

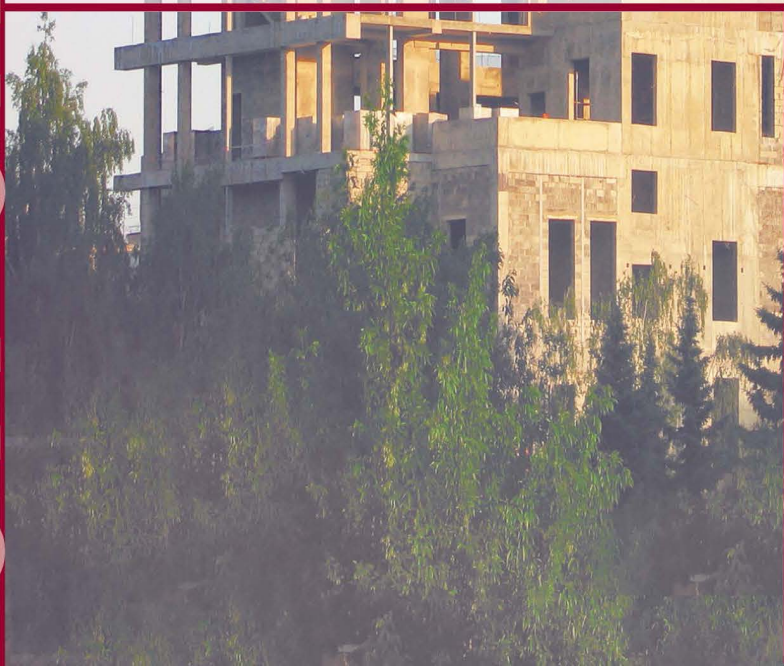


А.Н. Малахова
Д.Ю. Малахов



СТРОИТЕЛЬСТВО

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ



Учебное пособие



Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.Н. Малахова, Д.Ю. Малахов

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию
в области строительства в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство
(профиль «Промышленное и гражданское строительство»)
(№ 102-15/884 от 14.04.2015 г.)*

2-е издание

Москва 2016

УДК 624.012.3
ББК 38.626.1
М18

Р е ц е н з е н т ы :

кандидат технических наук *А.К. Шенгелия*,
профессор кафедры архитектурно-строительного проектирования НИУ МГСУ;
кандидат технических наук *Д.В. Морозова*,
профессор кафедры промышленного и гражданского строительства
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»;
кандидат технических наук *А.С. Балакишин*, директор государственного
унитарного предприятия «МОСОБЛСТРОЙЦНИИЛ»

Малахова, Анна Николаевна.

М18 Оценка несущей способности строительных конструкций при обследовании
технического состояния зданий : учебное пособие / А.Н. Малахова, Д.Ю. Мала-
хов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос.
строит. ун-т. 2-е изд. Москва : НИУ МГСУ, 2016. 96 с.
ISBN 978-5-7264-1377-8

Рассмотрены организация и порядок проведения обследования технического состо-
яния зданий, дана оценка технического состояния их несущих конструкций. Изложены
основные нормативные требования к строительным конструкциям, которыми необходи-
мо руководствоваться при проведении обследования. Рассмотрены основные виды де-
фектов строительных конструкций и причины их появления, дано описание неразруша-
ющих методов и лабораторных испытаний железобетонных и каменных конструкций.
Приведены рекомендации по формированию исходных данных для проведения прове-
рочных расчетов конструкций при обследовании их технического состояния, даны при-
меры проведения обследования и оценки несущей способности железобетонных и ка-
менных конструкций, а также рекомендации по их усилению.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалаври-
ата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Промышленное и
гражданское строительство»).

УДК 624.012.3
ББК 38.626.1

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	5
1.1. Сроки и основания для проведения обследования технического состояния зданий и сооружений. Срок службы строительных объектов	5
1.2. Категории технического состояния строительных объектов. Влияние дефектов и повреждений на техническое состояние конструктивных элементов	7
1.3. Усиление железобетонных конструкций	19
1.4. Физический и моральный износ зданий. Технический паспорт строительного объекта.....	25
1.5. Состав работ при проведении обследования технического состояния зданий и сооружений	30
2. ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	39
2.1. Конструктивные решения, конструктивные и расчетные схемы зданий	39
2.2. Формирование исходных данных для выполнения проверочных расчетов	49
3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	51
3.1. Приборы и методы определения прочностных характеристик железобетонных и каменных конструкций	51
3.2. Определение прочностных характеристик и расположения арматуры, толщины защитного слоя бетона	64
3.3. Измерение прогибов и деформаций строительных конструкций	66
3.4. Методы и средства наблюдения за трещинами.....	68
4. ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	71
4.1. Несущая способность мелкогазобетонных плит при их различной раскладке в перекрытиях по металлическим балкам.....	71
4.2. Причины появления трещин в наружных стенах колодезобразной кирпичной кладки	74
4.3. Аварийные разрушения от взрыва бытового газа в панельном жилом доме типовой серии 1-115 [49]. Оценка возможности восстановления здания	77
4.4. Дефекты наружных кирпичных стен эксплуатируемого здания с 8-летним перерывом при его строительстве.....	83
4.5. Расчет и анализ распределения напряжений в монолитном перекрытии с контурными балками.....	85
Вопросы для самоконтроля.....	91
Библиографический список	92

ПРЕДИСЛОВИЕ

Оценка несущей способности строительных конструкций по результатам обследования технического состояния зданий считается обязательной при проведении реконструкции, капитального ремонта, а также для поддержания в нормальном состоянии конструктивных элементов существующих объектов.

При проведении обследования фиксируются возможные изменения назначения, объемно-планировочного и конструктивного решений объектов, которые, в свою очередь, могут привести к изменению действующих на конструкции нагрузок, геометрических размеров и видов несущих конструкций, а также вариантов сопряжения конструктивных элементов зданий и сооружений. В этом случае могут изменяться расчетные схемы и, соответственно, напряженно деформированное состояние, а также несущая способность строительных конструкций. Кроме того, при проведении обследования выясняются действительные прочностные характеристики материалов конструкций. Это наряду с обнаруженными дефектами и повреждениями может привести при выполнении проверочных расчетов к существенной корректировке прочностных классов материалов, которые были назначены при проектировании конструкций строительных объектов. Изменения технологии возведения конструкций и условий их последующей эксплуатации также требуют учета при оценке несущей способности строительных конструкций существующих объектов.

