ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО «ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»
(НПО «ВНИИФТРИ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ ПРИ ОДНООСНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
МИ 11—87

35 к.

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1989

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО «ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»
(НПО «ВНИИФТРИ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
БЕТОНОВ ПРИ ОДНООСНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ
СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

МИ 11—87

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1989

РАЗРАБОТАНЫ НПО «ВНИИФТРИ», Всесоюзным институтом «Оргэнергострой», Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства (ЦНИИС), Московским инженерно-строительным институтом им. В. В. Куйбышева, Институтом строительной механики и сейсмостойкости им. К. С. Завриева АН ГССР, Всесоюзным научно-исследовательским институтом строительных материалов и конструкций.

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Р. О. Красновский, канд. техн. наук; **А. И. Марков**, канд. техн. наук; **С. А. Рудниченко; Г. Г. Соловьева; Н. Н. Лазутина; И. С. Кроль; В. Л. Чернявский; Г. Б. Муравин**, д-р техн. наук; **Е. Н. Щербаков**, д-р техн. наук; **Н. В. Смирнов**, канд. техн. наук; **Я. В. Симкин, В. В. Гурьев, А. Л. Ерменсон, Г. Б. Шмаков**, канд. техн. наук; **М. Б. Чернопыжский**, канд. техн. наук; **З. Н. Цилосани**, д-р техн. наук; **Д. Д. Дугели, Б. П. Сариго, М. Н. Тутевадзе; В. Н. Гусаков**, д-р техн. наук; **К. Л. Ковлер**, канд. техн. наук; **А. С. Бычков**, канд. техн. наук; **И. А. Харичев.**

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ сектором научно-методических основ стандартизации и координации работ по метрологическому обеспечению

Нач. сектора **Крупин Б. И.**
Инженер **Знаткова О. В.**

УТВЕРЖДЕНЫ НПО «ВНИИФТРИ» 23 мая 1987 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГСИ. Прочностные и деформационные характеристики бетонов при одноосном кратковременном статическом сжатии и растяжении

Методика выполнения измерений

МИ 11—87

Редактор *Н. А. Еськова*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Е. И. Морозова*

Н/К

Сдано в набор 28.09.88 Подп. в печ. 17.01.89 Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая 5,0 усл. печ. л. 5,13 усл. кр.-отт. 5,19 уч.-изд. л. Тираж 3000 Цена 35 к. Изд. № 10290/4.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2243

УДК 539.383:691.3 Группа Т80.0

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ ПРИ ОДНООСНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

МИ 11—87

Взамен МИ 11—74

Настоящая методика распространяется на все виды применяемых в строительстве бетонов на неорганических вяжущих и устанавливает методы определения предела прочности, модуля упругости, коэффициента Пуассона, коэффициента упругости и структурно-механических характеристик при одноосном кратковременном статическом сжатии и растяжении, с применением ультразвукового, резонансного и акутоэмиссионного методов. Методика предназначена для научных работников, инженеров, аспирантов при проведении научно-исследовательских работ.

Методика соответствует ГОСТ 24452—80 и СТ СЭВ 3978—83, развивая и дополняя их в части определяемых механических характеристик бетона, средств и методов их определения и обработки результатов испытания.

В методике учтены рекомендации «Методических рекомендаций по определению основных механических характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении» (НИИЖБ, 1984) и «Методики определения предела прочности и модуля упругости бетона при растяжении» (ВНИИФТРИ, 1982).

1. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Прочностные, деформационные и структурно-механические характеристики бетона определяют на специально изготовленных образцах. Форма и размеры образцов обеспечивают проведение измерений на статистически представительном объеме бетона, а методика их изготовления и хранения — получение однородной структуры без дополнительно внесенных искажений.

1.2. Применяемые при испытаниях методика, средства измерения и испытания, вспомогательные устройства и приспособления обеспечивают определение измеряемых характеристик с требуемой

© Издательство стандартов, 1989

точностью на статистически представительном объеме бетона, находящегося в условиях заданного однородного напряженно-деформированного состояния.

1.3. Для определения механических характеристик используют механический, ультразвуковой импульсный, резонансный, акустоэмиссионный методы измерения и испытания.

1.3.1. При механическом методе испытания образец нагружают до разрушения (ступенями или непрерывно) осевой нагрузкой с одновременным измерением деформации бетона.

1.3.2. При ультразвуковом импульсном методе измеряют на нагруженном или ненагруженном образце время распространения переднего фронта продольных и (или) поперечных ультразвуковых волн на заданной базе измерения.

1.3.3. При резонансном методе в ненагруженном образце возбуждают продольные, изгибные или крутильные колебания и измеряют частоту колебаний образца.

1.3.4. При акустоэмиссионном методе измеряют интенсивность акустических импульсов, возникающих в образце в процессе его нагружения.

1.4. Прочностные характеристики определяют только механическим методом; деформационные — механическим, ультразвуковым и резонансным; структурно-механические — механическим, ультразвуковым и акустоэмиссионным.

1.5. При определении деформационных характеристик механическим методом значения измеряемых деформаций зависят от скорости нагружения (деформирования) из-за влияния деформаций быстронатекающей ползучести.

1.5.1. Для исключения погрешности измерения деформаций, обусловленной деформациями быстронатекающей ползучести, нагружение образца проводят с равновесной скоростью деформирования бетона.

За равновесную скорость деформирования ε_{cr} принимают наибольшую скорость роста продольных деформаций при непрерывном нагружении, при которой в случае остановки нагружения и выдержки нагрузки в течение (15+5) мин при уровне напряжения, не превосходящем 70 % от предела прочности, не проявляются (с точностью до погрешности измерения) деформации быстронатекающей ползучести.

1.5.2. Равновесной скорости деформирования соответствует эквивалентная ей скорость роста напряжения σ_{cr}, обеспечивающая достижение некоторого значения деформации $\varepsilon_{1\eta}$ при данном уровне напряжения $\eta=\sigma/R_{bn}$ ($\eta=\sigma/R_{btn}$), одинакового как при нагружении образца с контролем деформаций, так и с контролем напряжений. Эквивалентная скорость роста напряжений нелинейно зависит от относительного уровня напряжения, уменьшаясь с его увеличением.

1.5.3. Параметры ступенчатого нагружения (скорость подъема нагрузки со ступени на ступень и время выдержки на ней) принимают из условия обеспечения равновесной скорости деформирования и эквивалентной ей средней скорости роста напряжения.

1.6. При определении деформационных характеристик ультразвуковым и резонансным методами скорость роста напряжения в бетоне, примерно, в 10^6 раз больше, чем при статическом нагружении механическим методом, а уровень напряжения при этом соответственно меньше. Это позволяет считать бетон при этих методах испытания практически ненагруженным.

1.7. Различие в скоростях и уровнях напряжения при резонансном и ультразвуковом методах испытания, с одной стороны, и механическом, с другой, приводит к различию значений деформационных характеристик, и в том числе модулей упругости, до 20 %. В связи с этим деформационные характеристики, определенные ультразвуковым и резонансным методами, называют динамическими и обозначают E_{bd} и ν_{bd} .

Различие в значениях деформационных характеристик, определенных ультразвуковым и резонансным методами, не превышает 3 % и не учитывается в расчетах.

Значение динамических деформационных характеристик приводят с помощью эмпирических зависимостей к статическим E_b и ν_b , которые в соответствии со СНиП 2.03.01—84 используют при расчете бетонных и железобетонных конструкций.

1.8. При определении прочностных, деформационных и структурно-механических характеристик в зависимости от применяемого метода измерения проводят следующие измерения.

1.8.1. При определении прочностных характеристик — пределов прочности при осевом кратковременном сжатии (призменной прочности) R_{bn} и растяжении R_{btn} (приложение 1) измеряют предельное максимальное значение нагрузки при непрерывном или ступенчатом нагружении и размеры поперечного сечения ненагруженного образца. При этом измерения деформаций в процессе нагружения не проводят.

1.8.2. При определении деформационных и структурно-механических характеристик механическим методом измеряют одновременно деформации бетона вдоль ε_1 и перпендикулярно ε_2 оси образца, а также размеры поперечного сечения ненагруженного образца.

С целью выделения упругой составляющей деформации ε_{el} измерения при определении модуля упругости E_b (E_{bt}), коэффициента Пуассона ν_b (ν_{bt}) и коэффициента упругости λ_{bu} проводят при ступенчатом нагружении.

Для определения продольной деформации ε_{1n}, соответствующей призменной прочности, измерения проводят при нагружении с контролем деформаций.

При определении структурно-механических характеристик измерения проводят либо при непрерывном, либо при ступенчатом нагружении.

1.8.3. При определении деформационных характеристик E_{bd} и ν_{bd} ультразвуковым методом на ненагруженном образце измеряют время распространения переднего фронта продольных и (или) поперечных ультразвуковых волн, а также геометрические размеры образца.

1.8.4. При определении деформационных характеристик E_{bd} и ν_{bd} резонансным методом в ненагруженном образце измеряют собственную частоту продольных, изгибных или крутильных колебаний, соответствующую их максимальной амплитуде, а также геометрические размеры и массу образца.

1.8.5. При определении структурно-механических характеристик $R^0_{b,crc}$ и $R^\nu_{b,crc}$ ультразвуковым методом в процессе нагружения образца ступенчатой нагрузкой измеряют одновременно время распространения переднего фронта продольных ультразвуковых волн и действующую нагрузку, а также геометрические размеры ненагруженного образца.

1.8.6. При определении структурно-механических характеристик акустоэмиссионным (АЭ) методом в процессе нагружения образца одновременно измеряют число импульсов акустической эмиссии N_Σ и действующую нагрузку.

1.9. Вычисление значений прочностных, деформационных и структурно-механических характеристик по результатам испытаний и измерений проводят следующими способами.

1.9.1. Пределы прочности R_{bn} и R_{btn} вычисляют по формулам, приведенным в ГОСТ 10180—78 и ГОСТ 24452—80.

1.9.2. Деформационные характеристики находят на основании диаграмм деформирования по результатам измерений, проводимых механическим методом по п. 1.8.2.

Модуль упругости E_b или E_{bt} вычисляют как тангенс угла наклона к оси деформаций начального линейного участка диаграммы упругих деформаций σ—ε_{1el}, где ε_{1el} — упругая составляющая продольной деформации.

Коэффициент Пуассона ν_b или ν_{bt} вычисляют как отношение тангенсов углов наклона линейных участков диаграмм упругих продольных σ—ε_{1el} и упругих поперечных σ—ε_{2el} деформаций, где ε_{1el} и ε_{2el} — упругие составляющие соответственно продольной и поперечной деформаций.

Коэффициент упругости λ_{bu} вычисляют как отношение упругой части полной продольной деформации при нагрузке, соответствующей призменной прочности, $\varepsilon_{1el,u}$ к полной продольной деформации при этой нагрузке ε_{1u}.

1.9.3. Упругие деформационные характеристики по результатам ультразвуковых и резонансных измерений по пп. 1.8.3 и 1.8.4 вы-

числяют по формулам механики деформируемого твердого тела с эмпирическими поправками на форму и размеры образца.

1.9.4. Структурно-механические характеристики R^0_{bcrc} и $R^v_{b,crc}$ находят по результатам измерений, проводимых механическим по п. 1.8.2, ультразвуковым по п. 1.8.5 и акустоэмиссионным по п. 1.8.6 методами путем построения диаграмм изменения соответствующих характеристик при росте напряжения σ и нахождения на этих диаграммах характерных точек, соответствующих $R^0_{b,crc}$ и $R^v_{b,crc}$

При механическом методе измерения по полным деформациям ε_1 и ε_2 строят диаграмму ε_1—ε_2 или вычисляют объемную деформацию Θ и (или) ее приращение $\Delta\Theta$ и строят диаграммы σ—Θ и (или) σ—$\Delta\Theta$.

При ультразвуковом методе вычисляют приращение скорости переднего фронта ультразвуковых волн δ_c (или времени δ_τ) и строят диаграмму σ—δ_c (или σ—δ_τ).

При акустоэмиссионном методе строят диаграмму σ—ΔN_Σ.

2. ОБРАЗЦЫ

2.1. Форма и размеры образцов

2.1.1. Образцы должны иметь форму правильной четырехугольной призмы или цилиндра. При испытании на осевое растяжение допускается испытание образцов с галтелями.

2.1.2. Минимальный размер стороны основания призмы a или диаметра цилиндра d из условия получения образца статистически представительного объема принимают не менее, чем в 5 раз превышающим средневзвешенный или в 3 раза максимальный размер зерна крупного заполнителя (для обычных тяжелых и легких бетонов на пористых заполнителях) или поры (для ячеистых бетонов).

2.1.3. Максимальный размер $a(d)$ определяется техническими характеристиками испытательного оборудования (размерами рабочего пространства испытательных машин, создаваемыми нагрузками и т. п.).

2.1.4. Размеры a и d следует выбирать из ряда 40, 70, 100, 150, 200 мм. В обоснованных случаях допускается принимать другие значения a и d при соблюдении требований пп. 2.1.2—2.1.3.

2.1.5. Высоту (длину) образца h в зависимости от метода и программы испытаний следует принимать кратной a или d в пределах $(3—6)a$ или $(3—6)d$.

2.1.6. При механическом методе испытания высота (длина) образца h включает в себя рабочую зону (зону однородного напряженного состояния) h_0 и зоны влияния опор (захватов) Δh:

$$h=h_0+2\Delta h. \qquad (2.1)$$

Длина рабочей зоны h_0 должна быть не менее a или d и не более $4a$ или $4d$.

Длину Δh при испытаниях на сжатие следует принимать равной не менее $0{,}7a$ или $0{,}7d$, а при использовании квазигидрошарниров $0{,}05h$.

При испытании на растяжение, в зависимости от конструкции захватов (рис. 1), Δh принимают равной;

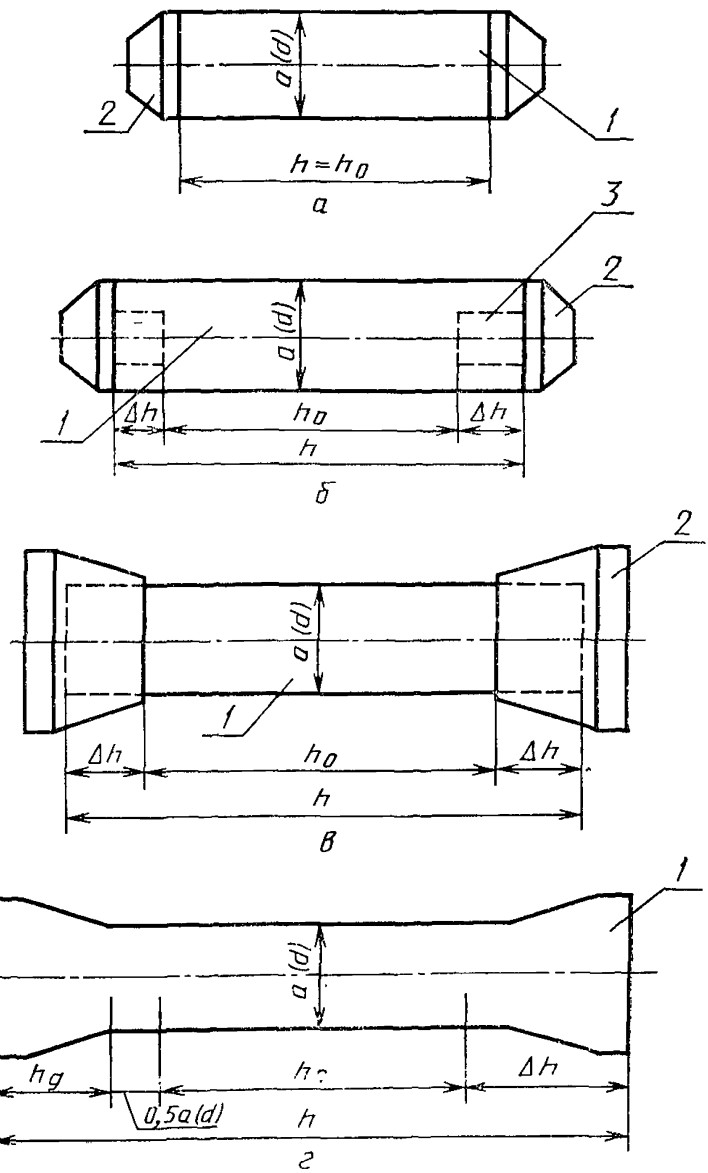


Рис. 1. Расположение зон однородного напряженного состояния (h_0) и влияния захватов Δh при испытаниях с использованием приклеиваемых (*а*), анкерных (*б*), цанговых (*в*) захватов и на образцах с галтелями (*г*)

1—образец; *2*—захват; *3*—анкер

нулю при приклеиваемых к торцам образца захватах (рис. 1, *а*);

длине анкеров, закладываемых в образец при его изготовлении (рис. 1, *б*);

длине зоны контакта образца с захватом при удержании образца в захвате за счет трения (рис. 1, *в*);

$h_g + 0{,}5a$ или $h_g + 0{,}5d$ для образцов с галтелями (рис. 1, *г*), где h_g — длина галтели.

2.1.7. При использовании ультразвукового импульсного метода для определения динамических модуля упругости и коэффициента Пуассона высоту образца h принимают не менее $1{,}5\lambda$, где λ — длина продольной ультразвуковой волны, которая в бетоне равна 30—150 мм.

При использовании резонансного метода h принимают по п. 2.1.5.

2.1.8. Допускаемые отклонения размеров образцов от номинальных по п. 1.1.3. и отклонение перпендикулярности боковых и торцевых поверхностей образцов, испытываемых на сжатие или на растяжение с приклеиваемыми захватами, следует принимать по ГОСТ 10180—78 (СТ СЭВ 3978—83).

2.1.9. Образцы изготавливают сериями.

Число образцов в серии при испытаниях ультразвуковым, резонансным и механическим методом на сжатие должно быть не менее трех, а при испытаниях на растяжение — не менее шести.

Минимальное число образцов в серии в зависимости от принимаемой доверительной вероятности, погрешности результатов испытания и коэффициента вариации определяемой характеристики может быть уточнено по приложению 2.

2.2. Изготовление образцов

2.2.1. Образцы изготавливают из бетонной смеси по ГОСТ 10180—78, если программой испытания не предусмотрен другой метод, или выбуривают (выпиливают) их из изделий, конструкций, сооружений.

В журнале по форме приложения 3 приводят сведения об исходных материалах, составе бетонной смеси, способе и технологии изготовления образцов.

2.2.2. При изготовлении образцов из бетонной смеси обеспечивают во всех образцах требуемое значение коэффициента ее уплотнения K_p:

$$K_p = \frac{\gamma_f}{\gamma_d}, \qquad (2.2)$$

где γ_f — средняя плотность бетонной смеси, фактически полученная после уплотнения; γ_d — расчетное значение средней плотности бетонной смеси, вычисленное из условия, что в ней не содержится вовлеченного воздуха.

Значение K_p, если оно не задано, рекомендуется принимать не менее 0,98.

Значение K_p в образцах одной серии не должно отличаться от среднего более, чем на 0,005.

Рекомендации по изготовлению образцов с заданным коэффициентом уплотнения бетонной смеси приведены в приложении 4.

2.2.3. При выпиливании и выбуривании образцов следует применять алмазный инструмент. Для бетонов с пределами прочности на сжатие менее 20 МПа допускается применение твердосплавного инструмента.

2.2.4. При выбуривании образцов алмазными коронками линейная скорость вращения по периметру инструмента не должна превышать 5 м/с, а при выпиливании алмазными пилами — 25 м/с.

2.2.5. При выбуривании усилие подачи алмазного инструмента при прочности бетона на сжатие менее 20 МПа не должно превышать 2 МПа, а при большей прочности — 5 МПа.

2.2.6. При выпиливании алмазными дисковыми пилами скорость подачи инструмента не должна превышать 50 мм/мин.

2.2.7. При выпиливании и выбуривании образцов со скоростями более 1 м/с следует применять охлаждающие жидкости для охлаждения режущего инструмента и вымывания продуктов резки бетона.

Охлаждающую жидкость следует подавать под давлением 0,3—0,4 МПа внутрь коронки или на поверхность пилы: не менее, чем 0,8 л/мин на 1 см^2 режущей поверхности инструмента при выпиливании (выбуривании) образцов из тяжелого бетона и не более 0,5 л/мин на 1 см^2 поверхности — из легкого бетона.

2.2.8. Отбор образцов ячеистых бетонов из специальных блоков следует проводить по ГОСТ 10180—78, а из конструкций и сооружений — по приложению 6.

2.3. Твердение, хранение и транспортирование образцов

2.3.1. Условия твердения образцов после изготовления должны быть определены программой испытаний. Если условия твердения не заданы, то принимают нормальные по ГОСТ 10180—78.

Сведения о режиме твердения и его параметрах (температуре, влажности, давлении, продолжительности и т. п.) заносят в журнал по форме приложения 3.

2.3.2. Условия хранения образцов после окончания твердения и до начала испытания (температура, влажность, продолжительность и т. п.) должны быть определены программой испытаний. Если условия хранения не заданы, то образцы следует хранить в нормальных условиях по ГОСТ 10180—78.

Продолжительность хранения рекомендуется выбирать из ряда: (7 ± 1); (14 ± 2); (28 ± 3); (90 ± 10); (180 ± 20); (360 ± 40) сут.

Сведения о режиме хранения и его параметрах заносят в журнал по форме приложения 3.

2.3.3. Образцы следует транспортировать в вертикальном положении в упаковке, предохраняющей их от механических повреждений, изменения влажности и замораживания.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

3.1. При выполнении измерений и подготовке к ним должны быть применены средства измерений и испытаний, приспособления и вспомогательные устройства, обеспечивающие с заданной точностью: изготовление образцов, измерение их геометрических характеристик и массы, проведение испытаний, включая нагружение образцов и измерение нагрузки, деформаций, времени распространения переднего фронта ультразвуковых волн, собственной частоты колебаний, параметров акустической эмиссии, а также регистрацию измеряемых величин.

3.2. При изготовлении образцов из бетонной смеси следует применять формы по ГОСТ 22685—77, виброплощадки по ГОСТ 10181.1—81 или другие средства уплотнения, предусмотренные программой испытаний, вспомогательные устройства и приспособления по ГОСТ 10180—78.

