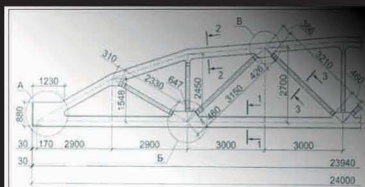
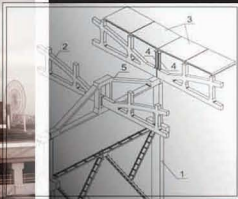


О.Г. Кумпак,
З.Р. Галяутдинов,
О.Р. Пахмурин,
В.С. Самсонов.



ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

**О.Г. Кумпяк, З.Р. Галяутдинов,
О.Р. Пахмурин, В.С. Самсонов**

Железобетонные и каменные конструкции

Под ред. д.т.н., проф. О.Г. Кумпяка

Рекомендовано

Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» МГСУ в качестве учебника для студентов ВПО, обучающихся по направлению 270100 – «Строительство», по специальности 270102 – «Промышленное и гражданское строительство»



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2011

УДК 624.012(075)
Ж-513

Рецензенты

Н.Г. Головин – зав. кафедрой железобетонных конструкций Московского государственного строительного университета, проф.

Е.В. Шилов – председатель УМК по специальности 270102 – ПГС, проф.

В.С. Плевков – член-корр. МАН ВШ, д.т.н., проф. Томского государственного архитектурно-строительного университета

П.Н. Семенюк – к.т.н., доц. технический директор ОАО «Томская домо-строительная компания»

О.Г. Кумпяк и др. Железобетонные и каменные конструкции. Учебник. – М.: Издательство АСВ. – 2011. – 672 с.

ISBN 978-5-93093-822-7

Учебник представляет собой курс лекций по железобетонным и каменным конструкциям, по физико-механическим свойствам бетона, арматуры и железобетона, а также метод расчёта железобетонных конструкций по предельным состояниям и применение данного метода к расчёту конструкций при различных схемах деформирования (изгибе, сжатии, внецентренном сжатии и растяжении). В работе также представлен материал по многоэтажным промышленным зданиям, каменным конструкциям и одноэтажным промышленным зданиям. После каждой лекции по теоретическим вопросам расчета железобетонных конструкций и каменной кладки приведены вопросы для самоконтроля и примеры расчёта.

Лекционный материал по содержанию и объёму соответствует требованиям государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке дипломированного инженера по направлению 270100 «Строительство» для специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство».

ISBN 978-5-93093-822-7

© Издательство АСВ, 2011

© ТомГАСУ, 2011

© Коллектив авторов, 2011

Учебник

**Кумпяк Олег Григорьевич, Галяутдинов Заур Рашидович,
Пахмурин Олег Равильевич, Самсонов Валерий Сергеевич**

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Редактор: *В.П. Бурмакин*

Верстка: *В.П. Бурмакин*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 27.05.11. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 42,0 п.л. 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511.
Тел., факс: (499) 183-56-83. E-mail: iasv@mgsu.ru. Сайт: www.iasv.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс лекций по железобетонным и каменным конструкциям написан на основе типовой программы «Железобетонные и каменные конструкции» для высших учебных заведений для специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС). При этом в основу положены требования действующего нормативного документа СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».

Методической особенностью данного учебного издания является изложение методов расчета железобетонных и каменных конструкций в тесной взаимосвязи с их практическим использованием. Теоретический материал сопровождается вопросами для самоконтроля и конкретными несложными примерами расчета железобетонных конструкций, а также элементов каменной и армокаменной кладки, что позволяет обучающемуся глубже понять суть теоретического материала и его использования в практических расчетах.

При написании курса лекций учтен многолетний опыт преподавания этой дисциплины на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета на дневном и заочном факультетах, для студентов, обучающихся на специальности 270102 ПГС.

Материал лекций 10, 15, 19, 20 подготовлен при участии к.т.н., доц. Н.К. Ананьевой и принят по работе [4]

Курс лекций предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по специальности ПГС.