Нормативными документами [2; 3; 4] установлены правила и состав работ при проведении обследования несущих конструкций зданий и сооружений. При этом, если в задании на проведение обследования объекта предусмотрена оценка несущей способности строительных конструкций, то обследование должно носить детальный характер с проведением инструментальных измерений для оценки технического состояния строительных конструкций.

Как указано выше, оценка несущей способности строительных конструкций, в частности железобетонных и каменных, проводится по результатам обследования объекта. Но она также должна базироваться на хорошем знании конструктивных решений зданий и сооружений разного построечного периода, нормативных требований к расчету и конструированию железобетонных и каменных конструкций, на знании особенностей разрушения конструкций при силовых, природных и других воздействиях.

Материал учебного пособия разбит на четыре раздела. Первый раздел посвящен общим вопросам проведения обследования технического состояния зданий и сооружений, оценки технического состояния несущих конструкций объекта. В нем изложены основные нормативные требования к строительным конструкциям, рассмотрены основные виды их дефектов и причины появления, даны рекомендации по усилению строительных конструкций по результатам обследования их состояния. Во втором разделе рассматривается формирование исходных данных для проведения проверочных расчетов конструкций при обследовании их технического состояния. В третьем разделе дано описание неразрушающих методов и лабораторных испытаний железобетонных и каменных конструкций. В четвертом разделе приводятся примеры проведения обследования и оценки несущей способности железобетонных и каменных конструкций. Данный раздел написан по результатам практического опыта авторов учебного пособия.

Предисловие и разделы 1, 2, 4 написаны кандидатом технических наук А.Н. Малаховой, разделы 3, 4 — кандидатом технических наук Д.Ю. Малаховым.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1.1. Сроки и основания для проведения обследования технического состояния зданий и сооружений. Срок службы строительных объектов

В настоящее время установлены следующие сроки проведения обследования технического состояния зданий и сооружений [3]:

- первое — не позднее двух лет после ввода объекта в эксплуатацию, последующие — не реже одного раза в 10 лет (не реже одного раза в 5 лет при неблагоприятных условиях эксплуатации: агрессивная среда, повышенная влажность, сейсмические воздействия и др.);
- по истечению срока эксплуатации объекта;
- при неудовлетворительном техническом состоянии, в том числе вызванном пожаром, стихийным бедствием и др.;
- по инициативе собственника объекта;
- при изменении назначения объекта;
- по предписанию органов, уполномоченных на ведение государственного строительного надзора.

Таким образом, обследование технического состояния зданий и сооружений может носить плановый характер и определяться установленными сроками проведения обследований. Но такие обследования могут быть также внеплановыми, и основаниями для их проведения могут стать следующие причины:

выявленные отступления от проекта по архитектурно-строительному решению, по производству строительных работ и другие отступления, снижающие несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;

стихийные бедствия, приводящие в том числе к частичному разрушению конструкций зданий и сооружений;

возобновление строительства спустя 3 года (при консервации объекта) или после перерыва (без консервации), превышающего установленный срок возведения объекта, что связано со снижением несущей способности конструкций из-за несоответствующих проектным условиям эксплуатации объекта;

новое строительство вблизи уже возведенных зданий, приводящее к появлению неучтенных при проектировании существующих зданий нагрузок и воздействий и, соответственно, к возможному снижению несущей способности и эксплуатационных качеств конструкций существующих зданий.

Примерные сроки службы (эксплуатации) зданий и сооружений приведены в [5]. Так, здания и сооружения массового строительства жилищно-гражданского и производственного назначения, эксплуатируемые в обычных условиях, имеют примерный срок службы не менее 50 лет. Уникальные здания театров, музеев, а также здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т.п. должны эксплуатироваться 100 лет и более. Для промышленных зданий и сооружений, эксплуатируемых в условиях сильноагрессивных сред, примерный срок службы должен составлять не менее 25 лет. При проектировании временных сооружений, таких как бытовки, летние павильоны и тому подобные сооружения, ориентируются на срок их службы 10 лет.

В [5] здания и сооружения классифицируются по уровню ответственности: уникальные здания и сооружения относятся к особо высокому 1а и высокому 1 уровню ответственности; объекты массового строительства — к нормальному 2 уровню ответственности; временные сооружения — к пониженному 3 уровню ответственности. Уровню ответственности зданий и сооружений ставится в соответствие коэффициент надежности по ответственности γ_n : уровень ответственности 1а — $\gamma_n = 1,2$; уровень ответственности 1 — $\gamma_n = 1,1$; уровень ответственности 2 — $\gamma_n = 1$; уровень ответственности 3 — $\gamma_n = 0,8$.

Приведенные значения коэффициентов γ_n являются минимально допустимыми. В задании на проектирование значение данных коэффициентов может быть увеличено.

Коэффициент надежности по ответственности здания вводится ко всем нагрузкам, учитываемым при проектировании зданий и сооружений, таким образом, понижая уровень напряжения в конструкциях, что способствует увеличению долговечности (срока службы) зданий и сооружений.

Следует отметить, что срок службы основных несущих конструкций строительных объектов не должен быть меньше срока службы зданий и сооружений. Так, например, выбор для несущих наружных стен в качестве материала ячеистых блоков класса по прочности на сжатие В3,5 и марки по плотности D500, обладающих небольшой прочностью и хорошими теплозащитными свойствами, и будет, скорей всего, определять срок службы проектируемого здания.

С появлением классификации зданий по уровню ответственности отошло в прошлое распределение зданий по группам капитальности, принадлежность к которым определялась видами конструктивных элементов здания (фундамента, стен, перекрытия, кровли) отдельно для производственных и гражданских зданий [6].

