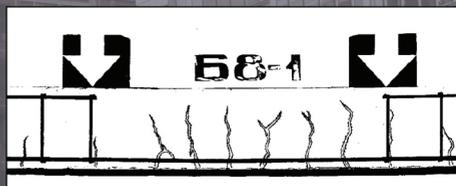
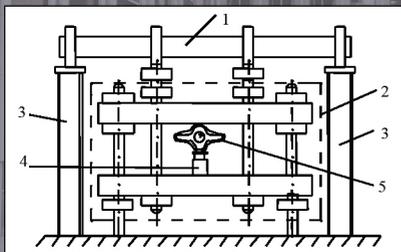
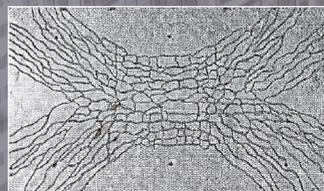
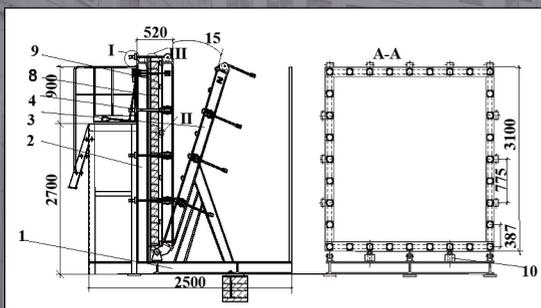


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт

В.А. Ерышев, Е.В. Латышева

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Электронное учебное пособие



УКД 69.059.32

ББК 38.683

Рецензенты:

д-р техн. наук, советник РААСН, эксперт ООО «Волжский исследовательский научный экспертный центр» *С.М. Анпилов*;
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство» Тольяттинского государственного университета *Д.С. Тошин*.

Ерышев, В.А. Методы и средства диагностики строительных конструкций зданий и сооружений : электронное учебное пособие / В.А. Ерышев, Е.В. Латышева. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2020. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1518-0.

В учебном пособии представлены методы и правила, которые регламентируют процедуру проведения диагностики строительных конструкций, включающей их обследование и натурные испытания, определяют принципиальную схему и состав работ, позволяющих объективно оценить техническое состояние, фактическую несущую способность конструкций, параметры их качества и в случае необходимости принять обоснованные технические решения по ремонтно-восстановительным мероприятиям или способам усиления.

Предназначено для студентов направления подготовки магистров 08.04.01 «Строительство» (направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений»), а также для аспирантов при выполнении научных исследований.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер; Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

Редактор *Е.В. Пилясова*
Корректор *Н.Г. Витковская*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 18.06.2020.

Объем издания 8,2 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-53-19.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	12
1.1. Термины и определения	12
1.2. Категории технического состояния	16
1.3. Необходимость и основание для обследования	18
1.4. Объекты при обследовании зданий	20
1.5. Этапы проведения обследований и состав работ	21
Выводы по главе	28
Контрольные вопросы	28
Глава 2. ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ	30
2.1. Цель и задача испытаний строительных конструкций	30
2.2. Виды и необходимость проведения испытаний	31
2.3. Типы конструкций и схемы их испытания	34
2.4. Временные стенды для испытания конструкции	38
2.5. Испытания весовой нагрузкой	40
2.6. Испытание изгибаемых плоских конструкций равномерно распределенной нагрузкой сжатым воздухом	44
2.7. Схемы испытаний гидравлическим оборудованием	47
2.8. Испытания изгибаемых балочных элементов при сложных режимах нагружения	50
2.9. Испытания железобетонных образцов-призм осевой знакопеременной нагрузкой	54
Выводы по главе	56
Контрольные вопросы	56
Глава 3. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ И ИСПЫТАНИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	58
3.1. Методы и средства измерения прогибов и смещений конструкций	58

3.2. Методы и средства измерения деформаций материалов конструкций	64
3.3. Методы и средства наблюдения за развитием трещин в конструкциях	72
3.4. Выявление и регистрация осадок эксплуатируемых зданий и сооружений	80
Выводы по главе	82
Контрольные вопросы	83
Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	
4.1. Диагностика каменных конструкций	85
4.2. Диагностика бетонных и железобетонных конструкций по результатам обследования эксплуатируемых зданий	90
4.3. Оценка качества железобетонных конструкций по результатам испытаний	97
4.4. Диагностика деревянных конструкций. Особенности эксплуатационных качеств деревянных конструкций	114
Выводы по главе	119
Контрольные вопросы	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	123
Приложение А	124
Приложение Б	130
Приложение В	132

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Техническая эксплуатация и диагностика зданий и сооружений 2» является завершающей в процессе изучения курсов «Техническая эксплуатация и диагностика зданий и сооружений 1», «Методология научных исследований». Почерпнутые знания позволяют установить взаимосвязь между результатами расчета, полученными при проектировании в соответствии с действующими нормами, и фактическими параметрами, определяющими качество технологии изготовления, материалов, конструктивных решений и техническое состояние реальных строительных объектов в течение всего нормативного срока их эксплуатации, после детальных экспериментальных исследований.

В процессе изучения дисциплины обучающиеся осваивают инженерные методы и средства, позволяющие на практике получать объективные данные о фактическом состоянии строительных конструкций, контролировать с помощью приборов изменения в процессе эксплуатации прочностных и деформационных параметров материалов конструкций, принимать обоснованные технические решения по ремонтно-восстановительным мероприятиям или способам усиления.

Многие сооружения имеют сложные расчетные схемы, и обеспечить их надежность с достаточной достоверностью теоретическими моделями чрезвычайно сложно, а порой и невозможно при современном состоянии строительной науки, так как даже расчетные схемы распределения напряжений и усилий в сечениях элементов конструкций лишь условно отражают их действительное напряженное состояние. Этим обстоятельством продиктована необходимость включения в курс и освоение экспериментальных методов исследований на основе принципов моделирования напряженного состояния в системе здания путем испытаний элементов конструкций в лабораторных условиях на специальных установках.

Важным элементом этого раздела курса является изучение методов натурных испытаний строительных конструкций в составе здания и контроля параметров качества при их серийном изготовлении. Рассматриваются различные схемы нагружения конструкций,

методы и средства измерения деформаций, признаки и возможный характер разрушения сечений.

Полученные обучающимися знания могут применяться при выполнении научных исследований и в работе над магистерской диссертацией. Научные разработки аспирантов кафедры, выполненные под руководством авторов настоящего учебного пособия, дают возможность использовать накопленный опыт при проведении студентами исследований и участвовать в разработке методов расчета железобетонных конструкций при сложных режимах нагружения, включая воздействия повторных и знакопеременных нагрузок, которые еще не нашли отражения в нормативных документах.

ВВЕДЕНИЕ

Еще в начале своего развития, когда не существовало никаких теорий и методов расчета конструкций, люди уже строили себе жилища. Совершенствуя свойства строительных материалов и конструктивные решения, человек стремился преодолеть разрушительные воздействия сил природы на строительные объекты. Если сооружение оказывало сопротивление этим силам, то строительство завершалось успешно. В противном случае происходили аварии и даже катастрофы, а авторы проектов подвергались наказанию согласно законам древних. Например, вавилонский законодатель Хаммурапи (около 1700 г. до нашей эры) писал: «Если строитель построит дом и его творение окажется недостаточно прочным, и случится так, что построенный дом разрушится, вызвав смерть хозяина, то строителя следует предать казни». При этом, правда, ничего не говорилось о том, как обеспечить нужную прочность — законы человеческие формулировались задолго до того, как были открыты законы механики. Единственным руководством для строителей тех времен был опыт, накопленный предшественниками при возведении сооружений различного назначения. Примеры аварий предостерегали от повторения ошибочных решений, хотя их в древности, надо полагать, было немало.

Первым, известным из Библии драматическим случаем окончания строительства является обрушение Вавилонской башни. В начале нашей эры в Фидене обрушился амфитеатр, под обломками которого погибли тысячи человек. Величественные руины мечети Биби-Ханым в Самарканде показывают, к чему приводили ошибки строителей: мечеть разрушилась через 30 лет после окончания строительства из-за недостаточной прочности кирпича. С разрушением конструкций вследствие ошибок их авторов исчезли сами свидетельства этих ошибок. Конечно, такое состояние всегда порождало неуверенность в исходе строительства, особенно когда не было прототипов создаваемой конструкции.

Промышленная революция конца XVIII в. и последующее бурное развитие техники, в частности транспортной, сделали необходимым перевести решение вопросов прочности на подлинно

научную основу. Интуитивные и полуэмпирические способы их решения становились серьезным тормозом прогресса. При создании крупных инженерных сооружений, в первую очередь железнодорожных мостов, уже нельзя было опираться на опыт и чутье. Плата за ошибки в строительстве становилась все более высокой.

Становление и развитие строительной техники и науки шли постепенно, по мере накопления все новых и новых результатов исследований, в первую очередь опытных данных. Так, на разработку теории расчета изгибаемых элементов прямоугольного сечения, как теперь известно, потребовалось более двухсот лет. Галилей в книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению», изданной в 1638 году, сделал важный вывод о том, что с увеличением размеров подобные тела становятся менее прочными. Он исходил из предположения, что в сечении изгибаемого элемента возникают растягивающие напряжения, которые распределяются по высоте равномерно.

Через 46 лет Лейбниц пришел к выводу, что напряжения растяжения в элементе распределяются по закону треугольника, а его максимальное краевое значение определяется величиной момента и геометрическими параметрами сечения. В 1713 году француз Паран, рассуждая теоретически, пришел к выводу, что в сечении изгибаемого элемента возникают растягивающие и сжимающие напряжения. Но только в 1767 году Дюгамель экспериментально доказал справедливость теоретических предпосылок француза. Теоретическими и экспериментальными исследованиями Навье и Морена в первой половине XIX века устанавливается, что в изгибаемых элементах нейтральная ось проходит через центр тяжести поперечного сечения. В 1955 году русский ученый Д.И. Журавский доказал, что наряду с нормальными напряжениями в изгибаемых элементах ближе к опорным зонам действуют касательные напряжения, и предложил формулу для их вычисления.

Под влиянием технического прогресса в двадцатые годы XIX столетия сопротивление материалов окончательно сформировалось как научная дисциплина. К этому же времени относится

и становление теории упругости. Также успешно развивалась теория стержневых систем, а во второй половине XIX в. были найдены общие методы раскрытия статической неопределимости. Возникла теория пластин и оболочек, было намечено решение некоторых динамических задач прочности.

С развитием строительной индустрии появляются новые конструктивные формы и новые конструкционные материалы: практика ставит перед теорией непрерывную череду порой труднорешаемых проблем. Важной основой для разработки новых расчетных моделей, обеспечивающих прочность и надежность строительных систем, становятся результаты экспериментальных исследований. Наряду с традиционными испытаниями материалов на прочность при сжатии, растяжении и изгибе с целью нормирования расчетных сопротивлений строительных материалов производятся испытания образцов, в которых моделируется напряженное и деформированное состояние реальных конструкций в системе здания или сооружения. Достоверность теоретических предпосылок оценивается в сравнении с результатами натурных испытаний опытных конструкций (широко освещались в печати и на телевидении испытания подвижной нагрузкой непрерывно движущимися грузовыми автомобилями конструкции Крымского моста). На базе результатов экспериментов, проводимых в научно-исследовательских лабораториях НИИ (НИИЖБ, ЦНИИСК), высших учебных заведений, разрабатываются методы расчета строительных конструкций, стандарты и нормативные документы для проектирования зданий и сооружений. Для контроля качества бетона и арматуры в выпускаемой продукции на предприятиях ЖБИ создаются заводские лаборатории. Контрольные испытания конструкций, изготавливаемых серийно на этих заводах, являются обязательной составной частью технологического процесса.

С повышением требований к точности измеряемых в процессе испытаний величин совершенствуется испытательное оборудование, разрабатываются новые методы и приборы для измерения деформаций материалов в конструкциях. Для моделирования исследуемого напряженно-деформированного состояния изготавливаются специ-

альные установки. В настоящем пособии представлены силовые установки для исследований и разработки методов расчета железобетонных конструкций при сложных режимах нагружения, конструкции которых созданы и защищены патентами на изобретения аспирантами кафедры под руководством авторов пособия.

Экспериментальные методы исследований и диагностики строительных конструкций составляют надежную материальную базу для выполнения требований нормативных документов, предъявляемых к безопасности зданий и сооружений.

Глава 1. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Термины и определения

Цель и задачи диагностики объектов строительства: изучение правил, которые регламентируют процедуру проведения обследования строительных конструкций, определяют принципиальную схему и состав работ, позволяющих объективно оценить техническое состояние, фактическую несущую способность конструкций и, в случае необходимости, принять обоснованные технические решения по ремонтно-восстановительным мероприятиям или способам усиления.

Диагностика – установление и изучение признаков, характеризующих состояние строительных конструкций зданий и сооружений для определения возможных отклонений и предотвращения нарушений нормального режима их эксплуатации.

Обследование технического состояния здания (сооружения) – комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта. Включает обследование грунтов основания и строительных конструкций на предмет выявления изменения свойств грунтов, деформационных повреждений, дефектов несущих конструкций и определения их фактической несущей способности.

Комплексное обследование технического состояния здания (сооружения) – комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров грунтов основания, строительных конструкций, инженерного обеспечения (оборудования, трубопроводов, электрических сетей и др.), характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта. Включает обследование технического состояния здания (сооружения), тепло-

технических и акустических свойств конструкций, систем инженерного обеспечения объекта, за исключением технологического оборудования.

Живучесть здания или сооружения — свойство системы сохранять несущую способность при выходе из строя одного или нескольких конструктивных элементов. Повышению живучести способствуют многократная статическая неопределимость здания и возможность пространственного перераспределения усилий в его конструктивной системе.

Поверочный расчет — расчет существующей конструкции по действующим нормам проектирования с введением в расчет полученных в результате обследования или по проектной и исполнительной документации геометрических параметров конструкции, фактической прочности строительных материалов, действующих нагрузок, уточненной расчетной схемы с учетом имеющихся дефектов и повреждений.

Критерии оценки — установленное проектом или нормативным документом количественное или качественное значение параметра, характеризующего прочность, деформативность и другие нормируемые характеристики строительной конструкции.

Степень повреждения — установленная в процентном отношении доля потери проектной несущей способности строительной конструкцией.

Несущие конструкции — строительные конструкции, воспринимающие эксплуатационные нагрузки и воздействия и обеспечивающие пространственную устойчивость здания.

Нормальная эксплуатация — эксплуатация конструкции или здания в целом, осуществляемая в соответствии с предусмотренными в нормах или проекте технологическими или бытовыми условиями.

Эксплуатационные показатели здания — совокупность технических, объемно-планировочных, санитарно-гигиенических, экономических и эстетических характеристик здания, обуславливающих его эксплуатационные качества.

Реконструкция здания — комплекс строительных работ и организационно-технических мероприятий, связанных с изменением основных технико-экономических показателей (нагрузок, планиров-

ки помещений, строительного объема и общей площади здания, инженерной оснащенности) с целью изменения условий эксплуатации, максимального восполнения утраты от имевшего место физического и морального износа, достижения новых целей эксплуатации здания.

Модернизация здания — частный случай реконструкции, предусматривающий изменение и обновление объемно-планировочного и архитектурного решений существующего здания старой постройки и его морально устаревшего инженерного оборудования в соответствии с требованиями, предъявляемыми действующими нормами к эстетике условий проживания и эксплуатационным параметрам жилых домов и производственных зданий.

Восстановление — комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение эксплуатационных качеств конструкций, пришедших в ограниченно работоспособное состояние, до уровня их первоначального состояния.

Усиление — комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение несущей способности и эксплуатационных свойств строительной конструкции или здания и сооружения в целом по сравнению с фактическим состоянием или проектными показателями.

Авария — опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению или повреждению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, нанесению ущерба окружающей среде.

Характеристики безопасности здания или сооружения — количественные и качественные показатели свойств строительных конструкций, основания, материалов, элементов сетей инженерно-технического обеспечения, посредством соблюдения которых обеспечивается соответствие здания или сооружения требованиям безопасности.

Уровень ответственности — характеристика здания или сооружения, определяемая в соответствии с объемом экономических, социальных и экологических последствий его разрушения.

Техногенные воздействия — опасные воздействия, являющиеся следствием аварий в зданиях, сооружениях или на транспорте, пожаров, взрывов или высвобождения различных видов энергии, а также воздействия, являющиеся следствием строительной деятельности на прилегающей территории.

Реологическое свойство материалов — проявление необратимых остаточных деформаций и текучести или ползучести под влиянием нагрузки и (или) воздействия.

Предельное состояние строительных конструкций — состояние строительных конструкций здания или сооружения, за пределами которого дальнейшая эксплуатация здания или сооружения опасна, недопустима, затруднена или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Опасные природные процессы и явления — землетрясения, сели, оползни, лавины, подтопление территории, ураганы, смерчи, эрозия почвы и иные подобные процессы и явления, оказывающие негативные или разрушительные воздействия на здания и сооружения.

Микроклимат помещения — климатические условия внутренней среды помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Жизненный цикл здания или сооружения — период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения.

Безопасность эксплуатации здания (сооружения) — комплексное свойство объекта противостоять его переходу в аварийное состояние, определяемое: проектным решением и степенью его реального воплощения при строительстве; текущим остаточным ресурсом и техническим состоянием объекта; степенью изменения объекта (старение материала, перестройки, перепланировки, пристройки, реконструкции, капитальный ремонт и т. п.) и окружающей среды как природного, так и техногенного характера; совокупностью антитеррористических мероприятий и степенью их реализации; нормативами по эксплуатации и степенью их реального осуществления.

Механическая безопасность здания (сооружения) — состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части.

1.2. Категории технического состояния

Оценка технического состояния — установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций или зданий и сооружений в целом на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков со значениями этих же признаков, установленных проектом или нормативным документом.

Критерий оценки технического состояния — установленное проектом или нормативным документом количественное или качественное значение параметра, характеризующего деформативность, несущую способность и другие нормируемые характеристики строительной конструкции и грунтов основания.

Текущее техническое состояние зданий (сооружений) — техническое состояние зданий и сооружений на момент их обследования или проводимого этапа мониторинга.

Категория технического состояния — степень эксплуатационной пригодности строительной конструкции или здания и сооружения в целом, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций.

Нормативный уровень технического состояния — категория технического состояния, при котором количественное и качественное значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения (СНиП, ТСН, ГОСТ, ТУ и т. д.).

Работоспособное техническое состояние — категория технического состояния, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается.

Ограниченно работоспособное техническое состояние — категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания. Функционирование конструкций и эксплуатация здания или сооружения возможны либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания и последующем мониторинге технического состояния (при необходимости).

Аварийное состояние — категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения, и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта.

Общий мониторинг технического состояния зданий (сооружений) — система наблюдения и контроля, проводимых по определенной программе, утверждаемой заказчиком, для выявления объектов, на которых произошли значительные изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций или крена и для которых необходимо обследование их технического состояния (изменения напряженно-деформированного состояния характеризуются изменением имеющихся и возникновением новых деформаций или определяются путем инструментальных измерений).

1.3. Необходимость и основание для обследования

Обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят силами специализированных организаций, оснащенных современной приборной базой и имеющих в своем составе высококвалифицированных и опытных специалистов. Требования к специализированным организациям, проводящим обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений, определяются органом исполнительной власти, уполномоченным на ведение государственного строительного надзора.

Обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят в соответствии с предварительно разработанными программами.

Первое обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не позднее чем через два года после их ввода в эксплуатацию. В дальнейшем обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в 5 лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.). Для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга.

Необходимость в проведении обследовательских работ, их объем, состав и характер зависят от поставленных конкретных задач, которые отражаются в техническом задании. Основанием для обследования могут быть следующие обстоятельства:

- наличие дефектов и повреждений конструкций (например, вследствие силовых, коррозионных, температурных или иных воздействий, в том числе неравномерных просадок фундаментов), которые могут снизить прочностные, деформационные характеристики конструкций и ухудшить эксплуатационное состояние здания в целом;
- увеличение эксплуатационных нагрузок и воздействий на конструкции при перепланировке, модернизации и увеличении этажности здания;
- реконструкция зданий даже в случаях, не сопровождающихся увеличением нагрузок;

- выявление отступлений от проекта, снижающих несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;
- отсутствие проектно-технической и исполнительной документации;
- изменение функционального назначения зданий и сооружений;
- возобновление прерванного строительства зданий и сооружений при отсутствии консервации или по истечении трех лет после прекращения строительства при выполнении консервации; деформации грунтовых оснований;
- необходимость контроля и оценки состояния конструкций зданий, расположенных вблизи от вновь строящихся сооружений;
- необходимость оценки состояния строительных конструкций, подвергшихся воздействию пожара, стихийных бедствий природного характера или техногенных аварий;
- необходимость определения пригодности производственных и общественных зданий для нормальной эксплуатации, а также жилых зданий для проживания в них.

При обнаружении во время проведения работ повреждений конструкций, которые могут привести к резкому снижению их несущей способности, обрушению отдельных конструкций или серьезному нарушению нормальной работы оборудования, кранам, способным привести к потере устойчивости здания или сооружения, немедленно информируют о сложившейся ситуации, в том числе в письменном виде, собственника объекта, эксплуатирующую организацию, местные органы исполнительной власти и органы, уполномоченные на ведение государственного строительного надзора.

По отношению к методикам измерений, средствам испытаний, измерений и контроля, применяемым при обследовании и мониторинге технического состояния строительных объектов, заранее планируют и своевременно выполняют мероприятия по метрологическому обеспечению, предусмотренные действующими законами и другими нормативными документами по вопросам технического регулирования, обеспечения единства измерений и т. п., с учетом назначения объектов.

Заключения по итогам проведенного обследования технического состояния зданий и сооружений или этапа их мониторинга

подписывают непосредственно исполнители работ, руководители их подразделений и утверждают руководители организаций, проводивших обследование или этап мониторинга.

1.4. Объекты при обследовании зданий

При обследовании зданий объектами рассмотрения являются следующие основные несущие конструкции:

- фундаменты, ростверки и фундаментные балки; стены, колонны, столбы; перекрытия и покрытия (в том числе балки, арки, фермы стропильные и подстропильные, плиты, прогоны);
- подкрановые балки и фермы; связевые конструкции, элементы жесткости; стыки, узлы, соединения и размеры площадок опирания.

При обследовании следует учитывать специфику материалов, из которых выполнены конструкции.

Оценку категорий технического состояния несущих конструкций производят на основании результатов обследования и поверочных расчетов. По этой оценке конструкции подразделяются на находящиеся в нормативном состоянии, работоспособном состоянии, ограниченно работоспособном состоянии и аварийном состоянии.

При нормативном и работоспособном техническом состоянии эксплуатация конструкций при фактических нагрузках и воздействиях возможна без ограничений. При этом для конструкций, находящихся в работоспособном состоянии, может устанавливаться требование периодических обследований в процессе эксплуатации.

При ограниченно работоспособном состоянии конструкций необходимы контроль за их состоянием, выполнение защитных мероприятий, осуществление контроля за параметрами процесса эксплуатации (например, ограничение нагрузок, защита конструкций от коррозии, восстановление или усиление конструкций). Если ограниченно работоспособные конструкции остаются не усиленными, то требуются обязательные повторные обследования, сроки которых устанавливаются на основании проведенного обследования.

При аварийном состоянии конструкций необходимо проведение мероприятий по их восстановлению и усилению, на это время их эксплуатация должна быть запрещена.

При обследовании зданий и сооружений, расположенных в сейсмически опасных регионах, оценка технического состояния конструкций должна производиться с учетом факторов сейсмических воздействий:

- расчетной сейсмичности площадки строительства по картам ОСР-97;
- повторяемости сейсмического воздействия;
- спектрального состава сейсмического воздействия;
- категории грунтов по сейсмическим свойствам.

1.5. Этапы проведения обследований и состав работ

Обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится, как правило, в три связанных между собой этапа:

- подготовка к проведению обследования;
- предварительное (визуальное) обследование;
- детальное (инструментальное) обследование.

1.5.1. Подготовительные работы

Состав работ и последовательность действий по обследованию конструкций на этапе подготовительных работ независимо от материала, из которого они изготовлены, включают:

- ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерно-геологических изысканий;
- подбор и анализ проектно-технической документации;
- составление программы работ (при необходимости) на основе полученного от заказчика технического задания.

Техническое задание разрабатывается заказчиком или проектной организацией и, возможно, с участием исполнителя обследования. Техническое задание утверждается заказчиком, согласовывается исполнителем и при необходимости проектной организацией – разработчиком проекта задания.

К изучению документации целесообразно приступать после предварительного (рекогносцировочного) осмотра объекта. При освидетельствовании сооружений, предназначенных к сдаче в экс-

плуатацию, необходимо ознакомиться с проектной и строительно-монтажной документацией, где следует обратить особое внимание на акты скрытых работ.

При освидетельствовании объектов, находящихся в эксплуатации, дополнительно должны быть изучены акты сдачи в эксплуатацию, паспорта сооружений, журналы эксплуатации, документы о проведенных ремонтах и другие имеющиеся материалы, характеризующие службу сооружения. По материалам и сведениям, характеризующим эксплуатацию конструкций здания и эксплуатационные воздействия, вызвавшие необходимость проведения обследования, устанавливается характер внешнего воздействия на конструкцию, данные об окружающей среде, данные о проявившихся при эксплуатации дефектах, повреждениях и прочее.

После ознакомления с объектом и документацией на основании технического задания при необходимости составляют программу работ по обследованию, в которой указывают: цель и задачи обследования; объем исследуемой части здания и перечень подлежащих обследованию строительных конструкций; места и методы инструментальных измерений и испытаний приборами неразрушающего контроля качества материалов конструкций; участки вскрытий и отбора проб материалов и грунтов основания; исследования образцов в лабораторных условиях; перечень необходимых поверочных расчетов; разрабатывается смета расходов к договору на выполнение работ по обследованию.

1.5.2. Предварительное (визуальное) обследование

Предварительное (визуальное) обследование проводят в целях предварительной оценки технического состояния строительных конструкций и инженерного оборудования, электрических сетей и средств связи (при необходимости) по внешним признакам, определения необходимости проведения детального (инструментального) обследования и уточнения программы работ. При этом проводят сплошное визуальное обследование конструкций здания, инженерного оборудования, электрических сетей и средств связи (в зависимости от типа обследования технического состояния) и выявление

дефектов и повреждений по внешним признакам с необходимыми измерениями и их фиксацией.

Осмотр сооружения является наиболее ответственной частью освидетельствования. Его начинают с установления соответствия между предъявленной документацией и сооружением в натуре. Выявленные расхождения фиксируются, оцениваются, и устанавливаются их причины. В объектах, сданных в эксплуатацию, проверяется устранение недоделок, отмеченных в актах приемки.

Далее производится детальный осмотр элементов сооружения, начиная с наиболее ответственных:

- осматриваются опорные части, заделки и соединения и проверяется их состояние и условия работы; осматриваются связи, настилы и прочие несущие элементы перекрытий, покрытий, колонны, стены, обеспечивающие требуемую пространственную работу сооружения, его устойчивость, и проверяется правильность их опирания и крепления;
- устанавливается наличие в конструктивных элементах ослаблений, надрезов, сколов, других дефектов и повреждений;
- выявляется наличие коррозии, гнили, биологических и других повреждений материала, ухудшающих работу конструкций и снижающих их несущую способность и сооружения в целом;
- отмечается по смещениям элементов, характеру раскрытия трещин наличие осадок здания.