При выпиливании и выбуривании образцов из сооружений, конструкций, изделий следует применять оборудование по приложению 6.

Оборудование и аппаратуру, применяемые при твердении и хранении образцов, принимают по ГОСТ 10180—78.

3.3. При измерении геометрических размеров следует применять средства, обеспечивающие измерение линейных размеров с погрешностью не более 0,1 %.

3.4. При измерении массы следует применять весы и разновесы, обеспечивающие ее измерение с погрешностью не более 0,1 %.

3.5. При нагружении образцов и измерении нагрузки следует применять следующие средства испытания, приспособления и устройства.

3.5.1. Прессы, испытательные машины или другие нагружающие устройства, соответствующие требованиям ГОСТ 8905—82 и ГОСТ 10180—78, обеспечивающие: погрешность измерения нагрузки не более 1 % и поддержание заданной нагрузки с погрешностью не более 1 % в течение не менее 15 мин при ступенчатом нагружении в случае определения модуля упругости, коэффициента Пуассона, коэффициента упругости.

3.5.2. Прессы, испытательные машины и другие нагружающие устройства, удовлетворяющие п. 3.5.1 и обеспечивающие дополнительно нагружение с контролем деформаций для получения нисходящего участка диаграммы деформирования бетона. Для этой цели рекомендуется применять жесткие испытательные машины или машины со следящей системой.

Собственная жесткость жесткой испытательной машины B_m должна быть не менее жесткости образца.

Испытательные машины со следящей системой должны обеспечивать непрерывное нагружение образца со скоростью деформирования не более $1 \cdot 10^{-6}$ с$^{-1}$. Указанными характеристиками обладают испытательные машины фирм Инстрон (Великобритания), МТС (США), Шимадзу (Япония), Шенк (ФРГ) и др. Допускается использовать стандартные испытательные машины и прессы по п. 3.5.1, снабженные упругими перераспределяющими устройствами по приложению 7.

3.5.3. Дополнительные динамометры, устанавливаемые при проведении испытаний на стандартных испытательных машинах или других нагружающих устройствах, обеспечивающие измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % в заданном диапазоне.

Рекомендуется применять для этих целей образцовые динамометры по ГОСТ 9500—84, тензорезисторные динамометры по ГОСТ 15077—78, например, типа 1778.

3.5.4. Дополнительные опорные устройства с шаровыми шарнирами диаметром не более $0{,}2a$ или $0{,}25d$ при испытании на сжатие по приложению 8 для улучшения условий центрирования образца.

3.5.5. Квазигидрошарниры в соответствии с приложением 9, обеспечивающие при испытании на сжатие передачу на торец образца равномерно распределенной (типа гидростатической) нагрузки с целью уменьшения зоны влияния опор Δh.

3.5.6. Устройства для центрирования образца в нагруженном состоянии по приложению 10.

3.5.7. Захваты, обеспечивающие при испытании на растяжение: крепление образца без проскальзывания в процессе нагружения; отсутствие концентрации напряжений, вызывающих разрушение образца в зоне захвата или непосредственно прилегающей к ней; передачу нагрузки с эксцентриситетом не более $0{,}01a$ или $0{,}01d$.

Рекомендуемые схемы захватов приведены в приложении 11.

3.6. Для измерения деформаций следует применять следующие средства измерения, приспособления и регистрирующие приборы.

3.6.1. Первичные тензоизмерительные преобразователи, обеспечивающие измерение относительных деформаций с погрешностью не более $1 \cdot 10^{-5}$ в диапазоне от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1000 \cdot 10^{-5}$ при сжатии и $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ в диапазоне от $1 \cdot 10^{-5}$ до $200 \cdot 10^{-5}$ при растяжении, например, тензометры по ГОСТ 18957—82, тензорезисторы по ГОСТ 21616—76, а также применяемые для измерения деформаций средства измерения линейных перемещений — индикаторы часового типа по ГОСТ 577—68, рычажно-зубчатые индикаторы по ГОСТ 5584—75, многооборотные индикаторы по ГОСТ 9696—82 и др.

Верхний предел диапазона измерений определяется деформационными свойствами исследуемого бетона и программой испытаний.

Собственная база первичных тензоизмерительных преобразователей должна обеспечивать измерение на базе не менее, чем в 5 раз превосходящей средневзвешенный диаметр зерна крупного заполнителя для обычных тяжелых бетонов и в 3 раза для легких бетонов на пористых заполнителях или не менее, чем в 5 раз — средне-

взвешенный диаметр пор ячеистого бетона. Допускается перекрывать базу измерения цепочкой первичных тензоизмерительных преобразователей с меньшими значениями собственной базы.

3.6.2. Устройства для крепления первичных тензоизмерительных преобразователей к образцу, не вносящие дополнительных погрешностей в результаты измерения деформаций, что должно подтверждаться расчетом или соответствующим экспериментом. Усилие прижатия первичных преобразователей к образцу не должно превышать 30 Н.

Рекомендуемые типы крепежных приспособлений приведены в приложении 12.

3.6.3. Вторичные приборы для усиления, преобразования и регистрации информации, получаемой от первичных тензоизмерительных преобразователей. В зависимости от целей эксперимента вторичные приборы должны обеспечивать дискретную или непрерывную регистрацию деформаций. При обработке информации от нескольких первичных тензопреобразователей вторичные приборы должны быть многоканальными или быть укомплектованы ручными или автоматическими переключателями каналов измерения.

Суммарная погрешность первичных тензопреобразователей, вторичной аппаратуры и системы коммутации не должна превышать указанной в п. 3.6.1.

Вторичная аппаратура должна обеспечивать диапазон измерения деформаций по п. 3.6.1.

При дискретной регистрации деформаций цена наименьшего деления шкалы вторичного прибора или значение единицы наименьшего разряда его цифрового индикатора, цифропечатающего устройства, перфоратора и т. п. не должна превышать $1 \cdot 10^{-5}$ при измерении деформаций сжатия и $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ — деформаций растяжения.

При непрерывной регистрации деформаций цена 1 мм записи на диаграмме или осциллограмме не должна превышать $1 \cdot 10^{-5}$ при измерении деформаций сжатия и $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ — деформаций растяжения.

В качестве вторичных приборов для дискретной регистрации деформаций рекомендуется применять приборы типа АИД-4, ИД, ИДЦ-1, ЦТМ-3, ЦТМ-5, СИИТ; для непрерывной — осциллографы Н-115, Н-117, Н-700, Н-10М в комплекте с тензоусилителями типа 8АНЧ, «Топаз-1», «Топаз-3», УТС-12 или двухкоординатные самописцы типа Н-307, Н-306, ПДС-21М.

3.7. Для ультразвуковых измерений следует применять следующие приборы, преобразователи (датчики) и дополнительные устройства.

3.7.1. Приборы для измерения времени распространения переднего фронта ультразвуковых волн с ценой наименьшего деления шкалы или единицей наименьшего разряда цифровой индикации не более 0,1 мкс и основной абсолютной погрешностью Δ не более $\Delta = \pm (0{,}01\tau + 0{,}1)$ мкс, где τ — время распространения переднего фронта ультразвуковых волн в образце, мкс.

Допускается дополнительная учтенная постоянная систематическая погрешность за счет смещения начала отсчета времени.

При измерении времени распространения переднего фронта продольных ультразвуковых волн рекомендуется применять приборы с цифровой индикацией типа «Бетон 12», «Бетон 8-УР», «УФ-55МЦ, УФ-50, УК-14П, УК-10П, а при измерении времени распространения переднего фронта поперечных волн — приборы с электронно-лучевой трубкой типа УКБ-1М, ДУК-20. Приборы с электронно-лучевой трубкой допускается применять и при измерении времени распространения переднего фронта продольных волн.

3.7.2. Ультразвуковые преобразователи (датчики) для приема и передачи продольных ультразвуковых волн с номинальной частотой от 25 до 150 кГц, входящие в комплект стандартных ультразвуковых приборов.

Допускается применение преобразователей с волноводами (концентраторами), обеспечивающими акустический контакт с бетоном на площади $(2\pm0{,}4)$ мм^2 при условии их согласования с остальными элементами измерительного тракта.

3.7.3. Ультразвуковые преобразователи для приема и передачи поперечных (сдвиговых) ультразвуковых волн с использованием в качестве первичных преобразователей кристаллов *У* — среза кварца или сегнетовой соли, а также крестообразных пьезокерамических пластин.

3.7.4. Для обеспечения акустического контакта с бетоном первичных преобразователей по п. 3.7.2, не имеющих волноводов, применяют смазки по ГОСТ 17624—87, а для передачи и приема поперечных волн — неотвержденную эпоксидную смолу ЭД-6 или воско-канифольный компаунд.

3.7.5. Приспособления для крепления и прижима к бетонной поверхности первичных ультразвуковых и акустоэмиссионных преобразователей, обеспечивающие неизменный в процессе испытания акустический контакт и не вносящие дополнительных погрешностей в результаты измерения.

3.8. Для акустоэмиссионных измерений применяют средства измерения параметров акустической эмиссии, обеспечивающие в диапазоне частот 0,01—0,5 МГц регистрацию суммарного числа импульсов и активности АЭ соответственно в диапазонах $10—10^4$ имп и $10—(3{,}5—4{,}0)\cdot10^3$ имп/с с динамическим диапазоном не менее 40 дБ и чувствительностью не более 40 мкВ, позволяющие осуществлять ступенчатую частотную и амплитудную селекцию импульсов АЭ.

Рекомендуются следующие марки акустоэмиссионных приборов, удовлетворяющие заданным требованиям: Эффект-3, РМ-1, РМ-2, АВН-1, АВН-2, АВН-3, АФ-15.

Для проверки работоспособности средств измерения параметров АЭ необходимо предусмотреть стандартные образцы (имиторы АЭ или калибровочные устройства).

3.9. При резонансных измерениях применяют следующую аппаратуру и приспособления для возбуждения в бетонном образце механических колебаний переменной регулируемой частоты и измерения частоты и амплитуды этих колебаний.

3.9.1. Генераторы, обеспечивающие плавную регулировку вырабатываемой частоты в диапазоне от 50 Гц до 20 кГц с погрешностью поддержания заданной частоты не более ±1 %, например, генераторы типа ГЗ-4 (ЗГ-12); ГЗ-33;

3.9.2. Усилители возбуждения, позволяющие получать на выходе тракта возбуждения мощность не менее 10 Вт и плавно регулировать ее от нуля до максимального значения, например, усилители ТУ-50, ТУ-100.

3.9.3. Электронные частотомеры с дискретностью отсчета частоты не более 0,1 Гц и точностью не менее 1 %, например, частотомеры Ч3—33, Ч3—28.

3.9.4. Преобразователи — возбудители и приемники колебаний пьезоэлектрического или электродинамического типа, снабженные насадками — волноводами для передачи и приема механических колебаний от возбудителя к образцу и от образца к приемнику. Масса вибрирующих частей возбудителя и приемника не должна превышать 1 % массы образца.

3.9.4. Усилители приема, увеличивающие мощность сигнала, снятого с приемника, до 20 дБ.

3.9.5. Катодные осциллографы, например, типа С-1—1.

3.9.6. Измерители амплитуды колебаний образца, например, аналоговый вольтметр В3-2А.

3.9.7. Приспособления для крепления или установки образцов и преобразователей согласно приложению 13.

3.10. Все нестандартные средства измерения и испытания должны быть аттестованы по ГОСТ 8.001—80 и ГОСТ 8.326—78.

4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. При выполнении измерений, связанных с изготовлением образцов и определением прочностных, деформационных и структурно-механических характеристик бетона, должны быть соблюдены требования безопасности по ГОСТ 12.1.003—83, ГОСТ 12.1.012—78 (СТ СЭВ 1932—79, СТ СЭВ 2602—80), ГОСТ 12.1.019—79, (СТ СЭВ 4830—84), ГОСТ 12.3.013—77, «Правил техники безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов», а также требования по безопасности, приведенные в паспортах и инструкциях по эксплуатации применяемых средств измерения и испытаний.

4.2. При выполнении измерений на прессах и испытательных машинах следует устанавливать защитные экраны или другие устройства, защищающие операторов и измерительную аппаратуру от осколков образца, разлетающихся при его разрушении.

5. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

5.1. К выполнению измерений и обработке их результатов могут быть допущены лица, обученные правилам работы с машинами и прессами для испытания строительных материалов, тензометрическими, ультразвуковыми и акустическими средствами измерения, используемыми при испытании строительных материалов и конструкций, и прошедшие соответствующую аттестацию.

5.2. К выполнению работ по изготовлению образцов могут быть допущены лица, имеющие квалификацию лаборанта и прошедшие соответствующую аттестацию.

6. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. При выполнении измерений должны быть соблюдены следующие условия: температура окружающей среды (25 ± 10) °С; относительная влажность воздуха (70 ± 20) %; в рабочем пространстве должны отсутствовать сквозняки.

6.2. Колебания температуры в процессе выполнения измерений не должны превышать 2 °С, а влажности — 3 %.

6.3. Для образцов, хранящихся в нормальных условиях, продолжительность τ испытания партии образцов должна быть ограничена условием, что естественный прирост предела прочности к концу испытания не должен превышать 5 %.

Значение τ, в зависимости от вида напряженного состояния, вида цемента и водоцементного отношения, находят по приложению 14.

6.4. Колебания напряжения и частоты в сети питания средств измерения не должны превосходить значений пределов, указанных в паспортах используемых средств измерения.

7. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. При подготовке к выполнению измерений должны быть выполнены следующие работы: визуальный осмотр и отбраковка образцов; подготовка и разметка поверхности образцов к проведению испытаний, наклейке, установке измерительных приборов и преобразователей; установка на образце измерительных преобразователей; сборка измерительной схемы; опробование средств измерения, установка дополнительных устройств и приспособлений в испытательные установки, центрирование образца в прессе или испытательной машине; градуирование применяемой аппаратуры.

7.2. Перед началом испытаний образцы осматривают, устанавливая имеющиеся дефекты, измеряют линейные размеры и проверяют соответствие формы образцов требованиям п. 2.1.8 настоящей методики по ГОСТ 10180—78; определяют среднюю плотность бетона образцов по ГОСТ 12730.1—78, измеряя при этом размеры по

п. 3.3 настоящей методики, и проводят отбраковку по этим показателям в соответствии с требованиями разд. 2. Средняя плотность образцов из обычного тяжелого бетона не должна отличаться от средней по серии более, чем на 1 %, а образцов из легких и ячеистых бетонов — более, чем на 2 %.

7.3. Отбраковку образцов в серии по неоднородности их средней плотности допускается проводить по времени распространения переднего фронта ультразвуковых волн. С этой целью измеряют время их прохождения в каждом образце, устанавливая ультразвуковые преобразователи в центрах торцевых граней образца. В каждом образце измерения повторяют три раза, и их среднее арифметическое принимают за единичное значение времени распространения ультразвука для данного образца τ_i. По результатам единичных измерений вычисляют среднее значение времени распространения ультразвука в серии $\bar{\tau}$ и отклонения $\Delta\tau_i$ единичных значений от среднего

$$\Delta\tau_i = (\bar{\tau} - \tau_i). \qquad (7.1)$$

При этом должно соблюдаться условие

$$\Delta\tau_i \leqslant (0{,}04\bar{\tau} + 0{,}1), \qquad (7.2)$$

где τ в мкс.

Образцы, для которых условие (7.2) не соблюдается, отбраковывают.

Аналогичным образом рекомендуется оценивать неоднородность плотности бетона по отдельным сечениям образца в направлении укладки бетонной смеси (рис. 2). В этом случае за единичное значение времени распространения ультразвука для данного сечения τ_i принимают среднее арифметическое всех результатов измерения в данном сечении (четырех — для образцов горизонтальной бетонировки и двух — вертикальной), а $\bar{\tau}$ — принимают равным среднему арифметическому всех результатов измерений для данного образца. При проведении измерений рекомендуется использовать ультразвуковые преобразователи (датчики) с волноводами по п. 3.7.2.

7.4. Перед проведением ультразвуковых и акустоэмиссионных измерений выполняют следующие операции.

7.4.1. Выравнивают слоем гипсового раствора, пластилина или клея, которым будут крепиться преобразователи к образцу, мелкие шероховатости до 0,1 мм и раковины до 2 мм на поверхности образца в местах, где будут устанавливаться преобразователи. Бо́льшие неровности следует устранять механическим путем.

7.4.2. Наносят на поверхность образцов разметку мест установки преобразователей с погрешностью не более 1 % согласно приложению 15:

при измерении структурно-механических характеристик — в зоне однородного напряженного состояния соосно на противополож-

ных боковых гранях образца не менее, чем в двух сечениях по его высоте, в двух взаимно перпендикулярных направлениях в каждом сечении;

при определении динамического модуля сдвига — в центре одной из торцевых граней; линию перемещения второго преобразователя наносят по оси одной из боковых граней;

при определении динамического модуля упругости — в центре торцевых граней.

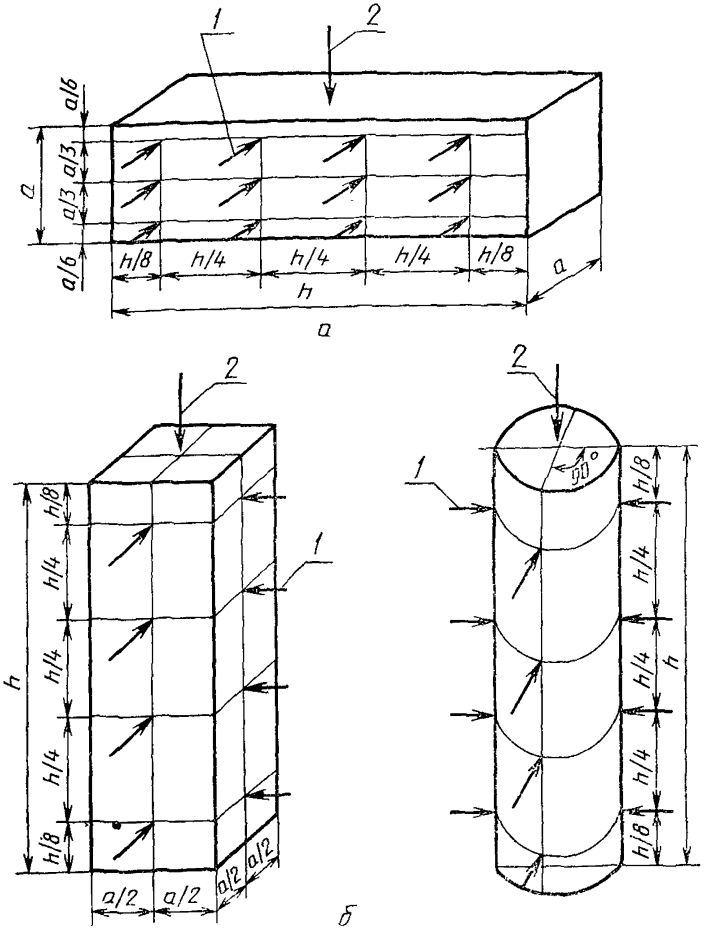


Рис. 2. Схемы прозвучивания при контроле акустической неоднородности бетона:

а—образцы горизонтального бетонирования с $a \geqslant 100$ мм; *б*—образцы вертикального бетонирования; *1*—направление прозвучивания; *2*—направление укладки бетона

7.4.3. Устанавливают в соответствии с разметкой преобразователи, крепящиеся стационарно: преобразователи ультразвуковых импульсов крепят с помощью клеев и приспособлений по п. 3.7.4, а преобразователь АЭ — с помощью клеев или приспособлений по п. 3.7.5 со смазкой по ГОСТ 17624—87.

7.4.4. Нестационарное крепление преобразователей осуществляют после установки образца в пресс после начала нагружения. Для обеспечения акустического контакта в этом случае преобразователи устанавливают через тонкий слой контактной смазки по ГОСТ 17624—87.

7.4.5. В тех случаях, когда в результате измерения времени распространения ультразвуковых волн определяют скорость, перед началом измерений следует исключить аппаратурным путем или учесть поправку на время их прохождения через слой контактной смазки и приемно-передаточный тракт. Для этого измеряют время прохождения ультразвуковых волн через прижатые друг к другу излучатель и приемник, рабочие поверхности которых покрыты слоем контактной смазки толщиной в два раза большей, чем между преобразователем и поверхностью бетона. Если между излучателем и приемником конструктивно существует гальваническая связь, то между ними помимо смазки прокладывают еще и полиэтиленовую, лавсановую, целлофановую или другую аналогичную пленку толщиной не более 0,05 мм.

7.5. При установке на образец средств измерения деформаций проводят следующие операции.

7.5.1. В зоне однородного напряженного состояния на образце размечают места установки тензометров или наклейки тензорезисторов. При этом погрешность разметки баз тензометров не должна превышать 1 мм (или должны определяться фактические размеры баз с точностью до 1 мм). Непараллельность между линиями разметки для наклейки продольных тензорезисторов и продольной осью образца не должна превышать 2 мм на 100 мм, а неперпендикулярность линий разметки для наклейки поперечных тензорезисторов к продольной оси образца не должна превышать 1 мм на 100 мм.

7.5.2. Базу измерения продольных деформаций принимают по п. 3.6.1. При испытании на растяжение желательно принимать базу измерения равной h_0.

7.5.3. Подготавливают поверхность бетона в местах наклейки тензорезисторов, тщательно на всю глубину заделывая поры в бетоне быстротвердеющим материалом (например, раствором гипса), и грунтуют ее тонким слоем клея, которым будут наклеиваться тензорезисторы.

7.5.4. В соответствии с нанесенной разметкой на образце с помощью специальных приспособлений и крепежных устройств устанавливают тензометры или наклеивают на его поверхность тензорезисторы согласно инструкции по их эксплуатации или паспорту.

Допускается устанавливать цепочки измерительных преобразователей, имеющих меньшую базу, чем указанная, при условии, что суммарная база цепочки будет не меньше требуемой.

7.5.5. Установленные на образец средства измерения опробуют до установки образца в пресс или испытательную машину.