В [7] показано, что возраст жилого здания является лишь одним из факторов, определяющих техническое состояние и срок службы основных несущих конструкций. Если для примера рассмотреть дома дореволюционной постройки, то срок службы таких зданий уже истек или находится на исходе. Между тем их нынешнее техническое состояние во многом зависит от того, для каких владельцев строились эти дома, как осуществлялся контроль за качеством применяемых строительных материалов и ходом строительства, как использовались здания после их возведения. Из домов дореволюционной постройки лучшую сохранность имеют бывшие частные особняки и казенные здания.

После ввода объекта в эксплуатацию начинается процесс естественного старения и связанный со старением процесс физического износа здания, который характеризуется определенной динамикой. На рис. 1.1 приведена динамика физического износа строительных объектов [8]. Показано 2 процесса: естественный износ при отсутствии текущего ремонта и износ объекта при соблюдении правил и сроков технического обслуживания и текущего ремонта. Таким образом, в процессе старения здание или сооружение проходит стадии от малого до полного износа, но динамика старения, как и сроки службы здания при надлежащей его эксплуатации и при отсутствии таковой, будут различными. Следует также отметить плавность увеличения износа на начальном этапе эксплуатации здания и стремительность — на завершающем этапе.

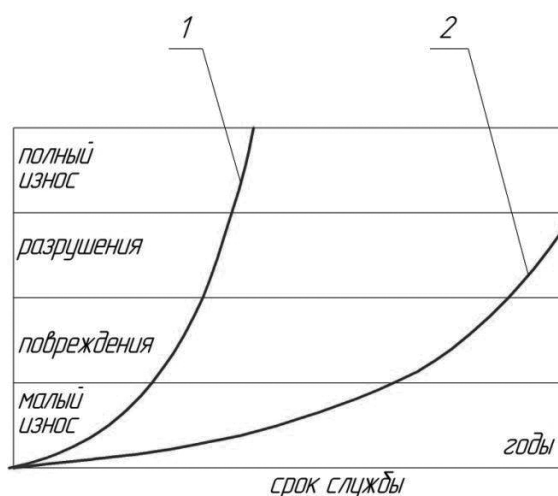


Рис. 1.1. Динамика физического износа строительных объектов: 1 — естественный износ при отсутствии текущего ремонта; 2 — износ объекта при соблюдении правил и сроков технического обслуживания и текущего ремонта

Для организации эксплуатации промышленных и гражданских зданий и сооружений была разработана соответствующая нормативно-техническая литература [9—12 и др.].

Рациональное управление эксплуатацией зданий и сооружений сегодня связывается с качественной организацией и оптимальным распределением имеющихся материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов, необходимых для поддержания зданий в исправном состоянии. Причем экономию ресурсов можно достигнуть при условии перехода от современной практики ремонта (которая заключается в организации ремонта только при обнаружении серьезных дефектов) к культуре ремонта небольших дефектов. Например, несвоевременное восстановление утраченного звена в системе наружного водостока здания способно привести к довольно быстрому разрушению наружной стены здания, восстановительный ремонт которого по затратам несоизмерим с установкой на место утраченного звена водосточной трубы системы наружного водостока здания (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Разрушение угловой зоны наружной кирпичной стены из-за утраченного звена водосточной трубы системы наружного водостока здания

Рентабельность дальнейшей эксплуатации, например, жилого здания связана не только с физическим состоянием отдельных конструктивных элементов и здания в целом. Она может определяться экономической и социальной ценностью объекта. Здесь можно выделить следующие моменты [9]:

- стремление к получению более высокой прибыли может привести к сносу старых жилых зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии, и строительству на их месте новых с квартирами более высокого качества или, например, торговых (офисных и др.) зданий;
- высокие процентные ставки по кредитам заставляют семьи со средним достатком откладывать строительство нового жилья и тем самым в известной степени способствуют сохранению существующего жилищного фонда, поскольку комфортное проживание в нем требует улучшения условий его содержания и своевременного ремонта;
- спрос на ветхое жилье может быть обеспечен наличием семей с низким достатком, уровень которого недостаточен для переезда в другое жилье.

Таким образом, на износ жилых зданий, а следовательно, на срок их службы оказывает влияние сложный комплекс факторов технического, экономического и социального порядка.

1.2. Категории технического состояния строительных объектов. Влияние дефектов и повреждений на техническое состояние конструктивных элементов

Оценка технического состояния строительных конструкций или объекта в целом производится на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков, полученных в результате технического обследования строительных объектов, со значениями этих же признаков, установленных нормами на проектирование.

Техническое состояние обследуемых строительных конструкций и объекта в целом может быть отнесено к одной из четырех категорий технического состояния (табл. 1.1). При этом критерии категорий технического состояния определены нормами [3].

Т а б л и ц а 1.1

Категории технического состояния строительных конструкций и объекта в целом [3]

Категория технического состояния	Условия отнесения к категории технического состояния
Нормативное	Количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния соответствуют проектным (нормативным) значениям
Работоспособное	Некоторые из числа контролируемых параметров не отвечают нормативным требованиям, но в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, несущая способность с учетом выявленных дефектов и повреждений обеспечивается
Ограниченно работоспособное	Строительные конструкции и объект в целом имеют крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания; функционирование конструкций и эксплуатация объекта либо при контроле (мониторинге), либо после восстановления (усиления) конструкций
Аварийное	Строительные конструкции и объект в целом имеют повреждения и деформации, свидетельствующие об утрате несущей способности и (или) об опасности потери устойчивости

Проектирование строительных, в частности железобетонных, конструкций выполняется в соответствии с указаниями, приведенными в [1]. Прочностные расчеты ведутся по алгоритмам, соответствующим виду напряженного состояния конструкции: изгиб, сжатие, растяжение. Алгоритм прочностных расчетов реализуют путем расчета по предельным состояниям первой группы. Выход за предельное состояние применительно к прочностным расчетам приводит к разрушению конструкции. Однако следует отметить, что при этом запроектированная конструкция находится в нормальном, а не в предаварийном состоянии, так как прочностные расчеты проводятся с учетом коэффициентов надежности (запаса).

