительного времени, но наибольшая часть этого прироста падает на первые 28 сут, что служит причиной принятия этого срока в качестве нормативного.

Для железобетонных конструкций установлены следующие проектные марки бетона по прочности на сжатие:

для тяжелого бетона — от М100 до М500 (с шагом 50), а также М600, М700, М800;

для бетона на пористых заполнителях — М35, М50, М75, М100 и далее до М400 (с шагом 50).

Выбор оптимальной проектной марки производят на основании технико-экономического анализа в зависимости от вида конструкции. Для железобетонных сжатых стержневых элементов рекомендуется проектная марка не ниже М200, для сильно нагруженных элементов (например, колонн нижних этажей многоэтажных зданий, колонн под значительные крановые нагрузки) — не ниже М300 и т. д.

В тех случаях, когда к бетону предъявляются требования не только по прочности на сжатие, дополнительно могут быть установлены:

проектная марка бетона по прочности на осевое растяжение (от Р10 и Р40 с шагом 5), характеризующая сопротивление бетона осевому растяжению R_p (кгс/см²);

проектная марка бетона по морозостойкости (от Мрз25 до Мрз500), характеризующаяся числом выдерживаемых циклов замораживания и оттаивания в водонасыщенном состоянии;

проектная марка бетона по водонепроницаемости (от В2 до В12), характеризующаяся предельным давлением воды (кгс/см²), при котором еще не наблюдается просачивания ее через бетонные образцы.

Железобетонные конструкции, применяемые на практике, по своей форме отличаются от кубов. В связи с этим упомянутая выше кубиковая прочность не может непосредственно характеризовать прочность сжатых зон железобетонных конструкций. Для этой цели используют другую характеристику — призмную прочность $R_{пр}$ — временное сопротивление осевому сжатию бетонных призм, которое составляет 72—77% от кубиковой прочности R .

В некоторых случаях необходимо знать прочность бетона при срезе и скалывании. Временное сопротивление бетона при чистом срезе (в железобетоне он встречается редко) приблизительно равно $R_{ср} = 2R_p$, а при скалывании (возникающем в изгибаемых балках до

появления в них наклонных трещин) $R_{ск} = (1,5 \div 2) R_p$.

При длительном действии нагрузки (напряжении $\sigma_{дл}$) бетон за счет развивающихся в нем структурных изменений имеет меньшую прочность по сравнению с временным сопротивлением осевому сжатию $R_{пр}$. Предел длительного сопротивления зависит от ряда факторов и в первом приближении составляет $R_{дл} = (0,75 \div 0,85) R_{пр}$. Однако если конструкция эксплуатируется в условиях, благоприятных для твердения бетона и $R_{пр}$ растет, т. е. уровень напряжений $\sigma_{дл}/R_{пр}$ уменьшается, то снижения прочности может и не происходить.

При многократно повторных нагрузках (миллионы циклов) прочность бетона также заметно снижается и определяется пределом выносливости R_v , зависящим от ряда факторов, в том числе от коэффициента асимметрии цикла $\rho = \sigma_{б.мин}/\sigma_{б.макс}$ (где $\sigma_{б.мин}$ и $\sigma_{б.макс}$ — соответственно минимальные и максимальные напряжения в бетоне). Минимальное значение предела выносливости равно $R_v \cong 0,5 R_{пр}$ (при $\rho \geq 0$, т. е. при отсутствии знакопеременных напряжений).

Деформативность. Если при обычном (кратковременном) испытании загружать бетонный образец ступенями, т. е. после каждого приращения нагрузки выдерживать образец некоторое время при неизменном напряжении, то диаграмма напряжение — деформация ($\sigma—\epsilon$) будет иметь ступенчатый вид (на рис. II.2 обозначена пунктиром). Наклонные участки диаграммы соответствуют мгновенным (упругим) деформациям, горизонтальные — росту деформаций во времени при постоянной нагрузке, что характеризует ползучесть бетона. Таким образом, полная деформация бетона ϵ в этом случае (при напряжениях σ'_b) складывается из упругих деформаций ϵ_y и деформаций ползучести $\epsilon_{п.}$. При относительно высоких напряжениях σ'_b , приближающихся к пределу прочности, вследствие развития трещин в структуре бетона процесс деформирования становится не полностью упругим даже при мгновенном нагружении. Наклонные участки диаграммы искривляются за счет появления деформации ϵ_t ,