Авторы

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Лекция 1 Вводная лекция.....	7
Лекция 2 Классификация бетонов. Структура. Прочность при различных видах загрузки.....	14
Лекция 3 Деформативные свойства бетонов.....	26
Лекция 4 Арматура для железобетонных конструкций.....	39
Лекция 5 Железобетон.....	57
Лекция 6 Методы расчёта железобетонных конструкций.....	69
Лекция 7 Расчёт железобетонных конструкций по предельным состояниям.....	74
Лекция 8 Особенности расчёта предварительно напряженных железобетонных конструкций.....	83
Лекция 9 Расчет прочности изгибаемых элементов по нормальным сечениям.....	98
Лекция 10 Расчёт элементов прямоугольного профиля с двойной арматурой. Расчёт элементов таврового профиля.....	114
Лекция 11 Расчёт прочности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям.....	125
Лекция 12 Расчёт прочности наклонных сечений при армировании конструкции хомутами и отгибами.....	134
Лекция 13 Сжатые железобетонные элементы.....	144
Лекция 14 Расчёт прочности нормальных сечений сжатых элементов.....	152
Лекция 15 Конструирование и расчёт элементов с жёсткой арматурой.....	160
Лекция 16 Растянутые элементы.....	173
Лекция 17 Расчёт железобетонных элементов по образованию трещин.....	180
Лекция 18 Расчёт железобетонных элементов по раскрытию трещин.....	193
Лекция 19 Расчёт железобетонных конструкций по деформациям.....	204
Лекция 20 Расчёт железобетонных конструкций по деформациям.....	211

Лекция 21	Многоэтажные промышленные здания.....	220
Лекция 22	Балочные панельные сборные перекрытия.....	233
Лекция 23	Проектирование сборного неразрезного ригеля.....	248
Лекция 24	Проектирование сборного неразрезного ригеля.....	254
Лекция 25	Монолитные ребристые перекрытия с балочными плитами.....	262
Лекция 26	Монолитные ребристые перекрытия с плитами, опертыми по контуру.....	275
Лекция 27	Расчет и конструирование безбалочных перекрытий.....	284
Лекция 28	Расчет и конструирование крупнопанельных зданий.....	301
Лекция 29	Железобетонные фундаменты.....	316
Лекция 30	Каменные конструкции.....	329
Лекция 31	Расчет каменной кладки по методу предельных состояний.....	345
Лекция 32	Армокаменные конструкции.....	362
Лекция 33	Проектирование каменных конструкций зданий.....	377
Лекция 34	Одноэтажные промышленные здания.....	403
Лекция 35	Расчет поперечной рамы одноэтажного промышленного здания.....	414
Лекция 36	Железобетонные конструкции покрытий одноэтажных промышленных зданий.....	427
Лекция 37	Стропильные конструкции. Фермы. Арки.....	446
Лекция 38	Колонны. Подкрановые балки.....	457
Лекция 39	Общие сведения о пространственных покрытиях и их основные виды.....	465
Лекция 40	Расчет и конструирование оболочек вращения.....	477
Лекция 41	Цилиндрические оболочки и складки.....	489
Лекция 42	Пологие оболочки двойкой кривизны. Волнистые своды.....	505
Лекция 43	Расчет и конструирование висячих покрытий.....	527

Лекция 44	Оболочки в виде гиперболических параболоидов.....	539
Лекция 45	Железобетонные бункеры.....	554
Лекция 46	Железобетонные силосы.....	573
Лекция 47	Железобетонные подпорные стены.....	693
Лекция 48	Железобетонные резервуары.....	608
Лекция 49	Особенности проектирования зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах.....	634
Лекция 50	Особенности проектирования железобетонных конструкций, возводимых и эксплуатируемых при низких и высоких температурах и в агрессивных средах.....	651
Список литературы.....		664
Приложения.....		666

Лекция 1

ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ

1. *Сущность железобетона*
2. *Предварительно напряженный железобетон*
3. *Краткий исторический очерк развития железобетона*
4. *Области применения железобетона и перспективы его развития*

1. Сущность железобетона

Железобетоном называется строительный материал, состоящий из бетона и стали: железом раньше называли сталь. Бетон, как и все каменные материалы, имеет прочность при растяжении в 10...20 раз меньшую, чем при сжатии, поэтому в конструкциях, воспринимающих растягивающие напряжения, он не может эффективно использоваться.