Коэффициенты надежности при проведении расчетов вводятся:

- к прочностным характеристикам материалов: коэффициент надежности по бетону (тяжелому) при сжатии $\gamma_b = 1,3$ и при растяжении $\gamma_{bt} = 1,5$; коэффициент надежности по арматуре $\gamma_s = 1,15$;
- к нагрузкам: коэффициент надежности по ответственности зданий и сооружений γ_n (определяется заявленным уровнем ответственности, относится ко всем нагрузкам), коэффициент надежности по нагрузке (определяется видом нагрузки), среднее значение $\gamma_{f, \text{сред}} = 1,15$.

Для учета условий работы бетона при проведении расчетов бетонных и железобетонных конструкций применяются коэффициенты γ_{bi} , приведенные в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Коэффициент условий работы бетона γ_{bi}

Порядковый номер коэффициента	Учет условий работы бетона	Изменяемые показатели	Значение коэффициентов
γ_{b1}	При приложении к бетонным и железобетонным конструкциям нагрузок разной длительности	$R_b; R_{bt}$	$\gamma_{b1} = 1,0$ (непродолжительное действие нагрузки); $\gamma_{b1} = 0,9$ (продолжительное действие нагрузки)
γ_{b2}	Для бетонных конструкций	R_b	$\gamma_{b2} = 0,9$

Порядковый номер коэф-фициента	Учет условий работы бетона	Изменяемые показатели	Значение коэффициентов
γ_{b3}	Для бетонных и железобетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м	R_b	$\gamma_{b3} = 0,85$
γ_{b4}	Для ячеистых бетонов	R_b	$\gamma_{b4} = 1,0$ (при влажности ячеистого бетона 10 % и менее); $\gamma_{b4} = 0,85$ (при влажности ячеистого бетона более 25 %); для промежуточной влажности — по интерполяции
γ_{b5}	При попеременном замораживании и оттаивании, а также действии отрицательных температур	R_b	$\gamma_{b5} \leq 1,0$ ($\gamma_{b5} = 1,0$ — для надземных конструкций, эксплуатируемых в условиях атмосферных воздействий при температуре -40°C , в других случаях — в зависимости от условий эксплуатации)

Таким образом, в начале эксплуатации конструктивные элементы, рассчитанные по строительным нормам, имеют определенный конструктивный запас, основанный на учете при проведении прочностных расчетов коэффициентов надежности. Дефекты и повреждения, возникающие в конструктивных элементах при эксплуатации, влияют на надежность конструкций и могут привести к изменению нормального технического состояния конструктивных элементов на аварийное.

Дефекты и повреждения конструктивных элементов могут возникнуть от силовых воздействий и от воздействия внешней среды.

Для изгибаемого элемента характерно наличие двух усилий — изгибающего момента M и поперечной силы Q (рис. 1.3). При выполнении прочностных расчетов изгибаемых элементов рассматриваются нормальное и наклонное сечения, в которых соответственно момент и поперечная сила достигают своих максимальных значений. Для балки, приведенной на рис. 1.3, нормальное сечение будет располагаться в середине пролета. Местоположение наклонного сечения — у опор балки.

Целью выполнения прочностных расчетов изгибаемых железобетонных конструкций при проектировании является подбор продольной рабочей арматуры A_s , которая вместе с бетоном обеспечивает прочность нормального сечения, а также поперечной рабочей арматуры A_{sw} , которая вместе с бетоном обеспечивает прочность наклонного сечения. Расчеты железобетонных конструкций, выполняемые при проведении обследования, носят проверочный характер.

Особенности работы железобетонной балки, свободно опертой и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, показаны на рис. 1.3. Стадии разрушения балки по нормальному сечению, условия появления и характер развития трещин, а также смещение по высоте сечения нейтральной оси и изменение высоты сжатой зоны бетона в нормальном сечении балки приведены на рис. 1.4.

На начальной стадии нагружения (рис. 1.4, *a*) деформации в бетоне изгибаемой балки носят упругий характер. Эпюра напряжений в сжатой и растянутой зонах сечения сначала является треугольной. Затем, по мере увеличения нагрузки, в растянутой зоне развиваются пластические деформации. Эпюра растягивающих напряжений становится криволинейной. Трещины в растянутой зоне сечения не будут образовываться, пока растягивающие напряжения в бетоне σ_{bt} не достигнут своих максимально допустимых значений, которые зависят от класса бетона.

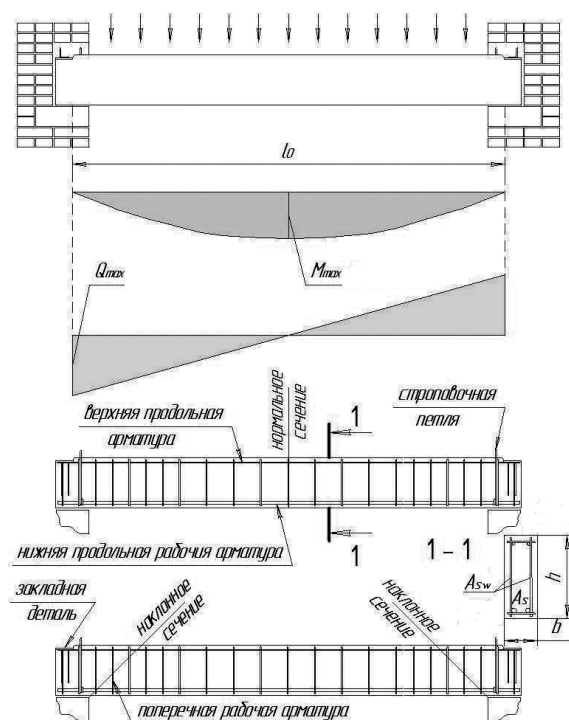


Рис. 1.3. Работа железобетонной балки перекрытия под действием равномерно распределенной нагрузки. Расчетная схема, усилия и армирование железобетонной балки