Результатом проведения предварительного (визуального) обследования являются:

- схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера;
- описания, фотографии дефектных участков;
- результаты проверки наличия характерных деформаций здания (сооружения) и его отдельных строительных конструкций (прогибы, крены, выгибы, перекосы, разломы и т. п.);
- установление аварийных участков (при наличии);
- уточненная конструктивная схема здания (сооружения);
- выявленные несущие конструкции по этажам и их расположение;
- уточненная схема мест выработок, вскрытий, зондирования конструкций;

- особенности близлежащих участков территории, вертикальной планировки, организации отвода поверхностных вод;
- оценка расположения здания (сооружения) в застройке с точки зрения подпора в дымовых, газовых, вентиляционных каналах;
- предварительная оценка технического состояния строительных конструкций, инженерного оборудования, электрических сетей и средств связи (при необходимости), определяемая по степени повреждений и характерным признакам дефектов.

В случае выявления признаков, свидетельствующих о возникновении аварийной ситуации, необходимо ограничить нахождение персонала на объекте и незамедлительно разработать рекомендации по предотвращению возможного обрушения. По результатам осмотра дается предварительная оценка состояния сооружения в целом, которая может быть достаточной для оценки состояния конструкций и составления заключения.

Если результаты визуального обследования окажутся недостаточными для решения поставленных задач, то намечается план дальнейшего проведения освидетельствования, уточняется программа исследований, определяется необходимость в исследованиях физико-механических свойств материалов конструкций, грунтов основания инструментальными методами, необходимость геодезических съемок и т. д. и согласуется с заказчиком стоимость работ по обследованию.

Если при визуальном обследовании будут обнаружены дефекты и повреждения, снижающие прочность, устойчивость и жесткость несущих конструкций сооружения (колонн, балок, ферм, арок, плит покрытий и перекрытий и прочих), то необходимо перейти к детальному обследованию. При обнаружении характерных трещин, перекосов частей здания (сооружения), разломов стен и прочих повреждений и деформаций, свидетельствующих о неудовлетворительном состоянии грунтового основания, в детальное (инструментальное) обследование включают инженерно-геологические исследования, по результатам которых может потребоваться не только восстановление и ремонт строительных конструкций, но и усиление основания.

1.5.3. Обмерные работы

Целью обмерных работ является уточнение фактических геометрических параметров строительных конструкций и их элементов, определение их соответствия проекту или отклонения от него. Инструментальными измерениями уточняют пролеты конструкций, их расположение и шаг в плане, размеры поперечных сечений, высоту помещений, отметки характерных узлов, расстояния между узлами и т. д. По результатам измерений составляют планы с фактическим расположением конструкций, разрезы зданий, чертежи рабочих сечений несущих конструкций и узлов сопряжений конструкций и их элементов.

Для обмерных работ по мере необходимости применяются измерительные инструменты: линейки, рулетки, стальные струны, штангенциркули, нутромеры, щупы, шаблоны, угломеры, уровни, отвесы, лупы, измерительные микроскопы, а в случае необходимости используют специальные измерительные приборы: нивелиры, теодолиты, дальномеры, различные дефектоскопы и прочее, а также применяют фотограмметрию. Все применяемые инструменты и приборы должны быть поверены в установленном порядке.

При обследовании конструкций, независимо от их материала, проводят следующие обмерные работы:

- уточняют разбивочные оси сооружения, его горизонтальные и вертикальные размеры;
- проверяют пролеты и шаг несущих конструкций;
- замеряют основные геометрические параметры несущих конструкций;
- определяют фактические размеры расчетных сечений конструкций и их элементов и проверяют их соответствие проекту;
- определяют формы и размеры узлов стыковых сопряжений элементов и их опорных частей, проверяют их соответствие проекту;
- проверяют вертикальность и соосность опорных конструкций, наличие и местоположение стыков, мест изменения сечений;
- замеряют прогибы, изгибы, отклонения от вертикали, наклоны, выпучивания, перекосы, смещения и сдвиги.

Кроме перечисленного:

- в железобетонных конструкциях определяют наличие, расположение, количество и класс арматуры, признаки коррозии арматуры и закладных деталей, а также состояние защитного слоя;
- в железобетонных и каменных конструкциях определяют наличие трещин и измеряют величину их раскрытия;
- в металлических конструкциях проверяют прямолинейность сжатых стержней, наличие соединительных планок, состояние элементов с резкими изменениями сечений, катет и качество сварных швов, размещение, количество и диаметр заклепок, состояние лакокрасочных покрытий;
- в деревянных конструкциях фиксируют наличие искривлений и коробления элементов, разрыв в поперечных сечениях элементов или трещин по их длине, наличие и размеры участков биологического поражения.

При освидетельствовании должны быть проверены главнейшие размеры конструктивной схемы: длина пролетов, высота колонн, ширина и высота сечений, от соблюдения заданных величин которых зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций в процессе их службы. В отдельных случаях проверяется также горизонтальность перекрытий, соблюдение заданных уклонов, вертикальность несущих элементов и ограждений. Для относительно небольших сооружений эти контрольные измерения не являются сколько-нибудь сложными и выполняются с помощью стальных рулеток, отвесов, нивелиров.

При освидетельствовании крупных сооружений и объектов сложной конфигурации применяют специальные инструменты и геодезические приборы, позволяющие производить съёмку точек по высоте на 100 м и более с погрешностью, не превышающей 2 мм. Для нивелирования в тесных и труднодоступных местах целесообразно применять гидравлические нивелиры, обеспечивающие высокую точность измерений.

При необходимости проверки больших пролетов (100 м и более), как, например, расстояние между центрами опорных площадок уже возведенных мостовых опор, ферм покрытия большепролетных зда-

ний, применяются новейшие светодальномеры (лазерные рулетки), ускоряющие процесс съемки и обеспечивающие точность порядка 1/25000 определяемой длины.

1.5.4. Объемы и виды обследования

Детальное инструментальное обследование, в зависимости от поставленных задач, наличия и полноты проектно-технической документации, характера и степени дефектов и повреждений, может быть сплошным (полным) или выборочным.

Сплошное обследование проводят, когда:

- отсутствует проектная документация; обнаружены дефекты конструкций, снижающие их несущую способность;
- проводится реконструкция здания с увеличением нагрузок (в том числе этажности);
- возобновляется строительство, прерванное на срок более трех лет без мероприятий по консервации;
- в однотипных конструкциях обнаружены неодинаковые свойства материалов, изменения условий эксплуатации под воздействием агрессивной среды или обстоятельств типа техногенных процессов и пр.

Выборочное обследование проводят:

- при необходимости обследования отдельных конструкций;
- в потенциально опасных местах, где из-за недоступности конструкций невозможно проведение сплошного обследования.

Если в процессе сплошного обследования обнаруживается, что не менее 20 % однотипных конструкций, при общем их количестве более 20, находится в удовлетворительном состоянии, а в остальных конструкциях отсутствуют дефекты и повреждения, то допускается оставшиеся непроверенные конструкции обследовать выборочно. Объем выборочно обследуемых конструкций должен определяться конкретно (во всех случаях не менее 10 % однотипных конструкций, но не менее трех).

Выводы по главе

1. Обследование строительных зданий и сооружений жилищного, общественного, административно-бытового и производственного назначения производится с целью определения их технического состояния, а также для решения вопросов о пригодности жилых домов для проживания в них.

2. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится, как правило, в три связанных между собой этапа: подготовка к проведению обследования; предварительное (визуальное) обследование; детальное (инструментальное) обследование.

3. К проведению работ по обследованию несущих конструкций зданий и сооружений допускают организации, оснащенные необходимой приборной и инструментальной базой, имеющие в своем составе квалифицированных специалистов. Квалификация организации на право проведения обследования и оценки технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений должна быть подтверждена сертификатами.

Контрольные вопросы

1. Назовите цель и задачи диагностики строительных конструкций зданий и сооружений.
2. Какие задачи решаются при обследовании конструкций?
3. Какие конструктивные решения способствуют повышению живучести зданий и сооружений?
4. Чем отличается дефект от повреждения?
5. Какие установлены критерии оценки качества строительных конструкций?
6. Какие существуют эксплуатационные показатели качества зданий и сооружений?
7. Что понимается под предельным состоянием строительных конструкций?
8. Что определяет период жизненного цикла здания?
9. Какие приняты категории технического состояния конструкций?
10. Какие мероприятия необходимо выполнить при аварийном состоянии конструкций?

11. Какие причины являются основанием для проведения обследования?
12. Какие конструкции подлежат обязательному обследованию?
13. На основании каких видов работ производится оценка технического состояния?
14. Какие этапы входят в состав обследования?
15. Перечислите состав работ при обследовании.
16. Какие виды работ выполняются при визуальном обследовании?
17. С какой целью выполняются обмерные работы?
18. Какими параметрами определяется объем обследования?

Глава 2. ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

2.1. Цель и задача испытаний строительных конструкций

Качество строительных конструкций и технология изготовления при испытаниях оцениваются по следующим показателям: прочность, жесткость и трещиностойкость (для бетонных и железобетонных конструкций). Эти параметры являются основными при эксплуатации всех строительных конструкций и особенно важными для несущих конструкций, поэтому все испытания производятся для определения фактических значений именно этих трех параметров.

Основная задача испытаний конструкций, зданий и сооружений заключается в установлении экспериментальным путем соответствия между их фактическими показателями и показателями, полученными по расчету, в соответствии с действующими нормами.

В процессе испытаний устанавливаются:

- несущая способность, характеризуемая нагрузкой, при которой наступает потеря прочности и устойчивости объекта испытаний;
- жесткость, характеризуемая значениями перемещений, деформаций, предельными с точки зрения возможности нормальной эксплуатации объекта, устанавливаемыми нормами на проектирование;
- трещиностойкость (для бетонных и железобетонных конструкций), которая характеризуется моментом трещинообразования, если в конструкциях трещины не допускаются, или кратковременным раскрытием с последующим закрытием или шириной раскрытия трещин из условия сохранности арматуры от коррозии и из условия проницаемости конструкций.

2.2. Виды и необходимость проведения испытаний

Существуют четыре разновидности испытаний.

Приемочные испытания. При передаче законченных сооружений в эксплуатацию и промежуточных приемках в процессе строительства проверяется состояние объекта и соответствие показателей его работоспособности проектным и нормативным требованиям (мосты, тоннели, подкрановые балки мостовых кранов с тяжелым режимом работы). При проведении приемочных испытаний законченных строительством сооружений или испытаний эксплуатируемых зданий и сооружений необходимо определиться с объектом исследования.

Если испытанию подвергается новое, только что законченное строительством сооружение и при внешнем его осмотре не обнаружено никаких дефектов, внушающих сомнение в надежности объекта или отдельных его элементов, то нет необходимости испытывать всё сооружение полностью. Достаточно провести испытание отдельных элементов конструкции в количестве, не превышающем 5 % от общего их числа, или по одному элементу при общем числе их менее двадцати.

Испытания эксплуатируемых зданий и сооружений проводятся:

- для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой;
- проверки эксплуатационной надежности объекта при появлении значительных повреждений, например после пожара и т. д., ставящих под сомнение работоспособность сооружения;
- выяснения возможности повышения эксплуатационной нагрузки при реконструкции объекта или изменении характера его использования.

В случае испытания эксплуатируемой поврежденной конструкции (например, от пожара, перегрузок, внешних факторов и т. п.) для испытания выбираются наиболее пострадавшие элементы конструкций, а иногда и сооружение в целом. Натурные испытания эксплуатируемых зданий и сооружений нередко заменяют исследованиями основных параметров конструкций неразрушающими методами контроля качества.

Испытания конструкций и деталей при их серийном изготовлении

выполняются путем выборочных испытаний отдельных образцов (продукции) с доведением до разрушения. В зависимости от цели производственных статических испытаний конструкций проводятся:

- испытания конструкций для оценки качества технологии их изготовления, которые являются текущими, периодически повторяемыми;
- испытания новых или впервые освоенных конструкций для отладки технологии их изготовления;
- испытания конструкций с дефектами, ставящими под сомнение пригодность их к эксплуатации.

Качество железобетонных конструкций и изделий контролируется предприятием-изготовителем по результатам контрольных испытаний. Порядок проведения контрольных испытаний устанавливается стандартами, техническими условиями или рабочими чертежами на данные конструкции, а в случае отсутствия таких указаний должен приниматься по ГОСТ 8829–94.

В процессе испытаний путем силового воздействия определяется прочность, жесткость и трещиностойкость конструкций. Отбор железобетонных конструкций для испытания нагружением следует производить в соответствии с указаниями стандартов, технических условий и рабочих чертежей на эти конструкции в количестве, установленном данными документами, но не менее:

- 2 шт. для испытаний, проводимых перед началом массового изготовления конструкций и в дальнейшем при их изменении или при изменении технологии изготовления, а также в случае замены используемых материалов;
- 1 % изделий от каждой партии и не менее 2 шт., если размер партии составляет менее 200 конструкций.

Выборка конструкций считается случайной и характеризует качество всей партии. Размер партии устанавливается государственными стандартами или техническими условиями. По результатам этих испытаний вносят коррективы в проект конструкции, а также в технологию ее изготовления. Испытания новых конструкций в производственных условиях являются конечным этапом научно-исследовательских работ по их созданию.

Текущий приемочный контроль конструкций массового изготовления (балок и ригелей, плоских, ребристых и многопустотных плит перекрытий и покрытий, плит аэродромных и дорожных покрытий и т. п.), а также конструкций, испытание которых нагружением затруднено (колонн, стеновых панелей, элементов сборно-монолитных конструкций и т. п.), следует выполнять с использованием неразрушающих методов.

Часто возникают ситуации, когда в изготовленной и принятой ОТК завода или уже в смонтированной конструкции возникают дефекты, которые ставят под сомнение ее пригодность к эксплуатации под проектные нагрузки. Так, на одном заводе ЖБИ в конструкциях колонн, лежащих на складе готовой продукции и уже смонтированных, появились усадочные трещины. На другом заводе сборного железобетона в предварительно напряженных ригелях прямоугольного сечения на нижней грани возникли продольные трещины. Эти трещины ставили под сомнение возможность эксплуатации изделий, хотя были установлены причины их появления. Однако только результаты испытаний позволили дать заключение о возможности эксплуатации этих конструкций.

Научно-исследовательские испытания и испытания опытных объектов производятся:

- при применении новых конструктивных решений и при разработке методов расчета на заданные нагрузки для нормативных документов;
- использовании в конструкциях новых строительных материалов с характеристиками, требующими проверки под действием нагрузок;
- особых режимах эксплуатации, например при повторных или знакопеременных нагрузках, в полярных или субтропических условиях под действием волн и морской воды и т. д. (Такие испытания могут производиться непосредственно в натуре или в лабораторных условиях путем создания специальных установок и обеспечением режимов нагружения, подобных реальным.)

2.3. Типы конструкций и схемы их испытания

Все конструкции по своей форме могут быть отнесены к одному из типов: плоские конструкции, балочные конструкции, сквозные конструкции, колонны и специальные конструкции. Каждый тип конструкций имеет свои особенности при испытаниях.

К плоским конструкциям в системе здания (сооружения) относятся все плиты перекрытий и покрытий, лестничные площадки. К этому типу конструкций относятся стеновые панели и перегородки, однако характер их работы в сооружении и методика их испытаний имеют существенные особенности. К балочным конструкциям относятся балки, ригели, прогоны, перемычки, лестничные марши и т. п. Сквозные конструкции – это фермы различного очертания и назначения. К специальным конструкциям относятся изделия, требующие принципиальных особенностей при испытаниях, например трубы, опоры ЛЭП, объемные элементы, резервуары, оболочки.

Прежде чем приступить к составлению программы испытаний, следует провести тщательный анализ проекта и рабочих чертежей конструкций. Анализ этих документов производится для того, чтобы выявить особенности работы конструкций в здании и сооружении, проектные характеристики материалов, схему армирования. На основании анализа документов устанавливается расчетная схема опирания и приложения нагрузок, определяются величины контрольных нагрузок, места установки измерительных приборов. Результаты анализа особенностей конструкции заносятся в акт освидетельствования.

Способ соединения смежных конструкций в системе здания или сооружения определяют условия ее опирания. Схемы опирания и загрузки конструкций при испытаниях устанавливаются проектной организацией и должны быть приведены в рабочих чертежах этих конструкций. Размещение опор при испытании конструкций нагружением должно соответствовать схеме опирания, принятой при расчете этих конструкций. По условиям опирания железобетонные конструкции принято разделять на свободно опертые и защемленные на опорах (рис. 1).

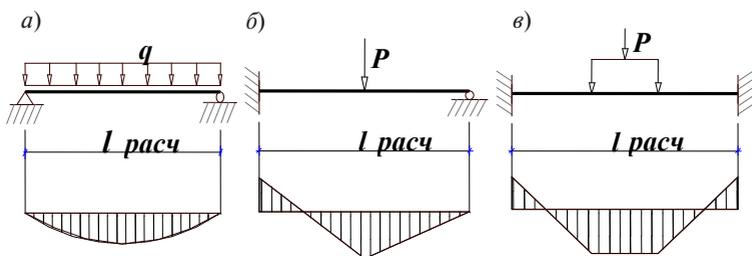


Рис. 1. Схемы опирания и распределения растягивающих напряжений:
a – свободное опирание с равномерно распределенной нагрузкой;
б – защемление на одной опоре с загрузением сосредоточенной нагрузкой; *в* – защемление на двух опорах с передачей на конструкцию двух сосредоточенных сил

Балки, фермы, балочные плиты и настилы, рассчитанные как однопролетные свободно опертые балки, следует опирать на систему цилиндрически подвижных опор. Цилиндрически подвижная опора допускает вращение вокруг своей оси и свободное перемещение конструкции вдоль ее оси, цилиндрически неподвижная – только вращение.

Плоские конструкции (типа плит перекрытий) могут быть опертыми по двум, трем, четырем сторонам. При этом разные стороны могут иметь различные условия опирания, которые оказывают прямое воздействие на характер распределения напряжений в сечениях конструкции при ее загрузении. В свободно опертых конструкциях растягивающие напряжения всегда действуют в нижней зоне (рис. 1, *a*). Защемление на опорах вызывает растягивающие напряжения в верхней зоне конструкции (рис. 1, *б, в*). Эти напряжения максимальны в защемлении и уменьшаются по мере удаления от опоры. Примерно в одной трети пролета характер напряжений меняется. Растягивающие напряжения переходят в нижнюю зону балки.

Подвижными опорами могут служить стальные катки или шары диаметром 50–100 мм, свободно укладываемые между двумя стальными прокладками (рис. 2, *a*). Неподвижные опоры выполняются в виде стального уголка или катка, приваренного к нижней металлической полосе (рис. 2, *б*).

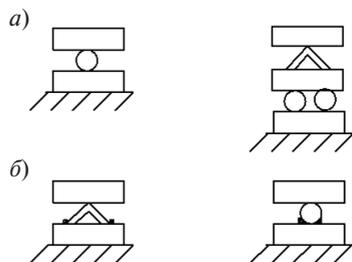


Рис. 2. Схема подвижных (а) и неподвижных (б) опор для испытания изгибаемых конструкций

Поскольку оба типа опор допускают вращение, то следовательно на опорах не возникает изгибающий момент от приложенной в пролете нагрузки.

Расстояние от концов конструкций до центра шарнирных опор следует принимать равным половине (принятой при расчете конструкции) наименьшей длины опирания, измеряемой вдоль пролета. Конструкция защемленной опоры представлена на рис. 3. Расстояние от конца конструкции до центра нижней опоры a_2 принимается равным $5/6$ минимальной длины защемления $l_{\text{защ}}$, указанной в проекте; при этом расстояние от конца конструкции до центра верхней опоры a_1 принимают равным $1/6$ той же длины.

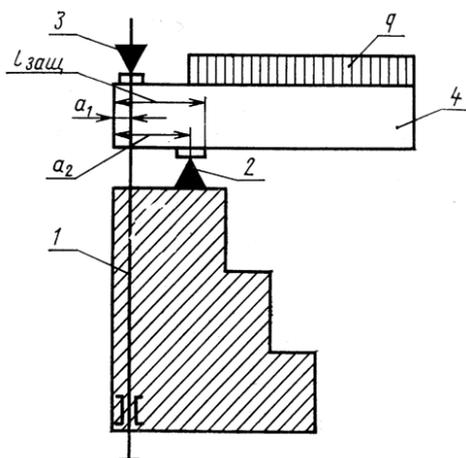


Рис. 3. Схема испытания консольной конструкции:
 1 – анкерная тяга; 2 – нижняя опора; 3 – верхняя анкерная опора;
 4 – испытываемая конструкция

Конструкция опор плоских плит, работающих в двух направлениях и опертых по четырем углам, должна обеспечивать возможность свободного поворота конструкции на опорах, а также свободные горизонтальные перемещения трех опор относительно четвертой неподвижной (рис. 4, а). При испытании плит и панелей, работающих в двух направлениях и опертых по всем четырем сторонам (рис. 4, б), опоры устанавливаются по контуру и должны обеспечивать поворот на опорах и свободные горизонтальные взаимные смещения опорных точек.

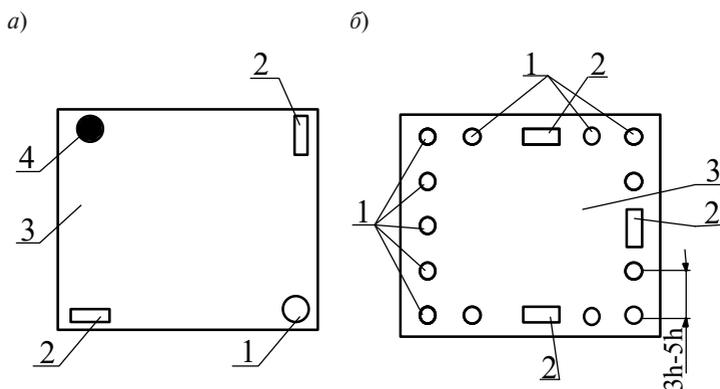


Рис. 4. Схема испытания плит, опертых по четырем углам (а) и опертых по четырем сторонам (б): 1 – шар; 2 – каток; 3 – испытываемая плита; 4 – неподвижная опора

Конструкция должна опираться на стальные плиты, симметрично расположенные относительно оси опирания. Площадь стальных плит должна соответствовать площади опирания, принятой в проекте, а толщина – не менее $1/6$ длины опирания плит. Опирание конструкции на стальные плиты должно осуществляться через выравнивающий слой цементного раствора, прочность которого должна составлять не менее 50 % прочности марки бетона конструкции. Расстояние между осями опор назначается равным расчетному пролету конструкции $l_{расч}$.

Навесные стеновые панели промышленных зданий испытывают при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок с опиранием по балочным схемам в направлении действия сил (рис. 5).

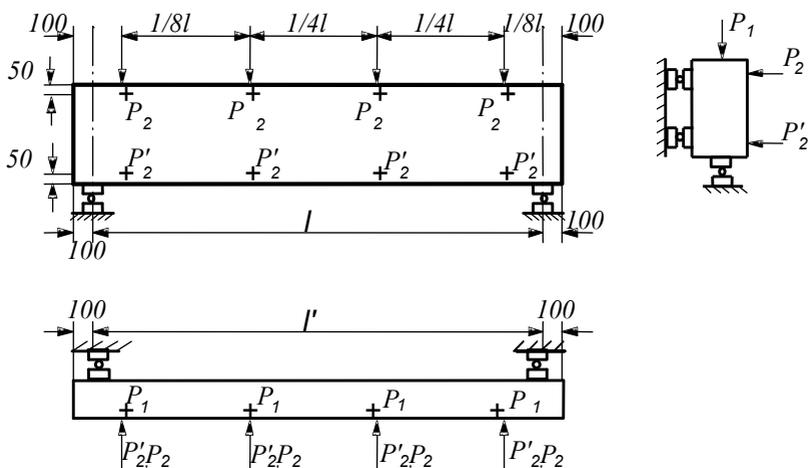


Рис. 5. Схема приложения нагрузок при испытании стеновых панелей

2.4. Временные стелды для испытания конструкции

Для проведения контрольных испытаний необходимы специальные технические устройства, обеспечивающие заданное положение испытываемого изделия, надежное опирание и способность выдерживать нагрузку. Комплекс таких устройств носит название испытательного стелда. Испытательные стелды бывают временными и стационарными. Стелды различают по способам загрузки конструкций: весовой нагрузкой и с помощью силовых механизмов.

Наиболее простым является временный стелд для испытаний плоских конструкций – плит, свободно опертых по двум сторонам (рис. б). В качестве опор используются фундаментные и цокольные блоки. Опоры устанавливаются на бетонной или асфальтированной площадке. Допускается устанавливать опоры на тщательно утрамбованный грунт с выравнивающим слоем сухого песка для обеспечения устойчивого положения опор и равномерного распределения нагрузки на основание. Расстояние между осями опор назначается равным расчетному пролету плиты. С помощью нивелира и уровня необходимо добиться, чтобы верхние грани опор находились в одной горизонтальной плоскости. Затем устанавливаются ме-

таллические конструкции подвижной и неподвижной шарнирных опор. На верхние грани опорных блоков насыпают выравнивающий слой просеянного мокрого песка или укладывают цементно-песчаный раствор толщиной 20 мм.

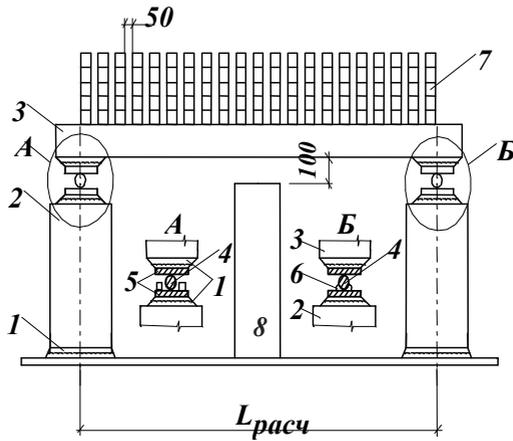


Рис. 6. Стенд для испытаний конструкций с опиранием по балочной схеме:

- 1 – выравнивающий слой раствора $\delta = 10\text{--}20$ мм; 2 – опорный блок $H = 1000\text{--}1200$ мм; 3 – опытная конструкция; 4 – подвижный и неподвижный катки; 5 – нижняя и верхняя опорные металлические пластины; 6 – сварной шов; 7 – штучные грузы; 8 – страховочная опора

На него устанавливается нижняя опорная металлическая полоса толщиной 20–30 мм, шириной до 100 мм и длиной, равной опорной грани конструкции. На опорные пластины укладываются цилиндрические катки или толстостенные трубы диаметром примерно 50 мм. В шарнирно-неподвижной опоре каток (труба) приваривается к опорной пластине. В шарнирно-подвижной опоре каток свободно укладывается на опорную пластину, а чтобы он не скатывался в процессе монтажа, временно до испытаний под него с двух сторон подкладываются клинья. Расстояние между продольными осями цилиндрических опор должно быть равно расчетному пролету конструкции с точностью ± 1 мм при длине изделия до 10 м и ± 2 мм – при длине до 20 м. Сверху на катки укладываются верхние опорные пластины, аналогичные нижним. На верхние опорные пластины также выкладывается выравниваю-

щий слой раствора или мокрого песка толщиной 10–20 мм. В середине пролета необходимо устанавливать страховочную опору высотой на 10 см ниже высоты опорных блоков, которая не допустит обрушения разрушенной конструкции. Затем монтируется краном испытываемая конструкция.