7.6. На пресс или испытательную машину устанавливают дополнительные устройства для передачи нагрузки на образец (дополнительные шарниры, захваты, перераспределяющие устройства, динамометр и т. п.).

При испытаниях на растяжение захваты могут быть установлены на образец до его установки в испытательную машину.

7.6.1. Если при испытании на сжатие нагрузку на образец передают через два дополнительных шарнира, расположенных один сверху, а другой снизу образца, то основной шарнир пресса должен быть заглушен.

7.6.2. Для обеспечения равномерной передачи нагрузки по всей опорной площади образца рекомендуется устанавливать квазигидрошарниры по приложению 9 или применять прокладки из картона толщиной 2—4 мм, которые устанавливают между торцами образца и опорными плитами испытательной машины или дополнительных опорных устройств.

7.6.3. После установки на прессе или испытательной машине дополнительных опорных устройств или захватов проверяют их соосность. Эксцентриситет не должен превышать 1 мм при растяжении и 2 мм при сжатии.

7.7. На опорные устройства или в захваты устанавливают испытываемый образец (или образец с заранее установленными захватами в машину), подключают первичные преобразователи с электрическим выходом к регистрирующим приборам и проводят опробование средств измерения.

7.7.1. Опробование средств измерения скорости распространения ультразвуковых импульсов и сигналов АЭ проводят без приложения нагрузки, а средств измерения деформаций, как без нагрузки, так и с приложением усилия, равного (10 ± 5) % от ожидаемого максимального.

7.7.2. При опробовании без приложения нагрузки средств измерения, имеющих первичные преобразователи с электрическим выходом, проверяют стабильность показаний при переключении каналов измерения и при выдержке в течение не менее 1 мин. При этом показания не должны измениться более, чем на 0,5 деления шкалы.

7.7.3. При опробовании без приложения нагрузки средств измерения деформаций с механическими первичными преобразователями или с преобразователями, крепящимися к образцу с помощью механических крепежных приспособлений, постукиванием карандаша по преобразователям и крепежным приспособлениям проверяют надежность их установки. При этом показания не должны измениться более, чем на 0,5 деления шкалы.

7.7.4. При опробовании (без приложения нагрузки) средств измерения сигналов АЭ проводят отстройку аппаратуры от внешних помех при работающей на холостом ходу испытательной машине или прессе путем частотной или пороговой селекции. Осуществляется имитация сигналов АЭ, например, трением грифеля о поверхность образца в районе установки преобразователя АЭ.

7.7.5. При опробовании с приложением нагрузки средств измерения деформаций разница их показаний до приложения нагрузки и после ее снятия не должна превышать 0,5 деления шкалы. Опробование проводят не менее трех раз.

Допускается совмещать эту операцию с центрированием образца по физической оси по п. 7.9.

7.8. Проводят, в случае необходимости, градуировку аппаратуры (в комплекте с коммутирующими, регистрирующими и другими устройствами, применяемыми при проведении измерений).

7.9. Перед испытанием, целью которого является определение механических и (или) структурно-механических характеристик при сжатии, проводят центрирование образца по физической оси путем пробных нагружений его усилием, не превышающем $0{,}3\,F_u$. При этом проводят следующие операции:

7.9.1. Образец, установленный в прессе или испытательной машине по его геометрической оси, нагружают усилием (0,05—0,1)F_u, которое принимают за условный нуль.

7.9.2. Устанавливают на нуль тензоизмерительные приборы или регистрируют нулевой отсчет. Нагружают образец до уровня $0{,}3\,F_u$, регистрируют показания тензоизмерительных приборов для измерения продольных деформаций и разгружают образец до условного нуля.

7.9.3. Вычисляют размах (разность между максимальным и минимальным значениями) деформаций, измеренных по отдельным граням (образующим) образца. Если он не превышает $2 \cdot 10^{-5}$, то центрирование образца признается удовлетворительным. Если это условие не выполнено, то образец разгружают, перемещают в сторону наиболее нагруженной грани или образующей (с максимальной деформацией) и повторяют операции по пп. 7.9.1—7.9.3, пока указанное условие не будет выполнено, но не более пяти раз.

7.9.4. Если после пяти циклов центрирования условие, указанное в п. 7.9.3, не будет выполнено, то проверяют техническое состояние опорных устройств и креплений тензоизмерительных приборов. В случае их соответствия установленным требованиям образец бракуют.

7.9.5. Рекомендуется проводить центрирование с помощью приспособления по приложению 10.

В этом случае образец после нагружения по пп. 7.9.1—7.9.2 не разгружают, а проводят корректировку положения образца под нагрузкой.

7.10. Перед проведением измерений для определения динамического модуля упругости и (или) динамического модуля сдвига резонансным методом проводят следующие операции.

7.10.1. Определяют плотность образцов по п. 7.2 с погрешностью не более 1 %.

7.10.2. Наносят на образец с погрешностью не более 2 % разметку мест установки преобразователей и мест опирания по приложению 13.

7.10.3. Собирают измерительную схему по приложению 16.

7.10.4. Согласно приложению 13 помещают образец в установку и устанавливают возбудитель и приемник колебаний. При этом пьезоэлектрические или контактные электродинамические преобразователи устанавливают с помощью специальных приспособлений непосредственно на гранях образца, а бесконтактный электродинамический — на расстоянии 1,5—2 мм от грани образца.

7.10.5. Оценивают ожидаемые значения собственных частот колебаний образца, исходя из ориентировочных значений модулей упругости, фактических размеров и плотности бетона образцов.

7.11. Перед проведением акустоэмиссионных измерений проводят следующие операции.

7.11.1. С целью предотвращения ложных сигналов, вызванных сколами ребер образца и появлением в них трещин, скругляют вручную все ребра, проводя по ним, с легким нажимом, абразивным камнем.

7.11.2. Устанавливают требуемую чувствительность измерительной аппаратуры, используя для этой цели встроенные или придаваемые к ней калибраторы или стандартные образцы.

При их отсутствии рекомендуется применять следующую методику. Стальной образец диаметром (40±5) мм и высотой (150±±10) мм устанавливают вертикально на войлочную или поролоновую прокладку толщиной 3—5 мм. На одной из его боковых граней устанавливают акустоэмиссионный преобразователь. На верхний торец образца с высоты (100±10) мм сбрасывают стальной шарик диаметром 5 мм. По полученному сигналу устанавливают чувствительность измерительной аппаратуры.

7.12. Рекомендуется до начала испытания установить экспериментально значение равновесной скорости деформирования $\dot{\varepsilon}_{cr}$ и эквивалентной ей скорости нагружения $\dot{\sigma}_{cr}$.

С этой целью образец нагружают ступенями по 0,05—0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки F_u со скоростью роста нагрузки при ее подъеме со ступени на ступень в пределах 0,4—0,6 МПа $с^{-1}$. На каждой ступени нагрузку выдерживают до тех пор, пока с точностью до $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ не прекратится прирост продольной деформации ε_1. Чтобы зафиксировать этот момент, деформацию на ступени либо записывают на самописец, либо измеряют дискретно через каждые 1—2 мин. При трехкратном повторении отсчета или неизменности деформации в течение 3 мин считают процесс неупругого

деформирования окончившимся и повышают нагрузку до следующего уровня. Такое нагружение проводят до тех пор, пока длительность процесса стабилизации деформации на ступени не превзойдет 15 мин.

По результатам измерения определяют соответствующие достигнутому уровню нагрузки напряжение σ_η и продольную деформацию $\varepsilon_{1\eta}$, а также время $\Delta\tau_\eta$, необходимое для их достижения, без учета времени, в течение которого не было отмечено прироста деформации.

На основании полученных данных вычисляют:

равновесную скорость деформирования

$$\dot{\varepsilon}_{cr} = \frac{\varepsilon_{1\eta}}{\Delta\tau_\eta}; \qquad (7.3)$$

эквивалентную скорость нагружения $\dot{\sigma}_{cr}$, соответствующую $\dot{\varepsilon}_{cr}$

$$\dot{\sigma}_{cr} = \frac{\sigma_\eta}{\Delta\tau_\eta}. \qquad (7.4)$$

8. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1. При определении прочностных и деформационных характеристик механическим методом должны быть выполнены следующие операции.

8.1.1. После центрирования образца по п. 7.9 снимают при нагрузке условного нуля начальные отсчеты по тензоизмерительным приборам.

В случае применения тензопреобразователей, позволяющих применить схемное усреднение их показаний, рекомендуется усреднить показания всех установленных на образце отдельно вдоль и поперек его продольной оси приборов.

8.1.2. Если задачей эксперимента является измерение характеристик, для определения которых требуется выделить упругую составляющую деформаций (E_b, ν_b, λ_{bu}), то образец нагружают монотонно ступенями, не превышающими 7,5 % от R_{bn} или R_{btn}.

При испытании на прессах или испытательных машинах, позволяющих регулировать скорость подъема нагрузки, при переходе со ступени на ступень следует обеспечивать возрастание напряжения в образце со скоростью по ГОСТ 10180—78, т. е. 0,4—0,8 МПа·с$^{-1}$.

8.1.2.1. На ступенях нагрузки делают выдержки, на которых дискретно или непрерывно фиксируют показания тензоизмерительных приборов.

Нагрузка на выдержке должна поддерживаться с погрешностью не более 1 деления шкалы силоизмерителя пресса или испытательной машины.

8.1.2.2. Продолжительность выдержки на ступени определяется временем, необходимым для прекращения деформаций быстронатекающей ползучести бетона.

Продолжительность выдержки принимают на основании результатов измерений по п. 7.12.

8.1.2.3. Если такие измерения не проводились, то рекомендуется принимать следующую продолжительность выдержек:

при испытаниях на сжатие выдержка на ступенях нагрузки до 0,4 R_{bn} должна быть не менее 5 мин, при более высоких уровнях не менее 10 мин, а при уровнях выше 0,7 R_{bn} не более 15 мин;

при испытаниях на растяжение не менее 3 мин на всем диапазоне нагружения и не более 10 мин при уровнях выше 0,7 R_{btn} .

8.1.2.4. Если по результатам испытания определяют только ν_b и E_b , то по достижении нагрузки, соответствующей, примерно, 0,7 R_{bn} (0,7 R_{btn}), измерение деформации механическими приборами, во избежание их повреждения, можно прекратить, приборы снять и довести образец до разрушения, повышая нагрузку непрерывно со скоростью, указанной в п. 8.1.2.

8.1.2.5. Если определяют также и λ_{bu} , то деформации измеряют до разрушения образца. В этом случае рекомендуется использовать тензорезисторы или электромеханические тензометры, фиксируя их показания непрерывной записью.

8.1.3. Если в задачу эксперимента входит получение диаграммы полных деформаций и определение деформации ε_{1u}, то нагружение образца рекомендуется проводить с контролем деформаций, чтобы четко зафиксировать точку максимума на диаграмме σ—ε_1.

В этом случае для нагружения используют оборудование по п. 3.5.2, а деформации записывают.

8.1.3.1. При испытании на жестких испытательных машинах или машинах со следящей системой образец нагружают с постоянной скоростью роста деформаций. Ее принимают равной равновесной скорости деформирования, определенной по п. 7.12.

Если такие измерения не проводились, то принимают скорость деформирования не более $1 \cdot 10^{-6}$ с$^{-1}$.

8.1.3.2. При испытании на гидравлических прессах с применением перераспределяющих устройств нагружение ведут непрерывно со средней (эквивалентной) скоростью нагружения, определенной по п. 7.12.

Если такие измерения не проводились скорость нагружения выбирают такой, чтобы общая продолжительность испытания составляла 30—60 мин.

8.1.4. Разрушающую нагрузку фиксируют по силоизмерителю пресса (испытательной машины) с погрешностью не более 1 %.

8.1.5. Результаты измерений фиксируют в журнале по форме приложения 17. В случае записи измеряемых величин на самописцах или цифропечатающих комплексах к журналу прикладываются соответствующие диаграммы или распечатки.

8.2. При определении структурно-механических характеристик при механических испытаниях должны быть выполнены следующие операции.

8.2.1. При определении структурно-механических характеристик по результатам тензометрических измерений должны быть выполнены операции, связанные с определением полных деформаций по п. 8.1.2 или п. 8.1.3.

Рекомендуется при схемном осреднении по п. 8.1.1 вести запись непосредственно в координатах σ—Θ или ε_1—ε_2.

Если задачей испытания является только определение структурно-механических характеристик, то образец нагружают ступенями с продолжительностью выдержек по п. 8.1.2.3. Отсчеты по тензоизмерительным приборам допускается снимать только в конце выдержек.

8.2.2. Ультразвуковые и акустоэмиссионные измерения для определения структурно-механических характеристик проводят при ступенчатом нагружении образца.

При реализации ультразвукового метода время распространения ультразвуковых волн измеряют на ступенях нагружения один раз в конце выдержек.

При реализации акустоэмиссионного метода регистрируют число импульсов АЭ $\Delta N_{\Sigma j}$ во время подъема нагрузки со ступени на ступень и в течение 5 мин при выдержке ее на ступени.

Если для определения структурно-механических характеристик используют одновременно ультразвуковой и акустоэмиссионный методы, то ультразвуковые измерения следует проводить только после окончания акустоэмиссионных.

Совмещать ультразвуковые или акустоэмиссионные измерения с тензометрическими можно.

8.2.3. Результаты тензометрических измерений фиксируют согласно п. 8.1.5, а ультразвуковых и акустоэмиссионных дополнительно в журналах по форме приложений 18 и 19.

8.3. Ультразвуковые измерения для определения динамических модулей упругости и сдвига рекомендуется проводить на одних и тех же образцах.

8.4. При определении динамического модуля упругости ультразвуковым методом должны быть выполнены следующие операции.

8.4.1. В соответствии с разметкой по п. 7.4.2 устанавливают ультразвуковые преобразователи с помощью смазки.

8.4.2. В соответствии с паспортом или инструкцией на ультразвуковой прибор измеряют с точностью до 0,1 мкс время τ_{im} распространения через образец переднего фронта ультразвуковых волн. Повторяют измерение еще два раза, каждый раз снимая и снова устанавливая преобразователи, если они не были установлены стационарно.

8.4.3. Результаты измерений заносят в ведомость испытаний.

8.5. При определении динамического модуля сдвига ультразвуковым методом должны быть выполнены следующие операции.

8.5.1. В соответствии с разметкой по п. 7.4.2 на торцевой грани образца устанавливают с помощью смазки излучатель ультразвуковых волн (если он не был ранее установлен стационарно).

8.5.2. Передвигают приемник вдоль боковой грани образца и измеряют с помощью прибора, снабженного электронно-лучевой трубкой, время τ_{tim} распространения поперечных ультразвуковых волн, фиксируя соответствующие базы измерения l_{tim}. Измерения проводят не менее трех раз, занося результаты в ведомость испытаний.

8.6. При определении динамического модуля упругости или динамического модуля сдвига резонансным методом, непрерывно меняя частоту генератора в пределах ±50 % от найденной предварительно по п. 7.10, устанавливают по частотомеру то ее значение, при котором амплитуда собственных колебаний образца, фиксируемая по показаниям амплитудомера (осциллографа или аналогового вольтметра), достигает максимума. Измерения проводят не менее трех раз, занося результаты в ведомость испытаний.

Измерения для определения динамических модулей упругости и сдвига рекомендуется проводить на одних и тех же образцах.

8.7. После определения прочностных и деформационных характеристик на каждом образце в серии определяют влажность бетона по ГОСТ 12730.2—78.

9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1. Обработку результатов измерений следует выполнять в зависимости от метода их регистрации с использованием либо микрокалькуляторов, либо ЭВМ с применением стандартных и специальных программ.

9.2. По результатам измерения линейных размеров образца по п. 7.2 по ГОСТ 10180—78 вычисляют среднее значение площади поперечного сечения образца A (в мм^2) с точностью до первого знака после запятой.

9.3. По результатам измерения по п. 8.1 разрушающей нагрузки F_u или F_{ut} вычисляют по ГОСТ 10180—78 для каждого i-го образца в серии значение предела прочности $R_{bn,i}$ или $R_{btn,i}$ (в МПа) с округлением до первого знака после запятой.

9.4. Для исключения аномальных результатов проверяют выполнение условия

$$\frac{R_{bn,\max}-R_{bn,\min}}{R_{bn,\max}} \leqslant 0{,}15; \qquad (9.1)$$

или

$$\frac{R_{btn,\max}-R_{btn,\min}}{R_{btn,\max}} \leqslant 0{,}30, \qquad (9.2)$$

где $R_{bn,\max}$; $R_{bn,\min}$ — соответственно максимальное и минимальное значения предела прочности в серии образцов при испытании на сжатие; $R_{btn,\max}$, $R_{btn,\min}$ — то же, на растяжение.

Если условия (9.2) или (9.1) не выполняются, то образец с значением $R_{bn,\min}$ или $R_{btn,\min}$ из дальнейшей обработки исключают.

Проверку проводят только один раз для всех значений $R_{bn,i}$ ($R_{btn,i}$).

9.5. Вычисляют среднее значение предела прочности R_{bn} или R_{btn} для серии:

$$R_{bn}=\frac{\sum_{i=1}^{n} R_{bn,i}}{n}\ ; \tag{9.3}$$

$$R_{btn}=\frac{\sum_{i=1}^{n} R_{btn,i}}{n}\ , \tag{9.4}$$

где n — число образцов после отбраковки по п. 9.4.

Полученный результат округляют до первого знака после запятой.

9.6. Для каждого i-го образца в серии для каждой j-ой ступени нагружения вычисляют напряжение σ_{ij} с учетом фактического значения площади поперечного сечения данного образца A_i, определенной по п. 9.2. Значения σ_{ij} (в МПа) округляют до первого знака после запятой.

9.7. Для каждого k-го преобразователя для каждой ступени нагружения вычисляют значения относительной деформации ε_{kj}.

При ступенчатом нагружении вычисления проводят для данных измерения в начале и в конце выдержек на ступенях.

9.7.1. Если деформации измеряли с помощью средств измерения линейных перемещений, проградуированных по линейным перемещениям, то для каждого k-го преобразователя, для каждой ступени или уровня нагружения вычисляют значения относительной деформации ε_{kj} по формуле:

$$\varepsilon_{kj}=\frac{\Delta l_{kj}}{l_k}\ , \tag{9.5}$$

где Δl_{kj} — абсолютная линейная деформация в мм, измеренная с точностью не менее 0,01 мм для продольных деформаций сжатия и до 0,001 мм для продольных деформаций растяжения и поперечных; l_k — база измерения k-го преобразователя до начала измерения в мм, определенная согласно указаниям п. 7.5.1.

9.7 2. Если деформации измеряли дискретно с помощью аппаратуры, проградуированной в относительных единицах, то значения ε_{kj} определяют, вычитая нулевые отсчеты из результатов замеров на каждой ступени.

9.7.3. Если деформации записывали с помощью осциллографов или самописцев, то значения ε_{kj} вычисляют с учетом переходных коэффициентов, определенных по результатам градуировки по п. 7.8.

9.7.4. Значения ε_{kj} вычисляют с точностью до $1\cdot10^{-5}$.

9.8. При дискретном измерении для каждой ступени или уровня нагружения вычисляют с точностью до $1 \cdot 10^{-5}$ среднее значение отдельно продольных и поперечных деформаций по всем установленным на образце преобразователям, предназначенным для определения данного типа деформаций, по формуле

$$\varepsilon_j = \frac{\sum_{j=1}^{k} \varepsilon_{kj}}{k}, \qquad (9.6)$$

где k — количество преобразователей на образце для измерения данного вида деформаций; ε_{kj} — деформация, определенная по единичному k-му преобразователю по п. 9.7.1.

При записи деформаций и непрерывном нагружении, если в задачи эксперимента входит определение границ микротрещинообразования, значения ε_j вычисляют для уровней напряжений, выбранных через равные интервалы $\Delta\sigma$, не превышающие $0{,}1\ R_{bn}$ $(0{,}1\ R_{btn})$.

Примечание. Вычисления по пп. 9.7—9.8 проводят, если в процессе испытания не было проведено схемное осреднение результатов измерения деформаций на образце.

9.8.1. Фиксируют значение продольной деформации ε_{1u} по результатам измерений с записью деформаций:

если нагружение проводили с контролем деформаций, то значение ε_{1u} соответствует точке максимума на диаграмме σ—ε_1;

если нагружение проводили с контролем нагрузки, то значение ε_{1u} принимают ориентировочно равным деформации в точке выхода экспериментальной диаграммы на прямую, соответствующую R_{bn}.

9.9. Для каждого i-го образца для каждой j-ой ступени нагружения *по каждому виду деформации (продольной или поперечной)*, исходя из средних значений деформаций ε_j по п. 9.8, вычисляют:

деформации быстронатекающей ползучести $\varepsilon_{pl,j}$ как разность между значениями деформации в конце и в начале выдержек на ступени;

упругую составляющую $\varepsilon_{el,j}$ деформаций как разность между полной деформацией на данной ступени (в конце выдержки) ε_j и суммой деформаций быстронатекающей ползучести на этой и всех предыдущих ступенях нагружения:

$$\varepsilon_{el,j} = \varepsilon_j - \sum_{j=1}^{j} \varepsilon_{pl,j}. \qquad (9.7)$$

9.10. Определение прочностных и деформационных характеристик

9.10.1. Механический метод

9.10.1.1. Для каждого i-го образца строят график в координатах σ—ε_{el}, на который наносят значения напряжений σ_j, определенные по п. 9.6 для всех ступеней нагружения, и соответствующие им

значения упругих продольных $\varepsilon_{1el,j}$ и поперечных $\varepsilon_{2el,j}$ деформаций, определенные по п. 9.9.

На этом графике в интервале (0,05—0,5) R_{bn} или (0,1—0,7) R_{btn} через экспериментальные точки проводят осредняющие прямые, визуально или по приложению 21, принимая $x_j = \sigma_j$; $y_j = \varepsilon_{1el,j}$ ($y_j = \varepsilon_{2el,j}$).

9.10.1.2. Для каждого образца определяют модуль упругости E_{bi} как тангенс угла наклона к оси ε_1 диаграммы продольных упругих деформаций σ—ε_{1el}. Если осредняющую прямую проводили по приложению 21, то $E_{bi} = I/B$, где B — коэффициент уравнения регрессии.