Проведем мысленный эксперимент. Изготовим из бетона одного состава две одинаковые балки: одну бетонную, а в другой установим стальные стержни. После набора прочности бетоном проведем испытания балок, загружая их постепенно возрастающей силой F (рис. 1.1). С появлением в нижней зоне трещины бетонная балка разрушится при небольшой нагрузке F_{u1} . В балке со стальными стержнями (арматурой) первая трещина появится при нагрузке F_{crc} , примерно равной разрушающей нагрузке бетонной балки (F_{u1}). Разрушение балки произойдет при нагрузке $F_{u2} > F_{u1}$, т.к. растягивающие напряжения в ней после образования трещин воспринимаются арматурой.

Эффективность железобетона объясняется следующими его свойствами:

- бетон имеет высокую прочность при сжатии (до 60 МПа), а сталь при растяжении и сжатии (от 240 до 1500 МПа);
- арматура надежно сцепляется с бетоном, не проскальзывает в нем до момента разрушения;
- сталь и бетон имеют почти одинаковые коэффициенты линейного температурного расширения, поэтому при нагреве и охлаждении не возникает опасных напряжений, разрушающих конструкцию;

- бетон надежно защищает арматуру от коррозии и высоких температур (при пожарах), обеспечивая необходимую долговечность и огнестойкость.

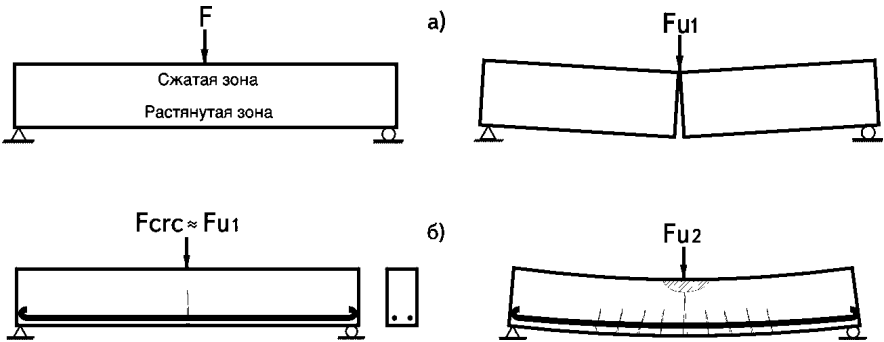


Рис. 1.1. Разрушение бетонной и железобетонной балки

2. Предварительно напряженный железобетон

В растянутой зоне железобетонной конструкции при напряжении в арматуре, равном примерно 30 МПа, появляются трещины. При эксплуатации напряжения в растянутой арматуре достигают 200...300 МПа, при этом ширина раскрытия трещин достигает 0.2...0.4 мм. Такие трещины в нормальных температурно-влажностных условиях не приводят к опасной для конструкции коррозии арматуры. При использовании высокопрочной арматуры напряжения в арматуре достигают 400...800 МПа, ширина раскрытия трещин достигает 0.5...3 мм, и арматура не будет защищена от коррозии. Кроме того, могут развиваться значительные прогибы конструкции.

Для борьбы с этими явлениями используется предварительное напряжение высокопрочной арматуры. Сущность предварительно напряженного железобетона заключается в том, что в конструкциях предварительно (в процессе изготовления) создается напряженное состояние, при котором в бетоне, растянутом при эксплуатации, появляются сжимающие напряжения.

На рис. 1.2, а, б показана схема изготовления предварительно напряженной железобетонной конструкции. Арматурный стержень из высокопрочной стали 1 закрепляется в упоре 2, натягивается домкратом и закрепляется на упоре 3. После заполнения бетоном 4 опалубки и твердения бетона концы стержня обрезают, и он обжимает

нижнюю зону бетона. При загрузке конструкции (рис. 1.2, *в*) в нижней зоне возникают растягивающие напряжения, которые суммируются со сжимающими напряжениями от предварительного обжатия.