Временный стенд для испытания плоских конструкций — плит, свободно опертых по контуру, — представляет собой цельносварную металлическую раму, выполненную из прокатного двутавра № 30. Размеры рамы в осях равны проектным расчетным пролетам плиты по двум сторонам. Вдоль короткой стороны рамы в нее ввариваются две дополнительные связи из двутавра № 20. Относительно верхней плоскости рамы связи опущены на 10 см и делят раму по длинной стороне на три равные части. Связи служат страховочными опорами и дополнительно придают жесткость раме. Рама устанавливается на четыре опоры, каждая из которых монтируется из трех фундаментных блоков. Блоки устанавливаются друг на друга через выравнивающий песчаный слой. Верхние грани опор с помощью нивелира выравниваются под одну отметку. Металлическая рама устанавливается в горизонтальной плоскости при помощи уровня, на верхней грани рамы устанавливаются опорные элементы. При высоте стенда 1,8–2,0 м под плитой можно свободно снимать показания приборов и вести наблюдения за образованием и раскрытием трещин на нижней поверхности плиты.

2.5. Испытания весовой нагрузкой

Плоские и ребристые плиты покрытий и перекрытий испытываются равномерно распределенной нагрузкой, как правило, в рабочем положении, когда нагрузка создается загрузением сверху. В балочных и сквозных плоских конструкциях, а также в стеновых панелях нагрузка, как правило, сосредоточенная. Загружают плоские конструкции на объектах или при приемочных испытаниях на предприятии-изготовителе весовой нагрузкой, располагаемой на самой конструкции. Наибольшее распространение при таком способе загрузки получили штучные грузы: металлические чушки, бетонные блоки, ящики с песком, кирпичи, емкости с водой

и т. д., масса которых предварительно определяется с погрешностью не более $\pm 0,1$ кг. При испытании на открытой площадке нельзя применять гигроскопические грузы, так как, впитывая в себя воду во время дождя, они могут значительно увеличить нагрузку на конструкцию.

Нагрузки, применяемые при испытании, не должны образовывать самостоятельную несущую конструкцию. Так, если кирпич сложен в виде стенки с перевязкой стыков, то внутри такой стенки может образоваться арка, передающая давление от некоторой части кирпича на опорные участки испытываемой конструкции, вместо равномерной передачи нагрузки от кирпича по всему пролету. Длина грузов в направлении пролета не должна превышать $1/6$ этого пролета. При загрузке конструкции кирпичом он должен укладываться отдельными столбиками $1,5 \times 1,5$ кирпича в плане с обязательной перевязкой в пределах каждого столбика (рис. 6). Между столбиками необходимо оставлять зазоры $3-5$ см. Укладка мешков с песком или с другим сыпучим материалом должна производиться отдельными клетками с перевязкой в пределах каждой клетки аналогично укладке кирпича. Зазор между клетками оставляется $5-10$ см. Нагружать испытываемые конструкции штучными грузами следует в направлении от середины к опорам, симметрично относительно середины пролета конструкции.

При испытании решетчатых стропильных ферм нагрузка на узлы передается в виде сосредоточенных грузов. Обычно загрузка ферм производится посредством подвески к верхним или нижним узлам платформ или ящиков, на которые укладываются штучные грузы (рис. 7).

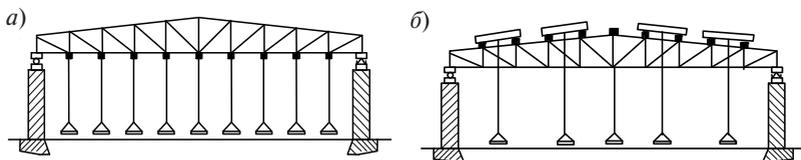


Рис. 7. Передача испытательной нагрузки на ферму: *a* — непосредственно на нижние узлы фермы с помощью подвесных платформ; *б* — на верхние узлы фермы с помощью платформ и балок

При частых испытаниях опытных конструкций следует изготовить штучные грузы стандартного веса из железобетона (рис. 8, *a*) или отлитые из чугуна (рис. 8, *б*). На каждом грузе должна быть проставлена его масса. В качестве весовой нагрузки при испытании железобетонных конструкций может быть использована вода.

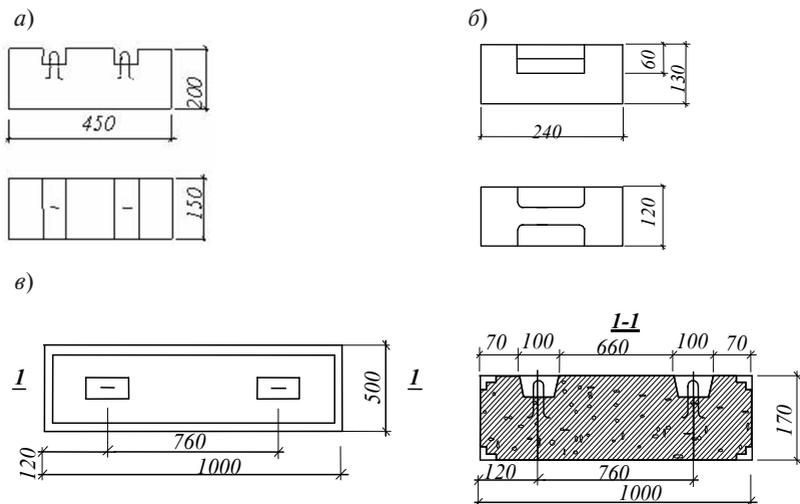


Рис. 8. Конструкции штучных грузов: *a* — чугунные массой 100 кг; *б* — то же, массой 20 кг; *в* — железобетонные, окантованные металлическим уголком, массой 200 кг

В испытательном центре архитектурно-строительного института запроектирована и изготовлена установка для испытания неразрезных двухпролетных железобетонных балок, нагрузка в которой создается заполнением грузовой емкости водой и передается при помощи рычага на испытываемую балку (рис. 9).

Установка для испытания балок состоит из трех опорных стоек 2 под балку 1, двух грузовых рычагов 3, закрепленных шарнирно на опорных стойках 4, и грузовых емкостей 5, подвешенных с другой стороны рычагов. Опорные стойки балки и рычага жестко закреплены в каналах «силового пола» 8 с помощью анкеров. Под рычаги устанавливаются страховочные стойки 6, на которые могут быть установлены домкраты для нагружения и разгрузки путем опускания или подъема рычагов.

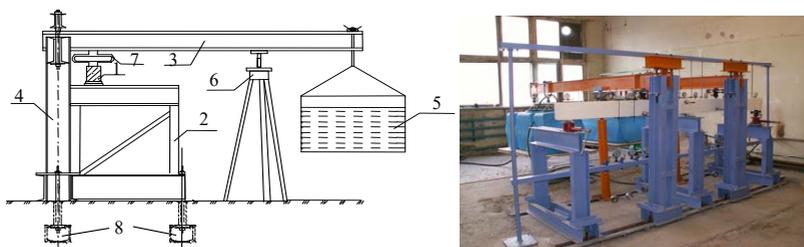


Рис. 9. Схема установки: 1 – испытываемый образец; 2 – опорная стойка балки; 3 – грузовой рычаг; 4 – опорная стойка рычага; 5 – грузовая емкость; 6 – страховочные стойки; 7 – динамометр ДОС-5; 8 – каналы силового поля

Каждый пролет загружается отдельным рычагом, что позволяет получать независимые силовые воздействия и реализовывать различные схемы нагружений. Контроль нагрузки осуществляется с помощью динамометров ДОС-5 (поз. 7), устанавливаемых между исследуемой балкой и каждым рычагом. В проекте предусмотрено такое соотношение плеч рычага, что отношение силы, действующей на балку, к весу грузовой емкости равняется десяти.

Средняя опора балки принята шарнирно неподвижной за счет опирания конструкции на металлическую треугольную призму. Крайние опоры запроектированы шарнирно-подвижными за счет опирания балки на цилиндрические катки. Для устранения влияния осадки опор на распределение усилий в статически неопределимой конструкции под крайние опоры балки устанавливаются клиновые устройства, при помощи которых эти опоры выводятся на один уровень со средней опорой на каждой ступени нагружения.

При принятой системе опирания балка является один раз статически неопределимой. Лишнее неизвестное определяется непосредственным замером величины реакции крайней опоры при помощи динамометра ДОС-5.

Использование воды позволяет механизировать процесс «загрузка и разгрузка» и получать любые заданные значения сил с высокой точностью.

2.6. Испытание изгибаемых плоских конструкций равномерно распределенной нагрузкой сжатым воздухом

Равномерно распределенную нагрузку при испытании плоских плит можно создавать не только с помощью штучных грузов, но и сжатым воздухом, который подается в мешок из прорезиненной ткани. Испытание конструкций сжатым воздухом выполняется по схеме, представленной на рис. 10. В зависимости от размеров плиты нагрузку можно создавать одним мешком либо набором мешков таких размеров, чтобы укрывалась вся поверхность плиты.

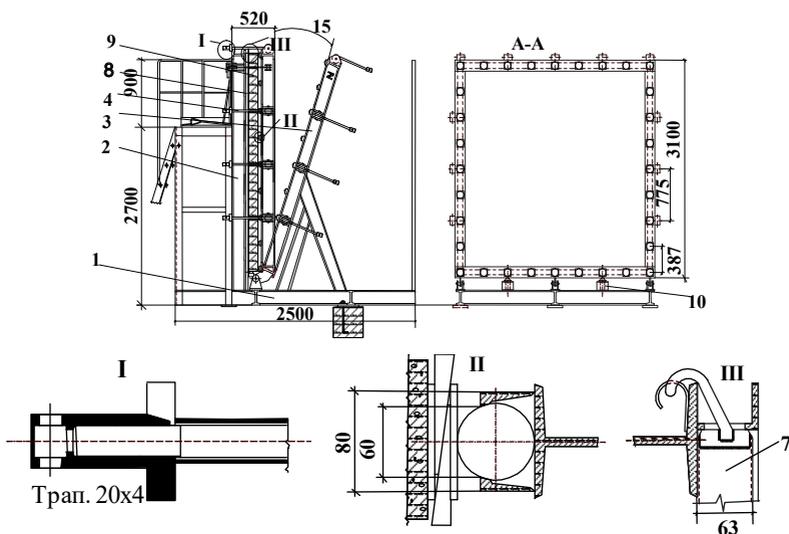


Рис. 10. Стенд для испытаний плоских плит равномерно распределенной нагрузкой

Воздушные мешки не должны свисать за края загружаемой конструкции, а при вычислении величины приложенной нагрузки должна учитываться действительная площадь соприкосновения мешков с загружаемой поверхностью. Как правило, конструкции должны испытываться в том положении, в котором они будут работать в сооружении. Допускается при проведении испытаний поворачивать конструкцию на 90° или 180° при условии, что в ней не появляются трещины и нерасчетные усилия. В этом случае соответственно изменяют направление прикладываемой нагрузки.

В качестве примера можно привести конструкцию стационарного стенда, разработанного и изготовленного автором на заводе ЖБИ № 1 Главсредневолжскстроя треста «Железобетон», предназначенного для испытания плоских плит перекрытий в вертикальном положении. Стенд изготовлен и запущен в эксплуатацию в соответствии с планом хоздоговора, заключенного заказчиком с Куйбышевским инженерно-строительным институтом. Он предназначен для испытаний готовой продукции завода на прочность, жесткость и трещиностойкость при контрольных нагрузках.

Плоские плиты перекрытий в соответствии с заводской кассетной технологией изготавливаются при вертикальном формовании, в этом же положении они транспортируются на склад готовой продукции. Испытание плит в горизонтальном положении приводило бы к дополнительным операциям, связанным с поворотом изделия, что в производственном помещении выполнить весьма сложно. Кроме того, такая конструкция значительно экономит производственные площади помещения и позволяет в короткий срок подготовить изделие к испытаниям. Основными узлами стенда являются: 1 – основание, 2 – силовой щит, 3 – опорная рама, 4 – винтовые устройства, 5 – упоры основания (рис. 10).

На силовой щит вешается мешок 7 из прорезиненной ткани марки АХКР, размеры его определяются в каждом случае площадью поверхности. Основание анкерными болтами закреплено к бетонному массиву пола. Силовой щит приварен к основанию строго в вертикальном положении, его устойчивость при действии нагрузки в горизонтальном направлении обеспечивается упорами основания, а рабочая поверхность покрыта листовым железом. Опорная рама установлена на три специальных шарнира, которые позволяют ей занимать два положения: вертикальное – рабочее и исходное – на упорах основания с отклонением от вертикального положения на угол 15° . Специальными винтовыми устройствами опорная рама в рабочем положении может притягиваться к силовому щиту. Подготовка к работе стенда при испытании равномерно распределенной нагрузкой сводится к следующему. Устанавливается испытываемое изделие. В мешок из прорезиненной ткани под давлением подается воздух. От чрезмерного увеличения объема мешка и его выпирания

за края загружаемой конструкции в силовом щите предусмотрено специальное ограничительное обрамление по всему периметру из профильного уголка 8. Плита 9 устанавливается вертикально на шаровые опоры диаметром 60 мм, которые свободно лежат на платформе основания 10. Контакт шаров с плитой осуществляется через металлические пластинки толщиной 20 мм. Вертикальное положение плит на стенде строго фиксируется специальными ограничителями силового щита. Это необходимо выполнять с той целью, чтобы шары и катки, расположенные по периметру рабочей рамы через каждые 40 см в ее рабочем положении, обеспечивали в контакте с плитой через металлические пластинки заданную схему опирания. Возможные зазоры при этом выбираются с помощью клиньев и винтовых устройств.

Формирование такого жесткого пакета определяет готовность стенда к проведению испытаний. Воздух от компрессорной станции подается в мешок и оказывает давление с одной стороны на стенки силового щита, с другой — на испытываемое изделие со стороны его верхней поверхности. Редукционный клапан, установленный на входе воздуха в мешок, обеспечивает постоянное давление на каждой ступени нагружения. Величина давления воздуха в мешке контролируется высотным манометром *U*-образного типа, состоящим из двух стеклянных трубок высотой 1,5 м, соединенных между собой гибким шлангом, и заполненным подкрашенной жидкостью, по рискам делительной линейки. Цена деления манометра составляет 0,001 кг/см². Возможности стенда не ограничиваются только созданием условий испытаний, принятых при работе этих изделий в составе здания.

Благодаря тому, что опоры подвижной рамы съемные, имеется возможность создавать различные схемы опирания и способы силового нагружения, при этом изделие на стенде остается неподвижным.

Приборы для измерения прогибов плиты крепятся к каркасу из профильного уголка 11, который изолирован от металлоконструкций стенда. Связь приборов с плитой осуществляется посредством сталистой проволоки, закрепленной к нижней поверхности плиты свинцовыми пробками. Осадка опорной рамы относительно силового щита замерялась с помощью индикаторов часового типа. Они

устанавливались по всему периметру опорной рамы и закреплялись с помощью струбцин на силовом щите.

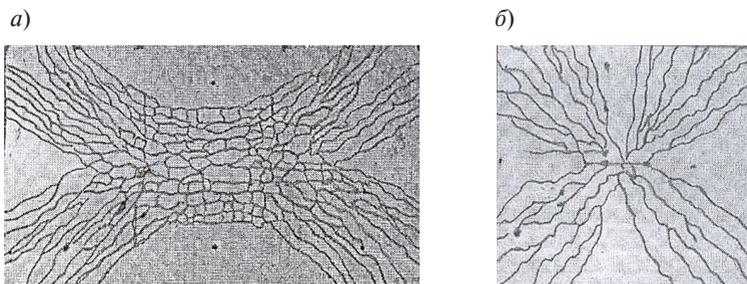


Рис. 11. Схемы развития трещин на нижней поверхности плиты от равномерно распределенной нагрузки с соотношением сторон 1:2 (а) и 1:1 (б)

Опыт эксплуатации стенда и испытания плит в вертикальном их положении позволяют отметить следующие положительные моменты:

- прочностные и деформационные свойства плит определяются без учета их собственного веса;
- удобно проводить контроль над схемами развития трещин на нижней поверхности плиты и шириной их раскрытия;
- испытания проводятся без дополнительных мероприятий по обеспечению мер безопасности.

Схемы развития трещин на нижней поверхности плит представлены на рис. 11.

2.7. Схемы испытаний гидравлическим оборудованием

Наиболее универсальными и удобными в эксплуатации являются стенды, в которых загрузка в виде сосредоточенного груза осуществляется гидравлическими домкратами. Давление масла в гидродомкратах создается ручными или электрическими насосными станциями, что позволяет осуществлять дистанционное управление нагружением. Применяемая мощность домкратов различна – в зависимости от требуемой нагрузки на конструкцию. В целях обеспечения безопасности при испытаниях и предотвращения порывов в шлангах и штуцерах рекомендуется использовать

гидродомкраты с большим диаметром поршня (с низким рабочим давлением). При подборе домкратов следует руководствоваться положением, которое предусматривает, чтобы контрольная нагрузка по прочности не превышала 85 % мощности домкрата. Это условие связано с тем, что при небольших и предельных нагрузках работа гидродомкрата становится неустойчивой и возможны небольшие ошибки при контроле усилий.

Отечественной промышленностью выпускаются гидродомкраты марок: ДГ5...ДГ100 — грузоподъемностью 50–1000 кН и ходом поршня 100 мм; ДГ100 мм, ДГ200 мм — грузоподъемностью 1000 и 2000 кН, которые работают по принципу удвоения силы, с меньшей массой и ходом поршня до 155 мм. В последнее время все больше применяются для испытаний длинномерных конструкций гидроцилиндры плунжерного типа КП28-1-79 с ходом поршня 450 мм и поршневого типа КП28-2-79 с ходом поршня до 500 мм.

Контроль усилий, развиваемых домкратом, обычно производится при помощи манометра на насосной станции и измеряется в атмосферах. Подбирать манометры следует таким образом, чтобы точность отсчета давления масла (цена деления шкалы) соответствовала усилию не ниже 3 % от ожидаемой контрольной нагрузки по прочности. Предельное давление, регистрируемое манометром, должно не более чем на 10–15 % превышать контрольную нагрузку по прочности.

Насосная станция НСР–400 с ручным приводом имеет распределительную коробку на три штуцера с вентилями переключения и насос удвоенной производительности, питаемый маслом с подпором из бачка. Насосная станция может обслуживать параллельно несколько грузовых домкратов при условии, что показания манометра служат средними для каждого из них. Насосная станция НСП–400 оснащена электронасосом. Масло под давлением от насосной станции в гидродомкрат поступает по гибким рукавам высокого давления, изготавливаемым из нескольких слоев резины, хлопчатобумажной ткани и металлической оплетки. Концы рукавов заделываются под накидную гайку с наружной или внутренней резьбой.

Перед началом испытаний производится тарировка силового оборудования: устанавливается зависимость и строится график

в координатах «усилие – давление». Тарировка гидродомкратов производится совместно с манометрами насосной станции. В качестве измерителя силы обычно используется образцовый динамометр. Гидродомкрат и динамометр устанавливают в замкнутый силовой контур (раму) или между подвижной и неподвижной пластинами прессы. Загружение осуществляют этапами, равными 5 % от предельного усилия, развиваемого домкратом. После приложения нагрузки на каждом этапе производятся отсчеты по динамометру и по манометру. Для гидродомкратов обязательным является построение тарировочного графика как для загрузки, так и для разгрузки.

Передача сосредоточенных усилий от домкратов может производиться как непосредственно на конструкцию, так и через систему траверс. Во всех случаях нагрузка передается на шарнир (рис. 12, а).

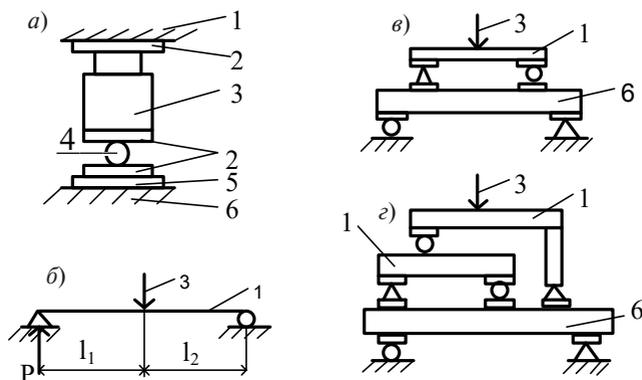


Рис. 12. Передача сосредоточенных усилий на конструкцию:
а – передача усилия непосредственно от домкрата; *б* – расчетная схема траверсы; *в* – передача усилия на конструкцию в двух точках; *з* – то же, в трех точках; 1 – траверса; 2 – опорная распределительная пластина; 3 – домкрат; 4 – металлический шар; 5 – песчаная (растворная) подушка; 6 – испытываемая конструкция

Поверхность конструкции, куда прикладывается сосредоточенная нагрузка, выравнивается слоем песка. На выравнивающий слой укладывается опорная металлическая плита толщиной 50 мм и размерами в плане не менее 20×20 см. Такая же пластина помещается непосредственно под домкрат. Между пластинами располагается шаровая опора. Для этой цели используется металлический шар ди-

аметром 50–70 мм. Шаровая опора (шарнир) необходима для того, чтобы исключить влияние распора. В случае отсутствия шарнирной опоры горизонтальная составляющая может воздействовать непосредственно на конструкцию и может привести к аварийной ситуации или нарушению конструкции.

В случае передачи усилия от одного домкрата в несколько точек используют траверсы. Траверсы представляют собой балки, жесткость которых достаточна для того, чтобы без проявления пластических деформаций воспринять усилие, соответствующее контрольной нагрузке по прочности. Траверса позволяет разложить усилие на два одинаковых, если нагрузка от домкрата приложена в середине ее пролета, и на два неодинаковых усилия – при несимметричном приложении нагрузки.

При этом распределение усилий будет обратно пропорционально расстояниям до точки приложения нагрузки от домкрата (рис. 12, б). Различные варианты использования траверс приведены на рис. 12, в, г.

Передача усилий с траверсы на траверсу и на конструкцию осуществляется при помощи цилиндрически подвижной и неподвижной опор. Конструкция опор траверсы аналогична конструкции опор при испытании свободно опертой балки.

2.8. Испытания изгибаемых балочных элементов при сложных режимах нагружения

Стенды для испытаний могут создавать усилие только в одном направлении, что ограничивает их использование при сложных нагружениях, когда необходимо изменять направление действия сил. Ввиду отсутствия должного оборудования для проведения статических испытаний на знакопеременные нагрузки была спроектирована и изготовлена специальная установка, основными узлами которой являются реверсивное устройство и опорная рама (рис. 13).

Испытываемая на изгиб балочная конструкция устанавливается на опорные стойки рамы. В зависимости от условий опирания балки на опоры и места приложения нагрузки можно реализовать различные схемы испытаний. В нашем случае образец балки уста-

навливался на шаровые опоры, а нагружение осуществлялось двумя равными силами, прикладываемыми в середине пролета таким образом, что зона постоянного момента составляла $1/3$ пролета балки.

При подаче под давлением масла от насосной станции в гидродомкрат одностороннего действия нагрузка передается через реверсное устройство: две траверсы и винтовые тяги, свободный ход которых регулируется поджатием гаек. В зависимости от положения гаек на винтовых тягах можно изменять направление усилия, что дает возможность балке деформироваться в плоскости действия момента со сменой стрелы прогиба.

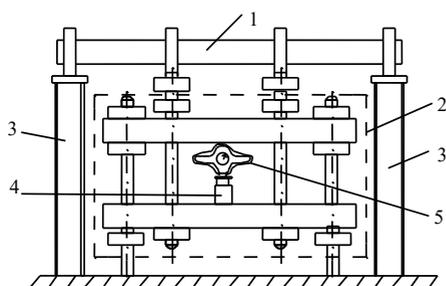


Рис. 13. Установка для испытаний балочных конструкций на знакопеременные нагрузки: 1 – образец балки; 2 – реверсное устройство; 3 – опорные стойки; 4 – домкрат ДГ10; 5 – динамометр ДОС-3

На схеме положение гаек реверсного устройства соответствует нагружению испытываемого образца со стрелой прогиба вниз. Схема развития нормальных трещин на боковой грани балки со стороны растянутой зоны представлена на рис. 14. На способ создания знакопеременной нагрузки получен патент № 2262698.

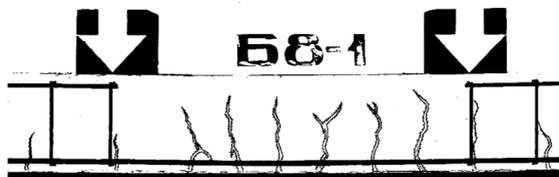


Рис. 14. Схема развития трещин на боковой поверхности балки

Испытания образцов стоек при сложных режимах нагружения.

Схема нагружения стоек, колонн включает балочную схему нагружения поперечной знакопеременной нагрузкой и продольную сжимающую нагрузку, создаваемую приложенными по торцам сосредоточенными силами. Для проведения испытаний по указанной схеме нагружения была разработана и изготовлена специальная установка (рис. 15), состоящая из двух независимых силовых контуров.

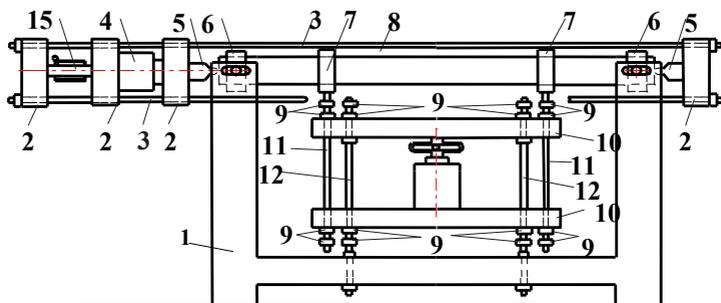
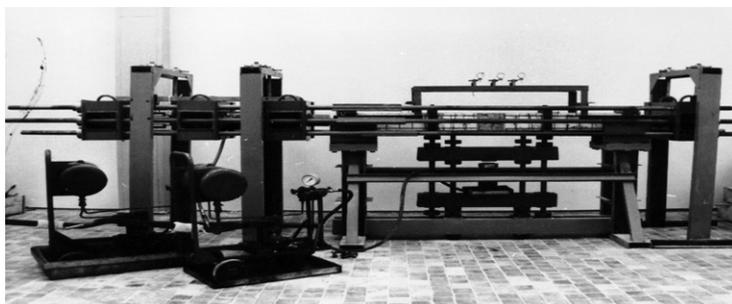


Рис. 15. Общий вид установки для испытаний

Первый контур, основой для которого послужила установка для испытаний балочных элементов на знакопеременное нагружение (рис. 13), состоит из опорной рамы, реверсного устройства и служит для фиксации образца и создания поперечной изгибающей нагрузки.

Опытный образец δ в опорных зонах обжимается по периметру рамками δ , на боковых поверхностях которых на уровне середины высоты сечения образца имеются цилиндрические оси. Цилиндрические оси заведены в горизонтальные опорные пазы на раме I , ширина которых точно соответствует диаметру осей. Благодаря такому

устройству опорный узел способен воспринимать вертикальную нагрузку при поперечном нагружении образца, в том числе и знакопеременном, и допускает укорочение и удлинение образца при действии продольной сжимающей нагрузки.