Если диаграмма σ—ε_{1el} для данного вида бетона нелинейна с начала нагружения, то вычисляют секущий модуль по ГОСТ 24452—80.

Значения E_{bi} (в МПа) округляют до 10 МПа.

Возможные варианты диаграмм σ—ε_{1el} и определение по ним модуля упругости приведены в приложении 20.

9.10.1.3. По значениям модуля упругости E_{bi} для отдельных образцов в серии вычисляют среднее значение модуля упругости E_b:

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_{bi}}{n}, \qquad (9.8)$$

где n — число образцов в серии после отбраковки по п. 9.4.

Значение E_b округляют до 100 МПа.

9.10.1.4. Для каждого образца определяют коэффициент Пуассона ν_{bi} как отношение тангенса угла наклона к оси ε_1 диаграммы упругих продольных деформаций σ—ε_{1el} к тангенсу угла наклона к оси ε_2 диаграммы упругих поперечных деформаций σ—ε_{2el}. Если осредняющие прямые проводили по приложению 21, то $\nu_{bi} = B_2/B_1$ где B_1 и B_2 — коэффициенты уравнений линейной регрессии соответственно для диаграмм σ—ε_{1el} и σ—ε_{2el}.

Значение ν_{bi} вычисляют с точностью до третьего знака после запятой.

Примечание. При определении тангенса угла наклона диаграммы σ—ε_{2el} к оси ε_2 следует руководствоваться п. 9.10.1.2 по нахождению тангенса угла наклона диаграммы σ—ε_{1el}.

9.10.1.5. По значениям коэффициента Пуассона для отдельных образцов в серии ν_{bi} вычисляют среднее значение коэффициента Пуассона ν_b:

$$\nu_b = \frac{\sum_{i=1}^{n} \nu_{bi}}{n}. \qquad (9.9)$$

Значение ν_b округляют до второго знака после запятой.

9.10.1.6. Определяют для каждого образца коэффициент упругости λ_{bui}.

В случае ступенчатого нагружения с контролем нагрузки значение λ_{bui} определяют следующим образом. Для каждого образца диаграмму σ—ε_{1el}, построенную по п. 9.10.1.2, продлевают до $\sigma = R_{bn}$ и $\sigma = 0$ и находят для нее с точностью до $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ значение упругой деформации $\varepsilon_{1el,u}$ соответствующее R_{bn}. Вычисляют с точностью до третьего знака после запятой значение коэффициента упругости λ_{bui} по формуле:

$$\lambda_{bui} = \frac{\varepsilon_{1el,u}}{\varepsilon_{1u}}, \tag{9.10}$$

где ε_{1u} — полная продольная деформация, соответствующая пределу прочности образца, определенная по пп. 9.7—9.8;

$\varepsilon_{1el,u}$ — упругая деформация, соответствующая пределу прочности образца.

Примечание. Если для данной серии испытывали также образцы-близнецы, нагружаемые с контролем деформаций, рекомендуется значение ε_{1ui} уточнять по результатам этих испытаний.

В случае нагружения с контролем деформаций значение λ_{bui} может быть определено по экспериментальной диаграмме продольных деформаций по формуле:

$$\lambda_{bui} = \frac{R_{bni} \cdot \varepsilon_{1u,i}}{\Omega_i}, \tag{9.11}$$

где Ω_i — площадь под восходящей ветвью диаграммы продольных деформаций для данного образца.

9.10.1.7. По значениям коэффициента упругости для отдельных образцов в серии λ_{bui} вычисляют среднее значение коэффициента упругости λ_{bu}:

$$\lambda_{bu} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{bui}}{n}. \tag{9.12}$$

Значение λ_{bu} округляют до второго знака после запятой.

9.10.1.8. Исходя из значений λ_{bu}, ε_{1u} и R_{bn}, диаграмма полных продольных деформаций для обычного тяжелого бетона на цементных вяжущих может быть записана в виде:

$$\sigma = R_{bn}\left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{1u}}\right)^{\frac{1}{\lambda_{bu}}}. \tag{9.13}$$

9.10.2. Ультразвуковой импульсный метод.

9.10.2.1. Вычисляют среднее значение τ_i времени распространения переднего фронта продольных ультразвуковых волн через образец по результатам трех единичных измерений времени τ_{im} по п. 8.4.2:

$$\tau_i = \frac{\sum_{m=1}^{m} \tau_{im}}{m}. \tag{9.14}$$

Значение τ_i вычисляют с точностью до 0,01 мкс.

9.10.2.2. Для каждого образца в серии, исходя из значений фактической средней плотности бетона, определенной по п. 7.2, времени распространения переднего фронта продольных ультразвуковых волн τ_i и его базы измерения l_i вычисляют с точностью до 10 МПа динамический модуль упругости бетона $E_{bd,i}$

$$E_{bd,i}=\frac{l_i^2\cdot\gamma_i}{\tau_i^2\cdot K}, \qquad (9.15)$$

где l_i — база измерения в мм, равная длине (высоте) образца; γ_i — средняя плотность бетона образца в кг/м^3; τ_i — время распространения переднего фронта продольных ультразвуковых волн в мкс; $K=1$ — коэффициент формы образца.

9.10.2.3. Вычисляют с точностью до 100 МПа среднее значение динамического модуля упругости E_{bd} в серии из n образцов по формуле:

$$E_{bd}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n} E_{bd,i}}{n}. \qquad (9.16)$$

9.10.2.4. Исходя из значений E_{bd}, статический модуль упругости бетона E_b принимают ориентировочно равным (0,7—0,9) E_{bd}.

9.10.2.5. По формуле (9.14) согласно указаниям п. 9.10.2.1 вычисляют среднее значение τ_{ti} времени распространения переднего фронта поперечных ультразвуковых волн по результатам трех единичных измерений τ_{tim} по п. 8.5.2 и аналогично вычисляют среднее значение базы измерения l_{ti}.

9.10.2.6. Для каждого образца в серии, исходя из значений фактической плотности бетона, времени распространения τ_{ti} и базы измерения l_{ti} поперечных ультразвуковых волн, вычисляют с точностью до 10 МПа динамический модуль сдвига $G_{bd,i}$ по формуле:

$$G_{bd,i}=\frac{l_{ti}^2\gamma_i}{\tau_{ti}^2}, \qquad (9.17)$$

где l_{ti} — база измерения переднего фронта поперечных ультразвуковых волн в мм; γ_i — средняя плотность бетона образца в кг/м^3; τ_{ti} — время распространения переднего фронта поперечных ультразвуковых волн в мкс;

9.10.2.7. Вычисляют с точностью до 100 МПа среднее значение динамического модуля сдвига G_{bd} в серии из n образцов по формуле:

$$G_{bd}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n} G_{bd,i}}{n}. \qquad (9.18)$$

9.10.2.8. Вычисляют, округляя результат до второго знака после запятой, динамический коэффициент Пуассона для данной серии ν_{bd} по формуле:

$$\nu_{bd}=0{,}5\left(\frac{E_{bd}}{G_{bd}}-2\right). \qquad (9.19)$$

9.10.3. Резонансный метод

9.10.3.1. Вычисляют среднее значение f_{oLi} или f_{oBi} и f_{oTi} частоты собственных соответственно продольных или изгибных и крутильных колебаний по результатам трех единичных измерений каждой величины ($f_{oLi,m}$, $f_{oBi,m}$, $f_{oTi,m}$), выполненных по п. 8.6,

$$f_{oi}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{m} f_{oi,m}}{m}. \qquad (9.20)$$

Значения f_{oi} вычисляют с точностью до 1 Гц.

9.10.3.2. Для каждого образца в серии, исходя из фактических для данного образца значений частот собственных колебаний f_{oi}, плотности бетона γ_i и геометрических характеристик l_i, i_i вычисляют с точностью до 10 МПа динамический модуль упругости E_{bdi}, и динамический модуль сдвига $G_{bd,i}$ по следующим формулам:

при возбуждении в образце продольных колебаний

$$E_{bd,i}=K^2 l_i^2 \cdot f_{oLi}^2 \gamma_i; \qquad (9.21)$$

при возбуждении в образце изгибных колебаний

$$E_{bd,i}=0{,}078c \cdot l_i^4 i^2 f_{oBi} \gamma_i, \qquad (9.22)$$

при возбуждении в образце крутильных колебаний

$$G_{bd,i}=4\gamma_i f_{oTi}^2 l_i^2 \eta, \qquad (9.23)$$

где l_i — длина образца в мм; γ_i — средняя плотность бетона в образце в кг/м^3; i_i — радиус инерции сечения образца в мм; f_{oLi}, f_{oBi}, f_{oTi} — частота собственных колебаний соответственно продольных изгибных, крутильных в Гц; K — коэффициент формы образца: $K=1$ при $l/a\geqslant 3$; c — коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения, момента его инерции, длины образца и коэффициента Пуассона ($c=1{,}78$ для квадратного сечения при $\nu_b=0{,}2$);

η — коэффициент формы поперечного сечения образца ($\eta=1{,}183$ для квадратного сечения; $\eta=1{,}0$ для круглого сечения).

9.10.3.3. Вычисляют согласно пп. 9.10.2.3, 9.10.2.7 и 9.10.2.8 средние для серии значения динамического модуля упругости E_{bd}, динамического модуля сдвига G_{bd} и динамического коэффициента Пуассона ν_{bd}, а согласно п. 9.10.2.4 значение модуля упругости E_b.

9.11. Определение структурно-механических характеристик.

9.11.1. Механический метод.

9.11.1.1. Для каждого образца находят структурно-механические характеристики — нижнюю $R^0_{b,crc,i}$ и верхнюю $R^\nu_{b,crc,i}$ границы микротрещинообразования как параметрические точки на диаграммах σ—Θ и σ—$\Delta\Theta$ или ε_1—ε_2 (рис. 3, *а*—*в*).

9.11.1.2. Если диаграммы σ—Θ или ε_1—ε_2 автоматически записывали во время испытания, то границы микротрещинообразования находят непосредственно по этим диаграммам.

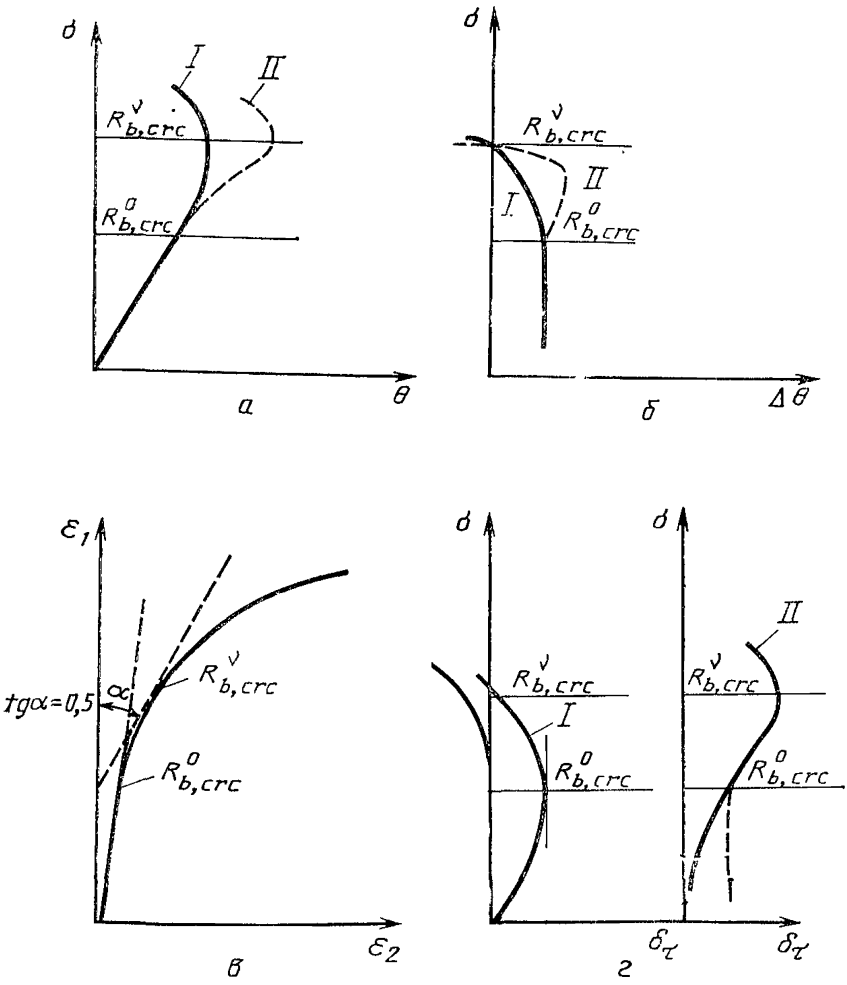


Рис. 3. Определение структурно-механических характеристик по диаграммам изменения объема σ—θ (*а*), его приращения σ—Δθ (*б*), ε_1—ε_2 (*в*), приращения времени распространения ультразвука δ_τ (*г*); *I* и *II* — возможные варианты экспериментальных диаграмм

Для определения $R^{0}_{b,crc}$ визуально находят конец (правую границу) начального линейного участка этих диаграмм. Напряжение, соответствующее концу линейного участка, принимают за $R^{0}_{b,crc,1}$ (рис. 3, *а* и *в*).

Для определения $R^{v}_{b,crc}$ на диаграмме σ—Θ (рис. 3, *а*) находят точку экстремума, а на диаграмме ε_1—ε_2 (рис. 3, *в*) — точку ее касания с прямой, проведенной к оси ε_1 под углом, тангенс которого равен 0,5. Соответствующее напряжение принимают за $R^{v}_{b,crc,i}$.

Примечание. Для нахождения $R^{v}_{b,crc}$ по диаграмме ε_1—ε_2 рекомендуется через точку с координатами ($\varepsilon_1=2$; $\varepsilon_2=1$) провести из начала координат прямую, а затем параллельно этой прямой касательную к диаграмме ε_1—ε_2.

9.11.1.3. Для определения напряжения σ (нагрузки F), соответствующего произвольным значениям ε_{1j} и ε_{2j} на диаграмме ε_1—ε_2, следует воспользоваться одним из следующих способов:

1) одновременно с диаграммой ε_1—ε_2 записывать диаграмму σ—ε_1 (F—ε_1), сохраняя масштаб ε_1;

2) на входы графопостроителя, на котором записывается диаграмма ε_1—ε_2, подавать от электродинамометра электрические импульсы в моменты, соответствующие значениям напряжения (нагрузки), кратным заданному интервалу Δσ (ΔF). При этом на диаграмме ε_1—ε_2 появляются всплески, по числу которых можно определить значение σ(F).

9.11.1.4. Если диаграммы σ—Θ или ε_1—ε_2 не записывались, то по средним значениям полной продольной ε_{1ij} и полной поперечной ε_{2ij} деформации, найденным по п. 9.8 настоящей методики, для каждого i-го образца, для каждой j-ой ступени нагружения вычисляют значения объемной деформации Θ_{ij} и ее приращения $\Delta\Theta_{ij}$:

$$\Theta_{ij}=\varepsilon_{1ij}-2\varepsilon_{2ij}; \tag{9.24}$$

$$\Delta\Theta_{ij}=\Theta_{ij}-\Theta_{i(j-1)}. \tag{9.25}$$

Для каждого образца на графики в координатах σ—Θ и σ—ΔΘ наносят точки, соответствующие значениям (σ_{ij}, Θ_{ij}) и (σ_{ij}, $\Delta\Theta_{ij}$), или на график в координатах ε_1—ε_2 — точки, соответствующие значениям (ε_{2ij}, ε_{1ij}).

Через нанесенные точки проводят осредняющую кривую визуально или с выделением начального линейного участка согласно приложению 21.

Напряжение, соответствующее правой границе линейного участка, принимают за $R^{0}_{b,crc,i}$ (рис. 3, *а*—*в*).

Верхнюю границу микротрещинообразования $R^{v}_{b,crc,i}$ находят по диаграмме σ_i—$\Delta\Theta_i$ (рис. 3, *б*) как значение напряжения при $\Delta\Theta_i=0$ или по диаграмме ε_{1i}—ε_{2i} в соответствии с указаниями п. 9.11.1.2.

Примечание. Теоретически значения $R^{0}_{b,crc}$ или $R^{v}_{b,crc}$, найденные по разным диаграммам, должны быть равны. Поэтому они могут быть определены по любой из диаграмм, перечисленных в п. 9.11.1.1. Однако из-за разной точности измерения продольной и поперечной деформаций и конкретных особенностей

диаграмм для данного образца значения $R^0_{b,crc}$ или $R^\nu_{b,crc}$, найденные по разным диаграммам, могут получиться различными. Поэтому рекомендуется найти их по каждой из диаграмм для данного образца и вычислить их средние значения, которые и принять за $R^0_{b,crc,i}$ и $R^\nu_{b,crc,i}$.

9.11.1.5. Значения $R^0_{b,crc,i}$ и $R^\nu_{b,crc,i}$ определяют с точностью до 0,1 МПа.

9.11.1.6. Вычисляют с точностью до 1 МПа среднее значение $R^0_{b,crc}$ и $R^\nu_{b,crc}$ в серии из n образцов по формулам:

$$R^0_{b,crc} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R^0_{b,crc,i}}{n}; \qquad (9.26)$$

$$R^\nu_{b,crc} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R^\nu_{b,crc,i}}{n}. \qquad (9.27)$$

9.11.2. Ультразвуковой импульсный метод.

9.11.2.1. Вычисляют с точностью до 0,1 мкс среднее значение τ_j времени распространения переднего фронта ультразвуковых волн на каждой ступени нагружения, включая нулевой отсчет, по всем z трассам прозвучивания:

$$\tau_j = \frac{\sum_{z=1}^{z} \tau_{zj}}{z}. \qquad (9.28)$$

Примечание. Вычисления по данному пункту проводят, если в процессе испытания не было проведено схемное суммирование результатов измерения времени по отдельным трассам.

9.11.2.2. Вычисляют для каждой ступени нагружения относительное приращение $\delta_{\tau j}$ времени распространения переднего фронта ультразвуковых волн в % (с точностью до 0,1 %) по формуле:

$$\delta_{\tau j} = \frac{\tau_j - \tau_0}{\tau_j} \cdot 100, \qquad (9.29)$$

где τ_0 — среднее время распространения переднего фронта ультразвуковых волн при нагрузке условного нуля; τ_j — то же на данной ступени нагружения.

9.11.2.3. Для каждого образца на график в координатах σ—$\delta_{\tau j}$ наносят точки, соответствующие значениям (σ_i, $\delta_{\tau j}$), и строят диаграмму изменения $\delta_{\tau j}$ от σ, по которой согласно рис. 3, *г* и указаниям п. 9.11.1.5 находят напряжения, соответствующие границам микротрещинообразования для данного образца $R^0_{b,crc,i}$ и $R^\nu_{b,crc,i}$.

Вычисляют средние значения $R^0_{b,crc}$ и $R^\nu_{b,crc}$ в серии из n образцов согласно указаниям п. 9.11.1.6 настоящей методики.

Примечание. Если характер диаграммы σ_j—δ_{ij} отличается от приведенных на рис. 3, *г*, то для определения структурно-механических характеристик следует воспользоваться другим методом.

9.11.3. Акустоэмиссионный метод.

9.11.3.1. Для каждого образца на график в координатах σ—ΔN_{Σ} наносят точки, соответствующие значениям (σ_j, $\Delta N_{\Sigma j}$) и соединяют их прямыми линиями. Сравнивают полученную диаграмму с возможными ее вариантами, приведенными в приложении 22.

Если экспериментальная диаграмма совпадает с одним из указанных вариантов, то по ней находят $R^0_{b,crc,i}$ и $R^{\nu}_{b,crc,i}$ в соответствии с указаниями приложения 22 и п. 9.11.1.5.

Если экспериментальная диаграмма не совпадает ни с одним из указанных вариантов, то проводят ее сглаживание согласно приложению 22 и находят значения $R^0_{b,crc,i}$ и $R^{\nu}_{b,crc,i}$ по сглаженной диаграмме.

9.11.3.2. Вычисляют согласно указаниям п. 9.11.1.6 средние значения $R^0_{b,crc}$ и $R^{\nu}_{b,crc}$ в серии из n образцов.

9 12. Если структурно-механические характеристики в серии определяли одновременно двумя или тремя методами, то находят их среднее значение $\overline{R^0_{b,crc}}$, $\overline{R^{\nu}_{b,crc}}$.

9.13. По результатам определения влажности бетона по п. 8.8 в каждом образце серии вычисляют среднее значение влажности бетона для серии.

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1. Результаты обработки измерений заносят в журнал испытаний, в котором должны быть предусмотрены следующие графы: номер или маркировка серии; возраст бетона в момент испытания; средняя плотность бетона в образцах; влажность бетона в момент испытания, форма и номинальные размеры образцов; число образцов в серии; средние значения прочностных, деформационных и структурно-механических характеристик, полученные при испытаниях.

10.2. При оформлении результатов определения характеристик бетона с помощью механического метода испытания следует привести дополнительно: данные о применявшейся испытательной установке, машине, прессе и средствах измерения каждой из измеряемых величин, указав их тип, основные технические и метрологические характеристики; данные о способе нагружения; базу измерения деформаций; способ регистрации деформаций; способ определения структурно-механических характеристик.

10.3. При оформлении результатов определения деформационных характеристик акустическими методами дополнительно следует указать: метод определения; тип и основные характеристики приборов и аппаратуры; схему установки преобразователей.

10.4. Если какие-нибудь характеристики было определены несколькими методами одновременно, то следует привести их значения, полученные каждым из методов.

10.5. Журнал должен быть подписан лицами, проводившими испытания и обработку их результатов.