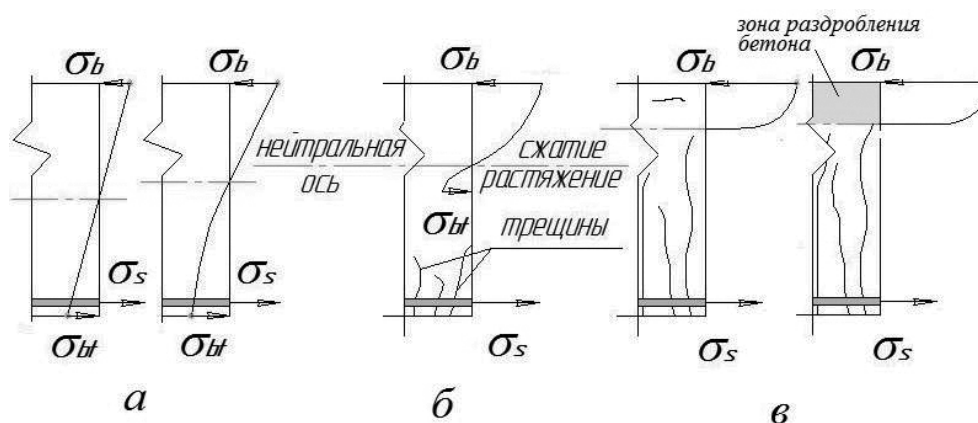


Рис. 1.4. Стадии напряженного состояния изгибаемой железобетонной балки по нормальному сечению:
а — начальная; б — промежуточная; в — финальная

Для промежуточной стадии нагружения (рис. 1.4, б) характерно появление и развитие трещин в растянутой зоне сечения. При этом в растянутой зоне сечения в основном работает арматура (σ_s — напряжение в растянутой арматуре).

В финальной стадии напряженного состояния (рис. 1.4, в) внешняя нагрузка воспринимается бетоном сжатой зоны и арматурой, установленной в растянутой зоне сечения. Подбор арматуры в изгибаемом элементе производится из условия равенства равнодействующей сжимающих усилий в бетоне и равнодействующей растягивающих усилий в арматуре. Трещины в растянутой зоне достигают нейтральной оси. В бетоне сжатой зоны также появляются трещины, свидетельствующие о разрушении бетона. При установке продольной арматуры с запасом напряжение в сжатом бетоне σ_b достигает максимума, в то время как напряжения в растянутой арматуре σ_s максимальных значений не достигают. В такой ситуации напряжения в сжатом бетоне σ_b продолжают возрастать, что приводит к раздроблению бетона сжатой зоны.

По-другому разрушается консольная изгибаемая конструкция. Например, разрушение балконной плиты будет происходить по нормальному сечению у опоры, трещины появятся на верхней грани плиты.

На рис. 1.5 показаны армирование и трещины, возникающие при разрушении коротких консолей колонн [13]. Разрушение коротких консолей связано с появлением трещин, вызванных действием момента (рис. 1.5, б, поз. 1) и поперечной силы (рис. 1.5, б, поз. 2). Продольная и поперечная арматуры консоли (рис. 1.5, а) препятствуют появлению и развитию трещин поз. 1 и трещин поз. 2 соответственно.

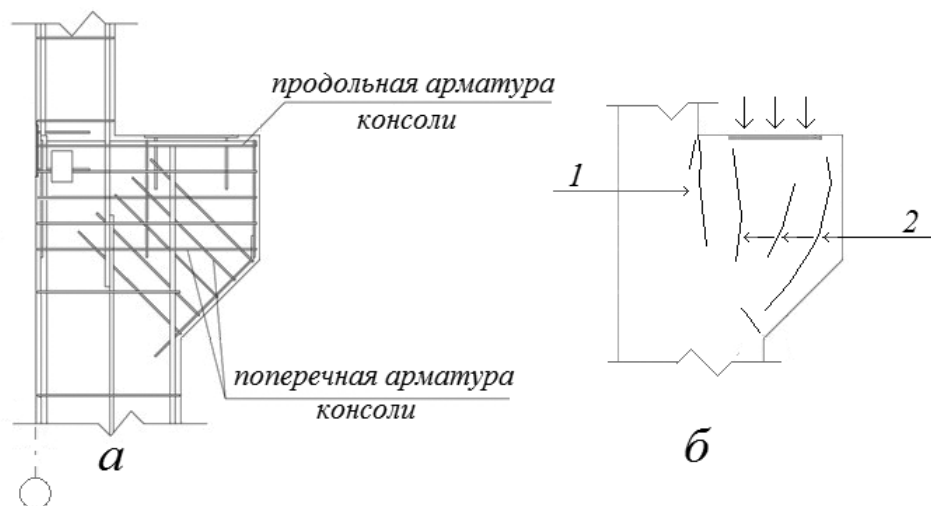


Рис. 1.5. Армирование (а) и трещины при разрушении (б) коротких консолей:
1 — трещины, вызванные действием момента; 2 — трещины, вызванные действием поперечной силы

Прочностные расчеты центрально сжатых элементов выполняются для определения количества продольной рабочей арматуры $A_{s,tot}$, которая вместе с бетоном сечения обеспечивает прочность железобетонного элемента (рис. 1.6, сечение 1—1). Для предотвращения выпучивания продольной рабочей арматуры устанавливается поперечная конструктивная арматура (хомуты).

На рис. 1.6 приведена схема расположения сборных железобетонных колонн в пределах высоты здания. Стык колонн с ригелем — шарнирный. К нижней колонне при выполнении прочностного расчета прикладываются нагрузки от покрытия P_1 и двух перекрытий P_2 . Учитывается также собственный вес всех колонн. При проведении расчета колонна рассматривается как центрально сжатая. Варианты развития трещин при разрушении нижней колонны показаны на рис. 1.6, поз. 1 и 2. Продольная сила, сжимающая колонну, приводит к образованию трещин, которые указывают на снижение ее несущей способности.

Для внецентренно сжатого элемента характерно наличие двух усилий — продольной сжимающей силы N и изгибающего момента M .