Другим элементом первого силового контура является реверсное устройство, установленное между опытным образцом 8 и основанием контура – рамой 1. Реверсное устройство включает четыре винтовые тяги и две траверсы 10 коробчатого сечения, положение которых на тягах регулируется с помощью восьми гаек 9. Между траверсами по оси симметрии устройства установлены гидродомкрат одностороннего действия 14 и динамометр сжатия 13, по которому контролируется величина поперечной нагрузки. С помощью двух тяг 12 реверсное устройство крепится на основании рамы 1, нагрузка на образец передается через рамки 7 и тяги 11, направление действия усилий в которых задается расположением гаек 9 и может быть изменено на противоположное.

Второй силовой контур служит для создания продольной сжимающей нагрузки. Усилие от гидродомкрата воспринимается траверсами 2 и цилиндрическими тягами 3, диаметр и количество которых зависят от максимальной величины продольной нагрузки. При величине продольного усилия $N = 1000$ кН было установлено шесть тяг диаметром 45 мм. Нагрузка в виде сосредоточенной силы передается на торцевую грань образца посредством цилиндрических опор 5. Величина продольной нагрузки контролируется по показаниям динамометра на сжатие 15, установленного по оси симметрии силового контура, проходящей через оси гидродомкрата и цилиндрических опор и параллельной оси опытного образца. Силовой контур с помощью винтовых связей подвешен к внешней опорной раме и имеет возможность перемещаться по высоте для изменения эксцентриситета приложения нормальной силы.

Методика испытаний и программа экспериментальных исследований. Образцы-стойки испытывались по балочной схеме на четырехточечный изгиб. При этом на участке образца между точками приложения сосредоточенных сил создавалась зона постоянного момента. Кроме того, к торцевым граням образца прикладывалась продольная сжимающая нагрузка N . В зависимости от сочетания

режимов нагружения образца поперечным изгибающим моментом M и продольной сжимающей силой N выделено три общих случая циклического нагружения:

– нагружение повторным и знакопеременным изгибающим моментом M , то есть испытания по балочной схеме. Максимальная величина момента \tilde{M} в цикле повторного или знакопеременного нагружения определяется из условия $\tilde{\epsilon}_s > \epsilon_{sm,crc}$, где $\epsilon_{sm,crc}$ – средние деформации арматуры в момент образования трещин, или из условия симметрии знакопеременного цикла;

– нагружение повторным и знакопеременным изгибающим моментом M при действии продольной сжимающей нагрузки N . На каждом цикле нагружения моментом M величина продольной нагрузки N остается постоянной. Изменение величины N производится при полном снятии поперечной изгибающей нагрузки, то есть по окончании цикла по M . Максимальная величина переменного изгибающего момента \tilde{M} определяется по тем же признакам, что и в предыдущем случае;

– нагружение продольной сжимающей силой N с последующей разгрузкой до нуля без приложения поперечной изгибающей нагрузки. Линия действия продольной нагрузки проходит, как правило, на уровне центра тяжести сечения образца.

Программа испытаний каждого образца-стойки включала некоторое число (1–21) циклов нагружения, причем для большинства образцов она объединяла различные случаи нагружения. На завершающем этапе испытаний почти все образцы доводились до разрушения.

2.9. Испытания железобетонных образцов-призм осевой знакопеременной нагрузкой

Установка состоит из четырех плит, перемещаемых по вертикальным тягам, шарнирного механизма и гидравлического домкрата одностороннего действия (рис. 16). Усилие в контуре установки создается гидравлическим домкратом (г/п 100 тонн) одностороннего действия, который находится между первой и второй плитами. При подаче под давлением масла от насосной станции в гидродомкрат δ нагрузка передается на подвижную траверсу $З$

и в зависимости от положения гаек *б* через тяги *5* на траверсы *1* или *2*. В том случае, когда нагрузка передается на траверсу *1*, в образце реализуется напряженное состояние растяжения (рис. 16, *а*), если на траверсу *2*, то напряженное состояние сжатия (рис. 16, *б*). По результатам испытаний образцов – призм сечением 15×15 см и высотой 60 см – строят в координатах «напряжения – деформации» диаграммы деформирования бетона на растяжение и на сжатие, определяются расчетные параметры: начальный, а также секущие модули деформации бетона, призмочная прочность, предельные напряжения на растяжение, предельные деформации бетона на растяжение и сжатие.

Отличительной особенностью этой установки в сравнении с обычными прессами является то, что без перестановки образца реализуется полный цикл осевого знакопеременного нагружения, в том числе с поперечными трещинами, которые образуются при растяжении.

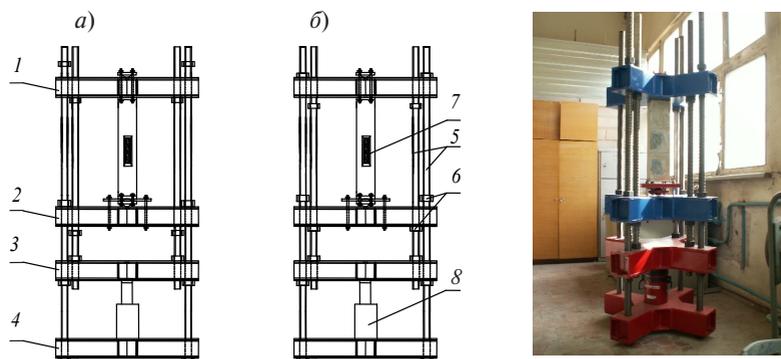


Рис. 16. Схема установки для испытания на осевое знакопеременное нагружение: *а* – растяжение; *б* – сжатие

Экспериментальные исследования позволяют разработать аналитические зависимости связи напряжений и деформаций (средних, в блоке между трещинами, зажатия берегов трещин), что является важным элементом при создании методов расчета изгибаемых, внецентренножатых конструкций по деформированной схеме, включая повторные и знакопеременные нагрузки.

Выводы по главе

1. Основная задача испытаний конструкций, зданий и сооружений заключается в установлении экспериментальным путем соответствия между их фактическими показателями и показателями, полученными по расчету, в соответствии с действующими нормами.

2. Качество железобетонных конструкций и технология изготовления при испытаниях оцениваются по трем показателям: прочности, жесткости и трещиностойкости. Эти параметры являются основными при эксплуатации всех железобетонных конструкций и особенно важными для несущих конструкций, поэтому все испытания производятся для определения фактических значений именно этих трех параметров.

3. Для диагностики строительных конструкций используются четыре разновидности испытаний:

- приемочные испытания (при передаче законченных сооружений в эксплуатацию и промежуточных приемках в процессе строительства);
- испытания эксплуатируемых зданий и сооружений (для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой);
- испытания конструкций и деталей при их серийном изготовлении, выполняемые путем выборочных испытаний отдельных образцов (продукции) с доведением до разрушения (для оценки качества технологии их изготовления или впервые освоенных конструкций для отладки технологии их изготовления);
- научно-исследовательские испытания и испытания опытных объектов (производятся при применении новых конструктивных решений и при разработке методов расчета на заданные нагрузки для нормативных документов).

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами определяется качество строительных конструкций?
2. Какие задачи решаются при испытаниях конструкций?
3. Какие существуют разновидности испытаний?

4. С какой целью производятся испытания конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений?
5. Какая необходимость в испытаниях при серийном изготовлении конструкций?
6. Какие задачи решаются при производстве научных испытаний?
7. На основании каких документов разрабатывается программа испытаний?
8. Какие типы опор используются при испытаниях однопролетных и плоских конструкций?
9. Какие схемы приложения нагрузок используются при испытаниях?
10. Какими средствами создаются нагрузки?
11. Какие грузы используют при испытаниях весовой нагрузкой?
12. В каких случаях испытания производятся сосредоточенной нагрузкой?
13. В каких случаях испытания производятся равномерно распределенной нагрузкой?
14. Какая схема испытаний изгибаемых элементов используется при создании повторных нагрузок?
15. Какие схемы образования трещин наблюдаются при испытаниях плоских железобетонных плит?
16. Какие существуют универсальные схемы создания сосредоточенных нагрузок?
17. Какое оборудование используется при испытаниях гидравлическими домкратами?
18. Какие мероприятия выполняются перед производством испытаний?
19. Как передается нагрузка на испытываемую конструкцию?
20. Какое устройство создает знакопеременную нагрузку при испытаниях изгибаемых элементов?
21. Какая универсальная схема используется при испытаниях изгибаемых элементов повторными нагрузками?
22. Какие конструктивные элементы создают знакопеременную нагрузку при испытаниях осевой нагрузкой железобетонных образцов стоек?

Глава 3. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ И ИСПЫТАНИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Методы и средства измерения прогибов и смещений конструкций

В процессе загрузки конструкции нагрузкой в зависимости от напряженного состояния возникают различного рода деформации: прогибы в пролете и консолях (рис. 17, а, б); выгибы стоек, колонн, сжатых элементов ферм (3.2, в); углы поворотов сечений элементов конструкций и углы закручивания отдельных сечений по отношению к какому-либо другому сечению – при действии крутящих моментов; продольные и поперечные деформации волокон (фибр) при сжатии или растяжении (рис. 18, а, б); относительные перемещения волокон при сдвиге.

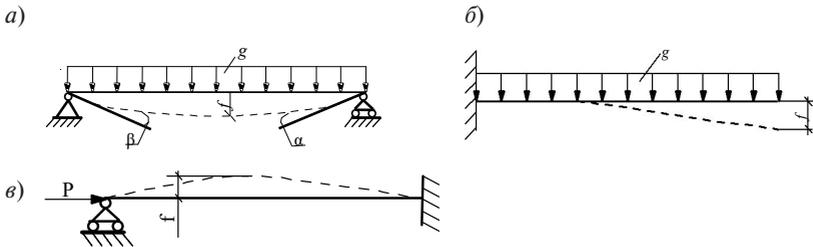


Рис. 17. Схемы прогибов (а, б) и выгибов (в) при действии нагрузок: α и β – углы поворота, f – прогиб (выгиб)

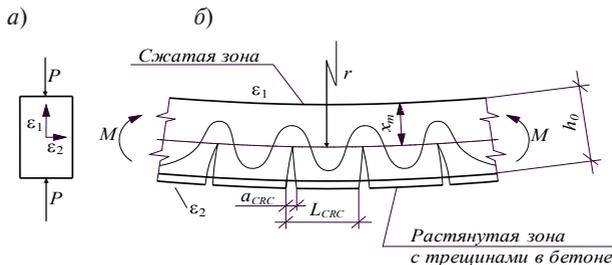


Рис. 18. Деформации элементов при сжатии (а) и изгибе (б): ϵ_1, ϵ_2 – деформации сжатия и растяжения; r – радиус кривизны; a_{crc} – ширина раскрытия трещины; L_{crc} – расстояние между трещинами; x_m – средняя высота сжатой зоны бетона

Прогибомеры и индикаторы часового типа. Для замера перемещений и деформаций испытываемых конструкций применяются специальные измерительные приборы. Замеры линейных перемещений отдельных точек конструкции выполняют с помощью приборов заводского изготовления — прогибомеров и индикаторов часового типа. В случае отсутствия приборов при значительных перемещениях и когда не требуется значительная точность измерений, используют простейшие приспособления, изготовленные на месте. Так, при испытаниях в полевых условиях можно воспользоваться двумя рейками, одна из которых прикрепляется к неподвижному основанию, другая — к испытываемой конструкции в месте, где определяется перемещение (прогиб). Рейки устанавливаются таким образом, чтобы они соприкасались гладкими поверхностями (рис. 19, *a*).

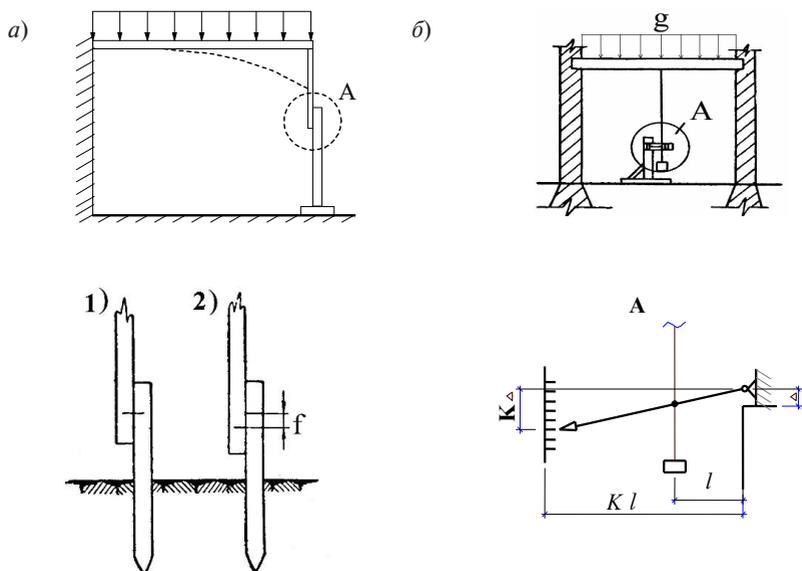


Рис. 19. Простейшие приспособления для измерения прогибов: *a* — с помощью двух реек; *b* — рычажное устройство со стрелкой

После установки реек на их боковых поверхностях прочерчивается общая тонкая линия *l*. При загрузке конструкции верхняя рейка перемещается по направлению прогиба конструкции, риски расходятся, а по расстоянию *f* между ними определяется прогиб

конструкции 2. Для испытаний, требующих большей точности измерения, можно использовать прогибомер со стрелкой в виде рычага (рис. 19, б). Длину стрелки l от оси вращения до свободного конца рекомендуется принимать равной 500 мм. На небольшом расстоянии l от оси вращения на стрелке пробиваются два отверстия: в верхнем закрепляется проволока, соединяющая стрелку с испытываемой конструкцией, а в нижнем — проволока, к которой прикреплен груз. При прогибе конструкции свободный конец стрелки перемещается на величину K_{Δ} , которая в K раз превышает прогиб конструкции.

Прогибомеры позволяют определять линейные перемещения конструкций дистанционно. Связь между прибором и конструкцией осуществляется через стальную мягкую проволоку диаметром 0,25–0,4 мм, которая одним концом закрепляется на конструкции, на другом конце подвешивается уравнивающий груз массой 1–3 кг. Проволока одним оборотом накидывается на вращающийся ролик прогибомера. Прогибомер, как правило, устанавливается на независимой от стенда опоре (рис. 20, а).

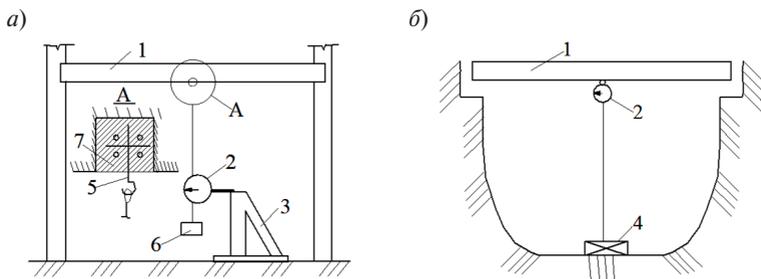


Рис. 20. Установка прогибомеров с проволоочной связью: а — установка прогибомеров на независимой опоре; б — установка прогибомера на конструкцию; 1 — испытываемая конструкция; 2 — прогибомер; 3 — опора; 4 — якорь; 5 — фиксатор; 6 — груз; 7 — свинцовая пробка

Если опору установить затруднительно, например при испытании моста через водоем, то прогибомер устанавливается на конструкции, а противовесом служит неподвижный якорь, погруженный в воду (рис. 20, б). Крепление проволоки к конструкции можно производить различными способами. Если конструкция узкая

(например, ригель, подкрановая балка), то на ее нижнюю грань можно установить струбцину, к которой закрепляют проволоку. Наиболее универсальным способом крепления является постановка свинцовой пробки с крючком из жесткой проволоки (рис. 20, а).

Из множества типов прогибомеров в практике наибольшее применение нашли приборы системы Максимова (ПМ-2 и ПМ-3) и Аистова – Овчинникова (ПАО-6). Прогибомер Максимова (рис. 21) состоит из ролика 1 и соединенного с ним наглухо диска 4; маленького барабанчика 5 с валиком на боковой поверхности, вращающегося за счет трения валика о поверхность диска; стрелки, насаженной на одну ось с барабанчиком; кольцевой шкалы на 100 долей (одно деление соответствует деформации 0,1 мм). Все детали прибора, кроме ролика, помещены в закрытом корпусе, остекленном со стороны шкалы.

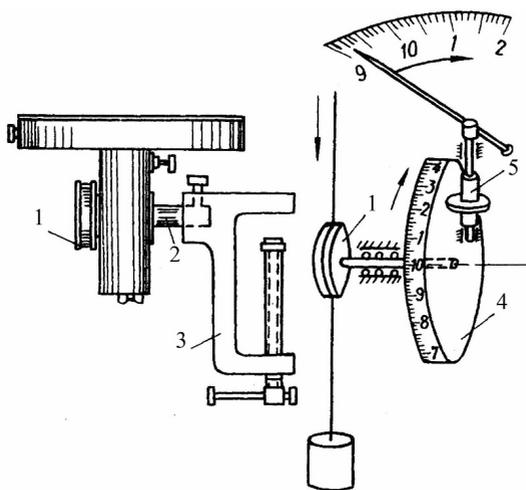


Рис. 21. Прогибомер Максимова ПМ-2

Для удобства прикрепления прибора к струбцине 3 предусмотрен цилиндрический стержень 2, выступающий из корпуса прибора. Недостаток прибора – большая чувствительность к толчкам, так как при фрикционной передаче не исключается взаимное проскальзывание, что искажает результаты измерений. Эти недостатки были учтены в модели прогибомера ПМ-3: фрикционная передача меж-

ду диском и барабанчиком заменена зубчатой, позволившей упростить его конструкцию. Но наличие «мертвого хода» при перемене направления вращения ролика из-за зазора между зубцами соединяемых шестеренок является также недостатком зубчатой передачи.

Прогибомер Аистова – Овчинникова ПАО-5 (рис. 22) состоит из металлического корпуса 3, на лицевой стороне которого под стеклом расположены три шкалы: большая, показывающая перемещение в долях миллиметра, и две малые, фиксирующие перемещения в мм и см.

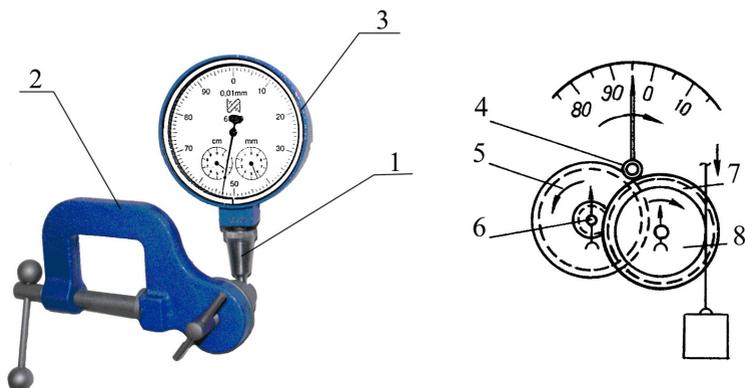


Рис. 22. Прогибомер Аистова – Овчинникова ПАО-5

Внутри корпуса расположена система шестеренок с осями, вращающихся на камнях. Шестеренка 7 плотно насажена на одну ось со стрелкой сантиметровой шкалы и роликом 8, выступающим с тыловой стороны корпуса. Кроме того, шестеренка 7 сцеплена с трубкой 6 (маленькой шестеренкой в виде цилиндра), посаженной на общую ось с шестеренкой 5 и стрелкой миллиметровой шкалы. Шестеренка 5, в свою очередь, имеет сцепление с трубкой 4, вращающейся на одной оси со стрелкой большой шкалы со 100 делениями. Одно деление этой шкалы соответствует перемещению в 0,01 мм. Прогибомер Аистова новой модификации ПАО-6 является наиболее совершенным из применяемых в настоящее время прогибомеров с проволочной связью. Прогибомеры Аистова позволяют без перестановки измерять перемещения до 100 мм. При установке прогибомеры присоединяются специальным винтом 1

к металлической планке 2, прикрепляемой к треноге или непосредственно к струбцине, с помощью которой прогибомер закрепляется на столике.

Для измерения небольших перемещений используются индикаторы (или контактные прогибомеры) часового типа, которые или устанавливаются на неподвижной опоре с размещением неподвижного измерительного стержня на испытываемой конструкции, или закрепляются на этой конструкции с упором неподвижного стержня в какую-либо неподвижную точку.

Индикатор (рис. 23) состоит из цилиндрического корпуса 1, внутри которого размещается система шестеренок. На лицевой стороне прибора под стеклом располагается кольцевая шкала и большая стрелка для показания отсчета. Через корпус проходит измерительный стержень 4, на котором нарезана зубчатая кремальера, соединенная с трубкой 3. Для устранения зазора между зубцами шестеренок 7, 8, 9 и кремальеры поставлены шестеренка 6 и пружина 5. Число зубцов на шестеренках и кремальеры трубки подбираются таким образом, чтобы одно деление шкалы соответствовало перемещению стержня 4 вдоль осей на 0,01; 0,002 или 0,001 мм в зависимости от точности прибора.

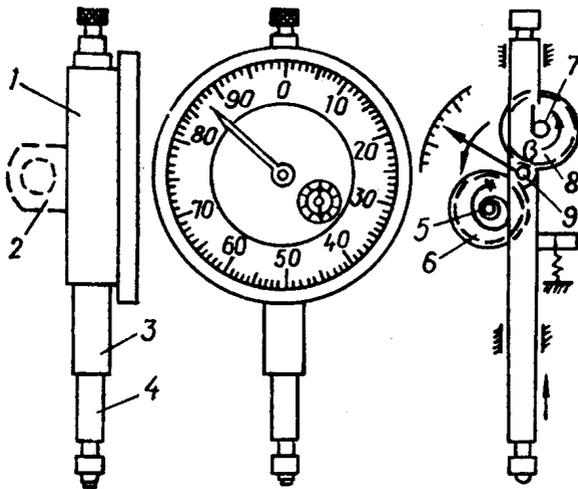


Рис. 23. Индикатор часового типа

Для отсчета количества полных оборотов большой стрелки индикатора предусматривается вторая малая шкала со стрелкой или указателем. Индикаторы просты в обращении и при установке обладают высокой точностью, поэтому часто используются в составе других измерительных приборов переносного типа. При испытаниях конструкций индикаторы устанавливаются с помощью струбцины или специального штатива, к которым прибор крепится за муфту или за ушко 2 на задней стенке прибора.

При испытаниях предварительно напряженных конструкций самоанкерующей арматурой и без дополнительных анкеров для замера смещения концов стержней относительно бетона на торцах конструкций крепят индикаторы по схеме, указанной на рис. 24.

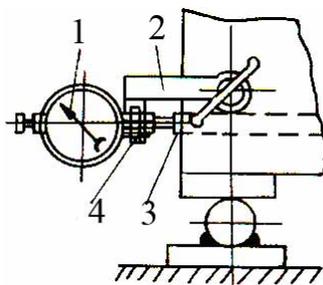


Рис. 24. Схема установки индикатора для измерения смещения арматуры: 1 – индикатор; 2 – струбцина; 3 – стержень арматуры; 4 – хомутик

3.2. Методы и средства измерения деформаций материалов конструкций

Индикаторы часового типа используют для измерения линейных деформаций на определенной базе между двумя опорами, заделанными в конструкцию или приклеенными к поверхности. К одной опоре через муфту закрепляется индикатор. Удлинитель в виде стального стержня диаметром 3–4 мм одним концом устанавливается в гнездо на второй опоре (рис. 25).

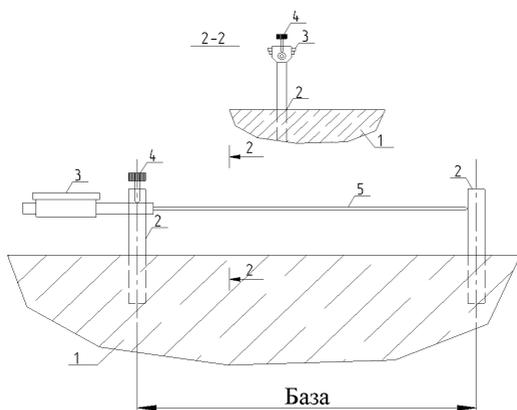


Рис. 25. Схема установки индикатора часового типа для измерения продольных деформаций: 1 — конструкция, деформации которой измеряются; 2 — опоры, заделанные в конструкцию или приклеенные к поверхности; 3 — индикатор часового типа, закрепленный на опоре; 4 — зажимный винт; 5 — удлинитель

Механический тензометр Гугенбергера. Идея прибора была впервые предложена голландским инженером Окхайценом, причем прибор имел увеличение в 450 раз. Позднее этот прибор был усовершенствован швейцарской фирмой Гугенбергера, которая, оставив общую схему без изменения, изменила некоторые детали и довела увеличение до 1000–1200 раз. Прибор получил широкое распространение за границей.

В нашей стране тензометр Гугенбергера также нашел большое применение и изготавливается специализированными мастерскими, которые внесли некоторые изменения в конструкцию прибора, улучшающие его работу. Принципиальная схема тензометра Гугенбергера показана на рис. 26.

Прибор состоит из корпуса 1, опирающегося на поверхность исследуемого элемента конусом 2 и призмой 3, с которой наглухо соединен рычаг 4. К стойке 5 на шарнире подвешена стрелка 6, соединенная с рычагом 4 с помощью поводка 7.

Тензометр измеряет линейную деформацию волокна на участке l между ножом и призмой. При деформации этого волокна на величину $\pm \Delta l$ призма 3 повернется на некоторый угол в ту или иную сторону, в зависимости от того, растянулось или сжалось волокно на участке l .

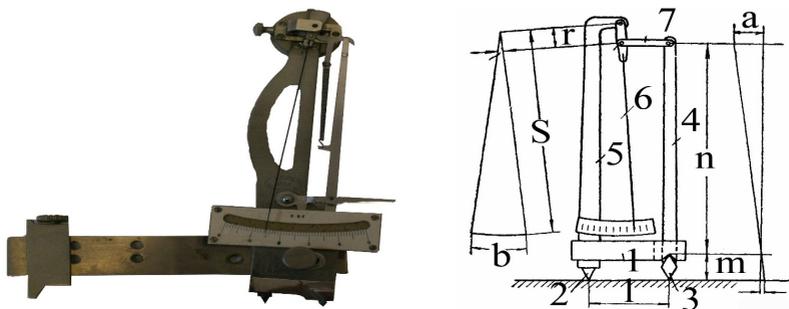


Рис. 26 Кинематическая схема механического тензометра Гугенбергера

Вместе с призмой повернется на тот же угол рычаг 4, и его верхний конец переместится на расстояние α . Это расстояние будет больше величины деформации Δl на отношение n/m , где m – размер диагонали призмы 3, а n – длина рычага 4, т. е. $\alpha = \Delta l \cdot n/m$. На то же расстояние α переместится точка С на стрелке 6, и свободный конец последней пройдет расстояние b , которое больше величины α на отношение S/r , где S – длина стрелки, а r – расстояние от центра вращения стрелки 6 до точки С, т. е. $b = \alpha \cdot S/r = \Delta l \cdot n/m \cdot S/r$. Величины n , m , S и r подобраны с таким расчетом, чтобы $b = 1000\Delta l$; следовательно, при этом цена одного миллиметрового деления шкалы равна 0,001 мм. В некоторых моделях тензометра Гугенбергера, изготавливаемых за границей, увеличение делается несколько большим и $b = 1200\Delta l$.