10.6. К каждому журналу испытаний должны быть приложены журналы измерений по приложениям 17—19 и сведения о материалах и их изготовлении по приложению 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

F — нагрузка (усилие)

F_u — максимальная нагрузка

σ — напряжение

R_{bn} — предел прочности бетона при осевом кратковременном статическом сжатии (призменная прочность)

$R^{0}_{b,crc}$ — нижняя граница микротрещинообразования

$R^{v}_{b,crc}$ — верхняя граница микротрещинообразования

ε — деформация (относительная)

ε_1 — деформация вдоль оси приложения нагрузки (продольная)

ε_2 — то же, поперек (перпендикулярно) оси приложения нагрузки (поперечная)

ε_{el} — упругая часть деформации

$\varepsilon_{1,u}$ — продольная деформация, соответствующая пределу прочности

ε_{pl} — деформация быстронатекающей ползучести

θ — объемная деформация

$E_b(E_{bt})$ — модуль упругости бетона при статическом кратковременном сжатии (растяжении)

$\nu_b(\nu_{bt})$ — коэффициент Пуассона бетона при статическом кратковременном сжатии (растяжении)

λ_{bu} — коэффициент упругости бетона, соответствующий призменной прочности

E_{bd} — динамический модуль упругости

G_{bd} — динамический модуль сдвига

ν_{bd} — динамический коэффициент Пуассона

N_{Σ} — число импульсов акустической эмиссии

C — скорость распространения переднего фронта ультразвуковых волн

f_{0L}, f_{0B}, f_{0T} — частота собственных колебаний образца, соответственно продольных, изгибных, крутильных

$\dot{\varepsilon}_{cr}$ — равновесная скорость деформирования

$\dot{\sigma}_{cr}$ — эквивалентная скорость нагружения

τ — продолжительность процесса

a — длина стороны основания образца

d — диаметр

A — площадь поперечного сечения

h — высота (длина) образца

h_0 — высота (длина) зоны однородного напряженного состояния

l — длина (база) измерения

γ — средняя плотность

K_p — коэффициент уплотнения
t — индекс, указывающий, что данная величина определена при растяжении
f — индекс, указывающий, что данное значение определено из опыта
d — индекс, указывающий, что данное значение получено расчетным путем
i — индекс, указывающий порядковый номер образца
j — индекс, указывающий порядковый номер ступени нагружения или уровня нагрузки
n — число образцов
x — значение рассматриваемой характеристики
$\bar{x}$ — среднее арифметическое значение
S_x — выборочное среднее квадратическое отклонение
V — коэффициент вариации
Δ — знак перед величиной, показывающий, что рассматривается ее приращение
η — уровень напряжения

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ОБРАЗЦОВ В СЕРИИ

1. В предположении нормального закона распределения значений x определяемой характеристики минимальное число образцов в серии n находят по формулам:

$$n = \frac{t^2 \cdot V^2}{\beta^2}; \qquad (1)$$

$$V = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100; \qquad (2)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (3)$$

где t — число, соответствующее принятому уровню достоверности при числе степеней свободы $k=\infty$, которое находят по таблице в зависимости от принятой доверительной вероятности P; β — принятая погрешность испытания (измерения) в %; V — коэффициент вариации измеряемой характеристики; S_x — выборочное среднее квадратическое отклонение определяемой характеристики (при $n<30$); $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение определяемой характеристики;

2. При проведении вычислений по формуле (1) рекомендуется принимать следующие значения величин P, β, V:

$P=0{,}95$—$0{,}99$ при определении прочностных и деформационных характеристик бетона механическим методом;

$\beta=5$—7 % при определении прочностных характеристик;

$\beta=10$ % при определении деформационных характеристик;

$V=5$—8 %.

3. Если фактически полученное после проведения испытаний значение V меньше предварительно заданного по п. 2, то принятое по п. 1 количество об-

разцов n в серии достаточно, а значение определяемой характеристики бетона x будет с заданной доверительной вероятностью находиться в интервале:

$$\bar{x} \pm \frac{t \cdot S_x}{\sqrt{n}}, \qquad (4)$$

где S_x и n — фактические значения, найденные по результатам испытания, а число t находят по таблице для принятой вероятности P при числе степеней свободы $k=n-1$.

Если фактическое значение V больше принятого по п. 2, то число образцов в серии недостаточно для получения результатов испытания с заданной точностью и достоверностью. В этом случае следует увеличить количество образцов, вычислив его по формуле (1), исходя из фактического значения V.

k	Коэффициент t при P, равном				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6
2	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
3	2,35	3,19	4,54	5,84	12,9
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,36	4,03	6,77
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,05	4,32
13	1,78	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,62	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,73	2,20	2,55	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
25	1,71	2,06	2,49	2,79	3,73
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
27	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рекомендуемое

ФОРМЫ ЖУРНАЛОВ

для записи сведений об исходных материалах, составе бетонной смеси, технологии изготовления и хранения образцов

Характеристики портландцемента

Серия	Активность (марка)	Минералогический состав				Удельная масса	Удельная поверхность	Нормальная густота	Наличие добавок
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF				

Характеристики мелкого заполнителя (песка)

Серия	Гранулометрический состав	Модуль крупности	Средняя плотность		Водопоглощение (по массе), %	Модуль упругости
			породы	в насыпном состоянии		
	Указать остатки на стандартных ситах	По Абрамсу				Указать источник получения данных

Характеристики режима твердения

Серия	Продолжительность предварительной выдержки	Термовлажностная обработка						Нормальное твердение		
		Продолжительность подъема температуры, ч	Изотермический прогрев				Продолжительность остывания до нормальной температуры, ч	Продолжительность, сут	Температура, °С	Влажность среды, %
			Продолжительность, ч	Температура, °С	Влажность, %	Давление, ГПа				
					Указывается в случае автоклавного твердения					

Характеристики режима хранения

Серия	Продолжительность, сут	Температура, °С	Влажность среды, %	Наличие и вид гидроизоляции образцов	Примечания

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОБРАЗЦОВ С ЗАДАННЫМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

1. Перед началом изготовления серии образцов с заданным значением коэффициента уплотнения бетонной смеси рекомендуется предварительно подобрать режим ее уплотнения, соответствующей данному составу бетонной смеси, размеру и форме образцов и применяемой технологии уплотнения.

С этой целью выполняют следующие операции.

1.1. Взвешивают с погрешностью ±1 г подготовленную к бетонированию форму для образца.

1.2. Вычисляют массу бетонной смеси m_d, необходимую для заполнения объема формы с учетом принятого K_p, и отвешивают с погрешностью ±5 г соответствующую порцию бетонной смеси.

1.3. На форму устанавливают насадку по ГОСТ 10180—78, укладывают в нее отвешенную порцию бетонной смеси и уплотняют по принятой технологии, пока вся смесь не будет уложена в форму.

Параметры, характеризующие режим уплотнения, следует фиксировать в лабораторном журнале.

1.4. Для облегчения процесса уплотнения, с целью уменьшения объема вовлеченного воздуха, бетонную смесь, независимо от ее жесткости (подвижности) рекомендуется укладывать в форму слоями высотой не более 50 мм, уплотняя каждый слой по принятой технологии.

При формовании образцов в вертикальном положении высоту слоя допускается увеличивать до значения, равного a или d.

При применении бетонных смесей с осадкой конуса менее 5 см каждый слой рекомендуется предварительно уплотнять штыкованием по ГОСТ 10180—78.

1.5. В случае виброуплотнения бетонной смеси его продолжительность для каждого слоя определяется видимым прекращением выделения пузырьков вовлеченного в смесь, при ее перемешивании и укладке, воздуха.

Примечание. Непрерывное выделение пузырьков воздуха по периметру формы свидетельствует о негерметичности ее соединений. Такую форму следует исключить из употребления или загерметизировать.

1.6. При укладке бетонной смеси в форму и уплотнении следует по возможности исключить ее потери.

1.7. После окончания формования верхнюю поверхность образца, если это необходимо, заглаживают по ГОСТ 10180—78, с наружных поверхностей формы удаляют остатки бетонной смеси и сразу же взвешивают форму с образцом с погрешностью ±1 г.

1.8. После распалубки измеряют размеры образца по ГОСТ 24452—80 с погрешностью не более 0,1 мм вычисляют его фактический объем V_{sf} и находят фактическое значение γ_f средней плотности уплотненной бетонной смеси:

$$\gamma_f = \frac{m_\Sigma - m_m}{V_{sf}},$$

где m_Σ, m_m — масса соответственно формы с образцом и без образца.

1.9. По найденному значению γ_f и расчетному γ_d вычисляют по формуле (2.2) настоящей методики фактически полученное значение K_{pf} и сравнивают его с заданным K_{pd}.

2. Если K_{pf} не отличается от K_{pd} более, чем на ±0,01, то принятый режим уплотнения бетонной смеси (число слоев, способ уплотнения, продолжительность уплотнения и т. п.) применяют затем при изготовлении всех образцов в серии.

3. Если K_{pf} отличается от K_{pd} более, чем на $\pm 0{,}01$, то в методику уплотнения следует внести коррективы, изменив, например, продолжительность уплотнения, число слоев и т. п., и повторить все операции по пп. 1.1—1.9 настоящего приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОТБОРУ ОБРАЗЦОВ ИЗ СООРУЖЕНИЙ, КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ

1. При отборе образцов необходимо, чтобы структура, прочность и влажность бетона в них были бы типичными для сооружения, конструкции, изделия или исследуемого элемента.

2. Образцы следует отбирать так, чтобы расположение оси действия усилия по отношению к направлению укладки бетонной смеси при испытании образцов и при эксплуатации сооружений было бы одинаковым.

3. Отобранный образец не должен содержать арматуры.

В образцах, предназначенных для испытаний на сжатие, допускается наличие отдельных арматурных стержней вдоль оси образца, а также расположенных в любом направлении относительно оси на расстоянии не более $0{,}3\,d$ от его торцов.

4. При выбуривании способ извлечения образца (керна) определяется применяемым методом выбуривания — сквозным или закрытым.

При сквозном выбуривании образец извлекают из полости сверла легким постукиванием молотка по сверлу. При закрытом выбуривании — для извлечения образца применяют кернователи. Допускается для извлечения образца сверлить рядом с основным отверстием дополнительное, так чтобы толщина перегородки между ними составляла 3—5 мм. После удаления перегородки, например, с помощью зубила, им же отделяют керн от основного массива бетона.

Торцы керна обрабатывают с помощью дисковых пил.

5. Отобранные образцы немедленно после извлечения из массива консервируют для сохранения их влажностного состояния. При консервации образец рекомендуется запаивать в трехслойный полиэтиленовый мешок.

Примечание. Следует учитывать, что охлаждающая жидкость при выпиливании (выбуривании) в зависимости от плотности бетона проникает внутрь образца на 5—10 мм, что может внести существенную погрешность в значение естественной влажности бетона.

6. Прочность, жесткость и трещиностойкость сооружений, конструкции и изделий не должна быть снижена в результате отбора из них образцов.

При отборе образцов не следует допускать перерезания или повреждения рабочей (расчетной) арматуры.

Места выборки после извлечения образцов необходимо пломбировать цементно-песчаным раствором.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПИЛИВАНИЯ И ВЫБУРИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ СООРУЖЕНИЙ, КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ

1. Размеры дисковых сегментных круговых пил и сверл (коронок) должны обеспечивать изготовление образцов требуемых размеров. При этом длина коронок должна не менее, чем на диаметр, превосходить длину образца.

Сверла рекомендуется применять с алмазами зернистостью от А 10 до А 63 при концентрации от 50 до 100 %. Для сверления бетонов прочностью более 20 МПа рекомендуется применять сверла со 100 %-ной концентрацией алмазов.

Характеристики алмазных сверл типа СКА-2Н по ТУ2—037—327—84 приведены в табл. 1, а дисковых пил по ГОСТ 16115—78 — в табл. 2.

2. Образцы из сооружений, конструкций и изделий рекомендуется выбирать с помощью специальных установок, основные технические характеристики которых приведены в табл. 3.

3. В качестве охлаждающей жидкости рекомендуется применять 3 %-ный раствор соды в воде.

4. Режим работы инструмента при выпиливании и выбуривании образцов (линейная скорость вращения, усилие подачи, давление и количество охлаждающей жидкости) рекомендуется подбирать эмпирически, исходя из размеров образцов, диаметра зерен крупного заполнителя, его физико-механических свойств, прочности растворной части бетона и прочности ее сцепления с зернами крупного заполнителя.

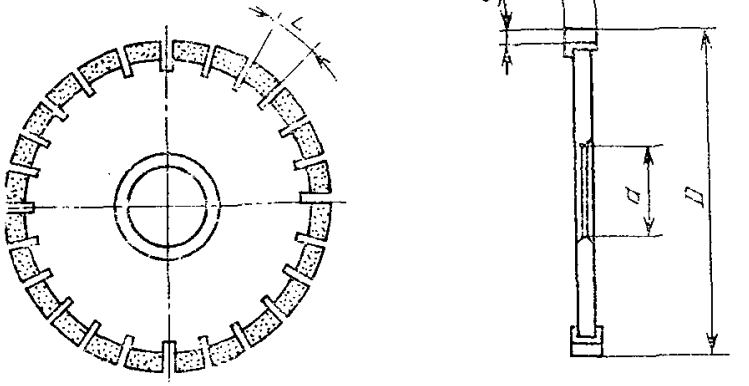
Таблица 1

Характеристики алмазных сверл СКА-2Н

Размеры алмазных сверл, мм	8×6×3	12×9,6×3	17×14,6×3	36×30×3	38×32×3	50×44×5	75×67×5	100×92×5	120×110×5
Масса алмаза, карат при 100 %-ной концентрации	0,24	0,45	0,65	5,0	7,2	9,7	19,6	26,4	39,0

Таблица 2

Характеристики алмазных дисковых сегментных пил для резки бетона АСП



Основные размеры, мм					Количество сегментов	Масса алмазов при концентрации 50%-ной, карат	Цена за круг на металлической связке из алмазов АСВ
наружного диаметра D	алмазного слоя			диаметра посадочного отверстия d			
	длина L	высота S	ширина H				
400	50	3,5	5	60	22	41,6	178,00
500	50	3,8	5	60	27	56,2	218,00
630	50	4,5	5	90	34	86,6	287,00
800	45	5,0	5	90	48	118,1	388,00
1100	30	6,0	7	90	92	253,9	777,00

Таблица 3

Основные технические данные портативных установок для высверливания образцов (кернов) из конструкций и сооружений

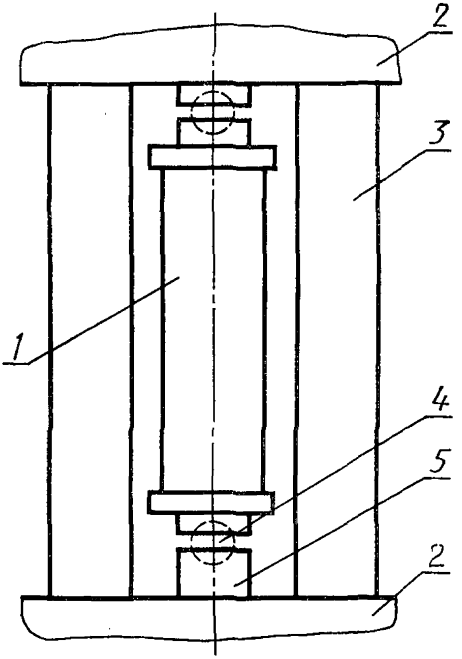
Тип	Установка	Привод	Количество оборотов в минуту	Мощность, кВт	Напряжение, В	Диаметр сверления, мм	Глубина сверления, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Расход воды л/мин	Подача
На базе алмазного инструмента	Установка с алмазным сверлом Э-180.1	Электродвигатель АОЛ2-12-2	3000	1,1	220 380	35	250	600×735×996	40	0,5—2	Ручная
		АОЛ2-22-2-Ш	700	2,2	220 380	50—120	До 380	510×1400×1120	140	3—4	То же
	БН-14	2/Ф2 СЭР-19	1300 700	1,1	127	35—80	200	400×810×1000	85	2—3	»
На базе твердосплавного инструмента	ЭКС-2	ЭРП-20	400	1,0	127	До 50	250	600×1200×1300	90 (без пригруза)	2—3	Фрикционная
	ЭБКГ-1	ЭБКГ	340	2,7	380	50	400	600×1200×2000	180 (без пригруза)	5	Автоматическое усиление 300—1200 кг
	Установка с твердосплавным сверлом	АОЛ2-21-2	330	1,1	220 380	40—50	350	415×415×3100	49	—	Ручная

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Рекомендуемое

УПРУГИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА К НЕЖЕСТКИМ ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ МАШИНАМ

1. Для получения нисходящего участка диаграммы деформирования на стандартных (нежестких) испытательных машинах и гидравлических прессах рекомендуется использовать метод перераспределения усилий. С этой целью между плитами (захватами) испытательной машины параллельно образцу устанавливают упругие перераспределяющие устройства (упругие элементы), которые нагружают в процессе испытания одновременно с образцом (см. рисунок).



Упругое перераспределяющее устройство:

1—бетонный образец; *2*—плита пресса; *3*—упругий элемент; *4*—шаровой шарнир; *5*—динамометр

В качестве упругих элементов используют металлические стойки.

2. Основной характеристикой упругого элемента является жесткость B_e, характеризуемая значением нагрузки F, которую необходимо приложить, чтобы обеспечить достижение заданной деформации $\varepsilon=\Delta l/l$:

$$B_e=\frac{F}{\varepsilon}=\frac{Fl}{\Delta l}=E_m A_e, \qquad (1)$$

где l — длина (высота) упругого элемента, равная расстоянию между опорными плитами испытательной машины; E_m — модуль упругости материала, из

которого выполнен упругий элемент; A_e — площадь поперечного сечения упругого элемента.

3. Чтобы уверенно зафиксировать точку максимума на диаграмме деформирования σ—ε_1, необходимо, чтобы суммарная жесткость упругих элементов B_e была бы не меньше жесткости образца B_s при $\varepsilon_1 \geqslant \varepsilon_{1u}$:

$$B_e > B_s, \tag{2}$$

где ε_{1u} — деформация образца при $\sigma = R_{bn}$.

4. Рекомендуется следующий порядок подбора параметров системы «образец — упругие элементы — испытательная машина».

4.1. Ориентировочно оценивают жесткость образца B_s при $\varepsilon_1 \geqslant \varepsilon_{1,u}$ по ожидаемым значениям R_{bn} и ε_u:

$$B_s = \frac{F_u \cdot l}{\Delta l} = \frac{F_u}{\varepsilon_{1u}} = \frac{R_{bn} \cdot A_s}{\varepsilon_{1,u}}, \tag{3}$$

где F_u — максимальная нагрузка, соответствующая R_{bn}; l — длина (высота) образца; A_s — номинальная площадь поперечного сечения образца.

Примечание. Если значение ε_{1u} неизвестно, то можно ориентировочно принять

$$\frac{R_{bn}}{\varepsilon_{1u}} = E_{bu} = 0{,}8E_b, \tag{4}$$

где E_b — начальный модуль упругости бетона.

Для цементного тяжелого бетона значение ε_{1u} можно принимать равным $200 \cdot 10^{-5}$, а для цементно-песчаного раствора — $150 \cdot 10^{-5}$.

4.2. Подбирают размеры упругих элементов, обеспечивающие выполнение условия (2). Площадь их поперечного сечения вычисляют из условия (1), а высоту назначают, исходя из суммарной высоты образца и его опорных устройств.

4.3. Определяют необходимую мощность F_m испытательной машины

$$F_m > F_s + F_e, \tag{5}$$

где F_s и F_e — усилие, воспринимаемое, соответственно образцом и упругими элементами при достижении максимума на диаграмме σ—ε_1.

4.3.1. Если высота образца и упругих элементов одинакова, то $F_s \approx F_e$ и следовательно $F_m > 2F_u$.

4.4. Чтобы в процессе испытания определять непосредственно ту часть нагрузки, которая передается на образец, рекомендуется устанавливать между ним и плитой пресса динамометр.

В этом случае жесткость упругих элементов следует подбирать, исходя из суммарной жесткости образца и динамометра.

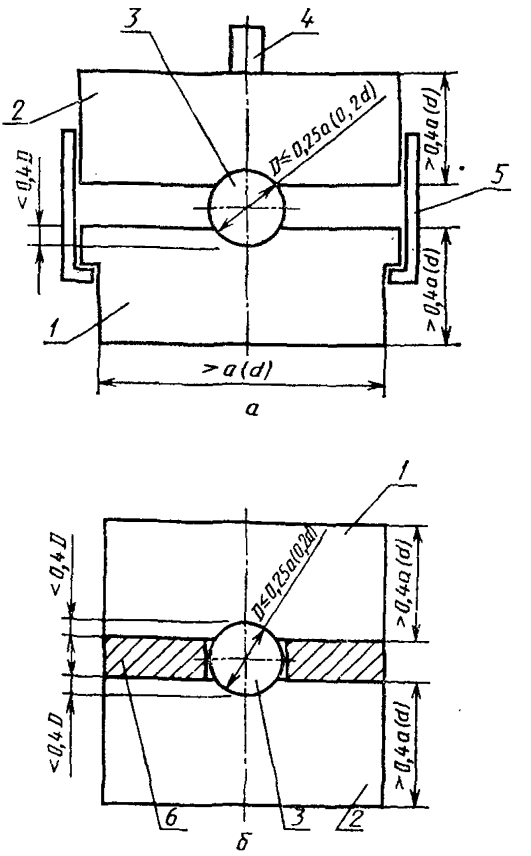
ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Рекомендуемое

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА К СТАНДАРТНЫМ ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ МАШИНАМ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ

1. Стандартные прессы и испытательные машины имеют, как правило, один шаровой шарнир, радиус которого при принятых размерах стандартных образцов не обеспечивает поворот шарнира в процессе нагружения, а следовательно — и самоцентрирование образца. Поэтому для обеспечения передачи в процессе нагружения осевого сжимающего усилия рекомендуется применять дополнитель-

ные опорные устройства, схемы которых приведены на рисунке (*а* — верхнее; *б* — нижнее).