При действии в поперечном сечении элемента усилий N и M сжатой оказывается только часть сечения колонны (рис. 1.7, сечение 1—1). В связи с чем продольная рабочая арматура колонны испытывает как сжатие (A_s'), так и растяжение (A_s). При этом $A_s = A_s'$, так как для внецентренно сжатых элементов обычно выбирается симметричное армирование. Поперечная арматура в колонне устанавливается конструктивно для предотвращения выпучивания сжатых стержней продольной арматуры. Для внецентренно сжатых колонн назначается прямоугольное сечение, вытянутое в направлении действия момента ($h > b$). При применении вязаной арматуры и $h > 500$ мм должны устанавливаться дополнительные продольные арматурные стержни.

Применение железобетонных конструкций для восприятия только растягивающих усилий ограничено из-за низкой сопротивляемости бетона растяжению, однако растянутые элементы в составе железобетонных конструкций имеют место. Например, нижний пояс стропильной фермы является центрально растянутым конструктивным элементом фермы.

При работе центрально растянутого элемента приложенная сила N воспринимается продольной арматурой $A_{s,tot}$, бетон при определении несущей способности конструктивного элемента не учитывается.

На рис. 1.8 приведено армирование (сечение 1—1) и трещины при разрушении центрально растянутого железобетонного элемента.

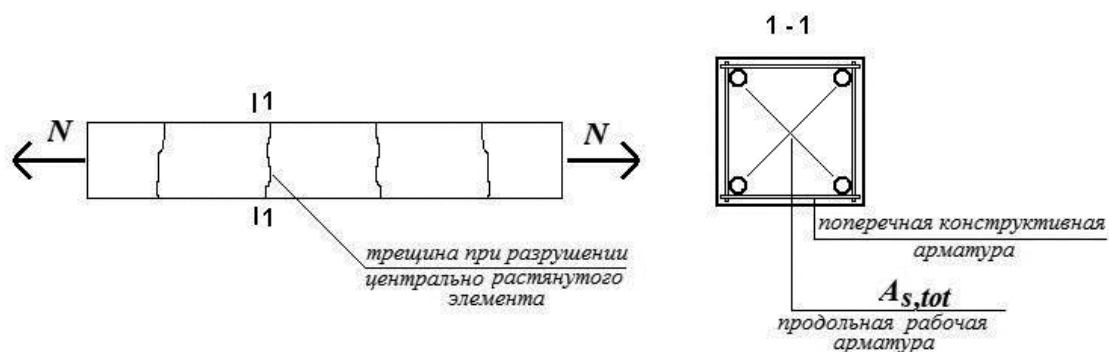


Рис. 1.8. Армирование (сечение 1—1) и трещины при разрушении центрально растянутого железобетонного элемента

Железобетон относится к комплексным строительным материалам, и без обеспечения надежной совместной работы арматуры и бетона железобетонные конструкции не могут работать эффективно. На величину сцепления арматуры с бетоном отрицательно влияют загрязнение арматуры, несоблюдение конструктивных требований, в том числе к толщине защитного слоя бетона.

Бетон является неоднородным по структуре строительным материалом, состоящим из гранул песка и щебня, соединенных между собой цементным камнем. Цементный камень характеризуется наличием многочисленных пор, капилляров и микротрещин, образующихся при его твердении. Как правило, к моменту приложения нагрузки бетон имеет развитую систему пор, капилляров и усадочных микротрещин, которая и является отправной точкой в развитии трещин при силовых и несиловых воздействиях на конструктивные элементы зданий и сооружений.

На рис. 1.9 показано разрушение консольной железобетонной плиты козырька над входом в здание, произошедшее в результате воздействия внешней среды.



Рис. 1.9. Разрушение консольной железобетонной плиты козырька над входом в здание

Замерзание и оттаивание воды, скопившейся в порах и трещинах бетона, способствует разрушению плиты. Результатом процессов карбонизации, происходящих при воздействии на бетон плиты дождевой воды, является коррозия арматуры. При этом объем заржавевшей стали увеличивается по сравнению с объемом той же стали, не затронутой коррозией, что вызывает механическое отторжение защитного слоя от поверхности арматуры [14]. Негативное воздействие на балконную плиту также оказывает перепад температур наружного воздуха и нагрев конструкции вследствие интенсивной солнечной радиации.

В соответствии со строительными нормами [15] после изготовления на поверхности сборных железобетонных конструкций допускается наличие ограниченных по ширине (0,1...0,2 мм) технологических трещин, также допускаются раковины, отколы бетона, местные наплывы, но их количество и размеры нормируются для установленных категорий поверхностей (А0...А7).

Следует отметить, что трещины, ограниченные по ширине раскрытия, не оказывают существенного влияния на работу железобетонных конструкций. В табл. 1.3 показано, что предельно допустимая ширина раскрытия трещин $a_{crс}$ для железобетонных конструкций составляет 0,1...0,4 мм. Такие трещины являются волосяными и мало различимы при осмотре железобетонных конструкций.

Т а б л и ц а 1.3

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин $a_{crс}$, мм [1]

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин $a_{crс}$							
Из условия обеспечения сохранности						Из условия ограничения проницаемости конструкций	
ненапрягаемой арматуры		напрягаемой арматуры					
A240...A600, B500, Bp500		стержневая A600...A1000, проволочная Bp1200...Bp1400, K1400...K16000 ($d_s \geq 12$ мм)		Bp 1500, K1500, K1600 ($d_s = 6$ мм, $d_s = 9$ мм)			
Продолжи- тельное раскрытие	Непродолжи- тельное рас- крытие	Продолжи- тельное раскрытие	Непродолжи- тельное рас- крытие	Продолжи- тельное раскрытие	Непродолжи- тельное рас- крытие	Продолжи- тельное раскрытие	Непродол- жительное раскрытие
0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3

При определении деформаций значения предельно допустимых прогибов железобетонных конструкций f_{ult} в основном назначаются, исходя из эстетико-психологических требований (табл. 1.4), соблюдение которых обеспечивает благоприятное впечатление от внешнего вида конструкции и отсутствие ощущения опасности, возникающей от ее видимого прогиба

Т а б л и ц а 1.4

**Предельно допустимые вертикальные прогибы железобетонных конструкций f_{ult}
по эстетико-психологическим требованиям [16]**

Конструкции	Пролет (расстояние между внутренними поверхностями стен или колонн)	Прогиб
Элементы перекрытий, покрытий, лестниц, балконов, лоджий; перемычки, стеновые панели над оконными и дверными проемами	$l \leq 1$ м	$l / 120$
	$l = 3$ м	$l / 150$
	$l = 6$ м	$l / 200$
	$l = 24$ м (12 м при $H_{помещ} \leq 6$ м)	$l / 250$
	$l \geq 36$ м (24 м при $H_{помещ} \leq 6$ м)	$l / 300$

При обследовании конструктивных элементов зданий, находящихся в аварийном состоянии, важно правильно оценить тип разрушения. Он может быть сопряжен с постепенным нарастанием деформаций и перераспределением усилий или может характеризоваться как быстрое (хрупкое) разрушение.