Тензометр укрепляется на поверхности исследуемого элемента с помощью струбцинок различных систем, одна из которых показана на рис. 27. Струбцинка проходит через отверстие, имеющееся в корпусе прибора, и закрепляется гайкой. Размер базы тензометров Гугенбергера обычно равен 20 мм, но он может быть увеличен при помощи специальных удлинителей до нескольких сот миллиметров. Удлинитель (рис. 28) состоит из планки 1, которая соединяется с прибором посредством штифта и болта, вставляемых в два отверстия, оставленные в корпусе прибора, и закрепляется гайкой 2. На другом конце удлинителя имеется передвижной опорный нож 3, устанавливаемый на требуемом расстоянии от призмы тензометра

и закрепляемый винтом 4. Два прибора прикрепляются к исследуемому элементу с помощью струбцинки 5, расположенной посредине длины удлинителя. В основном устанавливается один тензометр с удлинителем и струбциной (рис. 28). При установке прибора с удлинителем основной неподвижный нож прибора остается приподнятым и не прикасается к поверхности исследуемого элемента.

Перед установкой тензометров необходимо подготовить поверхность исследуемого элемента. Поверхность металлических конструкций должна быть очищена от краски, ржавчины, окалины; если поверхность металла шероховатая, то неровности снимают напильником, а затем зачищают наждачной бумагой.

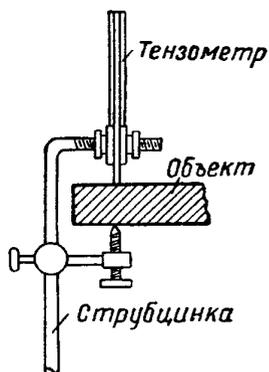


Рис. 27. Струбцинка для установки тензометра Гугенбергера

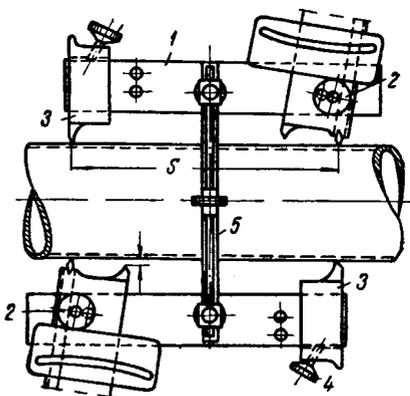


Рис. 28. Струбцинка для установки двух тензометров Гугенбергера, располагаемых с обеих сторон исследуемого элемента

Ставить тензометры непосредственно на поверхность бетона не следует, так как она шероховата и ребро призмы при установке может или попасть в углубление, или встать на выступающую часть поверхности. В первом случае свободное вращение призмы будет затруднено, а иногда ее просто клинит; во втором случае призма может соскользнуть с выступающей части. В том и другом случае тензометр даст неверные показания. Неподвижный нож также может сместиться с выступа, что приведет к ошибке в измерениях. Чтобы избежать ошибок, необходимо на бетонную поверхность в тех местах, где должны соприкасаться с поверхностью ножи

и призмы тензометров, прикреплять сургучом с помощью паяльника металлические пластинки толщиной около 0,5 мм, длиной 10–12 мм и шириной не более 3–4 мм.

Следует избегать установки тензометров непосредственно на поверхности дерева, так как призма под усилием зажима струбциной вдавится в древесину, в результате чего свободное вращение призмы будет нарушено. Для указанных недостатков рекомендуется под призмой тензометра, а также под неподвижным ножом втапливать в древесину металлические кнопки, на которые и устанавливается тензометр. После установки тензометра на поверхности исследуемого объекта полезно легкими боковыми усилиями проверить надежность его закрепления. Стрелка тензометра устанавливается на «0», если измеряются деформации растяжения, и на «50», если измеряется деформация сжатия. В процессе испытаний при увеличении или уменьшении нагрузки необходимо следить за движением стрелки и не допускать ее смещений за предельные значения на шкале «0» или «50». При приближении стрелки к предельным значениям нагружение прекращается, дается выдержка до стабилизации положения стрелки, цифровые показания записываются в протокол испытаний, а стрелка регулировочным винтом возвращается в начальное положение. Общие деформации исследуемого объекта определяются как сумма показаний на каждой перестановке.

Тензорезисторные тензометры сопротивления. Тензорезисторы предназначены для дистанционного измерения деформаций в конструкциях. При испытаниях строительных конструкций используют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензометры. Перед испытаниями тензорезисторы наклеиваются на зачищенную поверхность исследуемого элемента конструкции. При испытаниях нагрузка на конструкцию вызовет деформацию исследуемого элемента; такую же деформацию получит наклеенный на его поверхность тензорезистор.

Принцип действия тензорезисторов основан на измерении электрического сопротивления проводников и полупроводников при деформациях. При деформации растяжения это сопротивление увеличивается, а при сжатии — уменьшается. Величина изменения начального сопротивления тензорезисторов и служит мерой деформации элемента.

С помощью тензорезисторов измеряется относительное удлинение ε , а не изменение Δl длины базы, как у механических тензотронов и индикаторов часового типа. Длина базы имеет существенное значение и для тензорезисторов. Так, например, для материалов с неоднородной структурой (бетоны) для получения усредненных значений деформаций в рассматриваемой зоне длина базы должна в несколько раз превосходить размеры наиболее крупных составляющих материала.

Петлевой проволочный тензорезистор (рис. 29, а) состоит из бумажной или пленочной подложки, на которую специальным эластичным клеем наклеивается тонкая проволока ($d = 0,02 \div 0,05$ мм) в виде петлевой решетки.

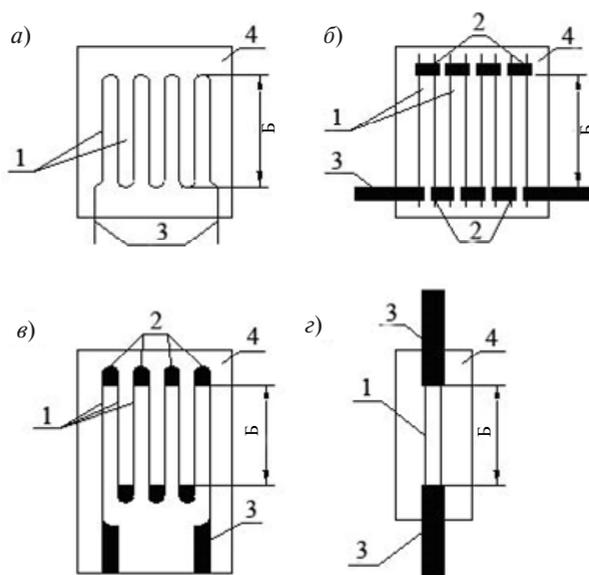


Рис. 29. Типы тензорезисторов: а – проволочный петлевой; б – проволочный беспетлевой; в – фольговый; г – полупроводниковый; 1 – тензочувствительные элементы; 2 – низкоомные перемычки; 3 – выводные контакты; 4 – подложка («основа») и наклеенный над тензорешеткой защитный слой тонкой бумаги; Б – база тензорезистора

К концам решетки привариваются небольшие отрезки более толстой проволоки ($d = 0,25 \div 0,3$ мм) для удобства прикрепления к тензотрому отводящих проводов. Для предохранения решетки

от металлических повреждений и от теплового внешнего воздействия сверху на нее наклеивается полоска бумаги или пленки. Длина петель проволоочной решетки называется базой тензометра. Изготавливаются проволоочные тензорезисторы с базой от 5 до 100 мм. Однако участки закруглений воспринимают деформации, направленные перпендикулярно к продольной оси тензорезисторов, что снижает его осевую тензочувствительность. От отмеченного недостатка свободны беспетлевые тензорезисторы (рис. 29, б) с низкоомическими медными перемычками, в которых отсутствует поперечная тензочувствительность.

В настоящее время все большее распространение получают фольговые тензорезисторы (рис. 29, в) из металлической фольги толщиной не более 4–6 мк. Вследствие низкой поперечной чувствительности и плоского сечения элементов тензорешетки они имеют при той же площади сечения более развитую поверхность приклейки, что улучшает условия их работы.

Полупроводниковые тензорезисторы обладают значительно большей тензочувствительностью, хотя она меняется в зависимости от величины деформаций и при изменении температуры. Тем не менее они эффективно применяются в упругих элементах различных измерительных приборов (например, динамометра), где главным фактором является тензочувствительность.

Основной характеристикой тензорезистора является коэффициент тензочувствительности

$$S = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \quad (3.1)$$

который определяется как отношение относительного изменения электросопротивления $\Delta R/R$ тензорезистора к вызывающей это изменение деформации $\Delta l/l$ исследуемого элемента, где l — длина базы тензорезистора. Для изготовления тензорезисторов используются константан, нихром. Коэффициент тензочувствительности решетки из различных сплавов определяется только экспериментальным путем: образец проводника подвергается растяжению; точными приборами измеряются относительная продольная деформация $\varepsilon = \Delta l/l$ и величина изменения электрического сопротивления ΔR , а затем по формуле (3.1) вычисляется S .

Изменения сопротивления тензорезисторов в процессе испытаний весьма малы (тысячные доли ома). Для измерения столь малых изменений сопротивления применяют в большинстве случаев мостовые измерительные схемы (рис. 30).

Во внешние плечи моста включаются рабочий тензорезистор с сопротивлением R_1 , который фиксирует деформации, и с тем же сопротивлением R_2 компенсационный тензорезистор, который наклеивается на свободно лежащий ненагруженный элемент из того же материала, что и исследуемая конструкция, помещенный в одинаковые температурные условия.

Во внутренние плечи включены тензорезисторы с сопротивлением R_3 и R_4 , которые находятся в регистрирующем приборе и связаны с рабочим и компенсационным тензорезисторными проводами.

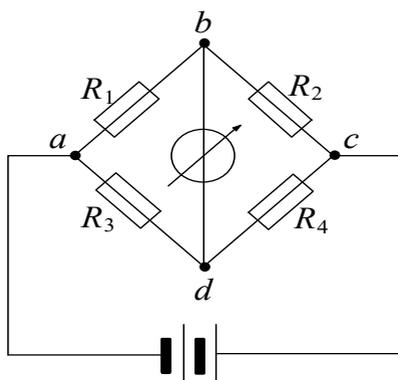


Рис. 30. Электрическая схема измерительного моста, где R_1, R_2, R_3, R_4 — сопротивления, включенные в плечи моста

Для баланса моста должно быть соблюдено условие:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4, \quad (3.2)$$

а ток в измерительной диагонали bd будет равен нулю. С изменением температуры рабочий и компенсационный тензорезисторы получают одинаковые изменения сопротивления, и баланс моста не нарушится. Если же рабочий тензорезистор R_1 изменит свое сопротивление вследствие деформации конструкции от нагрузки, то баланс моста будет нарушен и в диагонали bd возникнет ток, а стрелка

гальванометра отклонится и в соответствующем масштабе отметит величину деформаций.

В настоящее время разработано большое количество регистрирующих приборов: АИД – автоматический измеритель деформаций; ЦТК – цифровой тензометрический комплекс и др. Совместно с коммутаторами они позволяют последовательно подключать до нескольких сотен тензорезисторов. При использовании автоматически действующей аппаратуры на регистрацию показаний требуется всего несколько секунд. Поэтому возможен непосредственный ввод данных в ЭВМ для их обработки.

3.3. Методы и средства наблюдения за развитием трещин в конструкциях

При обследовании строительных конструкций наиболее ответственным этапом является выявление трещин и причин их возникновения, а также динамики развития. Трещины могут быть вызваны различными причинами и иметь различные последствия.

При наличии трещин в несущих конструкциях зданий и сооружений необходимо установить систематическое наблюдение за их состоянием и возможным развитием, с тем чтобы выяснить характер деформаций конструкций и степень их опасности для дальнейшей эксплуатации.

Наблюдение за развитием трещин проводится по графику, который в каждом отдельном случае составляется в зависимости от конкретных условий.

Трещины выявляются путем осмотра поверхностей конструкций, а также выборочного удаления с конструкций защитных или отделочных покрытий. Следует определить положение, форму, направление, распространение по длине, ширину и глубину раскрытия, а также установить, продолжается или прекратилось их развитие. Для оценки деформации и развития трещин следует использовать маяки, которые устанавливаются в месте наибольшего развития трещины и позволяют зафиксировать качественную картину деформаций и их величину.

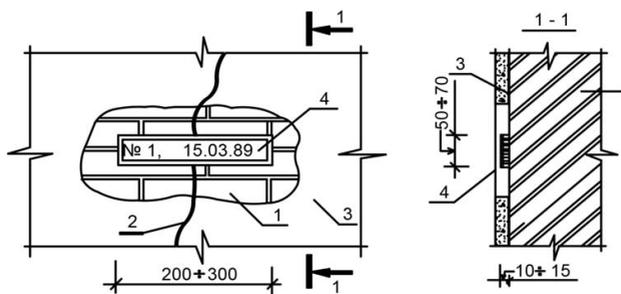


Рис. 31. Гипсовый одиночный маяк: 1 – строительная конструкция с трещиной; 2 – трещина; 3 – штукатурка; 4 – гипсовый маяк

Маяк представляет собой пластинку длиной 200–300 мм, шириной 40–50 мм, толщиной 6–10 мм из гипса или цементно-песчаного раствора, наложенную поперек трещины (рис. 31), или две металлические пластинки, закрепленные каждая по разные стороны трещины (рис. 32). Разрыв маяка или смещение пластинок по отношению друг к другу свидетельствуют о развитии деформаций.

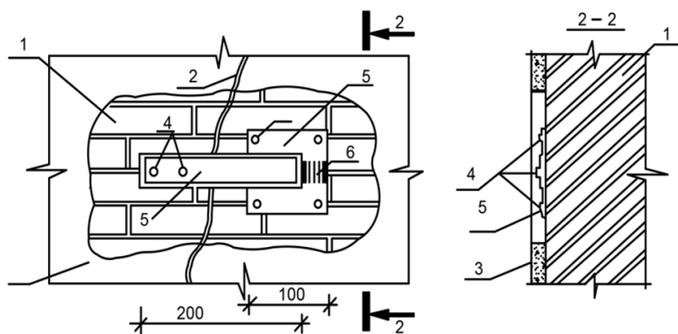


Рис. 32. Металлический маяк: 1 – конструкция с развивающейся трещиной; 2 – трещина; 3 – штукатурка; 4 – гвозди; 5 – металлический маяк (из кровельной стали); 6 – риски через 1 мм

При наблюдениях за развитием трещин по длине концы трещин во время каждого осмотра фиксируются поперечными штрихами, нанесенными краской или острым инструментом на поверхности конструкции. Рядом с каждым штрихом проставляют дату осмотра. Расположение трещин схематично наносят на чертежи общего вида

развертки стен здания, отмечая номера и дату установки маяков. На каждую трещину составляют график ее развития и раскрытия.

Маяк устанавливают на основной материал стены, удалив предварительно с ее поверхности штукатурку. Рекомендуется размещать маяки также в предварительно вырубленных штрабах (особенно при их установке на горизонтальную или наклонную поверхность). В этом случае штрабы заполняются гипсовым или цементно-песчаным раствором. Осмотр маяков производится через неделю после их установления, а затем один раз в месяц. При интенсивном трещинообразовании обязателен ежедневный контроль.

Наиболее простое решение имеет пластинчатый маяк. Он состоит из двух стеклянных или плексигласовых пластинок, имеющих риски и укрепленных на растворе так, чтобы при раскрытии трещины пластинки скользили одна по другой (рис. 33). Края пластинок должны быть параллельны друг другу. После прикрепления пластинок к конструкции отмечают на них номер и дату установки маяка. По замерам расстояния между рисками определяют величину раскрытия трещины.

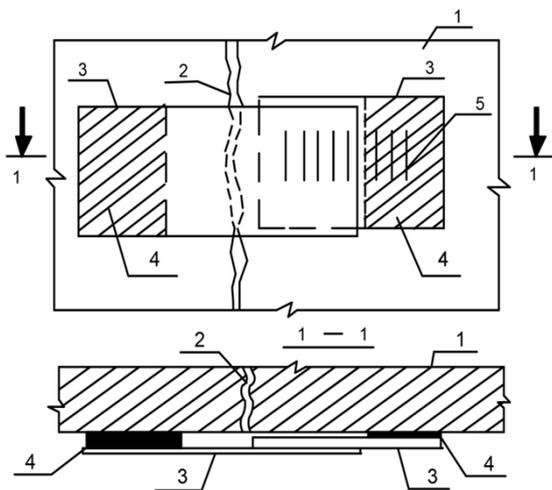


Рис. 33. Маяк из плексигласа или стекла: 1 – строительная конструкция; 2 – трещина; 3 – плексигласовые или стеклянные пластинки, скользящие одна по другой при раскрытии трещины; 4 – оклеечная мастика; 5 – риски на пластинках, по изменению расстояния между которыми определяют величину раскрытия трещин

Маяк конструкции Ф.А. Белякова состоит из двух прямоугольных гипсовых или алебастровых плиток размером 100×60 мм и толщиной 15–20 мм. В каждой из плиток на вертикальной и горизонтальной гранях закреплены пять металлических шпилек с острыми концами, выступающими на 1–2 мм.

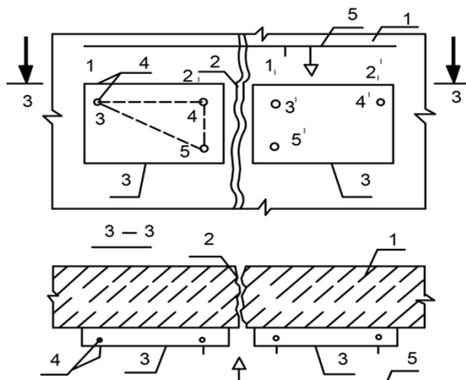


Рис. 34. Маяк конструкции Белякова: 1 – строительная конструкция; 2 – трещина; 3 – прямоугольные гипсовые или алебастровые пластины; 4 – металлические шпильки с острыми концами; 5 – измеритель линейных размеров

Для наблюдения за развитием трещины две такие плитки крепят на гипсовом или алебастровом растворе по обе стороны трещины. Шпильки 1, 2, 1', 2' и 3, 4, 3', 4' должны быть расположены на прямых, параллельных друг другу, а шпильки 5 и 5' должны лежать на перпендикулярах к прямой 3–4. Приращение трещины измеряют по изменению положения шпилек. Для этого к шпилькам периодически прикладывают чистый лист бумаги, наклеенный на фанеру, и после легкого надавливания измеряют расстояния между проколами по поперечному масштабу. Маяк конструкции Белякова позволяет определять взаимное смещение сторон трещин в трех направлениях.

Когда трещина проходит между взаимно перпендикулярными элементами конструкции, то устанавливают угловой маяк (рис. 35).

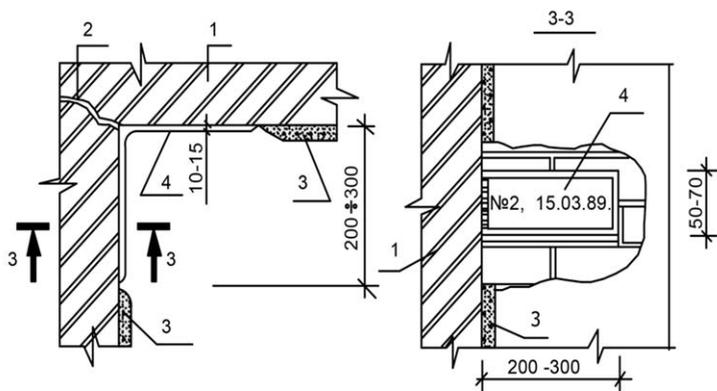


Рис. 35. Угловой гипсовый маяк: 1 – конструкция с трещиной в углу; 2 – трещина; 3 – штукатурка; 4 – гипсовый угловой маяк

Ширину раскрытия трещин рекомендуется определять с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,02 мм, пределом измерения 6,5 мм и микроскопа МИР-2 с пределами измерений от 0,015 до 0,6 мм, а также лупы с масштабным делением (лупы Бринелля) или других приборов и инструментов, обеспечивающих точность измерений не ниже 0,1 мм (рис. 36).

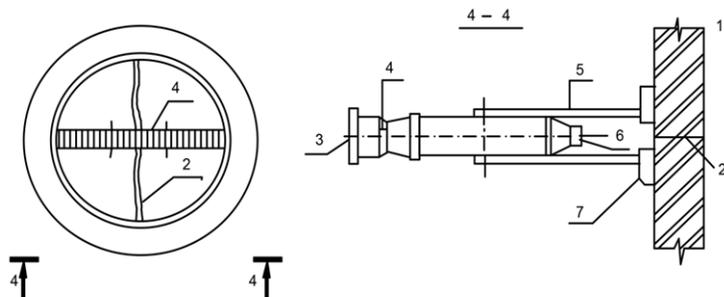


Рис. 36. Отсчетный микроскоп МПБ-2: 1 – строительная конструкция; 2 – трещина; 3 – окуляр; 4 – шкала; 5 – штатив; 6 – лупа; 7 – основание

Глубину трещин устанавливают, применяя иглы и проволочные щупы, а также при помощи ультразвуковых приборов типа УКВ-1М, бетон-3М, УК-10П (рис. 37) и др.

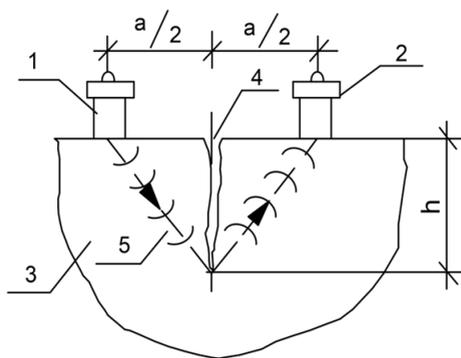


Рис. 37. Ультразвуковой импульсный метод для определения глубины трещин: 1 – излучатель; 2 – приемник; 3 – контролируемое изделие; 4 – трещина; 5 – направление прозвучивания

При применении ультразвукового метода глубина трещины устанавливается по изменению времени прохождения импульсов как при сквозном прозвучивании, так и методом продольного профилирования при условии, что плоскость трещинообразования перпендикулярна линии прозвучивания. Глубина трещины определяется из соотношений:

$$h = \frac{V}{2} \sqrt{t_e - t_a}; \quad (3.3)$$

$$V = \frac{a}{t_a}, \quad (3.4)$$

где h – глубина трещины; V – скорость распространения ультразвука на участке без трещин, мк/с; t_a , t_e – время прохождения ультразвука на участке без трещины и с трещиной, с; a – база измерения для обоих участков, см.

Для наблюдений за трещинами и осадками в стенах применяют стрелочно-рычажное устройство (рис. 38). Оно состоит из деревянной или металлической стрелки длиной 0,7–1 м, шарниров и мерной шкалы. Шарниры, закрепляющие стрелку на стене, расположены по обе стороны от трещины. Длина остальной свободной части стрелки в 10 раз больше расстояния между указанными шарнирными креплениями.

Таким образом, вертикальному смещению одного шарнира относительно другого соответствует в 10 раз большее смещение вверх

или вниз конца стрелки над мерной шкалой (металлической или деревянной рейкой).

В этих условиях величина осадок по обе стороны трещины в 1 мм соответствует смещению конца стрелки на 10 мм. При установке прибора на стене свободный конец стрелки помещается над нулевым делением мерной шкалы.

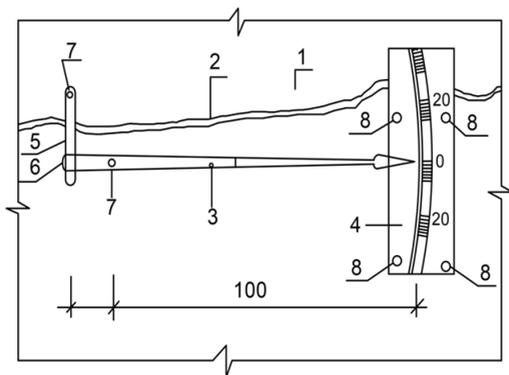


Рис. 38. Стрелочно-рычажный маяк: 1 — строительная конструкция; 2 — трещина в конструкции; 3 — стрелка; 4 — мерная шкала, градуированная через 1 мм; 5 — планка; 6 — шарнирное крепление стрелки к планке; 7 — шарнирное крепление стрелки и планки к конструкции; 8 — крепление мерной шкалы к конструкции с одной стороны от трещины

Ширина раскрытия трещин в процессе наблюдения измеряется также при помощи щелемеров. Используется щелемер, у которого счетным механизмом служит мессура (рис. 39).

Щелемер для длительных наблюдений состоит из двух элементов, каждый из которых представляет собой цилиндр из некорродирующего металла с полушаровой головкой, укрепленной на квадратном фланце из листовой стали (рис. 40). Для закрепления фланца в бетоне к нему приваривается анкерная скоба. Пара таких элементов устанавливаются по обе стороны трещины. Измерение расстояния между ними во время каждого осмотра производится штангенциркулем дважды: в обхват цилиндров и в обхват полушаровых головок с упором ножек штангенциркуля в торцы цилиндров. Однозначность изменений расстояний по обоим измерениям между циклами укажет на отсутствие ошибок при производстве замеров.

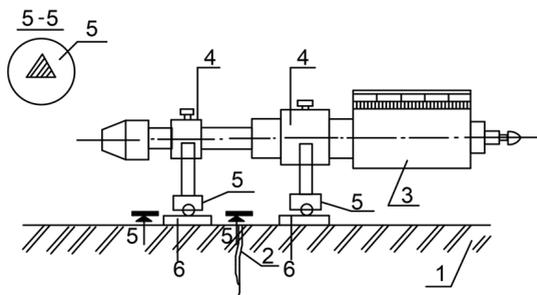


Рис. 39. Наблюдение за развитием трещины с помощью мессуры: 1 – строительная конструкция; 2 – трещина; 3 – индикатор часового типа; 4 – насадки, закрепленные на винтах; 5 – опорная часть насадок с треугольным углублением; 6 – пластинки с шариками, закрепленные на поверхности конструкции

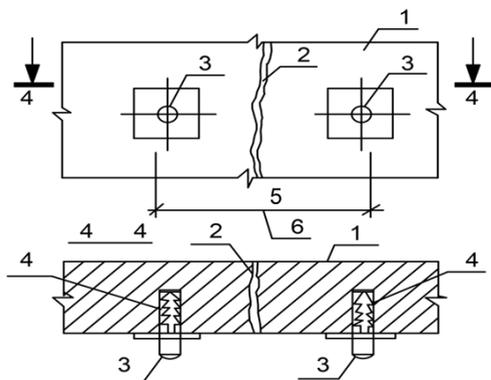


Рис. 40. Трещиномер для длительных наблюдений: 1 – строительная конструкция; 2 – трещина; 3 – марка, представляющая цилиндр из нержавеющей стали с полушаровой головкой, укрепленный на квадратном фланце из листовой стали; 4 – анкер, приваренный к фланцу (служит для крепления марки к конструкции); 5 – расстояние между марками, измеряемое штангенциркулем

В журнале наблюдений за трещинами фиксируются номер и дата установки маяка или щелемера, место и схема их расположения, первоначальная ширина трещины, изменение со временем длины и глубины трещины. По данным измерений строят график хода раскрытия трещин. В случае деформации маяка рядом с ним

устанавливается новый, которому присваивается тот же номер, но с индексом.