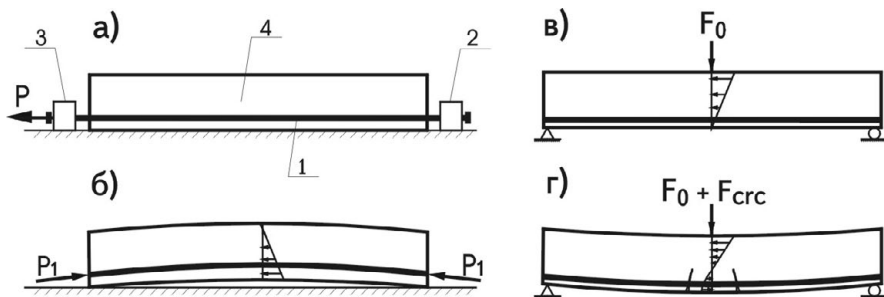


Рис. 1.2. Предварительно напряженная балка:

а – изготовление балки, *б* – после отпуска напряженной арматуры с упоров на бетон, *в* – в нижней зоне напряжения в бетоне равны нулю, *г* – в нижней зоне образуются трещины

При нагрузке F_0 напряжение в нижних волокнах становятся равными нулю. После приложения дополнительной нагрузки $F_{crс}$ в нижней зоне появляются трещины. Таким образом, трещиностойкость предварительно напряженной балки повышается. Уменьшаются по сравнению с обычными (ненапряженными) балками прогибы от одинаковых нагрузок.

Предварительное напряжение железобетонных конструкций позволяет:

- применить высокопрочные арматурные стали и бетоны и тем самым облегчить конструкции и удешевить их;
- повысить трещиностойкость и жесткость конструкций.

3. Краткий исторический очерк развития железобетона

Бетон, как строительный материал, был известен в древности. В Риме для строительства стен, дорог, виадуков и других сооружений применялся бетон, изготовленный из вулканического песка, взятого со склонов Везувия. Знаменитая Аппиева дорога, купол Пантеона, пролетом свыше сорока метров, построены с применением бетона. Бетон использовался и при строительстве Великой китайской стены. В средние века секреты древних строителей были забыты.

В 1797 году Д. Паркер из глины и извести получил романцемент (римский цемент). Джозеф Аспдин получил патент 21 октября 1824 года на изобретение портландцемента. В это же время в России похожий цемент был изобретен Е.Г. Челиевым. Бетон начинает использоваться в строительстве для изготовления массивных конструкций.

В 1999 году Франция и мировое сообщество отметили 150-летие изобретения железобетона. В 1849 году Жан Луи Ламбо, адвокат по профессии, построил из железобетона лодку. В 1855 году Ламбо получил патент на замену дерева железобетоном в конструкциях, подверженных увлажнению.

Длительное время изобретателем железобетона считался Жозеф Монье, садовник из Версаля. В 1867 году он взял патент на железобетонные цветочные ящики. В последующем Монье получил в разных странах патенты на шпалы, балки, трубы, мосты.

Освоение железобетона шло одновременно во многих странах: Франции, Германии, Англии, США, России. Вайс и Баушингер (Германия) провели первые испытания железобетона, Геннебик (Франция) предложил здание, выполненное полностью из железобетона, Кенен предложил ставить арматуру в растянутую зону и разработал первые формулы для расчета железобетона.

Железобетон в России развивался самостоятельно, коммерческое руководство и капиталы часто были иностранными, а техническое руководство – русским. Профессор Н.А. Белелюбский в 1891 году провел публичные испытания железобетонных конструкций в Петербурге. С 1898 года разрешено применять железобетон при строительстве железных и шоссейных дорог. Из старых построек известны переходные мостики в московском ГУМе, запроектированные А.Ф. Лолейтом в 1892 году, маяк в Николаеве, построенный в 1904 году. К началу века относятся построенные из железобетона в Томске спичечная фабрика, элеватор, мост через Ушайку и др.

К 1930-м годам железобетон получил широкое применение во всем мире. К этому времени появились предварительно напряженные железобетонные конструкции (Э. Фрейсине), тонкостенные конструкции типа оболочек, отработана технология приготовления бетонной смеси, дозировка, транспортирование, зимнее бетонирование. Большой вклад в развитие расчета железобетона внес Артур Фердинандович Лолейт, который в 1931–1933 годах предложил расчет по стадии разрушения, вместо применяемого в то время метода расчета по допускаемым напряжениям. В 1939 году этот метод был принят в СССР – примерно на 30 лет раньше, чем за рубежом.