При применении арматурных сталей, имеющих площадку текучести (мягких сталей), разрушение происходит по первому типу, высокопрочной арматуры — по второму.

Визуальную оценку снижения несущей способности обследуемых железобетонных конструкций можно произвести по виду дефектов и повреждений в соответствии с их классификацией в [3].

Так, волосяные трещины, появившиеся при изготовлении сборных железобетонных конструкций (в основном на наружной поверхности), не влияют на несущую способность конструкции, но могут снизить ее долговечность.

При возведении монолитных железобетонных конструкций в условиях стеснения деформаций (в опалубке) температурно-усадочные усилия могут приводить (непосредственно после снятия опалубки или спустя некоторое время) к появлению трещин силового характера. При ширине раскрытия трещин больше допустимой снижается долговечность, жесткость и прочность монолитных конструкций.

Сколы бетона, возникающие при механических воздействиях на конструктивный элемент, не снижают его несущую способность, если они расположены в растянутой зоне. При расположении сколов в сжатой зоне уменьшается площадь ее сечения и, соответственно, снижается несущая способность конструкции.

Промасливание бетона при технических утечках маслянистых материалов снижает несущую способность конструкции (снижение прочности бетона до 30 %).

Определенное снижение несущей способности сборных железобетонных конструкций может также наступить при уменьшении размеров площадок опирания конструкций по сравнению с проектными.

Отслоение защитного слоя бетона из-за коррозии арматуры снижает прочность нормальных сечений конструктивного элемента, а при расположении дефектов на опорном участке переводит состояние конструкции в аварийное.

О снижении несущей способности в связи с перегрузкой конструкций могут свидетельствовать:

- нормальные трещины в изгибаемых конструкциях и в растянутых элементах конструкций, ширина раскрытия которых превышает допустимые значения (см. табл. 1.3);
- наклонные трещины, в том числе со смещением участков бетона относительно друг друга, с разрывами или смещениями поперечной арматуры в зоне наклонных трещин;
- вертикальные прогибы железобетонных конструкций, превышающие допустимые (см. табл. 1.4).

Аварийное состояние сборных железобетонных конструкций может наступить при повреждениях в стыках сборных элементов зданий и сооружений: отрыве анкеров от пластин закладных деталей, деформации соединительных элементов и др.

Свои особенности разрушения имеют каменные и армокаменные конструкции. К каменным конструкциям прежде всего относятся вертикальные несущие конструкции зданий: столбы и стены.

Поведение каменных и армокаменных конструкций под нагрузкой определяется многими факторами и прежде всего тем обстоятельством, что каменная кладка является неоднородным телом, состоящим из камней (кирпичей) и швов, заполненных раствором. В армокаменных конструкциях неоднородность усиливается наличием арматуры.

Характер разрушения кладки и степень влияния многочисленных факторов на ее прочность объясняются особенностями ее напряженного состояния при сжатии. Разрушение кирпичной кладки при сжатии начинается с появления отдельных вертикальных трещин (рис. 1.10, а). Затем при увеличении нагрузки увеличивается длина и ширина раскрытия отдельных трещин (рис. 1.10, б). При дальнейшем нагружении кладки количество местных вертикальных трещин увеличивается, они постепенно объединяются и образуют трещины большой протяженности. В результате этого кладка разделяется на отдельные столбики, которые затем разрушаются вследствие возникновения в сечении эксцентриситетов, продольного изгиба и раздробления отдельных кирпичей (рис. 1.10, в).

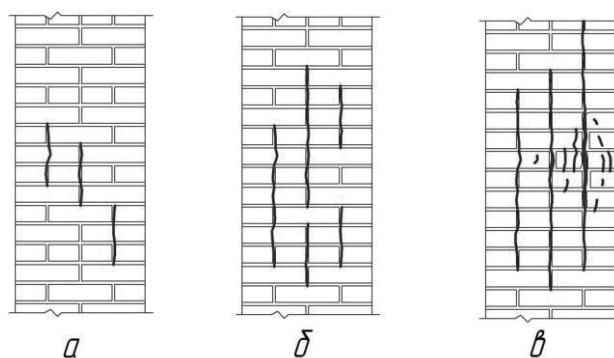


Рис. 1.10. Характер развития трещин в сжатой кирпичной кладке [13]: *a* — малоразвитые трещины; *б* — увеличивается длина и ширина раскрытия отдельных трещин, *в* — трещины при разрушении

Арматурные сетки, размещенные в горизонтальных швах кладки, препятствуют ее поперечному расширению и тем самым значительно увеличивают прочность кирпичной кладки.

На прочность кладки при сжатии влияют прочность, размеры и правильность формы камня, наличие пустот в пустотелых камнях, прочность и удобоукладываемость раствора, деформативные свойства затвердевшего раствора, качество кладки, система перевязки кладки, степень сцепления раствора с камнем, степень заполнения раствором швов кладки. В табл. 1.5 описано влияние перечисленных факторов на прочность кладки.