Маяки, на которых появились трещины, не удаляют до окончания наблюдений. Если в течение 30 суток изменение размеров трещин не будет зафиксировано, их развитие можно считать законченным, маяки можно снять и трещины заделать.

3.4. Выявление и регистрация осадок эксплуатируемых зданий и сооружений

Наблюдения за осадками здания должны производиться с момента начала строительства и отражаться в акте при сдаче его в эксплуатацию. В процессе эксплуатации эти данные проверяются выборочными контрольными измерениями.

В случае отсутствия или недостаточности указанной документации и выявленных при осмотре признаков осадок и смещений для их уточнения должна быть организована геодезическая съемка.

Надежным признаком, позволяющим судить о наличии неравномерных осадок, является развитие легко отличаемых по их характеру осадочных трещин в зданиях и сооружениях. Примеры здания с осадкой в середине и осадок краев здания приведены на рис. 41.

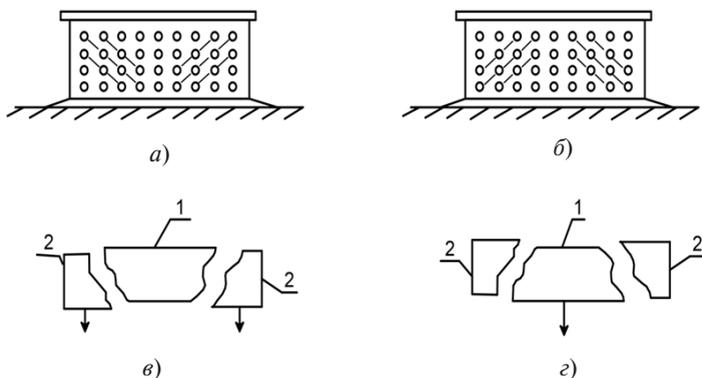


Рис. 41. Формализованные схемы возможных осадок зданий:
а – при преимущественных осадках краев здания; *в* – при осадках средней части здания; *б*, *г* – упрощенные схемы перемещений; *1* – середина здания; *2* – края здания

При установлении наличия осадок и смещений необходимо выявить причины их возникновения и решить вопрос о требуемых профилактических мерах, например усилении фундаментов и т. д.

Для выполнения работ по нивелированию на строительной площадке в стороне от здания устанавливают репер, который располагают в местах, обеспечивающих неизменность отметки репера в течение всего срока наблюдений (т. е. до прекращения нарастания осадок). Если существует опасность просадок грунта основания, то репер устанавливают на весь срок эксплуатации здания.

На самом объекте устанавливаются марки, т. е. геодезические знаки, меняющие свое положение по высоте вместе с сооружением при его осадках (рис. 42).

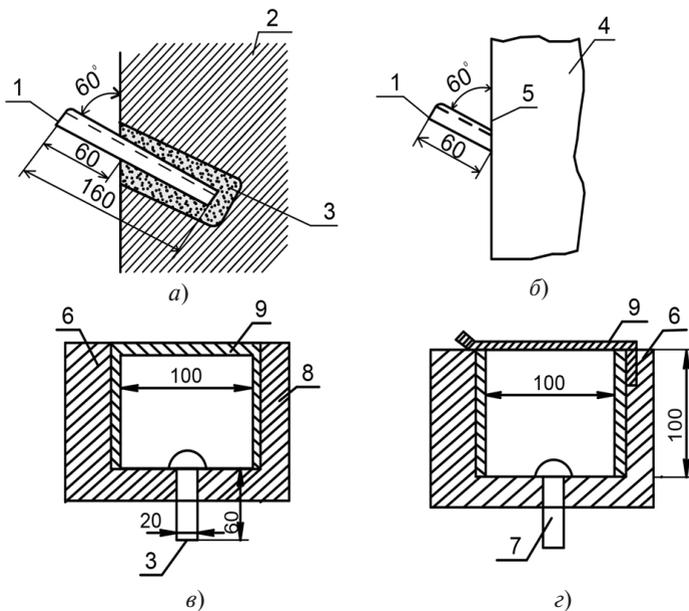


Рис. 42. Нивелирные марки стенные (*а* и *б*) и в фундаментных плитах (*в* и *г*): *а* — в каменных стенах; *б* — на стальных колоннах; *в* — с ввинчивающейся крышкой; *г* — с откидной крышкой; *1* — уголок; *2* — стена из кирпича; *3* — цементный раствор; *4* — металлическая колонна; *5* — место сварки; *6* — бетон плиты; *7* — марка; *8* — защитный короб; *9* — крышка

В промышленном и гражданском строительстве применяются марки стенные и плитные. Эффективной проверкой данных нивелировки является проведение повторных съемок сооружения.

Наблюдения за деформациями зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, проводят в случаях появления трещин, раскрытия швов, перемещения и наклона строительных конструкций, а также резкого изменения условий эксплуатации. Цель наблюдения за деформациями состоит в том, чтобы установить, стабилизировались или продолжают развиваться осадки здания и изменения в конструкциях.

Если в процессе наблюдения не были выявлены основные и наиболее вероятные причины деформаций, то наблюдения продолжают вести длительное время (до года).

Для измерений деформаций, осадок, кренов, сдвигов зданий, сооружений и их конструкций применяют методы инженерной геодезии. Измерения производятся специализированными организациями в соответствии с рекомендациями «Руководства по наблюдениям за деформациями зданий и сооружений» (НИИОСП им. Герсеванова, М. : Стройиздат, 1975).

Выводы по главе

1. В процессе загрузки конструкции нагрузкой в зависимости от напряженного состояния измеряются деформации: прогибы в пролете и консолях, выгибы стоек, колонн, сжатых элементов ферм; углы поворотов сечений элементов конструкций и углы закручивания отдельных сечений по отношению к какому-либо другому сечению – при действии крутящих моментов; продольные и поперечные деформации волокон (фибр) при сжатии или растяжении; относительные перемещения волокон при сдвиге.

2. Наблюдения за осадками здания должны производиться с момента начала строительства и отражаться в акте при сдаче его в эксплуатацию. В процессе эксплуатации эти данные проверяются выборочными контрольными измерениями. В случае отсутствия или недостаточности указанной документации и выявленных при

осмотре признаков осадок и смещений для их уточнения должна быть организована геодезическая съемка.

3. При обследовании строительных конструкций наиболее ответственным этапом является выявление трещин и причин их возникновения, а также динамики развития. В журнале наблюдений за трещинами фиксируются номер и дата установки маяка или щелемера, место и схема их расположения, первоначальная ширина трещины, изменение со временем длины и глубины трещины. По данным измерений строят график хода раскрытия трещин. В случае деформации маяка рядом с ним устанавливается новый, которому присваивается тот же номер, но с индексом.

4. Прогибомеры позволяют определять линейные перемещения конструкций дистанционно. Связь между прибором и конструкцией осуществляется через стальную мягкую проволоку диаметром 0,25–0,4 мм, которая одним концом закрепляется на конструкции, на другой конец подвешивается уравнивающий груз массой 1–3 кг. Проволока одним оборотом накидывается на вращающийся ролик прогибомера. Прогибомер, как правило, устанавливается на независимой от стенда опоре.

Контрольные вопросы

1. Какие виды деформации возникают в конструкциях при испытаниях?
2. Какие деформации возникают при осевом сжатии?
3. Какие деформации возникают при изгибе?
4. Какие приборы заводского изготовления используются при измерении деформаций?
5. Какие простейшие устройства для измерения деформаций применяются при испытаниях в полевых условиях?
6. Какие схемы установки прогибомеров используются при испытаниях?
7. Каков принцип действия прогибомера системы Максимова?
8. Каков принцип действия прогибомера Аистова?
9. Каков принцип действия индикатора часового типа?

10. Какие существуют методы и средства измерения деформаций материалов конструкций?
11. В чем заключается принципиальная схема механических тензометров?
12. Какие существуют принципиальные схемы установки тензометров на конструкции?
13. Каков принцип работы тензометрических тензометров?
14. Какова основная характеристика тензометрических тензометров?
15. Какие приборы и устройства применяются при контроле за раскрытием трещин?
16. Каков принцип работы простейших маяков?
17. Какое правило необходимо соблюдать при установке маяков?
18. Каковы особенности измерения трещин при длительном наблюдении за их развитием?
19. Какие схемы трещин образуются на фасадах при осадках зданий?
20. Какие существуют методы и средства наблюдения за осадками зданий?

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Диагностика каменных конструкций

Обследование каменных, в том числе кирпичных, конструкций производится с целью определения их состояния и соответствия эксплуатационным качествам.

В состав работ по обследованию каменных конструкций входят следующие работы:

- оценка технического состояния по внешним признакам;
- инструментальное определение прочности каменных конструкций.

4.1.1. Определение технического состояния по внешним признакам

При диагностике каменных кладок устанавливается конструкция и материал стен, отмечается вид кирпича (красный, силикатный, пустотелый и т. п.), вид раствора (цементный, сложный, известковый и т. п.), а также наличие и характер деформаций (трещин, отклонений от вертикали, расслоений и др.).

Для определения конструкции и характеристик материалов стен проводят выборочное контрольное зондирование кладки. При зондировании отбирают пробы материалов из различных слоев конструкции для определения влажности и объемной массы. Стены в местах исследования должны быть очищены от облицовки и штукатурки на площади, достаточной для установления типа кладки, размера и качества кирпича.

Фактическая толщина горизонтальных швов кладки устанавливается замером высоты 5–10 рядов кладки и соответствующим подсчетом средних значений.

Обследованию и замеру подлежат все видимые на глаз трещины, включая волосяные, как по ширине, глубине, так и по длине и расположению их на поверхности столбов и стен.

При обследовании армированных каменных конструкций особое внимание уделяется определению наличия и состоянию арма-

туры, защитного слоя. Производится оценка степени и вида коррозии арматуры.

При комплексном обследовании технического состояния здания или сооружения, в случае если прочность стен является решающей при определении возможности дополнительной нагрузки, прочность материалов кладки камня и раствора устанавливают лабораторными испытаниями отобранных образцов на прессе при пропорциональном увеличении нагрузки до разрушения.

По внешним признакам определяется техническое состояние каменных конструкций, характеризующих степень их износа (прил. А, табл. А1).

4.1.2. Определение прочностных характеристик каменных материалов

Прочность кирпича и раствора в простенках и сплошных участках стен в наиболее нагруженных сухих местах допускается оценивать с помощью методов неразрушающего контроля. Места с пластинчатой деструкцией кирпича для испытания непригодны.

При разрушающих методах физико-механические свойства каменных материалов (прочность, плотность, влажность и т. п.) стен и фундаментов определяют испытанием образцов и проб, взятых непосредственно из тела обследуемой конструкции или близлежащих участков, если имеются доказательства идентичности применяемых на этих участках материалов.

Отбор кирпича, камней и раствора из стен и фундаментов производят из ненесущих (под окнами, в проемах) или слабонагруженных элементов или конструкций, подлежащих разборке и демонтажу. Для оценки прочности отбирают целые, неповрежденные кирпичи или камни правильной формы. Для определения прочности природных камней неправильной формы (бута) из фрагментов камней выпиливают кубики с размером ребер 40–200 мм или высверливают цилиндры (керны) диаметром 40–150 мм и длиной, превышающей диаметр на 10–20 мм.

Прочностные характеристики каменных материалов определяются в соответствии с ГОСТ 8462–85 «Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе». По данной

методике определяют пределы прочности при сжатии керамического, силикатного кирпичей и камней, стеновых бетонных камней и камней из горных пород, стеновых блоков из природного камня, а также пределы прочности при изгибе керамического и силикатного кирпичей. Образцы, отобранные во влажном состоянии, перед испытанием выдерживают не менее трех суток в закрытом помещении при температуре 20 °С или подсушивают в течение четырех часов при температуре 105 °С.

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах, состоящих из двух целых кирпичей или из двух его половинок, а предел прочности при сжатии камней правильной формы, в том числе бетонных – на целом камне. Кирпич делят на половинки распиливанием или раскалыванием. Допускается определять предел прочности при сжатии на половинках кирпича, полученных после испытания его на изгиб. Кирпичи или его половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны.

Образцы из керамического кирпича и камня пластического формования изготавливают, соединяя части образца и выравнивая их опорные поверхности цементным раствором. Образцы из силикатного кирпича, камня и керамического кирпича полусухого прессования испытывают насухо, не производя выравнивания их поверхностей цементным раствором. Допускается при определении предела прочности при сжатии керамического кирпича и камней пластического формования изготавливать образцы, выравнивая их опорные поверхности шлифованием, гипсовым раствором или применяя прокладки из технического войлока, резиноканевых пластин, картона и других материалов.

Перед испытанием измеряются линейные размеры образцов с точностью до 1 мм. На боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса (рис. 43, а).

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20–60 с после начала испытания. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{A},$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н; A – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, мм².

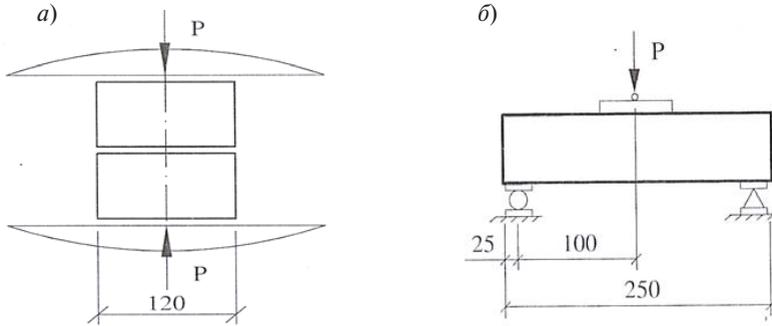


Рис. 43. Схемы испытания кирпичей:
а – на сжатие; б – на изгиб

При вычислении предела прочности при сжатии образцов из двух целых кирпичей толщиной 88 мм или из двух их половинок результаты испытаний умножают на коэффициент 1,2. При вычислении пределов прочности при сжатии образцов-кубов и образцов-цилиндров из природного камня результаты испытаний умножают на коэффициент, указанный в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты к определению прочности бетона по испытаниям стандартных образцов

Размер ребра куба или диаметра d , высоты h цилиндра ($d = h$), мм	Коэффициент	
	для кубов	для цилиндров
200	1,05	–
150	1,00	1,05
100	0,95	1,02
70	0,85	0,91
От 40 до 50	0,75	0,81

При испытании на изгиб образец устанавливают на двух опорах пресса (рис. 43, б). Нагрузку P прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца. Нагрузка должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20–60 с после испытаний. Предел прочности образца при изгибе $R_{\text{изг}}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2},$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н; l – расстояние между осями опор, мм; b – ширина образца, мм; h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, мм.

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,05 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний.

4.1.3. Определение прочности раствора в каменной кладке

Прочность раствора определяют путем испытания на сжатие кубов с ребрами 2–4 см, изготовленных из двух пластинок, взятых из горизонтальных швов кладки или стыков крупнопанельных конструкций (ГОСТ 5802).

Пластинки изготавливают в виде квадрата, сторона которого в 1,5 раза должна превышать толщину пластинки, равную толщине шва. Склеивание пластинок раствора для получения кубов с ребрами 2–4 см и выравнивание их поверхностей производят при помощи тонкого слоя гипсового теста (1–2 мм). Допускается выпиливать образцы-кубы из пластин в том случае, когда толщина пластины обеспечивает получение необходимого размера ребра. Образцы следует испытывать через сутки после их изготовления.

Предел прочности раствора на сжатие R вычисляют для каждого образца по формуле

$$R = \frac{P}{A},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; A – рабочая площадь сечения образца, мм² (рабочую площадь сечения образцов определяют

по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней).

Для определения прочности раствора в кубах с ребрами меньше 7,07 см следует результаты испытаний кубов летних и зимних растворов, отвердевших после оттаивания, умножить на коэффициент, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты к определению прочности раствора

Вид раствора	Размер ребра куба, см		
	2	3	4
	Коэффициент		
Летние растворы	0,56	0,68	0,8
Зимние растворы, отвердевшие после оттаивания	0,46	0,65	0,75

Расчетные сопротивления каменной кладки принимают по СНиП II-22 в зависимости от вида и прочности камня, а также прочности раствора, определенных в результате испытаний образцов, отобранных из конструкций и испытанных разрушающими методами в соответствии с действующими нормативами.

4.2. Диагностика бетонных и железобетонных конструкций по результатам обследования эксплуатируемых зданий

Основными задачами обследования несущих железобетонных конструкций являются определение состояния конструкций с выявлением повреждений и причин их возникновения, а также физико-механических характеристик бетона.

Натурные обследования бетонных и железобетонных конструкций включают в себя следующие виды работ:

- осмотр и определение технического состояния конструкций по внешним признакам;
- инструментальное или лабораторное определение прочности бетона и арматуры;
- определение степени коррозии бетона и арматуры.

4.2.1. Определение технического состояния по внешним признакам

Оценку технического состояния бетонных и железобетонных конструкций по внешним признакам проводят на основе визуального обследования для определения необходимости в проведении детального инструментального обследования.

При визуальном обследовании выявляют и фиксируют видимые дефекты и повреждения, производят контрольные обмеры, делают описания, зарисовки, фотографии дефектных участков, составляют схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера. Устанавливают наличие аварийного состояния железобетонных конструкций и разрабатывают мероприятия по устранению недопустимой ситуации.

На основании результатов визуального обследования производится классификация дефектов и повреждений, устанавливаются причины их возникновения и возможные последствия.

Признаками аварийного состояния является наличие хотя бы одного повреждения, свидетельствующего о возможности обрушения конструкций. В этом случае производится немедленная разгрузка конструкций, устройство временных креплений (стоек, подпорок, накладок и др.) и ограничивается доступ людей на аварийный участок. После чего принимается решение об усилении либо замене конструкции. Причиной аварийного состояния конструкций, как правило, являются: нагрузки, превышающие расчетные значения (перегрузка); воздействия, не предусмотренные при проектировании; коррозия арматуры и уменьшение ее диаметра; снижение прочности бетона в сжатой зоне конструкции под воздействием агрессивной среды.

При перегрузках характерными повреждениями являются:

- прогибы конструкции, превышающие предельно допустимые величины;
- нормальные трещины в изгибаемых конструкциях и в растянутых элементах; наклонные трещины со смещением участков бетона относительно друг друга и наклонные трещины, пересекающие арматуру;

- выпучивание сжатой арматуры, продольные трещины в сжатой зоне, шелушение бетона сжатой зоны;
- трещины вдоль арматурных стержней и отслоение защитного слоя бетона в результате раскалывающего воздействия продуктов коррозии арматуры на бетон.

При определении геометрических параметров конструкций и их сечений фиксируются все отклонения от проектного положения.

Степень раскрытия трещин сопоставляется с нормативными требованиями по предельным состояниям второй группы.

Определение и оценку лакокрасочных покрытий железобетонных конструкций следует производить по методике, изложенной в ГОСТ 6992–68. При этом фиксируются следующие основные виды повреждений: растрескивания и отслоения, которые характеризуются глубиной разрушения верхнего слоя (до грунтовки), пузыри и коррозионные очаги, характеризующиеся размером очага (диаметром) в мм. Площадь отдельных видов повреждений покрытия выражают ориентировочно в процентах по отношению ко всей окрашенной поверхности.

При наличии увлажненных участков и поверхностных высолов на бетоне конструкций определяют величину этих участков и причину их появления.

Результаты визуального осмотра железобетонных конструкций фиксируют в виде карт дефектов, нанесенных на схематические планы или разрезы здания, или составляют таблицы дефектов с рекомендациями по классификации дефектов и повреждений с оценкой категории состояния конструкций.

Внешние признаки, характеризующие состояние железобетонных конструкций по четырем категориям, приводятся в таблице (прил. А, табл. А2).

4.2.2. Определение степени коррозии бетона и арматуры

Для определения степени коррозионного разрушения бетона (степени карбонизации, состава новообразований, структурных нарушений бетона) используются физико-химические методы.

Исследование химического состава новообразований, возникших в бетоне под действием агрессивной среды, производится

с помощью дифференциально-термического и рентгеноструктурного методов, выполняемых в лабораторных условиях на образцах, отобранных из эксплуатируемых конструкций.

Изучение структурных изменений бетона производится с помощью ручной лупы. Такой осмотр позволяет изучить поверхность образца, выявить наличие крупных пор, трещин и других дефектов.

С помощью микроскопического метода выявляют взаимное расположение и характер сцепления цементного камня и зерен заполнителя; состояние контакта между бетоном и арматурой; форму, размер и количество пор; размер и направление трещин.

Определение глубины карбонизации бетона производят по изменению величины водородного показателя рН.

В случае если бетон сухой, смачивают поверхность скола чистой водой, которой должно быть столько, чтобы на поверхности бетона не образовалась видимая пленка влаги. Избыток воды удаляют чистой фильтровальной бумагой. Влажный и воздушно-сухой бетон увлажнения не требует.

На скол бетона с помощью капельницы или пипетки наносят 0,1%-й раствор фенолфталеина в этиловом спирте. При изменении рН от 8,3 до 10 окраска индикатора изменяется от бесцветной до ярко-малиновой. Свежий излом образца бетона в карбонизированной зоне после нанесения на него раствора фенолфталеина имеет серый цвет, а в некарбонизированной зоне приобретает ярко-малиновую окраску.

Для определения глубины карбонизации бетона примерно через минуту после нанесения индикатора измеряют линейкой с точностью до 0,5 мм расстояние от поверхности образца до границы ярко окрашенной зоны в направлении, нормальном к поверхности. В бетонах с равномерной структурой пор граница ярко окрашенной зоны расположена обычно параллельно наружной поверхности.

В бетонах с неравномерной структурой пор граница карбонизации может быть извилистой. В этом случае необходимо измерять максимальную и среднюю глубину карбонизации бетона.

Факторы, влияющие на развитие коррозии бетонных и железобетонных конструкций, делятся на две группы: связанные со свойствами внешней среды (атмосферных и грунтовых вод, производ-

ственной среды и т. п.) и обусловленные свойствами материалов (цемента, заполнителей, воды и т. п.) конструкций.

Оценивая опасность коррозии бетонных и железобетонных конструкций, необходимо знать характеристики бетона: его плотность, пористость, количество пустот и др. При обследовании технического состояния конструкций эти характеристики должны находиться в центре внимания обследователя.

Коррозия арматуры в бетоне обусловлена потерей защитных свойств бетона и доступом к ней влаги, кислорода или кислотообразующих газов.

Коррозия арматуры в бетоне возникает при уменьшении щелочности окружающего арматуру электролита до pH, равного или меньше 12, при карбонизации или коррозии бетона, т. е. коррозия арматуры в бетоне является электрохимическим процессом.

При оценке технического состояния арматуры и закладных деталей, пораженных коррозией, прежде всего необходимо установить вид коррозии и участки поражения. После определения вида коррозии необходимо установить источники воздействия и причины коррозии арматуры.

Толщина продуктов коррозии определяется микрометром или с помощью приборов, которыми измеряют толщину немагнитных противокоррозионных покрытий на стали (например ИТП-1 и др.).

Для арматуры периодического профиля следует отмечать остаточную выраженность рифов после зачистки.

В местах, где продукты коррозии стали хорошо сохраняются, можно по их толщине ориентировочно судить о глубине коррозии по соотношению

$$\delta_k \approx 0,6\delta_{\text{пк}},$$

где δ_k — средняя глубина сплошной равномерной коррозии стали; $\delta_{\text{пк}}$ — толщина продуктов коррозии.

Выявление состояния арматуры элементов железобетонных конструкций производится путем удаления защитного слоя бетона с обнажением рабочей и монтажной арматуры.

Обнажение арматуры производится в местах наибольшего ее ослабления коррозией, которые выявляются по отслоению защитного

слоя бетона и образованию трещин и пятен ржавой окраски, расположенных вдоль стержней арматуры.

Диаметр арматуры измеряется штангенциркулем или микрометром. В местах, где арматура подвергалась интенсивной коррозии, вызвавшей отпадание защитного слоя, производится тщательная зачистка ее от ржавчины до появления металлического блеска.

Степень коррозии арматуры оценивается по следующим признакам: характеру коррозии, цвету, плотности продуктов коррозии, площади пораженной поверхности, площади поперечного сечения арматуры, глубине коррозионных поражений.

При сплошной равномерной коррозии глубину коррозионных поражений определяют измерением толщины слоя ржавчины, при язвенной — измерением глубины отдельных язв. В первом случае острым ножом отделяют пленку ржавчины и толщину ее измеряют штангенциркулем. При язвенной коррозии рекомендуется вырезать куски арматуры, ржавчину удалить травлением (погружая арматуру в 10%-й раствор соляной кислоты, содержащий 1 % ингибитора — уротропина) с последующей промывкой водой.

Затем арматуру необходимо погрузить на 5 мин в насыщенный раствор нитрата натрия, вынуть и протереть. Глубину язв измеряют индикатором с иглой, укрепленной на штативе. Глубину коррозии определяют по показанию стрелки индикатора как разность показания у края и дна коррозионной язвы.

При выявлении участков конструкций с повышенным коррозионным износом, связанным с местным (сосредоточенным) воздействием агрессивных факторов, рекомендуется в первую очередь обращать внимание на следующие элементы и узлы конструкций:

- опорные узлы стропильных и подстропильных ферм, вблизи которых расположены водоприемные воронки внутреннего водостока;
- верхние пояса ферм в узлах присоединения к ним светоаэрационных фонарей, стоек различных щитов;
- верхние пояса подстропильных ферм, вдоль которых расположены ендовы кровель;
- опорные узлы ферм, находящиеся внутри кирпичных стен;
- верхние части колонн, находящиеся внутри кирпичных стен.

4.2.3. Оценка технического состояния железобетонных конструкций по деформациям, характеру образования и раскрытия силовых трещин

Для элементов эксплуатируемых изгибаемых конструкций (рис. 44) нормативными документами устанавливаются значения предельно допустимых прогибов f_k , величина которых обусловлена эстетико-психологическими или конструктивными требованиями.

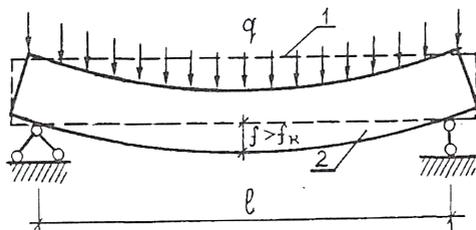


Рис. 44. Прогиб конструкции с опиранием по двум сторонам под нагрузкой: 1 – состояние конструкции до приложения нагрузки; 2 – состояние конструкции после приложения нагрузки

Если прогиб конструкции f превышает предельно допустимый прогиб f_k (табл. 3), то конструкция не отвечает требованиям нормальной эксплуатации (II группе предельных состояний) и требует усиления или замены (цифры, указанные в таблице в скобках, следует принимать при высоте помещений до 6 м включительно).