XXI век – век бетона и железобетона. У бетона и железобетона имеются преимущества:

- минимальное изъятие природных ресурсов при их производстве и максимальное использование отходов других отраслей;
- более высокие по сравнению с другими материалами прочность и долговечность;
- сочетаемость с другими материалами;
- перерабатываемость для строительных или иных нужд;
- экономичность;
- высокие эстетические и архитектурные качества;
- экологическая безопасность при производстве и эксплуатации.

Производство бетона и железобетона на душу населения составляет в Японии более 2 м^3 , в США – 1.3 м^3 , в ФРГ – 1.1 м^3 , в России – 0.4 м^3 .

4. Области применения железобетона и перспективы его развития

Железобетон находит широкое применение во всех областях современного строительства, что объясняется его долговечностью, возможностью использования местных строительных материалов, малым расходом стали, богатством и разнообразием форм. В строительстве используется монолитный, сборный и сборно-монолитный железобетон.

Конструкции из монолитного железобетона изготавливаются на стройке в проектном положении. Из него возводят сооружения, трудно поддающиеся членению и конструкции с малой повторяемостью. Сооружениям из монолитного железобетона можно придать любую форму, они жестки и более экономичны по расходу металла. Недостатки: сезонность работ, большой расход пиломатериалов на опалубку, большая трудоемкость (частично устраняется при использовании сменной опалубки, сварной арматуры, бетононасосов, добавок).

Сборные железобетонные конструкции изготавливаются на заводах, доставляют на стройки автомобильным или железнодорожным транспортом и монтируют с использованием подъемных кранов. Такие конструкции могут изготавливаться и на строительных площадках на нулевой отметке.

Значительно меньшее распространение в нашей стране получили сборно-монолитные конструкции.

Железобетон используется в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве, на железнодорожном транспорте, при строительстве автомобильных дорог, мостов, сооружений водного транспорта, в оборонительных сооружениях долговременного характера, метрополитенах и во многом другом.

Примерами выдающихся сооружений из железобетона:

- московская телебашня высотой 537 м, которая проектировалась Н.В. Никитиным – выпускником Томского политехнического института;
- телебашня в Торонто высотой 555 м;
- тоннель под проливом Ла-Манш между Францией и Великобританией;
- два небоскреба нефтяной компании «Петронас» в Куала-Лумпуре, Малайзия высотой 582 м (рис. 1.3);



Рис.1.3. Небоскребы «Петронас» в Куала-Лумпуре

- платформа «Тролл» (Норвегия) для добычи нефти в море высотой 472 м (платформа установлена на глубине 300 м и рассчитана на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 31.5 м), на ее изготовление израсходовано 250

тыс. м³ бетона класса В80, 100 тыс. т обычной и 11 тыс. т напряженной арматуры;

- в Сиэтле (США) построен монолитный ребристый купол пролетом 220 м;
- защитные оболочки АЭС и многое другое.

Железобетонные конструкции постоянно совершенствуются, облегчаются, снижается их стоимость. Это достигается за счет:

- повышения прочности бетона до 60...200 МПа, применения легких конструктивных бетонов;
- повышения прочности арматуры и использования предварительного напряжения арматуры;
- применения более эффективных, в смысле статической работы, конструкций (например, оболочек);
- улучшение технологии изготовления железобетона;
- использование современной аппаратуры для контроля качества железобетонных конструкций.

Железобетон в обозримом будущем останется основным строительным материалом. По словам известного итальянского инженера и архитектора Пьера Луиджи Нерви: «Бетон – наилучший из материалов, изобретенных человечеством. История его – героический эпос человеческой мысли и воли. Нам нужен был определенный материал – и мы его создали... Бетон – это «Живое существо, приспособляющееся к любой форме, отвечающее любому требованию, выносящее любую нагрузку».

Вопросы для самопроверки:

1. Что произойдет, если в бетоне установить арматуру из алюминиевых сплавов? ($\alpha_a \approx 2.6 \cdot 10^{-5}$ 1/град., $\alpha_b \approx 1 \cdot 10^{-5}$ 1/град).
2. Почему высокопрочную арматуру нельзя использовать без предварительного напряжения?
3. Каковы основные этапы развития железобетона?
4. Каковы пути совершенствования железобетонных конструкций?