Т а б л и ц а 1.5

Влияние факторов на прочность кладки

Фактор	Влияние фактора
Прочность камня	С увеличением прочности камня прочность кладки увеличивается (так, при увеличении прочности кирпича в 2 раза прочность кирпичной кладки увеличивается в 1,6 раза)
Размер камня	С увеличением размера камня относительная прочность кладки повышается, так как крупные камни лучше сопротивляются силовому воздействию, и количество швов в кладке уменьшается
Форма камня, качество наружной поверхности	Прочность кладки, выполненной из камней калиброванных размеров, выше прочности кладки, выполненной из камней произвольных размеров. Прочность кладки из силикатного кирпича больше прочности кладки из глиняного кирпича за счет более ровных поверхностей силикатного кирпича
Наличие пустот в камне	Уменьшает прочность самих камней и в целом — кладки из них. Это объясняется более неравномерным распределением давления в кладке из пустотелых камней, а также сложными условиями работы перегородок между пустотами
Прочность и деформативные свойства затвердевшего раствора	С увеличением прочности раствора прочность кладки сначала быстро возрастает, затем рост прочности замедляется. Чем деформативнее раствор, тем ниже прочность кладки, так как при этом в меньшей степени стеснены поперечные деформации. Надо отметить, что растворы с меньшим объемным весом имеют большую деформативность
Качество кладки и удобоукладываемость раствора	Качество кладки характеризуется равномерностью заполнения швов кладки раствором. Степень заполнения шва зависит от удобоукладываемости (подвижности) применяемого раствора. Добавка в жесткий цементно-песчаный раствор извести, глины или специальных добавок увеличивает его пластичность
Перевязка кладки	Система перевязки кладки (цепная или многорядная) мало влияет на прочность кладки. Однако при выполнении кладки зимой, для зданий, возводимых в сейсмических районах, а также для сильно нагруженных и внецентренно сжатых с большим эксцентриситетом каменных конструкций рекомендуется применение цепной перевязки кладки
Степень сцепления раствора с камнем	Мало влияет на прочность при сжатии. Однако она сказывается на заполнении раствором вертикальных швов кладки. Полнота заполнения раствором вертикальных швов определяет эксплуатационные качества прежде всего наружных стен здания. Монолитность кладки важна для сопротивления кладки сейсмическим и динамическим нагрузкам

Оценка несущей способности эксплуатируемых армированных и неармированных каменных конструкций производится по результатам обследования. При этом должно быть

учтено наличие факторов, снижающих несущую способность конструкций. Такими факторами могут быть:

- трещины;
- разрушение поверхностного слоя кладки из-за атмосферных воздействий;
- механические повреждения;
- наличие эксцентриситетов, вызванных отклонением стен и столбов от вертикали или при их выпучивании из плоскости;
- нарушение конструктивных связей между стенами вследствие образования вертикальных трещин в местах сопряжения стен или при разрыве поперечных связей между стенами, колоннами и перекрытиями каркаса;
- повреждение опор балок и перемычек;
- смещение элементов покрытий и перекрытий на опорах.

В [17] приведены табличные коэффициенты снижения несущей способности каменных конструкций $K_{тр} \leq 1$, которые необходимо учитывать при оценке несущей способности конструкций: при наличии трещин; при повреждении кладки опор балок, ферм, перемычек; при повреждении кладки стен и столбов при пожаре.

Снижение долговечности в процессе эксплуатации в большей мере касается наружных стен зданий.

Стены из полнотелого кирпича обычно не требуют специальной дополнительной защиты от атмосферных осадков. Эта функция должна выполняться конструкцией стены, самим сечением стены при достаточной ее толщине и аккумулятивной способности.

Считается, что толщина стены не менее 38 см при нормальном воздействии осадков исключает увлажнение (промокание) всего сечения стены. Следует учитывать, что кирпич сухого прессования имеет сеть капилляров, сообщающихся между собой и открытых с его поверхности. Такой кирпич быстро насыщается водой. Кирпич пластического прессования имеет поры закрытые и поэтому медленно впитывает влагу. Однако основной проникающий поток влаги идет не по капиллярам, а по трещинам и пустотам, которые имеются в кирпиче и тем более в растворе кирпичной кладки. Хотя капиллярный подсос способствует проникновению влаги в толщу стены, в то же время он благоприятствует и непрерывному высыханию стены. Если кирпичная стена ориентирована на господствующее направление косого дождя, особенно на открытой местности, то при затяжных осадках в условиях постоянного притока влаги может увлажняться внутренняя поверхность стен, на которой появляется плесень, грибок, скопление пыли, сопровождаемые отслоением штукатурки и обоев. Этот процесс усиливается при высокой относительной влажности воздуха внутри здания.

Кирпичные стены являются проницаемыми для влаги, которая может быть в виде жидкости или пара. Важным обстоятельством является беспрепятственная диффузия влаги. Каменная кладка — неоднородна, раствор для кладки обычно имеет более плотный состав, чем кирпич, поэтому в местах их соприкосновения в кирпиче скапливается влага. Скапливание влаги может также происходить в местах соприкосновения камней кирпичной кладки с облицовочным слоем либо теплоизоляционным слоем из легкого бетона, так как эти материалы имеют неодинаковую водопоглощающую способность и капиллярную проводимость.

При применении облегченной кладки наружных стен теплоизоляционный слой может располагаться снаружи, между двумя массивными слоями, либо с внутренней стороны стены. Если утепляющий слой расположен на внутренней поверхности стены, то зимой при большой влажности в помещении возникает опасность увлажнения как материала стены, так и самого утеплителя.

Слои теплоизоляции почти бесполезны, если они увлажнены. Они должны быть водостойкими и долговечными. Если теплоизоляционный слой расположен внутри стены, то это обстоятельство «сводит на нет» хорошую теплоаккумулирующую способность массивной стены. В этом случае наружный слой стены (из-за меньшей своей толщины по сравнению со сплошной стеной) хуже реагирует не температурно-влажностные воздействия: наружный

Учебное издание

Малахова Анна Николаевна,
Малахов Дмитрий Юрьевич

**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ**

Редактор, корректор *Т.Н. Дони́на*
Верстка *Т.Н. Дони́ной*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 30.09.2016. И-95. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 11,16. Тираж 300 экз. Заказ 245

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ).
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ — МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ.
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44