Таблица 3

Значения предельных прогибов

Позиция	Элементы конструкции	Предельные прогибы конструкции, f_k
1	Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы (включая поперечные ребра плит и настилов), покрытия и перекрытия, открытые для обзора, при пролетах, м: $l \leq 1$ $l = 3$ $l = 6$ $l = 24$ (12) $l \geq 36$ (24)	$l/120$ $l/150$ $l/200$ $l/250$ $l/300$
2	Перемычки и навесные стеновые панели над оконными и дверными проемами (ригели и прогоны остекления)	$l/200$

Если ширина раскрытия нормальных трещин больше предельно допустимых величин (α_{cre1} — непродолжительное раскрытие трещин, α_{cre2} — продолжительное раскрытие трещин), но меньше 1,5 мм, то конструкция требует усиления, поскольку данные трещины ухудшают эксплуатационные свойства, способствуют физическому износу, снижают долговечность.

4.3. Оценка качества железобетонных конструкций по результатам испытаний

Партия изделий признается годной, если результаты испытаний отобранных конструкций удовлетворяют всем требованиям по прочности, жесткости и трещиностойкости при контрольных нагрузках.

Контрольная нагрузка создает в контролируемом сечении напряжения (усилия), равные напряжениям (усилиям), принятым при расчете конструкции согласно нормам. Величины контрольных нагрузок по проверке прочности, жесткости и трещиностойкости, а также значения контрольных прогибов и ширина раскрытия трещин устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 8829—94, а также указываются в технических условиях или рабочих чертежах на данный вид конструкции.

4.3.1. Контрольная нагрузка по прочности

Контрольная нагрузка по прочности назначается исходя из предполагаемого характера разрушения конструкции, а также в зависимости от вида бетона и напряженно-деформированного состояния конструкции в процессе эксплуатации. Численное значение контрольной нагрузки по прочности определяется таким образом, чтобы усилия, возникающие в контролируемом сечении от ее воздействия, превышали соответствующие усилия от расчетной нагрузки в S раз. Значения коэффициента безопасности S приведены в табл. 4, 5.

Таблица 4

Значение коэффициента безопасности в зависимости
от класса арматуры

Класс арматуры	Коэффициент C
A240, A300	1,25
A400, A540 с контролем удлинений и напряжений, B500	1,30
A600, A800, A540 с контролем только удлинений	1,35
A1000, Bp1200, Bp1500, K1500, K1400	1,40

Таблица 5

Значение коэффициента безопасности в зависимости
от вида бетона

Вид бетона	Коэффициент C
Тяжелый, легкий мелкозернистый, силикатный	1,60
Ячеистый	1,90

Для наиболее распространенных видов бетона (тяжелого и легкого) значение коэффициента C колеблется в пределах 1,4÷1,6. Нижнее значение коэффициента C принимается для случаев, когда разрушению конструкции предшествует развитие чрезмерных деформаций, развитие трещин со стороны растянутой зоны.

В эксплуатационных условиях такой вид разрушения можно своевременно предотвратить, поскольку он обнаруживается визуально невооруженным глазом. В случаях, когда разрушение конструкции происходит мгновенно (от раздробления бетона сжатой зоны, от разрушения по кривой трещине в опорной зоне, от потери устойчивости гибкого элемента), необходимо создание более высоких запасов прочности. Поэтому в таких случаях принимается большее значение коэффициента C .

Значения разрушающей нагрузки и коэффициента C для отдельных марок плит перекрытий пустотного настила представлены в табл. 6.

Значения нагрузок при проверке прочности конструкций

Марка плиты	Виды разрушения и величина коэффициента C	Величина разрушающей нагрузки, $q = \text{кН/м}^2$		
		при которой плиты признаются годными		при которой требуется повторное испытание
ПК60.15-8A _т V	1,40	15,97	12,87	<15,97, но $\geq 13,57$
	1,60	18,26	15,16	<18,26, но $\geq 15,52$
ПК72.12-8A _т V	1,40	12,87	9,97	<12,87, но $\geq 10,94$
	1,60	14,70	11,80	<14,70, но $\geq 12,50$

Для силикатных и ячеистых бетонов значение коэффициента C выше, чем для тяжелого и легкого. Это объясняется неизученностью свойств этих бетонов и их недостаточной плотностью, что приводит к большей коррозии бетона и арматуры.

Контрольная нагрузка по прочности является критерием качества конструкции по первому предельному состоянию. В том случае, если обрушение конструкции происходит при нагрузке ниже контрольной по прочности, сама конструкция и технология ее изготовления не могут быть признаны удовлетворительными; изделия бракуются или проводятся повторные испытания.

4.3.2. Контрольные нагрузки по жесткости и трещиностойкости

Контрольная нагрузка по жесткости. Контрольная нагрузка по жесткости должна при испытаниях создать усилия в контролируемом сечении, возникающие при действии нормативной нагрузки. Величина полной контрольной нагрузки по проверке жесткости (включающей собственный вес конструкции) принимается равной нормативной нагрузке, при которой вычислены прогибы конструкции в соответствии с действующими нормами.

Таблица 7

Контрольные прогибы при проверке жесткости конструкций

Марка плиты	Контрольная нагрузка, кН/м ²			$f_{пл}/f_{пр}$, %		Прогиб от полной контрольной нагрузки $f_{кз}$, мм			Прогиб f измеренный (см. ГОСТ 8829–94), мм					
	14	28	100	28	100	14	28	100	при котором плиты признаются годными		при котором требуется повторное испытание			
Сутки									14	28	100	14	28	100
ПК60.16-8А _т V	5,28	5,5	5,5		96	11,22	10,77	10,77	$\leq 12,39$	$\leq 11,85$	$\leq 11,85$	$> 12,34$ НО $\leq 12,90$	$> 11,85$ НО $\leq 12,39$	$> 11,85$ НО $\leq 12,39$

Прогиб конструкции под контрольной нагрузкой по жесткости является критерием качества конструкции по деформативности (II группа предельных состояний) и носит название контрольного прогиба. Величина контрольного прогиба принимается равной прогибу, вычисленному от кратковременного действия суммарной контрольной нагрузки.

Значения контрольной нагрузки и контрольного прогиба на 14, 28, 100-й день испытания обычно приводятся в рабочем проекте. Контрольный прогиб предварительно напряженных изделий f_k следует определять по формуле

$$f_k = f_1 + f_2,$$

где f_1 – полный прогиб изделия от действия контрольной нагрузки (дополнительно прикладываемой) и от усилия предварительного обжатия; f_2 – выгиб (принимается со знаком «плюс») или прогиб (принимается со знаком «минус») от собственной массы и от усилия предварительного обжатия.

Значения контрольных нагрузок и прогибов для отдельных плит пустотного настила представлены в табл. 7.

Контрольная нагрузка по трещиностойкости. Контрольную нагрузку по образованию трещин следует определять умножением на коэффициент безопасности C значения нагрузки, при которой согласно расчету образуется трещина. При этом для изделий, к которым предъявляются требования 1-й категории трещиностойкости, коэффициент безопасности C принимается равным 1,4 для изделий из ячеистого бетона и 1,3 для изделий из других видов бетонов.

Контрольную нагрузку по ширине раскрытия трещин для конструкций, отвечающих требованиям второй и третьей категорий трещиностойкости, следует определять как наиболее невыгодное сочетание нормативных нагрузок, при этом все нагрузки принимаются действующими кратковременно.

Величины контрольной нагрузки и ширина раскрытия трещин в зависимости от срока испытаний для отдельных плит пустотного настила представлены в табл. 8.

Таблица 8

Контрольные нагрузки при проверке трещиностойкости

Марка плиты	Срок испытания плит после их изготовления в сутках			Контрольная ширина раскрытия трещин a_n , мм
	14	28	100	
	Контрольная нагрузка, кН/м ²			
ПК60.15-8AtV	6,44	6,70	6,70	0,20
ПК72.12-6AtV	4,83	5,00	5,00	0,20

Контрольную ширину раскрытия трещин следует определять умножением ширины раскрытия трещин, полученной расчетом при действии контрольной нагрузки, на коэффициент безопасности $C = 0,7$. В изгибаемых изделиях с принятой в проектной документации толщиной защитного слоя бетона до продольной рабочей арматуры a_p , превышающей значение a_n , равное 25 мм, контрольную ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси конструкции, допускается увеличивать путем деления значения ширины раскрытия трещин, полученного по ранее указанному правилу, на коэффициент q , определяемый по табл. 9.

Таблица 9

Значения поправочных коэффициентов

a_n/a_p	0,8	0,6	0,5 и менее
q	0,95	0,85	0,75

Примечание: a_n — значение толщины защитного слоя бетона, принимаемое равным 0,25 мм; a_p — проектное значение толщины защитного слоя бетона, мм.

Для конструкций без предварительного напряжения величины контрольных нагрузок при испытаниях по проверке жесткости и трещиностойкости не зависят от времени испытаний.

4.3.3. Методика проведения контрольных испытаний

В процессе испытаний контролируются показатели, которые являются необходимыми для оценки прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций. К этим требованиям относятся:

- величина нагрузки и соответствующий прогиб, при котором появляются нормальные и наклонные трещины в бетоне;
- величина прогиба и ширина раскрытия трещин при достижении контрольных значений нагрузок;
- значение нагрузки и соответствующий прогиб при разрушении, характер разрушения изделий.

Значения нагрузок в процессе испытаний регистрируются либо по показаниям приборов (динамометров, манометров на гидравлических домкратах) и приспособлений, установленных на испытательном оборудовании, либо по массе штучных грузов, используемых для нагружения (прил. Б, рис. Б1, Б2, Б3).

При нагружении изделий штучными грузами должны соблюдаться следующие правила:

- для балочных изделий длина грузов в направлении пролета не должна превышать $1/6$ пролета;
- нагружение следует производить в направлении от середины к опоре, симметрично относительно середины пролета;
- между штучными грузами по всей высоте должны быть зазоры не менее 50 мм.

При нагружении сыпучими материалами, засыпаемыми в ящики без дна, расположенные на испытываемых изгибаемых изделиях, вдоль пролета следует устанавливать не менее двух ящиков, а на изделиях, работающих в двух направлениях, – не менее четырех ящиков. Между ящиками по всей высоте должны быть зазоры не менее $0,1$ пролета испытываемого изделия, но не менее 250 мм.

Нагрузку следует прикладывать поэтапно ступенями (долями), каждая из которых не должна превышать 10 % контрольной нагрузки по прочности и по образованию и ширине раскрытия трещин и 20 % контрольной нагрузки по жесткости. После приложения каждой доли нагрузки испытываемое изделие следует выдерживать под нагрузкой не менее 10 мин. После приложения контрольной нагрузки при контроле жесткости следует выдерживать изделие под этой нагрузкой не менее 30 мин. Изделия, в которых не допускают-

ся трещины в стадии эксплуатации, после приложения контрольной нагрузки по образованию трещин должны выдерживаться под этой нагрузкой в течение 30 мин, после чего следует продолжать поэтапное нагружение. Во время выдержки под нагрузкой следует производить тщательный осмотр поверхности изделий и фиксировать величину нагрузки, появившиеся трещины, результаты измерения прогиба, осадки опор, ширины раскрытия трещин и смещения арматуры относительно бетона на торцах изделия. Контролируемые показатели следует фиксировать в начале и в конце каждой выдержки.

В изгибаемых изделиях ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изделия, следует измерять на уровне нижнего ряда арматуры, а ширину раскрытия трещин, наклонных к продольной оси изделия, — на уровне нижнего ряда продольной арматуры и в местах пересечения наклонными трещинами хомутов, а также отогнутых стержней. Для изучения фиксации момента появления трещин в бетоне поверхности изделия перед испытанием должны быть покрыты жидким раствором мела или известью.

При проверке жесткости изгибаемых изделий, опирающихся по концам, следует измерять прогибы в середине пролета и осадку опор, а изделий, работающих как консоль, — с учетом осадки и поворота опор. Прогиб конструкции следует определять как разность между значением прогиба, измеренного в пролете, и полусуммой значений осадок опор, а для изделия, работающего как консоль, — с учетом осадки и поворота опор. В плоских плитах, опертых по двум сторонам, прогибы следует измерять по середине пролета изделия, принимая за значения прогиба среднее арифметическое этих измерений.

В ребристых плитах должны измеряться значения прогибов каждого продольного ребра в середине пролета, при этом за значение прогиба конструкции принимают среднее арифметическое прогибов продольных ребер. В плитах, опертых по контуру или по четырем углам, прогибы измеряются в центре плиты. В плитах, опертых по трем сторонам, измеряют прогибы середины свободного края.

Смещение (в продольном направлении) концов арматурных стержней относительно бетона на торцах изделия при контрольной нагрузке по прочности следует измерять при испытании предварительно напряженных изделий с самоанкерующейся арматурой без

дополнительных анкеров на торцах изделия. Смещение концов арматуры следует измерять не менее чем на 10 % стержней изделия. Измерения производят индикатором перемещений, прикрепленным на торце испытываемого изделия и упирающимся в арматуру либо закрепленным на стержне и упирающимся в торец изделия. Во время проведения испытаний необходимо принимать меры к обеспечению безопасности работ.

4.3.4. Характер и признаки разрушения конструкций

Качество конструкций оценивается по результатам испытаний, анализа поведения конструкции под нагрузкой. Наиболее важным результатом испытаний является характер разрушения конструкций, от которого зависят назначения контрольной величины коэффициента C . Прочность конструкции оценивается не только по значению нагрузки, вызвавшей физическое разрушение, но и при появлении одного из условных признаков разрушения, которые ГОСТ 8829–94 определяет как условные состояния, свидетельствующие об исчерпании несущей способности конструкции.

Разрушение может носить пластический и хрупкий характер. Пластический характер разрушения связан с текучестью продольной растянутой арматуры и раскрытием трещин в нормальных сечениях шириной 1,5 мм и более. Текучесть можно установить по приборам, измеряющим деформации арматуры, или по прогибу изделия, которые начинают неограниченно увеличиваться без роста нагрузки с тем, чтобы не доводить конструкцию до обрушения. Испытания прекращаются:

- при прогибе конструкции с арматурой классов А240, А300, А400, превышающей $1/50$ длины пролета конструкции, а для консоли – $1/25$ вылета консоли; соответствующая величина нагрузки принимается за разрушающую нагрузку (рис. 45, а);
- достижении конструкции с арматурой классов А600, А800 состояния, характеризуемого достижением прогиба, равного $1/g$ пролета конструкции, а для консоли – $2/g$ вылета консоли, при этом величина g определяется по формуле $g = 80 - 2l/h$, но принимается не менее 30, где l – пролет конструкции, h – высота конструкции (рис. 45, б).

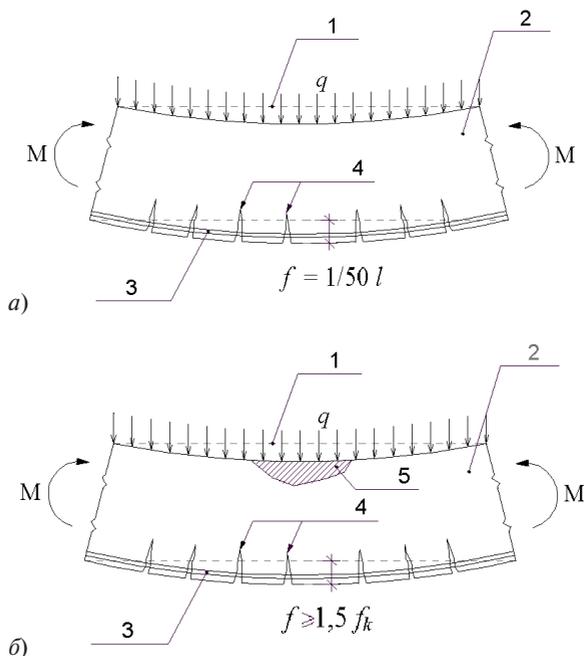


Рис. 45. Характер разрушения конструкций: *a* – пластический характер разрушения; *б* – хрупкий характер разрушения от раздробления бетона сжатой зоны; 1 – состояние конструкции до приложения нагрузки; 2 – состояние конструкции после приложения нагрузки; 3 – рабочая арматура напряжения, в которой достигли предела текучести; 4 – трещины в растянутой зоне; 5 – раздробление бетона сжатой зоны

Хрупкое разрушение характеризуется следующими признаками:

- раздробление бетона от сжатия до достижения в продольной растянутой арматуре предела текучести или одновременно с ним, что в изгибаемых конструкциях и фермах характеризуется прогибом конструкции, менее чем в 1,5 раза превышающим прогиб при контрольной нагрузке по проверке жесткости, или раскрытием трещин на величину 1 мм (рис. 45, б);

- разрыв арматуры;

- разрушение на опоре по косым сечениям, характеризуемое следующими признаками (рис. 46):

а) раскрытие наклонных трещин на величину свыше 1,5 мм;

б) срез сжатой зоны бетона над наклонной трещиной;

в) разрушение бетона от сжатия вдоль косой трещины или в ее конце;

- г) разрушение из-за выдергивания арматуры (проскальзывания у торца на величину $0,1-0,2$ мм) или раскола торцов изгибаемых элементов и ферм, а также разрушение узлов ферм;
- д) потеря устойчивости всей конструкции или одного из ее элементов.

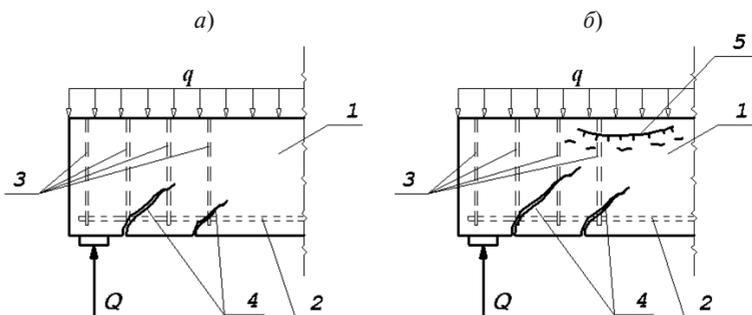


Рис. 46. Хрупкое разрушение на опоре по косым трещинам: *a* – раскрытие наклонных трещин свыше 1,5 мм; *б* – срез бетона над наклонными трещинами; 1 – изгибаемый элемент; 2 – рабочая арматура; 3 – поперечная арматура; 4 – наклонные трещины при обследованиях; 5 – отслоение лешадок в сжатой зоне сечения

Указанные признаки разрушения используются при обследованиях для оценки аварийного технического состояния конструкций.

4.3.5. Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций

Оценка конструкции по прочности производится на основании сравнения значения фактической разрушающей нагрузки, зафиксированной в момент проявления признаков, свидетельствующих об исчерпании несущей способности, с контрольной разрушающей нагрузкой, которая установлена в проектной документации. Фактическую разрушающую нагрузку определяют по текучести арматуры из графика, построенного в координатах «нагрузка – деформации арматуры» (прил. В, рис. В1), или по неограниченному увеличению прогиба, построенного в координатах «нагрузка – прогиб в середине пролета» (прил. В, рис. В2). Изделия удовлетворяют требованиям по прочности, если выполняются следующие условия:

- при испытании одного изделия фактическая разрушающая нагрузка превышает величину контрольной нагрузки по прочности;
- при испытании двух изделий фактическая разрушающая нагрузка составляет не менее 95 %, а при испытании трех изделий и более – не менее 90 % контрольной нагрузки по прочности.

Предварительно напряженные изделия с самоанкерующейся арматурой без дополнительных анкеров удовлетворяют требованиям по прочности, если выполняется следующее дополнительное условие: при испытании одного изделия под нагрузкой, равной контрольной нагрузке, смещение концов арматуры относительно бетона на торцах составляет не более 0,1 мм, а в случае испытания двух и большего количества изделий максимальное смещение составляет 0,2 мм. При невыполнении указанных условий изделие не удовлетворяет условиям прочности.

Оценка жесткости конструкции производится путем сравнения фактического прогиба изделия при загрузке контрольной нагрузкой с контрольным значением прогиба, величина которого представлена в проектной документации в зависимости от возраста конструкции.

Изделия удовлетворяют требованиям второго предельного состояния по жесткости, если выполняются следующие условия:

- при испытании одного изделия фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 10 %;
- при испытании двух изделий максимальный фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 15 %;
- при испытании трех и большего количества изделий – более чем на 20 %.

Если указанные условия не выполняются, проверяемые изделия признают не выдержавшими испытания.

Трещиностойкость испытываемых изделий следует оценивать по нагрузке, при которой образуются первые трещины в бетоне, и по ширине раскрытия трещин. Фактическую нагрузку образования трещин следует сопоставлять со значениями контрольной нагрузки по образованию трещин, а измеренные значения ширины раскрытия трещин – с контрольными величинами раскрытия.

Изделия, к трещиностойкости которых предъявляются требования 1-й категории, признают выдержавшими испытания, если выполняется следующее условие: в случае испытаний одного изделия нагрузка при появлении первой трещины составляет не менее 90 % контрольной, а в случае испытаний трех изделий и более – не менее 85 % контрольной.

Изделия и (или) их части, к трещиностойкости которых предъявляются требования 2-й и 3-й категории, признают годными, если при действии прикладываемой нагрузки выполняется следующее условие: в случае испытаний одного, двух, трех изделий и более максимальная ширина раскрытия трещин не превышает контрольную, умноженную соответственно на коэффициенты 1,05; 1,10; 1,15, и, кроме того, нормируемое значение предельно допустимой ширины непродолжительного раскрытия трещин. При невыполнении указанного условия изделия признают не выдержавшими испытания.

4.3.6. Специфика экспериментального исследования деформированного состояния железобетона

Экспериментальное определение расчетных параметров железобетона в ряде случаев весьма сложно, и для получения их надежных значений требуется не только накопление достаточного опыта исследований, но и разработка специальных методик.

Исследователи часто используют похожие методы и средства проведения испытаний, стремясь к обобщению накопленного опыта. При этом важно расставить акценты на основных особенностях методики проведения экспериментов именно в железобетоне – сложном материале с нарушенной сплошностью.

Специфика железобетона как материала, состоящего из двух твердых тел (стали и бетона), обладающих различными механическими свойствами и несовместимостью их деформирования, как материала с нарушенной сплошностью после образования трещин приводит к целому ряду специфических особенностей, которые необходимо учитывать при измерении опытных параметров. Как правило, эти особенности систематизируются и находят свое отражение в методиках экспериментов, разработанных рядом школ с учетом накопленного опыта исследований.

Например, для проверки гипотезы плоских сечений недостаточно установить тензорезисторы лишь в одном из поперечных сечений стержня на бетоне и арматуре. Здесь возникает необходимость в исследовании окрестности стержня между двумя соседними трещинами, так как рассматриваемая гипотеза выполняется лишь для средних деформаций.

Зная, например, высоту сжатой зоны, а также принимая во внимание тот факт, что плечо внутренней пары сил в железобетонном элементе практически не зависит от формы эпюры усилий в сжатой зоне, можно определять значение опытного внутреннего момента в поперечном сечении как произведение деформации ε_s в растянутой арматуре на модуль E_s , площадь A_s и плечо внутренней пары z . Приравнивая внутренний момент к внешнему в ряде случаев на стадиях, предшествующих разрушению, можно получить, что $\sigma_s > R_s$. Кажущееся на первый взгляд противоречие находит объяснение с привлечением физического смысла происходящих явлений. Как следствие — параметр γ_s практически до самого разрушения меньше единицы.

Заметный интерес вызывает и проблемный вопрос установки сплошных цепочек тензорезисторов на арматурный стержень без искажения сцепления его боковой поверхности с бетоном. Общие принятые рекомендации здесь можно сформулировать так:

- при установке единичного тензорезистора зачищается поверхность арматуры, наклеивается тензорезистор и наносится местный изолирующий слой специального состава по всему периметру арматуры; при этом местное нарушение сцепления в окрестности одного тензорезистора практически не сказывается на общем законе сцепления для всего арматурного стержня;
- при установке сплошных цепочек тензорезисторов на арматурный стержень относительно большого диаметра (по отношению к разным параметрам) в нем выфрезеровываются пазы шириной 4 мм глубиной 2 мм (рис. 47).

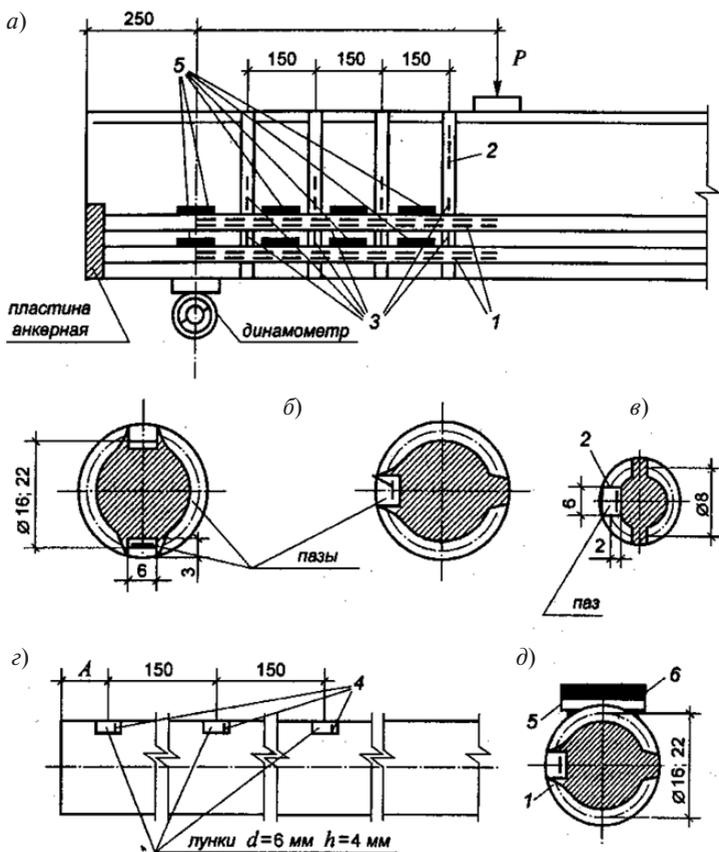


Рис. 47. Схема расположения тензорезисторов и магнитоупругих преобразователей (МУП) на арматуре: *a* – на продольной и поперечной арматуре в пролете среза; *б* – в пазах продольной арматуры; *в* – в пазах поперечной арматуры; *г* – в лунках продольной арматуры; *д* – МУП на продольной арматуре; 1, 2 – цепочки тензорезисторов; 3 – одиночные тензорезисторы; 4 – тензорезисторы в лунках; 5 – МУП; 6 – столики

После наклейки тензорезисторов пазы заливают мастикой, приготовленной с применением 100 весовых частей эпоксидной смолы ЭД-5, 15 весовых частей дибутилфталата и 10 весовых частей полиэтиленполиамины. Для исключения влияния мастики на решетку тензорезисторов перед заливкой она защищается полоской кальки. Если пазы выфрезерованы на боковых поверхностях арматурного стержня (по отношению к его нейтральной оси), то в процессе экс-

перимента измеряются осевые деформации стержня. Если на нижней и верхней поверхности, то появляется возможность измерения его изгибных деформаций.

При установке сплошных цепочек тензорезисторов на арматурный стержень относительно малого диаметра (по отношению к размерам пазов) фрезеровку полукруглых пазов осуществляют на внутренней поверхности арматурного стержня, предварительно разрезав его на две половинки. После изготовления пазов обе половинки сваривают между собой. Наклейку цепочек тензорезисторов в образованную таким образом круговую полость выполняют с помощью специальных пуансонов, которые обеспечивают подачу сжатого воздуха к резиновым трубкам, равномерно прижимающим тензорезисторы к боковой внутренней поверхности паза. Проверка работы пуансонов осуществляется с помощью стеклянных трубочек, диаметр которых равен диаметру паза.