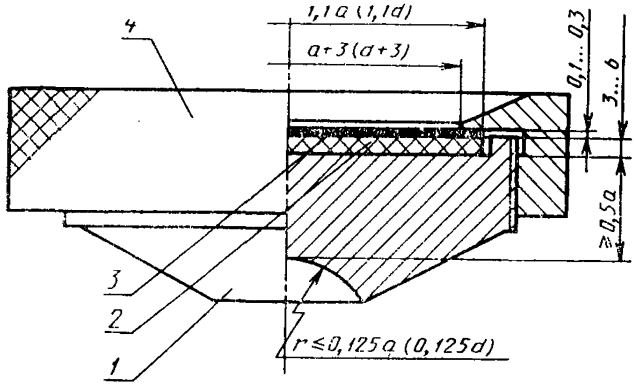
2. Опорные устройства состоят из двух плит *1* и *2*, между которыми помещен шаровой шарнир *3*. Между плитами *1* этих устройств, на которые нанесена разметка, помещают образец. Плиту *2* нижнего устройства устанавливают на нижнюю штатную опорную плиту пресса (испытательной машины), а плиту *2* верхнего устройства закрепляют в верхнем штатном опорном устройстве пресса (испытательной машины), например, с помощью винта *4* или каким-либо другим способом.

3. Для удобства эксплуатации плиту *1* верхнего опорного устройства рекомендуется подвесить к плите 2, например, с помощью накидной гайки *5*, навинчиваемой на плиту *2*. С этой же целью в нижнем опорном устройстве между плитами *1* и *2* рекомендуется помещать прокладку *6* из низкомодульного материала (пористой резины, поролона и т. п.).

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Рекомендуемое

КВАЗИГИДРОШАРНИРЫ

1. Квазигидрошарниры предназначены для передачи на торец образца сжимающего усилия типа гидростатического давления. Это условие обеспечивает конструкция квазигидрошарнира, приведенная на рисунке.



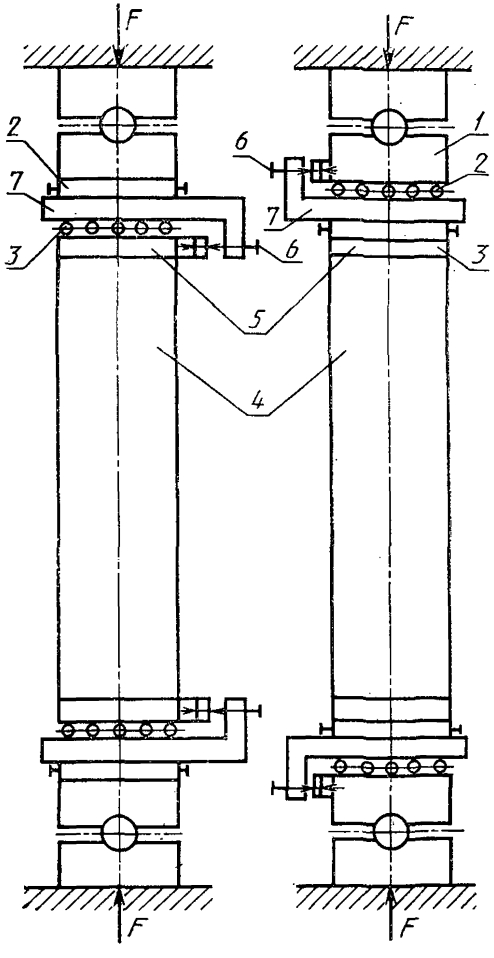
В выемке корпуса *1* квазигидрошарнира помещена прокладка *2* из материала, имеющего модуль сдвига *G* не менее, чем в 10^4 раз меньше, чем для испытываемого образца. На прокладку *2* уложена диафрагма *3* из металлической фольги. Размеры прокладки *2* и диафрагмы *3* в плане должны в 1,1 раза превышать номинальные размеры сечения испытываемого образца. Прокладка *2* и диафрагма *3* прижимаются к корпусу *1* накидной гайкой *4*, в которой сделана прорезь, соответственно, для образца призмы или цилиндра, размеры которой в плане, примерно, на 3 мм больше соответствующих номинальных размеров сечения образца. Образец при испытании устанавливают в прорезь накидной гайки *4* на диафрагму *3*.

При нагружении образца по мере роста сжимающего усилия модуль объемного сжатия материала прокладки, защемленной во всех направлениях, стремится к бесконечности, благодаря чему прокладка по своим упругим свойствам приближается к несжимаемой жидкости. При этом диафрагма *3* препятствует проникновению материала прокладки в поры образца и в зазор между ним и накидной гайкой *4*.

2. В нижней части корпуса *1* имеется выточка для установки шарового шарнира, что обеспечивает передачу усилия по оси образца в случае возможной непараллельности его торцевых граней без дополнительного центрирования.

СХЕМА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА ПОД НАГРУЗКОЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА СЖАТИЕ

Схема устройства для центрирования образца под нагрузкой при испытании на сжатие приведена на рисунке.



Принцип действия устройства состоит в том, что между образцом *4* и опорными плитами *1* шаровых шарнирных опор расположены две взаимно перпендикулярные обоймы катков *2* и *3*, которые позволяют перемещать образец *4* в двух взаимно перпендикулярных плоскостях относительно оси, проходящей через центры шаровых шарнирных опор. Перемещение осуществляется с помощью вин-

тов *6*, соединяющих промежуточные плиты *7* с опорными плитами *1* шаровых шарнирных опор или с опорными плитами *5* на образце *4*.

Размеры устройства находят расчетным путем, исходя из размеров образца и ожидаемой нагрузки F.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Рекомендуемое

ЗАХВАТЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

1. Выбор схемы захвата определяется типом образца (призма или цилиндр), конструкцией сочленения захвата с испытательной машиной (жесткая, гибкая, шарнирная), способом крепления захвата к образцу (за галтели, с помощью клея, анкеров, закладываемых в образец при его изготовлении, или за счет трения о его поверхность).

2. На рис. 1 приведены схемы захватов для крепления образцов с галтелями: призм (рис. 1, *а*, *б* и *г*) и цилиндров (рис. 1, *в*). Образцы — призмы, как правило, захватывают за две противоположные грани, а цилиндры — по всей окружности.

На рис. 1, *а* приведена схема жесткого захвата, в качестве которого допускается использовать опорные части стандартных испытательных машин, в случае если их устройство обеспечивает соосность передачи между ними растягивающего усилия. Проверка выполнения этого условия должна проводиться как при поверке машины, так и при подготовке к проведению испытаний по п. 7.6.3 настоящей методики.

На рис. 1, *б* и *в* приведены схемы гибкой конструкции сочленения элементов захвата соответственно для образцов призм и цилиндров, в которых самоцентрирование образца в процессе установки и испытания облегчается за счет гибкой тяги *4*. В приведенной на рис. 1, *г* шарнирной конструкции захвата для образца призмы жесткая тяга *7* выполняет ту же функцию, что и гибкая. В случае применения захвата, схема которого приведена на рис. 1, *г*, в галтельную часть образца при его изготовлении закладывают трубу для пропуска захвата.

3. На рис. 2—4 приведены схемы захватов, которые могут быть использованы для крепления образцов без галтелей.

3.1. Приклеиваемые и анкерные захваты (рис. 2) требуют специальной подготовки образца при его изготовлении или перед испытанием (закладки анкеров или приклеивания захвата клеем). Анкеры следует выполнять с заостренными концами и разной длины, а при разрушении образца необходимо обращать внимание на то, как проходит плоскость разрушения. Если она проходит более, чем через 50 % концов анкеров, то образец следует браковать по результатам измерения прочностных характеристик. Приклеивать захваты (см. рис. 2, *а*) рекомендуется эпоксидной смолой с наполнителями: цементом или тонкомолотым песком для снижения усадочных напряжений и деформаций. Приклеиваемые и анкерные захваты могут быть использованы как для образцов призм, так и для образцов цилиндров.

3.2. Зажимные (рис. 3) и самозажимные (рис. 4) захваты не требуют специальной подготовки образца и устанавливаются на нем непосредственно перед испытанием. Образец удерживается в захвате за счет трения деталей захвата о его поверхность. С целью увеличения силы трения на поверхность деталей, прилегающих к образцу (*2* и *5* на рис. 3 и *2* на рис. 4), рекомендуется делать насечку, а эти детали в зажимных захватах прижимать к образцу винтами (*6* на рис. 3). Усилие затяжки винтов предварительно подбирают в зависимости от размеров образца, вида и прочности бетона.

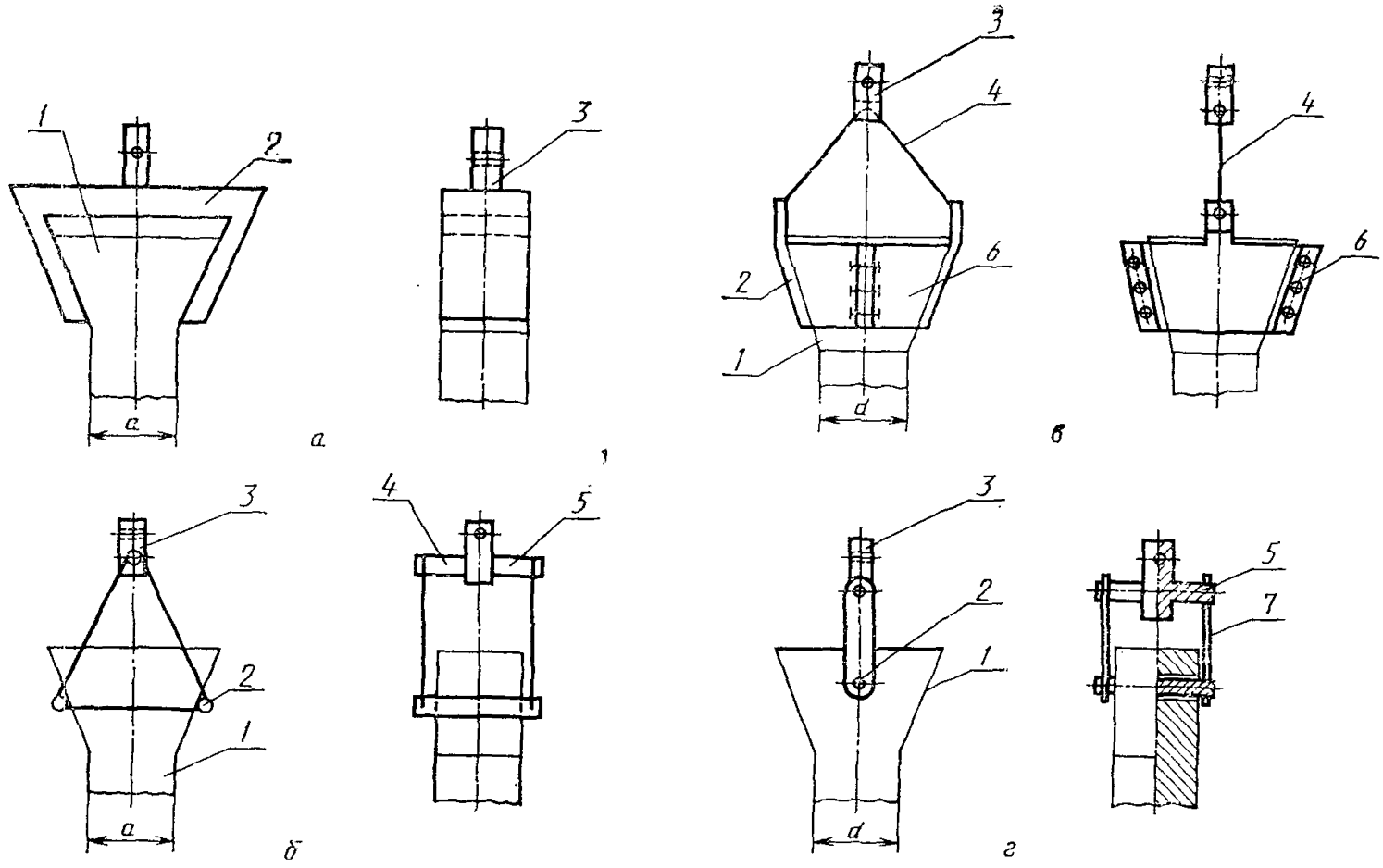


Рис. 1. Схемы захватов для образцов с галтелями:

а—жесткий захват для образцов-призм; *б*—гибкий захват для образцов-призм; *в*—гибкий захват для образцов-цилиндров; *г*—шарнирный жесткий захват для образцов-призм; *1*—образец; *2*—захват; *3*—концевой элемент шарнира Гука; *4*—гибкая тяга; *5*—ось; *6*—стягивающие винты; *7*—жесткая тяга

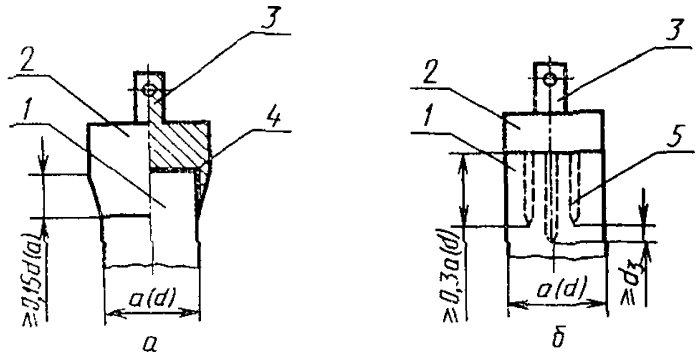


Рис. 2. Схемы жестких несъемных захватов для образцов призм и цилиндров:

а—приклеиваемый; *б*—анкерный; *1*—образец; *2*—захват; *3*—концевой элемент шарнира Гука; *4*—клей; *5*—анкера

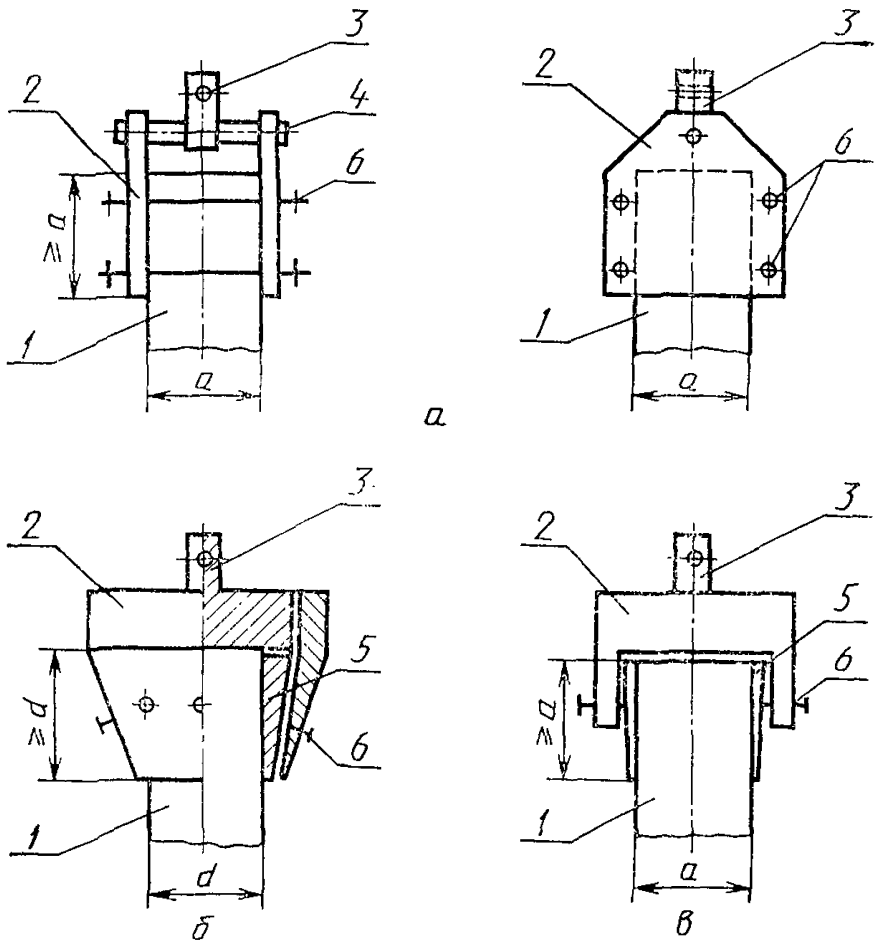


Рис. 3. Схемы съемных зажимных захватов:

а—шарнирный для образцов-призм; *б*—жесткий цанговый для образцов-цилиндров; *в*—жесткий цанговый для образцов-призм; *1*—образец; *2*—захват; *3*—концевой элемент шарнира Гука; *4*—ось; *5*—цанги; *6*—стягивающие винты

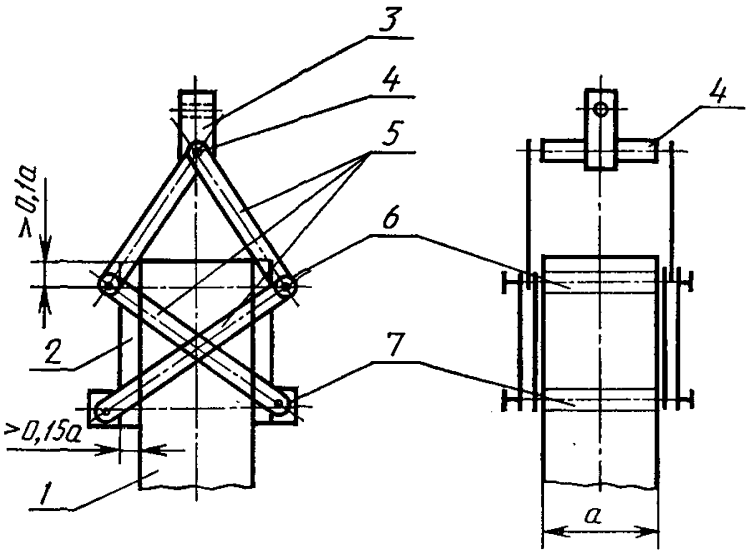


Рис. 4. Схемы съемного самозажимного захвата для образцов-призм:

1—образец; *2*—прижимная пластина; *3*—концевой элемент шарнира Гука; *4*—ось; *5*—тяги; *6*—подвижная опора захвата (каток); *7*—неподвижная опора захвата

Число цанг *5* в зажимном захвате для образца цилиндра (см. рис. *3*, *б*) должно быть не менее четырех, что позволяет нивелировать возможные отклонения формы и размеров поперечного сечения образца от номинальных. Рекомендуется в этом типе захватов делать винтовое дно, которое служит для предварительного закрепления образца и удобства освобождения остатков образца после испытания.

В самозажимном захвате (рис. 4) каток *6* должен свободно перемещаться по пластине *2* захвата, а неподвижная опора *7* должна быть жестко закреплена на ней. При установке захвата на образце подвижный каток *6* должен располагаться на расстоянии не менее, чем 0,1 *а* от торца образца для предотвращения разрушения образца в захвате.

4. Для обеспечения соосности передачи усилия между захватами их следует соединять с опорными устройствами испытательной машины через шарнир Гука, схема которого приведена на рис. 5, *а*. Концевой элемент 2 шарнира входит в состав захвата, а концевой элемент 3 устанавливают в опорном устройстве испытательной машины.

Применение шаровых шарниров вместо шарниров Гука допускается только при гибкой конструкции сочленения захвата с испытательной машиной.

5. Жесткие захваты (рис. 1, *а*, 2, 3, *б* и *в*, 4) рекомендуется дополнять устройством, обеспечивающим центрирование образца по физической оси согласно п. 7.9 настоящей методики.

Центрирующее устройство рекомендуется совмещать с шарниром Гука, с опорным устройством испытательной машины или включать в конструкцию самого захвата. При совмещении центрирующего устройства с шарниром Гука образец в горизонтальной плоскости перемещают с помощью винтовых осей *5* (рис. 5, *б*), за счет поворота которых элемент *2* может перемещаться относительно элемента *1*, а последний — относительно элемента *3*.

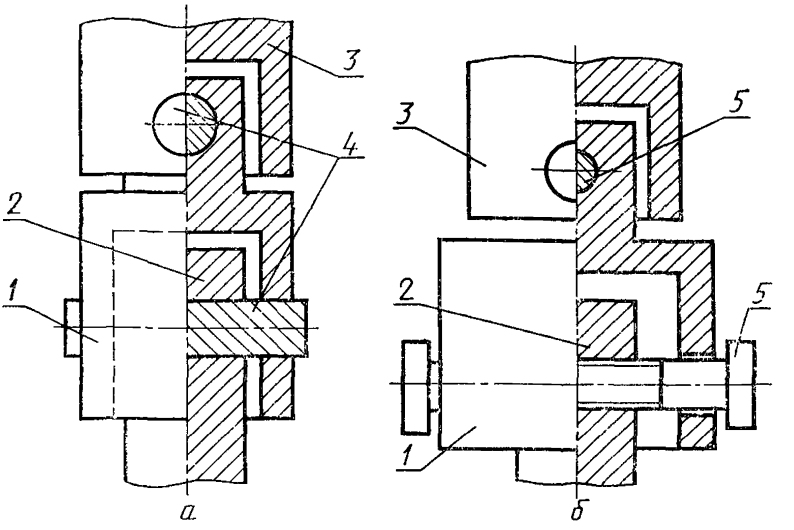


Рис. 5. Шарнир Гука:

а—обычный; *б*—с устройством для центрирования; *1*—центральный элемент; *2—3*—концевые элементы; *4*—ось; *5*—винтовая ось

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Рекомендуемое

УСТРОЙСТВА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ НА ОБРАЗЦЕ ТЕНЗОМЕТРОВ И ПЕРВИЧНЫХ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1. Для установки и крепления на образце тензометров или первичных тензометрических преобразователей применяют приспособления в виде либо полностью съемных устройств, которые не требуют проведения дополнительных операций в процессе изготовления образца или при его подготовке к испытанию, либо в виде устройств — реперов, приклеиваемых к его поверхности перед испытанием или устанавливаемых на анкерах, закладываемых в бетон при изготовлении образца. При этом конструкции приспособления и устройства не должны вносить погрешности в результаты измерения деформаций.

2. В качестве полностью съемных устройств рекомендуется применять конструкции, выполненные в виде квадратных или кольцевых рамок, надеваемых на образец перед испытанием.

База l_1, на которой измеряют продольные деформации, определяется расстоянием на образце между осями упоров рамок или колец, а база l_2, на которой измеряют поперечные деформации, определяется характерным размером поперечного сечения образца a или d.

3. Рамки по конструктивному решению могут выполняться жесткими (рис. 1 и 2) и гибкими (рис. 3); при этом кольцевые рамки рекомендуется выполнять только жесткими.

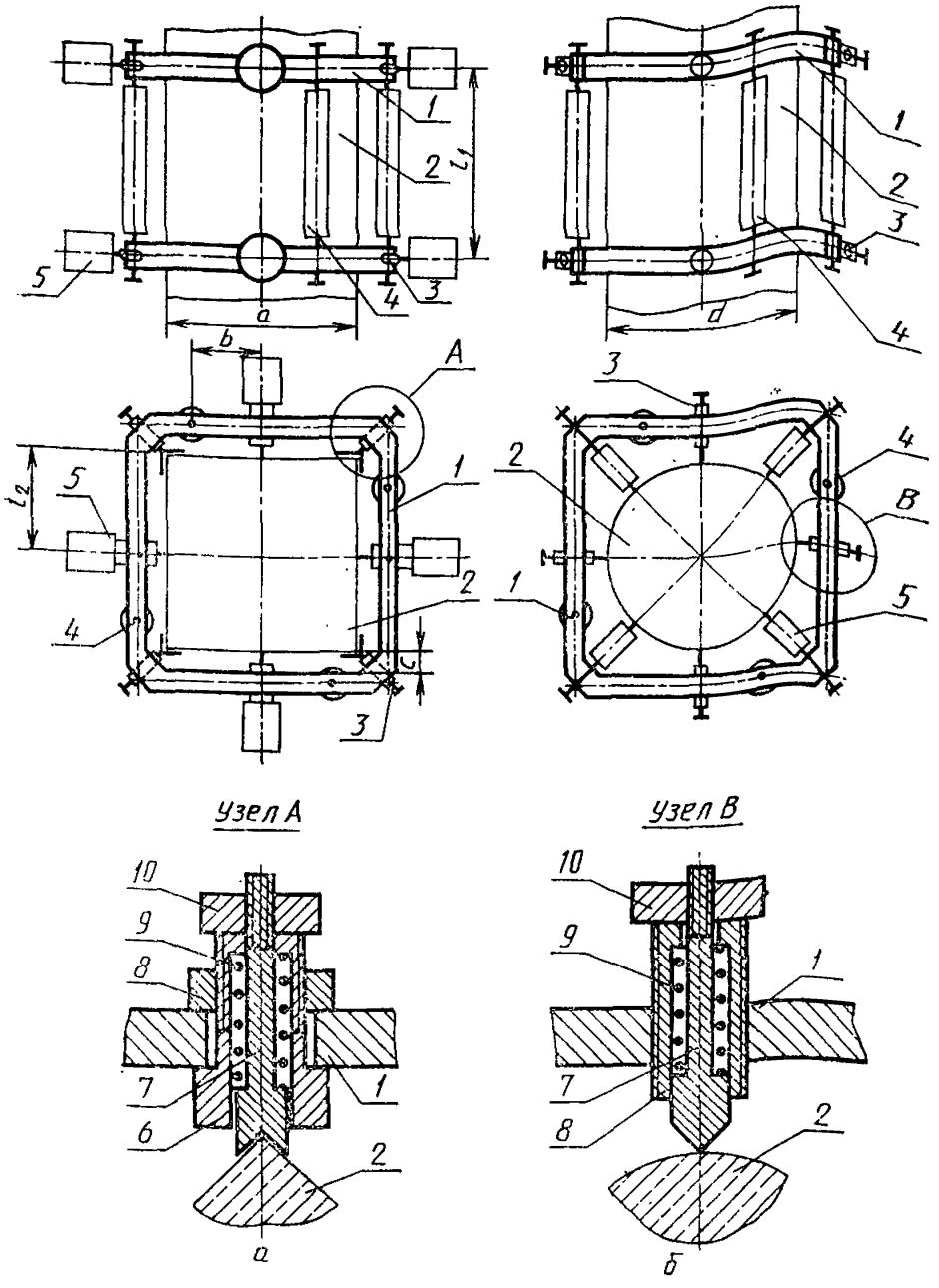


Рис. 1. Установка жестких квадратных рамок:

а—на образце-призме; *б*—на образце-цилиндре; *1*—рамка; *2*—образец; *3*—подпружиненный упор; *4*—продольный тензометр или первичный тензометрический преобразователь (показан условно); *5*—то же поперечный; *6*—корпус подпружиненного упора; *7*—упорный шток; *8*—контргайка; *9*—пружина; *10*—регулировочная гайка

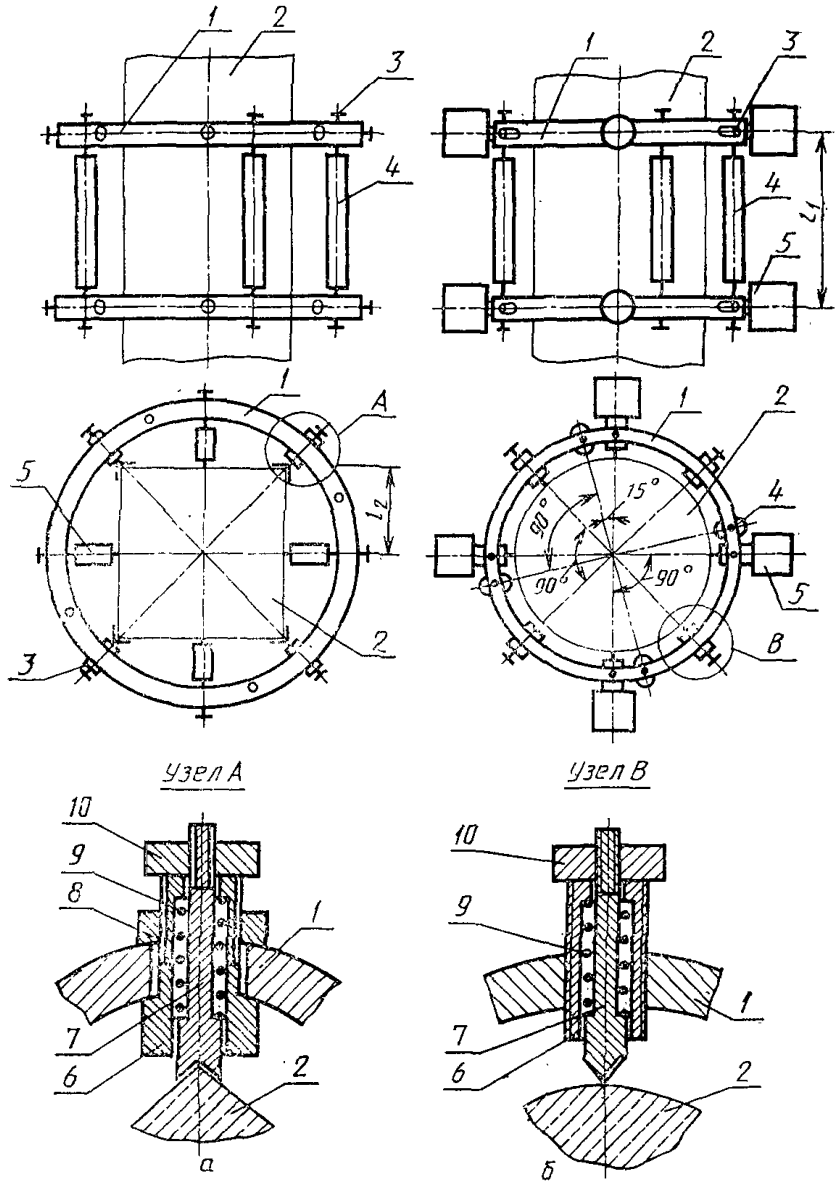


Рис. 2. Установка жестких кольцевых рамок:

а—на образце-призме; *б*—на образце-цилиндре (условные обозначения см. на рис. 1)

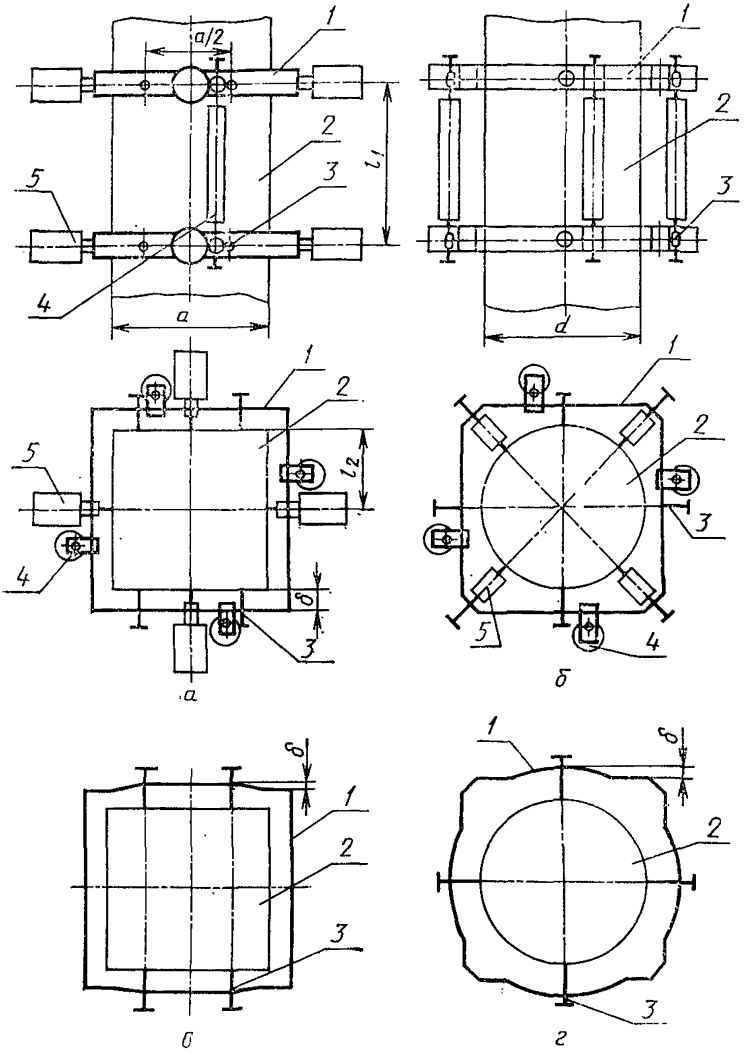


Рис. 3. Установка гибких рамок:

а—на образце-призме; *б*—на образце-цилиндре; *1*—рамка; *2*—образец; *3*—упорный винт; *4*—продольный тензометр или первичный тензометрический преобразователь (показан условно); *5*—то же поперечный

4. Жесткие рамки *1* крепят к образцу *2* подпружиненными упорами *3* (см. рис. 1 и 2), которые не препятствуют поперечным деформациям образца. Пружины *9* подбирают таким образом, чтобы давление упорного штока *7* не превышало 30 Н. Перемещение упорного штока *7* в корпусе *6* подпружиненного упора осуществляют с помощью регулировочной гайки *10*.

5. При установке жестких рамок на призме (рис. 1, *а*, 2, *а*) рекомендуется крепить их на ребрах образца, для чего контактирующую с образцом часть упорного штока *7* выполняют в форме «ласточкина хвоста». Подпружиненный упор *3* в этом случае должен обладать свободой перемещения в горизонтальной плос-

кости рамки, чтобы нивелировать возможные отклонения в геометрических размерах и форме образца. После установки жесткой рамки на образце горизонтальную подвижность подпружиненных упоров исключают с помощью контргаек *8*, прижимающих их к рамке.

6. При установке жестких рамок на цилиндре (рис. 1, *б* и 2, *б*) упорный шток 7 подпружиненного упора выполняют конусообразным, а сам подпружиненный упор жестко крепят в рамке или кольце.

7. В гибких рамках (рис. 3) роль пружины выполняет сама рамка 1, упруго деформируясь в своей плоскости под воздействием упорных винтов 3. Характер деформации рамок показан на рис. 3, *в* и *г*. Геометрические размеры рамок принимают из расчета, чтобы сила давления упорного винта на образец не превышала 30 Н *при заданной деформации рамок* δ.

8. Рамки выполняют для крепления на образце либо отдельных только продольных, либо только поперечных тензометров или первичных преобразователей, либо, как это показано на рис. 1—3, для одновременного измерения и продольных, и поперечных деформаций. Размеры b и c выбирают конструктивно, исходя из размеров образца, габаритных размеров тензометров или первичных тензометрических преобразователей.

Допускается объединять рамки с установленными на них тензометрами или преобразователями в единую конструкцию.

9. Схемы установки реперных устройств для крепления на образцах-призмах и цилиндрах тензометров или первичных тензометрических преобразователей приведены на рис. 4 и 5. Базы l_1 и l_2 измерения соответственно продольных и поперечных деформаций определяются как расстояние между осями реперов.

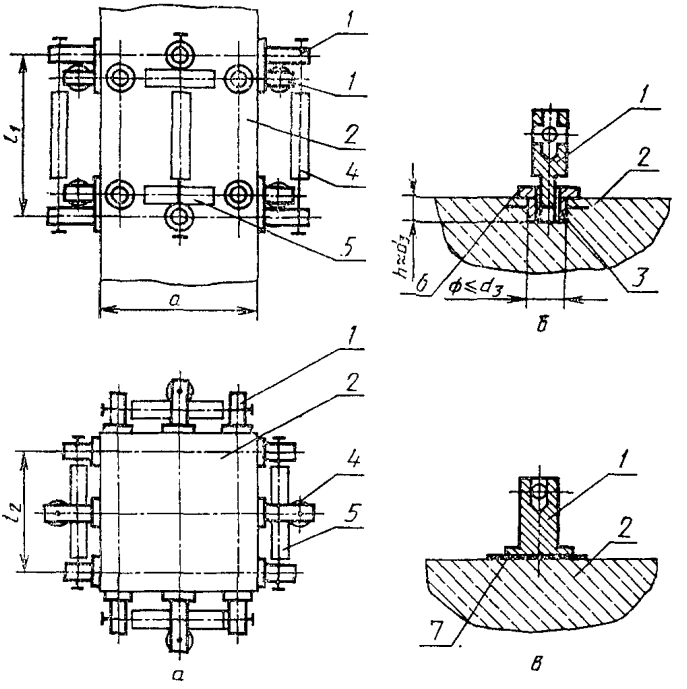


Рис. 4. Схема установки реперов на образце-призме (*а*) и конструкция анкерного (*б*) и приклеиваемого (*в*) крепления:

1—репер; *2*—образец; *3*—анкер; *4*—продольный тензометр или первичный тензометрический преобразователь (показан условно); *5*—то же поперечный; *6*—контргайка; *7*—клей

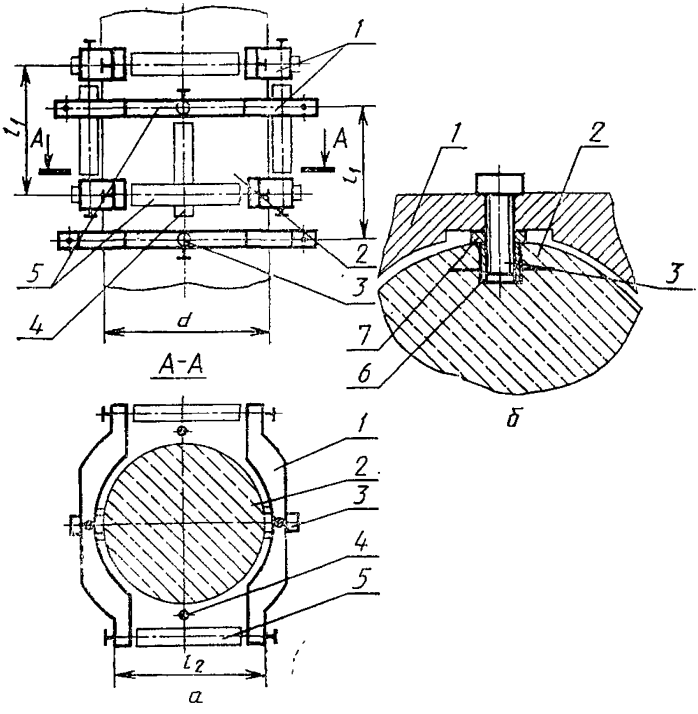


Рис. 5. Схема установки реперов на образце-цилиндре (*а*) и конструкция анкерного крепления (*б*):

1—репер; *2*—образец; *3*—прижимной винт; *4*—продольный тензометр или первичный тензометрический преобразователь (показан условно); *5*—то же поперечный; *6*—анкер; *7*—контргайка

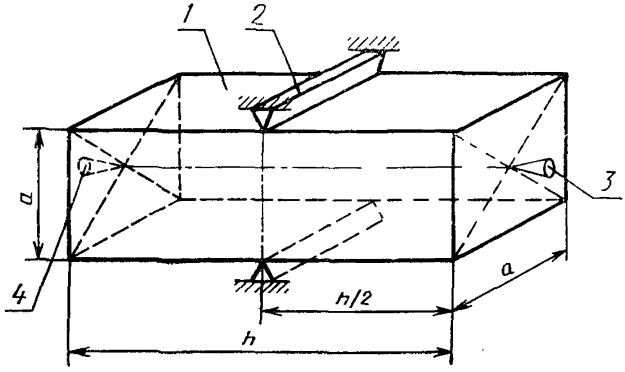
10. Для приклеивания реперов к поверхности бетона (см. рис. 4, *в*) рекомендуется использовать клеи на основе акриловых смол, применяемые в зубопротезной технике (протакрил, стиракрил и т. п.), и клеи на основе эпоксидных смол.

11. В качестве анкеров (см. рис. 4, *б* и 5, *б*) рекомендуется применять металлические закладные элементы, размеры которых соизмеримы с диаметром зерен крупного заполнителя $d_з$. Анкер должен иметь резьбу для крепления в нем репера. Эту же резьбу рекомендуется использовать для крепления анкера к стенке формы при изготовлении образца.

ПРИЛОЖЕНИЕ 13
Обязательное

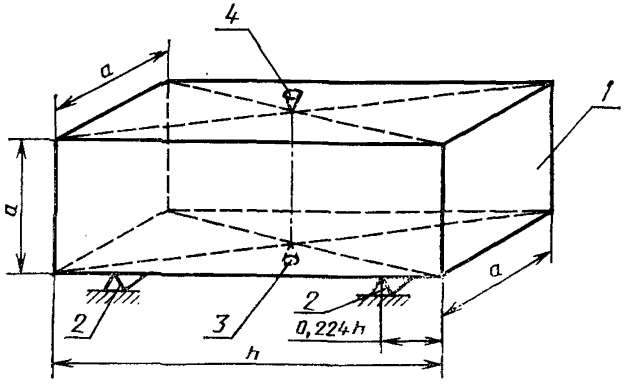
СХЕМЫ УСТАНОВКИ ОБРАЗЦА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ И СДВИГА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

1. Схема установки образца и преобразователей для возбуждения в нем продольных колебаний приведена на рис. 1. На рис. 1—3 обозначено: *1* — образец; *2* — опора; *3* — возбудитель; *4* — приемник.

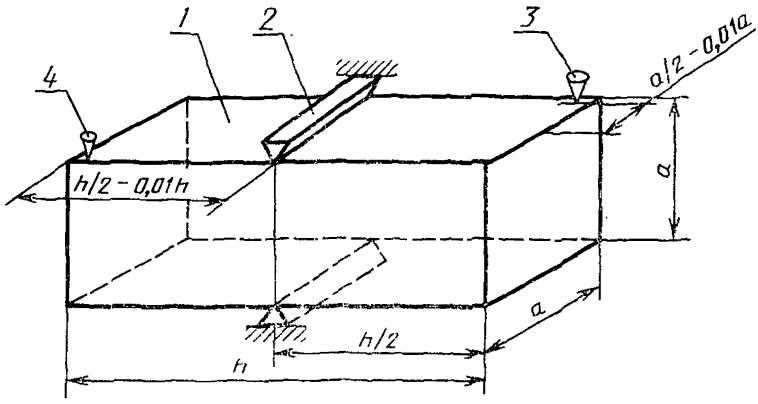


Допускается вместо опор укладывать образец на прокладку из микропористой резины толщиной не менее 40 мм.

2. Схема установки образца и преобразователей для возбуждения в нем изгибных колебаний приведена на рис. 2.



3. Схема установки образца и преобразователей для возбуждения в нем крутильных колебаний приведена на рис. 3.



Допускается вместо опор укладывать образец на прокладку из микропористой резины толщиной не менее 40 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 14
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСПЫТАНИЯ ПАРТИИ ОБРАЗЦОВ

1. Продолжительность испытаний τ находят по формуле:

$$\lg\tau = \frac{\lg L_\tau - \lg L_0}{m}, \qquad (1)$$

где L_0 и L_τ — относительное содержание химически связанной воды в бетоне соответственно в начале и в конце испытания; m — безразмерная величина, значение которой, в зависимости от вида цемента и водоцементного отношения (в/ц), находят по таблице.

2. Значение L_0 находят по формуле:

$$L_0 = L_1\left(\frac{\tau_0}{\tau_1}\right)^m, \qquad (2)$$

где L_1 — относительное содержание химически связанной воды в бетоне в возрасте одних суток, значение которого, в зависимости от вида цемента и водоцементного отношения, находят по таблице; τ_0 — возраст бетона в начале испытания, сут.; $\tau_1 = 1$ сут.