Располагая показаниями цепочек тензорезисторов, можно определить опытные значения касательных напряжений в любой точке цепочки:

$$\tau_q = \frac{\Delta \varepsilon_s E_s A_s}{P_s \Delta l},$$

где $\Delta \varepsilon_s$ — разница деформаций между соседними тензометрами; Δl — расстояние между центрами баз соседних тензорезисторов; E_s , A_s , P_s — соответственно модуль упругости, площадь, периметр арматуры.

Немаловажным является и вопрос замера ширины раскрытия трещин в железобетоне. Дело в том, что используемый для этого микроскоп МПБ-2 с 24-кратным увеличением имеет цену деления 0,05 мм, а ширина раскрытия появившейся трещины может равняться 0,01–0,02 мм, т. е. точности микроскопа недостаточно.

Для увеличения точности замера ширины раскрытия трещин на ее берегах наклеиваются реперы, на которые устанавливаются индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм. Для средней оценки a_{cpc} допускается установка тензометров на значительной базе, например Тукермана на базе 152 мм. При этом деформациями растянутого бетона пренебрегают.

Следует заметить, что при измерении продольных деформаций с помощью механических приборов на значительной базе (свыше 200 мм) следует учитывать возможность поворота стального прутка в держателе. Для этой цели конструкция оснастки для измерения продольных деформаций должна предусматривать установку специальных иголок.

Измерение средних деформаций продольной арматуры осуществляется с помощью специальных приваренных гаек, длина которых равна толщине защитного слоя бетона. Для исключения влияния этих гаек на деформации окружающего их бетона на них надеваются специальные резиновые прокладки.

Для измерения деформаций бетона в растянутой зоне железобетонного элемента в окрестности трещины наклейка тензорезисторов на бетон производится только после появления соответствующего уровня трещинообразования, так как при пересечении трещиной решетки тензорезистора он выходит из строя. Этот прием используется для определения коэффициента поперечных деформаций (Пуассона) при испытании призм на сжатие, где тензорезисторы устанавливаются между образовавшимися продольными трещинами. Для возможности установки тензорезисторов на арматуре в окрестности трещины могут быть использованы специальные деревянные пробки, которые устанавливают в растянутую зону железобетонного элемента в месте вероятного появления трещин. После достижения соответствующего уровня трещинообразования в местах установки пробок, расположенных в окрестности трещин, производится установка тензорезисторов на арматуру. Такой прием позволяет заметно экономить дорогостоящие тензорезисторы.

Для непосредственного измерения напряжений в бетоне в последние годы начали использоваться магнитоупругие преобразователи (МУПы), размер которых соизмерим с размером крупного заполнителя (рис. 47).

Замер поперечных деформаций продольной арматуры возможен с помощью малобазовых тензорезисторов с базой 1 мм, устанавливаемых в выфрезерованные лунки.

Получение опытных диаграмм « σ — ε » при сжатии и растяжении призм связано со спецификой экспериментов, в основе которых лежит задание ступеней деформаций, а не напряжений.

Специфическим для железобетона является и вопрос обработки тензорезисторных розеток. Ввиду возможных погрешностей измеренных ими деформаций желательна с помощью специальных программ производить численную обработку на ПЭВМ с тем, чтобы просчитать наихудшие сочетания погрешностей. Такая обработка особенно важна для сложных зон сопротивления, например зоны, находящейся над опасной наклонной трещиной, где возможен переход напряженного состояния сжатие-сжатие в напряженное состояние сжатие-растяжение. Погрешность измерения в пределах 15–20 % может привести здесь к качественно неверным результатам.

Таким образом, рассмотренные примеры показывают, что для успешного проведения экспериментальных исследований применительно к железобетону необходимо учитывать их специфику.

4.4. Диагностика деревянных конструкций. Особенности эксплуатационных качеств деревянных конструкций

Древесина является эффективным строительным материалом, однако имеет ряд отрицательных свойств: неоднородность строения и пороки (сучки, косослой и др.), быстрое увлажнение, набухаемость, низкая огнестойкость, быстрое разрушение грибами и жучками. Поэтому обеспечение долговечности деревянных конструкций требует выполнения ряда мероприятий при их строительстве и эксплуатации.

Основные требования, предъявляемые к древесине и деревянным конструкциям, регламентируются ГОСТ 16483.0–89, ГОСТ 16483.7–71, ГОСТ 9462–2016, ГОСТ 9463–2016, а также СНиП II-25-80.

При обследовании деревянных изделий следует учитывать особенности клееных и клееных конструкций и требования к условиям их эксплуатации, так как стойкость клеевых соединений к циклическим температурно-влажностным и другим эксплуатационным воздействиям отличается от стойкости клееных конструкций.

Основные признаки, характеризующие техническое состояние деревянных конструкций. Основными признаками, характеризующими техническое состояние деревянных конструкций, являются

ся: трещины, прогибы и деформации, прочностные показатели, влажностное состояние, биоповреждение (грибами и жуками), коррозия древесины (для конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред), коррозия металлических накладок, скоб, хомутов, болтов и др.

Прогибы элементов деревянных конструкций зданий и сооружений не должны превышать величин, приведенных в табл. 10.

Таблица 10

Предельные прогибы деревянных конструкций

№ п/п	Элементы конструкций	Предельные прогибы в долях пролета, не более
1	Балки междуэтажных перекрытий	$l/250$
2	Балки чердачных перекрытий	$l/200$
3	Покрытия (кроме ендов):	
	– прогоны, стропильные ноги	$l/200$
	– балки консольные	$l/150$
	– фермы, клееные балки (кроме консольных)	$l/300$
	– плиты	$l/250$
	– обрешетки, настилы	$l/150$
4	Несущие элементы ендов	$l/400$
5	Панели и элементы фахверка	$l/250$

Примечания.

1. При наличии штукатурки прогиб элементов перекрытий только от длительной временной нагрузки не должен превышать $l/350$ пролета.
2. При наличии строительного подъема предельный прогиб клееных балок допускается до $l/200$ пролета.

При обследовании деревянных конструкций необходимо особое внимание уделять эффективности мероприятий:

- по защите от непосредственного увлажнения атмосферными осадками, грунтовыми и талыми водами, производственными водами и др.;

- предохранению древесины конструкций от промерзания, капиллярного и конденсационного увлажнения и по созданию осушающего температурно-влажностного режима окружающей воздушной среды (наличие естественной и принудительной вентиляции помещения, устройство продухов, аэраторов и др.);
- противопожарной защите;
- защите от воздействия гнилостных грибков и насекомых-древоточцев.

Условия, способствующие развитию дереворазрушающих грибов:

- влажность древесины более 25 %;
- температура от -3 до $+40$ °С;
- застойный воздух (скорость движения воздуха менее 0,001 м/с);
- наличие грибковых спор.

Признаками поражения деревянных конструкций дереворазрушающими грибами являются:

- спертый грибной запах в помещении; наличие образований на поверхности конструкций;
- изменение цвета конструкций (побурение);
- потеря прочности, высыхание, растрескивание, глухой звук при простукивании конструкций.

Признаки поражения деревянных конструкций жуками-древоточцами:

- наличие летных отверстий (размером 0,5–0,6 мм) и выпадение из них бурой муки;
- глухой звук при простукивании;
- наличие жуков (обнаруживается на слух с помощью стетоскопа).

Для определения вида гриба и степени поражения конструкций требуется микроскопическое исследование образцов древесины в специализированных лабораториях. Образцы для анализа размером 15×15×5 мм отбирают с сохранением грибных образований.

Участки древесины, пораженные грибками и жуками-точильщиками, вырезаются и сжигаются, после чего конструкция усиливается антисептированной древесиной или специальными металлическими протезами.

Влажностное состояние элементов деревянных конструкций определяют путем отбора образцов размером 15×15×5 мм и лабораторных испытаний. При этом температура сушки в сушильных шкафах должна быть не более 60 °С. Определение влажности древесины следует производить с учетом требований ГОСТ 16483.7–71.

Для взятия проб из конструкций деревянных перекрытий необходимо производить их вскрытие. Число мест вскрытий в перекрытиях по деревянным балкам должно составлять не менее трех при обследуемой площади до 100 м² и не менее пяти при большей площади. Для деревянных перекрытий по металлическим балкам эти цифры соответственно равны двум и четырем. Вскрывать должны полы (чистые и черные), стяжки, подготовка под полы, гидроизоляция, утеплитель или звукоизоляционная засыпка, подшивка, штукатурка.

Для определения физико-механических характеристик древесины и микроанализа из ненагруженных или слабонагруженных частей деревянных конструкций, имеющих повреждения и дефекты в не предусмотренных табл. 1 СНиП II-25-80 условиях, высверливают керны или выпиливают бруски длиной 150–350 мм. Выпиленные бруски маркируются, помещаются в полиэтиленовые пакеты и отправляются для лабораторных исследований, а места отбора брусков фиксируются на схемах конструкций, которые прикладываются к актам с результатами испытаний образцов древесины. Из брусков выпиливают образцы, размеры которых устанавливают соответствующим ГОСТом для каждого вида испытаний. Элементы деревянных конструкций, из которых выпилены бруски древесины, подлежат восстановлению или усилению.

Прочностные характеристики древесины можно установить путем лабораторных испытаний вырезанных из конструкций образцов или по виду материала (сосна, ель, лиственница, пихта и др.), пользуясь их нормативными характеристиками по СНиП II-25-80, а также ультразвуковым прибором типа УХ-14П. При лабораторных испытаниях физико-технические характеристики древесины следует определять, руководствуясь указаниями ГОСТ 16483.0–89, 16483.3–84.

Для определения технического состояния элементов деревянных конструкций необходимо, кроме вышеотмеченных факторов, обратить внимание на состояние:

- узлов опирания несущих деревянных конструкций на фундаменты, каменные стены, стальные и железобетонные колонны и другие элементы конструкций с более теплопроводными или влагопроводными свойствами (при непосредственном их контакте). Узлы должны быть изолированы через гидроизоляционные прокладки;
- деревянных подкладок (подушек), на которые устанавливаются опорные части несущих конструкций. Подкладки должны быть из антисептированной древесины преимущественно лиственных пород.

Проверку состояния деревянных конструкций (полов, перегородок, подшивки потолков, опор балок и ферм) производят путем выборочных вскрытий.

В междуэтажных перекрытиях вскрытие осуществляют на участках между балками на площади не менее 0,5 м². На накатах убирают засыпку, а с поверхности перегородок и потолков – штукатурку на участках 30×30 см. Вскрытие целесообразно производить также и в местах прохождения водопроводных и канализационных труб.

Оценка технического состояния конструкций. Результаты обследований и определений фактических характеристик деревянных конструкций и их элементов сопоставляются с требованиями СНиП II-25-80 и других нормативных документов.

Фактическая влажность материалов стеновых конструкций сопоставляется с данными табл. 11, и при их превышении разрабатываются рекомендации по снижению эксплуатационной влажности конструкций.

Таблица 11

Допустимые значения влажности материалов деревянных стен

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Допустимая влажность, %	
		к началу зимнего периода	к концу зимнего периода
Дуб	700	24	30
Сосна	600	20	25
Береза	500	18	22
Осина	400	16	20

На основании результатов обследований производятся поверочные расчеты несущих конструкций по предельным состояниям и разрабатываются рекомендации по дальнейшей их эксплуатации и восстановлению их несущей способности и эксплуатационной надежности.

Выводы по главе

1. В состав работ по обследованию каменных конструкций входят оценка технического состояния по внешним признакам и инструментальное определение прочности каменных конструкций. При диагностике каменных кладок устанавливают конструкцию и материал стен, отмечают вид кирпича (красный, силикатный, пустотелый и т. п.), вид раствора (цементный, сложный, известковый и т. п.), а также наличие и характер деформаций (трещин, отклонений от вертикали, расслоений и др.). Для определения конструкции и характеристик материалов стен проводят выборочное контрольное зондирование кладки.

2. Обзор методов исследования железобетонных строительных конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость показывает, что самым достоверным методом являются испытания натуральных элементов. В результате этих исследований проверяются новые методы усиления, совершенствуются технологии, подтверждаются или опровергаются теоретические расчеты. Благодаря наблюдениям во время эксперимента совершенствуются технологии изготовления и изучаются закономерности разрушения тех или иных конструкций под разными видами нагрузок.

3. Во всех случаях, когда необходимо узнать фактическую разрушающую нагрузку, образцы доводят до разрушения, при этом такое возможно только в том случае, если эксперимент проводится в лабораторных или заводских условиях, а в эксплуатируемых зданиях или сооружениях обрушение невозможно. И даже когда образец доводят до разрушения, в большинстве случаев требуется удалить приборы для измерения прогибов и деформаций, так как это связано с опасностью их порчи после разрушения, а снятие данных приборов ведет к потере ценных экспериментальных сведений непосредственно перед исчерпанием несущей способности.

4. Для определения физико-механических характеристик древесины и микроанализа из ненагруженных или слабонагруженных частей деревянных конструкций, имеющих повреждения и дефекты, высверливают керны или выпиливают бруски длиной 150–350 мм. Выпиленные бруски маркируются, помещаются в полиэтиленовые пакеты и отправляются для лабораторных исследований, а места отбора брусков фиксируются на схемах конструкций, которые прикладываются к актам с результатами испытаний образцов древесины.

Контрольные вопросы

1. Как определяется прочность кирпича в каменной кладке?
2. Как определяется прочность раствора в каменной кладке?
3. Назовите правило отбора образцов для лабораторных испытаний.
4. Перечислите признаки аварийного состояния железобетонных конструкций.
5. Назовите признаки повреждений при перегрузках.
6. Перечислите методы определения степени коррозионного износа бетона.
7. Каковы правила оценки технического состояния конструкций при коррозии бетона?
8. Какие узлы и элементы в первую очередь подлежат диагностике при коррозионном износе?
9. Каковы величины предельных деформаций конструкций?
10. С какой целью устанавливаются контрольные нагрузки?
11. Каковы признаки аварийного состояния конструкций?
12. Как оценивается качество конструкций по результатам испытаний?
13. В чем заключается специфика исследования деформированного состояния железобетона?
14. Назовите основные признаки, характеризующие техническое состояние деревянных конструкций.
15. Какие условия способствуют образованию повреждений в деревянных конструкциях?
16. В чем суть методики определения прочности деревянных конструкций?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема обеспечения надежного и безопасного функционирования вновь возводимых, эксплуатируемых и реконструируемых объектов различного назначения приобретает все большее значение в условиях возрастающих природных и техногенных воздействий. С целью предотвращения аварий и обрушений зданий и сооружений в целом или составляющих его частей, которые могут привести к опасности для здоровья и жизни людей, к ущербу для окружающей среды или послужить причиной других аварийных ситуаций, Правительство РФ приняло Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Требования, предъявляемые законом к безопасности конструкций, должны выполняться при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Возрастает значение диагностики строительных объектов на их жизненном цикле.

К сожалению, полностью избежать возникновения аварийных ситуаций невозможно (воздействия техногенного характера, землетрясения, пожары, человеческий фактор). Вместе с тем необходимо стремиться, чтобы при возможных запроектных воздействиях разрушение конструкции носило локальный характер, когда разрушение какого-либо одного или нескольких элементов происходит в ограниченной зоне, а не прогрессирующий (лавинообразный) характер, когда выход из строя хотя бы одного элемента приводит к разрушению всей системы в целом или большей ее части.

Для снижения числа аварийных ситуаций или ущерба при их возникновении важной задачей является разработка в нормативных документах таких рекомендаций к проектированию конструкций, которые бы обеспечивали максимальную живучесть здания или сооружения. Разрушение конструкции должно носить не хрупкий (внезапный), а пластический характер, который сопровождается предупредительным проявлением внешних признаков, что может обеспечить необходимое время для эвакуации людей.

Повышению живучести способствуют многократная статическая неопределимость здания (сооружения) и возможность пространственного перераспределения усилий в его конструктивной

системе. Современные строительные нормы в деформационных методах расчета ответственными за разрушение сечений назначают не значения предельных напряжений, а значения нормируемых деформаций в диаграммах состояния материалов. Допускается при воздействиях запроектных нагрузок работу материалов конструкций ограничивать в нелинейной области деформирования, что позволяет минимизировать воздействия аварийных ситуаций.

Точность расчетных моделей конструкций определяется техническими возможностями (достигнутым уровнем) экспериментальных исследований. Наряду с высокоточными механическими и тензометрическими приборами, фотоупругими и акустическими методами начали применяться рентгеноскопия и рентгенография, микроскопия и микрофотография. Приборы позволяют определять механические свойства материалов в некотором объеме материала, поэтому анализ проводится пока по усредненным данным. Необходимо развивать методы экспериментальных исследований свойств материалов на микроуровне, что позволит построить адекватные теории и повысит точность расчетных моделей, описывающих их сопротивление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добромыслов, А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений : справочное пособие / А.Н. Добромыслов. — Москва : АСВ, 2019. — 302 с.
2. ГОСТ 8829–94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости : межгосударственный стандарт : введен в действие в качестве государственного стандарта Российской Федерации постановлением Госстроя России от 17.07.97 № 18-39 : взамен ГОСТ 8829-85 : дата введения 1998-01-01. — Москва : Изд-во стандартов, 1997.
3. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : межгосударственный стандарт : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1984-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации : дата введения 2014-01-01 // Консорциум «Кодекс» : электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941> (дата обращения: 01.01.2020).
4. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ : [принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года] // Консорциум «Кодекс» : электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 01.01.2020).

Степени повреждения конструкций

Таблица А1

Степени повреждения, категории технического состояния каменных и армокаменных конструкций и характеризующие их признаки

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкции
I — незначительная	0—5	Видимые повреждения и дефекты, влияющие на несущую способность и эксплуатационную пригодность, отсутствуют	Нормативное: конструкции отвечают предъявленным к ним эксплуатационным требованиям. Ремонтных работ не требуется. Состояние конструкции удовлетворительное
II — слабая	5—15	Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 15 % толщины. Огневое повреждение кладки стен и столбов при пожаре на глубину не более 0,5 см (без учета штукатурки). Вертикальные и косые трещины (независимо от длины и величины раскрытия), пересекающие не более двух рядов кладки	Работоспособное: имеющиеся дефекты и повреждения не препятствуют нормальной эксплуатации зданий и сооружений. Требуется текущий ремонт по восстановлению эксплуатационных характеристик конструкций
III — средняя	15—25	Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 25 % толщины. Вертикальные и косые трещины в несущих стенах и столбах на высоту не более четырех рядов кладки. Наклоны и выпучивания стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины.	Ограниченно работоспособное: в конструкции наблюдаются деформации и дефекты, свидетельствующие о снижении ее несущей способности, но не влекущие за собой обрушения. Состояние конструкций технически неисправно. Конструкции подлежат ремонту и усилению с проведением при необходимости

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкции
		<p>Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами: разрывы или выдергивания отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок, прогонов и перемычек в виде трещин и лещадок; вертикальные трещины по краям опор, пересекающие не более двух рядов кладки.</p> <p>Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см.</p> <p>Огневое повреждение при пожаре кладки армированных и неармированных стен и столбов на глубину до 2 см (без штукатурки)</p>	страховочных мероприятий по их разгрузке и недопущению дальнейшего развития повреждений
IV/A – сильная	25–50	<p>Большие обвалы в стенах. Размораживание и выветривание кладки на глубину до 40 % толщины.</p> <p>Вертикальные и косые трещины (исключая температурные и осадочные) в несущих стенах и столбах на высоту не более восьми рядов кладки.</p> <p>Наклоны и выпучивания стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более.</p>	<p>Аварийное: в конструкциях наблюдаются деформации и дефекты, свидетельствующие о потере ими несущей способности. Состояние конструкций аварийное. Возникает угроза обрушения. Необходимо запрещение эксплуатации аварийных конструкций, прекращение технологического процесса и немедленное удаление людей из опасных зон.</p>

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкции
		<p>Смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам или кривой штрабе.</p> <p>Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивание стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям.</p> <p>Повреждение кладки под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин, раздробления камня или смещение рядов кладки по горизонтальным швам на глубину более 2 см, образование вертикальных или косых трещин, пересекающих до четырех рядов кладки.</p> <p>Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене.</p> <p>Огневое повреждение кладки стен и столбов при пожаре достигает 5–6 см</p>	<p>Необходимо усиление конструкции и проведение ремонтных работ.</p> <p>При невозможности или нецелесообразности усиления следует произвести разборку конструкций</p>
IVБ – полное разрушение	Более 50 или при полной потере несущей способности конструкции	<p>Разрушение отдельных конструкций и частей здания.</p> <p>Размораживание и выветривание кладки на глубину 50 % толщины стены и более</p>	<p>Аварийное: конструкции подлежат разборке.</p> <p>Необходимо ограждение опасных зон</p>

Степени повреждения, категории технического состояния железобетонных конструкций и характеризующие их признаки

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций
I – незначительная	0–5	Видимые повреждения и дефекты, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности, отсутствуют	Нормативное: отсутствуют видимые дефекты и повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции; необходимости в ремонтно-восстановительных работах на момент обследования нет
II – слабая	5–15	Состояние поверхности бетона незначительно отличается от неповрежденных конструкций. Защитный слой бетона откалывается с трудом по углам на глубину до 10 мм; при оценке прочности бетона зубилом остается неглубокий след, звук звонкий, при царапании остаются малозаметные штрихи. При температурном воздействии изменение цвета бетона незначительно. Температурно-усадочные трещины на поверхности бетона отсутствуют	Работоспособное: имеющиеся дефекты и повреждения не снижают несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкции; защитные свойства бетона по отношению к арматуре на отдельных участках исчерпаны; требуется их восстановление, устройство и восстановление гидроизоляции и антикоррозионной защиты
III – средняя	15–25	Поверхность бетона конструкции покрыта сеткой неглубоких температурно-усадочных трещин, защитный слой бетона при простукивании бетона	Ограниченно работоспособное: существуют повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструк-

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций
		<p>молотком откалывается только по углам на глубину до 20 мм.</p> <p>При определении прочности бетона зубилом остается незаметный след на поверхности бетона.</p> <p>При температурном воздействии цвет бетона изменяется незначительно (до розового оттенка).</p> <p>Прогиб статически определяемой конструкции не превышает предельно допустимого</p>	<p>ции, но на момент обследования не угрожающие безопасности работающих и обрушению; требуется усиление</p>
IVА – сильная	25–50	<p>На поверхности бетона имеются глубокие трещины с шириной раскрытия до 1 мм. Защитный слой бетона при легком простукивании молотком отслаивается на глубину более 30 мм.</p> <p>При определении прочности бетона зубило легко вбивается в бетон на глубину до 10 мм. При ударе звук бетона глухой. При температурном воздействии цвет бетона сильно изменяется (до белого). Прогиб статически определяемой конструкции превышает предельно допустимый в 2–4 раза</p>	<p>Аварийное: существуют повреждения, свидетельствующие об опасности пребывания людей в районе обследуемых конструкций; требуются немедленные страховочные мероприятия: ограничение нагрузок (недопущение складирования материалов, деталей и др., ограничение грузоподъемности кранов и их сближения); устройство предохранительных сеток и др.</p>

Степень повреждения	Снижение несущей способности, %	Характерные признаки повреждения	Категория технического состояния конструкций
IVБ – полное разрушение	Свыше 50 или при полной потере несущей способности конструкции	В конструкции имеются трещины шириной раскрытия 1,5 мм, трещины в сжатой зоне (раздавливание бетона), трещины в опорных узлах (нарушающие анкеровку рабочей арматуры). Остаточные прогибы конструкции в 5–10 раз превышают предельно допустимые. При простукивании бетона звук глухой, зубило легко вбивается на глубину более 30 мм	Аварийное: существуют повреждения, свидетельствующие о возможности обрушения конструкций, требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений

а)



б)



Рис. Б3. Натурные испытания фрагмента сборно-монолитного каркаса здания сотрудниками центра технических инноваций и модернизаций в строительстве «МИКС»: *а* – подготовка к испытаниям; *б* – нагружение безбалочного диска перекрытия штучными грузами (нагрузка составила 10 кН/м^2)

Результаты натурных испытаний

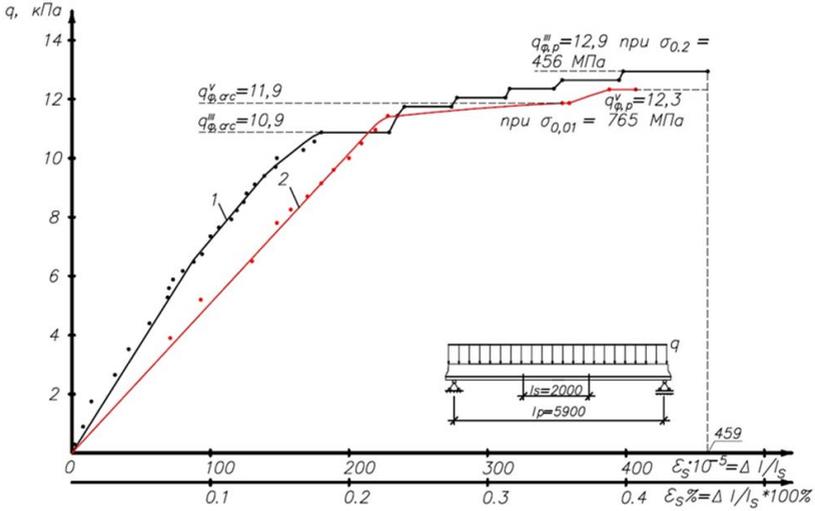


Рис. В1. Относительные деформации арматуры в плитах: 1 – с рабочей арматурой класса А400, 2 – то же класса А600; Δl – абсолютное удлинение арматуры, измеряемое прибором; l_s – база измерения деформаций

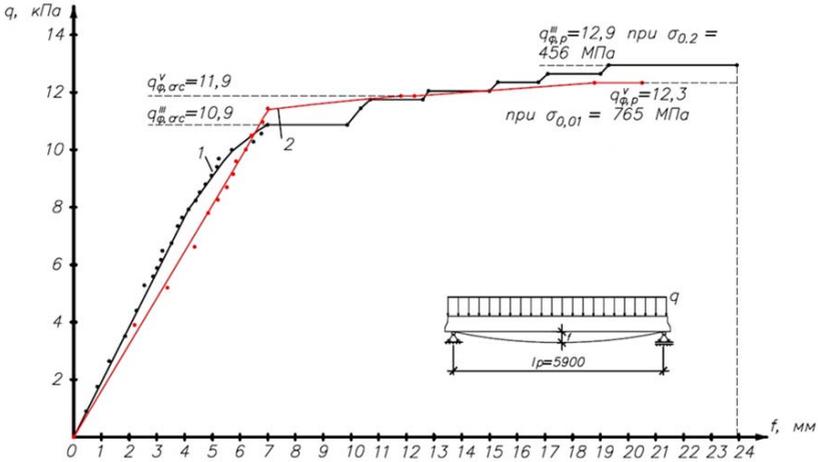


Рис. В2. Прогиб в середине пролета плит: 1 – с рабочей арматурой класса А400, 2 – то же класса А600; $q_{\phi,р}$ – фактическая разрушающая нагрузка при $\sigma_{0,01}$ и $\sigma_{0,2}$; $q_{\phi,σrc}$ – фактическая нагрузка образования трещин