3. Значение L_τ в зависимости от вида напряженного состояния находят по формулам:

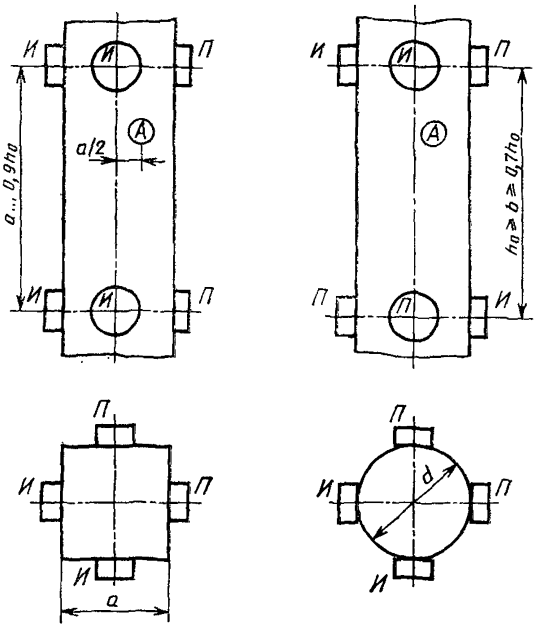
при растяжении $L_\tau = 1{,}05L_0$; (3)

при сжатии $L_\tau = 1{,}033L_0$; (4)

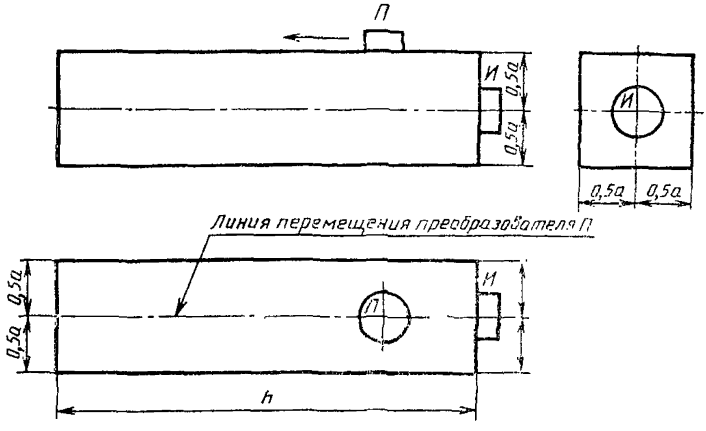
Вид цемента	$B/Ц<0,4$		$B/Ц\geqslant0,4$	
	m	L_1	m	L_1
Глиноземистый	0,12	0,12	0,13	0,13
БТЦ (алюминатно-алитовый)	0,14	0,10	0,16	0,12
Портландцемент	0,16	0,08	0,18	0,09
Медленно твердеющий (белитовый, ШПЦ или цемент с гидравлическими добавками)	0,20	0,04	0,24	0,05
Глиноземистый	0,12	0,12	0,13	0,13
БТЦ (алюминатно-алитовый)	0,14	0,10	0,16	0,12
Портландцемент	0,16	0,08	0,18	0,09
Медленно твердеющий (белитовый, ШПЦ или цемент с гидравлическими добавками)	0,20	0,04	0,24	0,05

СХЕМЫ УСТАНОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И АКУСТО-ЭМИССИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1. Схема размещения ультразвуковых (излучателя «И» и приемника «П») и акустоэмиссионного («А») преобразователей при определении структурно-механических характеристик приведена на рис. 1.



2. Схема размещения ультразвуковых преобразователей (излучателя «И» и приемника «П») при определении динамического модуля сдвига приведена на рис. 2.



3. Схема размещения ультразвуковых преобразователей (излучателя «И» и приемника «П») при определении динамического модуля упругости приведена на рис. 3.

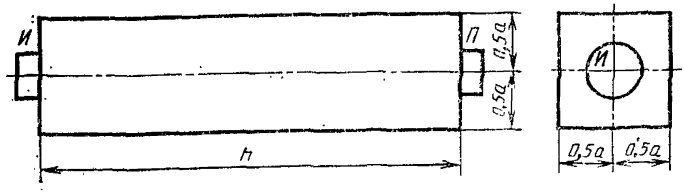
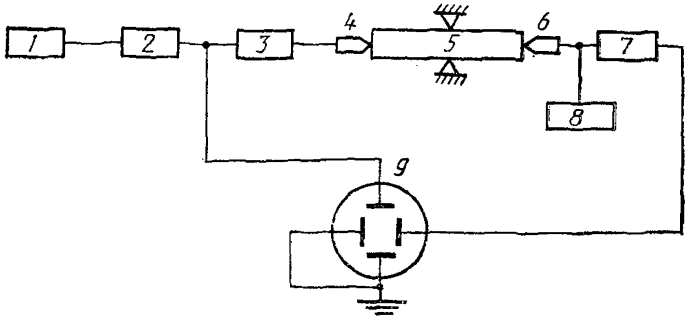


СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И МОДУЛЯ СДВИГА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ



1—частотомер; *2*—генератор; *3*—усилитель возбуждения; *4*—возбудитель колебаний; *5*—образец; *6*—приемник колебаний; *7*—усилитель приема; *8*—измеритель амплитуды колебаний образца; *9*—катодный осциллограф

ПРИЛОЖЕНИЕ 17
Обязательное

ЖУРНАЛ
тензометрических измерений

Образец **Серия** **Дата испытания** **Тип применяемой аппаратуры и ее основные технические характеристики**

Площадь поперечного сечения $A=$

Номер ступени нагружения	Нагрузка на ступени, кН	Продолжительность выдержки на ступени, мин	Показания тензоизмерительных преобразователей								Схема установки на образце тензопреобразователей
			продольные				поперечные				
			T_{11}	T_{12}	T_{13}		T_{21}	T_{22}	T_{23}		
0	0										Показывается на развертке образца с указанием номеров граней образца и преобразователей, базы измерения и ее расстояния от ребер образца и границ зоны однородного напряженного состояния
Условный ноль (F_0)											
1											

Примечание. Допускается приводить в журнале дополнительные графы и сведения, облегчающие обработку и анализ результатов испытаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ 18
Обязательное

ЖУРНАЛ
акустоэмиссионных измерений

Образец **Серия** **Дата испытания** **Тип применяемой аппаратуры и ее основные технические характеристики**

Номер ступени нагружения	Нагрузка на ступени нагружения, кН	Продолжительность выдержки на ступени, мин	Значение акустоэмиссионной характеристики				Схема установки приемника сигналов АЭ на образце
			Число сигналов АЭ за время подъема и выдержки нагрузки	Энергия сигналов АЭ за время подъема и выдержки нагрузки			
0	0						Показывается на схеме с указанием номера грани образца и расстояния от преобразователя до ребер грани и границ зоны однородного состояния
Условный ноль							
1							

Примечание. Допускается приводить в журнале дополнительные графы, облегчающие обработку и анализ результатов испытаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ 19
Обязательное

ЖУРНАЛ
ультразвуковых измерений

Образец **Серия** **Дата испытания** **Тип применяемой аппаратуры и ее основные технические характеристики**

Номер ступени нагружения	Нагрузка на ступени, кН	Продолжительность выдержки нагрузки на ступени, мин	База измерения, мм	Время распространения ультразвука по парам преобразователей излучатель (И)—приемник (П), мкс						Схема установки на образце ультразвуковых преобразователей
				$И_1$—$П_1$	$И_2$—$П_2$	$И_3$—$П_3$				
0	0									Показывается на развертке образца с указанием номеров граней образца и преобразователей и их расстояний от ребер образца и границ зоны однородного напряженного состояния
Условный ноль										
1										

Примечание. Допускается приводить в журнале дополнительные графы и сведения, облегчающие обработку и анализ результатов испытаний.

ВАРИАНТЫ ДИАГРАММ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО НИМ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

1. При проведении эксперимента могут быть получены диаграммы упругих деформаций σ—ε_{el}, основные варианты которых показаны на рис. 1—4.

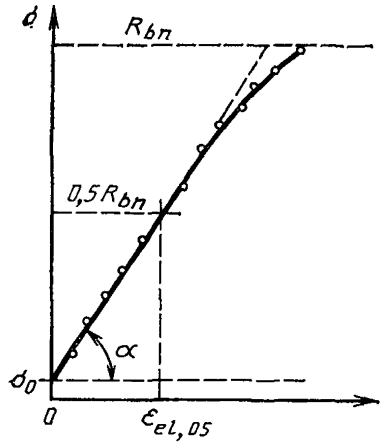


Рис. 1

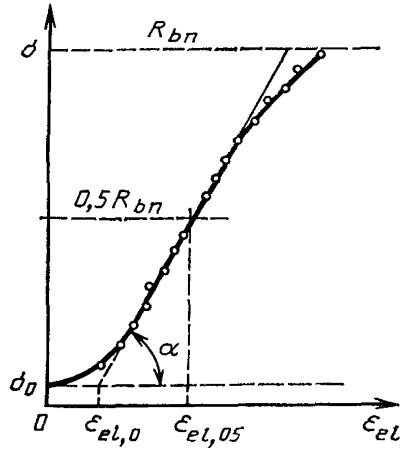


Рис. 2

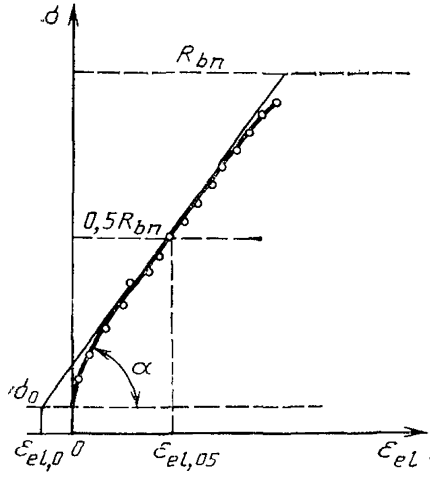


Рис. 3

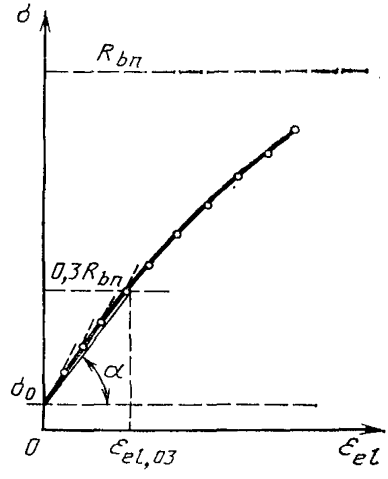


Рис. 4

1.1. Диаграмма линейна на всем диапазоне напряжений σ от условного нуля σ_0 до $\sigma \geqslant 0{,}5\ R_{bn}$ при сжатии или $\sigma \geqslant 0{,}7\ R_{btn}$ при растяжении (рис. 1).

1.2. Диаграмма имеет начальный нелинейный участок в диапазоне напряжений от σ_0 до $\sigma_1 \leqslant 0{,}15\ R_{bn}$ ($\sigma_{1t} \leqslant 0{,}2\ R_{btn}$), а при $\sigma_1 \leqslant \sigma \leqslant 0{,}5\ R_{bn}$ ($\sigma_{1t} \leqslant \sigma_t \leqslant 0{,}7\ R_{btn}$)

— линейна (рис. 2, 3). Начальный нелинейный участок может быть следствием дополнительных погрешностей испытательного оборудования в начале шкалы измерения, обжатия бетона из-за имеющихся в его структуре начальных дефектов и т. п.

1.3. Диаграмма нелинейна на всем диапазоне напряжений $\sigma > \sigma_0$ (рис. 4).

2. Определение модуля упругости.

2.1. Если в эксперименте получена диаграмма σ—ε_{el} по рис. 1, модуль упругости E_b находят как тангенс угла ее наклона к оси деформации:

$$E_b = \frac{0{,}5R_{bn} - \sigma_0}{\varepsilon_{el,05}}; \qquad (1)$$

$$E_b = \frac{0{,}7R_{btn} - \sigma_0}{\varepsilon_{el,07}}; \qquad (1а)$$

где $\varepsilon_{el,\,05}$ — упругая деформация при $\sigma = 0{,}5R_{bn}$;

$\varepsilon_{el,\,07}$ — то же при $\sigma = 0{,}7\,R_{btn}$.

Если диаграмма σ—ε_{el} остается линейной и не меняет угла наклона при напряжениях выше $0{,}5\,R_{bn}$ ($0{,}7\,R_{btn}$), рекомендуется при проведении осредняющей прямой и вычислении модуля упругости учитывать точки, лежащие на линейном участке выше указанного уровня.

2.2. Если в эксперименте получена диаграмма σ—ε_{el} с начальным нелинейным участком (рис. 2, 3), то прямую, характеризующую зависимость σ—ε_{el} на участке $\sigma_1 < \sigma < 0{,}5\,R_{bn}$ ($\sigma_1 < \sigma < 0{,}7\,R_{btn}$) продлевают до пересечения с абсциссой $\sigma = \sigma_0$ и по графику определяют условное значение деформации $\varepsilon_{el,\,0}$. При вычислении модуля упругости по форме 1 или 1а это значение деформации вычитают (со своим знаком) из $\varepsilon_{el,\,05}$ ($\varepsilon_{el,\,07}$).

2.3. Если в эксперименте получена диаграмма σ—ε_{el} по рис. 4, то в качестве модуля упругости определяют секущий модуль при напряжении $\sigma = 0{,}3\,R_{bn}$ ($\sigma = 0{,}3\,R_{btn}$):

$$E_b = \frac{0{,}3R_{bn} - \sigma_0}{\varepsilon_{el,03}}; \qquad (2)$$

$$E_b = \frac{0{,}3R_{btn} - \sigma_0}{\varepsilon_{el,03}}, \qquad (2а)$$

где $\varepsilon_{el,\,03}$ — упругая деформация, соответствующая $\sigma = 0{,}3\,R_{bn}$ ($\sigma = 0{,}3\,R_{btn}$).

ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОГО ЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА ДИАГРАММ

1. Выделение начального линейного участка диаграммы.

1.1. Экспериментальная диаграмма представляется как последовательность точек (x_j, y_j), ранжированных по возрастанию x_j:

для зависимости σ—θ—$x_j=\sigma_j$; $y_j=\theta_j$;

для зависимости ε_1—ε_2—$x_j=\varepsilon_{2j}$; $y_j=\varepsilon_{1j}$;

для зависимости σ—ε_1—$x_j=\sigma_j$; $y_j=\varepsilon_{1j}$;

для зависимости σ—ε_2—$x_j=\sigma_j$; $y_j=\varepsilon_{2j}$.

1.2. x_j, y_j принимают равными значениям соответствующих характеристик, определенных по пп. 9.8—9.9, 9.11.1.4 настоящей методики.

1.3. Из последовательности точек (x_j, y_j) выделяют подпоследовательности.

1.3.1. В первую подпоследовательность $(k=1)$ включают три точки для последовательно возрастающих значений x_j $(j=1, 2, 3)$, причем первая точка $(j=1)$ выбирается при уровне напряжения $(0{,}15\div0{,}5)\,R_{bn}$ или $(0{,}15\div0{,}5)\,R_{bth}$.

1.3.2. Каждую следующую подпоследовательность получают добавлением следующей точки к предыдущей последовательности, так что k-ая подпоследовательность будет иметь точки $j=1, 2, \ldots m_k=k+2$.

1.4. Для каждой подпоследовательности вычисляют значение t — статистики значимости коэффициента корреляции:

$$t_k=\frac{r_k\sqrt{m_k-2}}{\sqrt{1-r_k^2}}\;; \tag{1}$$

$$r_k=\frac{\sum\limits_{j=1}^{m_k}(x_j-\bar{x}_k)(y_j-\bar{y}_k)}{\sqrt{\sum\limits_{j=1}^{m_k}(x_j-\bar{x}_k)^2\sum\limits_{j=1}^{m_k}(y_j-\bar{y}_k)^2}}\;, \tag{2}$$

где m_k — число точек в данной подпоследовательности $(m_k=k+2)$; r_k — коэффициент корреляции для данной подпоследовательности; $\bar{x}_k$, $\bar{y}_k$ — средние арифметические значения для входящих в данную подпоследовательность значений соответственно x_j или y_j: $j=1\text{—}(k+2)$.

При вычислениях r_k удобно пользоваться формулой (2), представленной в виде

$$r_k=\frac{m_k\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_jy_j-\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j\sum\limits_{j=1}^{m_k}y_j}{\sqrt{m_k\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j\right)^2}\sqrt{m_k\sum\limits_{j=1}^{m_k}y^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m_k}y_j\right)^2}}\;. \tag{2a}$$

Поскольку каждый член этой формулы представляет собой сумму единичных значений $\bar{x}_j$ и $\bar{y}_j$ или их произведений, то для определения r_k подпоследовательности k прибавляют значения $x_j=k$; $y_j=k$ или значения соответствующих произведений в члены формулы (2а), вычисленные для подпоследовательности $(k-1)$.

1.5. Правую границу линейного участка находят, анализируя значения t_k, полученные для ряда подпоследовательностей.

1.5.1. Если при возрастании k последовательные значения t_k изменяются таким образом, что максимальное значение $t_k=t_{k,\max}$ достигается внутри интерва-

ла, то правая граница линейного участка принимается в точке (x_j, y_j), где $j=k+2$), соответствующей подпоследовательности с $t_{k,\max}$.

1.5.2. Если значения t_k при возрастании k монотонно убывают, то правую границу линейного участка принимают в точке $(x_j, y_j; j=k+2)$, удовлетворяющей условию $r_k>0{,}998$ и $r_{k+1}<0{,}998$.

1.5.3. Если для всех подпоследовательностей k значения $r_k<0{,}998$, то выделение начального участка невозможно.

2. Оценка параметров начального линейного участка диаграммы.

2.1. Диаграмма на выделенном линейном участке сглаживается зависимостью

$$y=A+Bx. \tag{3}$$

2.2. Коэффициенты линейной регрессии A и B оценивают по зависимостям:

$$B=\frac{m_k\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_jy_j-\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j\sum\limits_{j=1}^{m_k}y_i}{m_k\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j\right)^2}; \tag{4}$$

$$A=\frac{\sum\limits_{j=1}^{m_k}y_i-\sum\limits_{j=1}^{m_k}x_j}{m_k}, \tag{5}$$

где $m_k=k+2$ — число точек в подпоследовательности k, правая точка которой определена по п. 1.5 настоящего приложения; x_j, y_j — значения величин x и y в точках k-ой подпоследовательности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 22

Рекомендуемое

ХАРАКТЕРНЫЕ ВАРИАНТЫ ДИАГРАММ σ—ΔN_Σ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО НИМ ГРАНИЦ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

1. ВАРИАНТЫ ДИАГРАММ σ—ΔN_Σ

1.1. Полная диаграмма σ—ΔN_Σ (рис. 1) имеет следующие характерные участки:

участок *ОА*, который определяется начальными шумами в опорных устройствах, трением о них образца, местными сколами поверхностных слоев бетона образца. Участок *ОА* может быть устранен полностью или частично аппаратурно, путем соответствующей подготовки образца перед испытаниями согласно п. 7.11 или путем двух-трех циклических нагружений — разгрузок образца в пределах до $0{,}15\,F_u$ (последнее автоматически достигается при центрировании образца по физической оси, когда определение структурно-механических характеристик совмещается с нахождением других параметров бетона). Если участок *ОА* не устранен, то его при анализе диаграммы не принимают во внимание;

участок АВ, который соответствует упругой работе бетона. В этом диапазоне напряжений микротрещины практически не образуются и соответственно число импульсов АЭ при повышении напряжения изменяется незначительно или остается постоянным;

участок *ВС*, который соответствует образованию и раскрытию микротрещин, в основном, по поверхностям контакта матрицы и заполнителей. В этом диапазо-

не напряжений число импульсов АЭ при повышении напряжения резко возрастает;

участок CD, который соответствует периоду подготовки к образованию макротрещин. В этом диапазоне напряжений энергии, сообщенной бетону образца, недостаточно для дальнейшего роста трещин, в связи с чем интенсивность образования импульсов АЭ падает или мало меняется;

участок DF, который соответствует началу образования макротрещин, что приводит к увеличению числа импульсов АЭ при росте напряжения;

участок FG, который соответствует периоду подготовки к образованию магистральных трещин, что требует дополнительной энергии. Характеризуется стабилизацией или спадом интенсивности образования импульсов АЭ;

участок QH, который соответствует интенсивному росту и объединению макротрещин с образованием магистральных трещин, приводящих к разрушению образца. Соответственно при повышении напряжения интенсивно возрастает число импульсов АЭ, значительно превышая зарегистрированное на участке DFG.

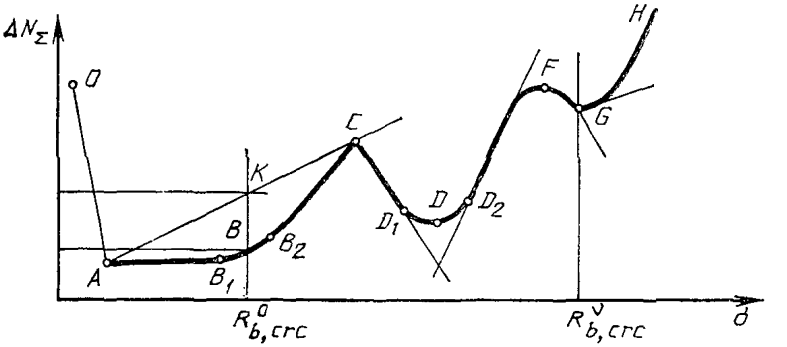


Рис. 1

1.2. В зависимости от состава бетона, технических характеристик применяемой для регистрации сигналов АЭ аппаратуры, а также типа опорных устройств возможно либо получение полной диаграммы σ—ΔN_Σ, либо ее вариантов, отличающихся отсутствием одного или нескольких участков.

Наиболее часто встречаются следующие варианты:

отсутствует участок B_1B_2 и (или) D_1D_2;

отсутствует участок CD (рис. 2);

отсутствуют участки DF и FG (рис. 3);

отсутствуют участки CD, DF и FG (рис. 4);

отсутствуют участки BC, CD, DF, FG (рис. 5).

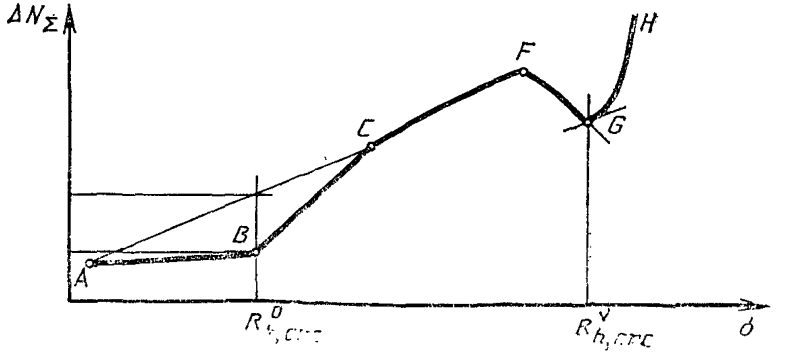


Рис. 2

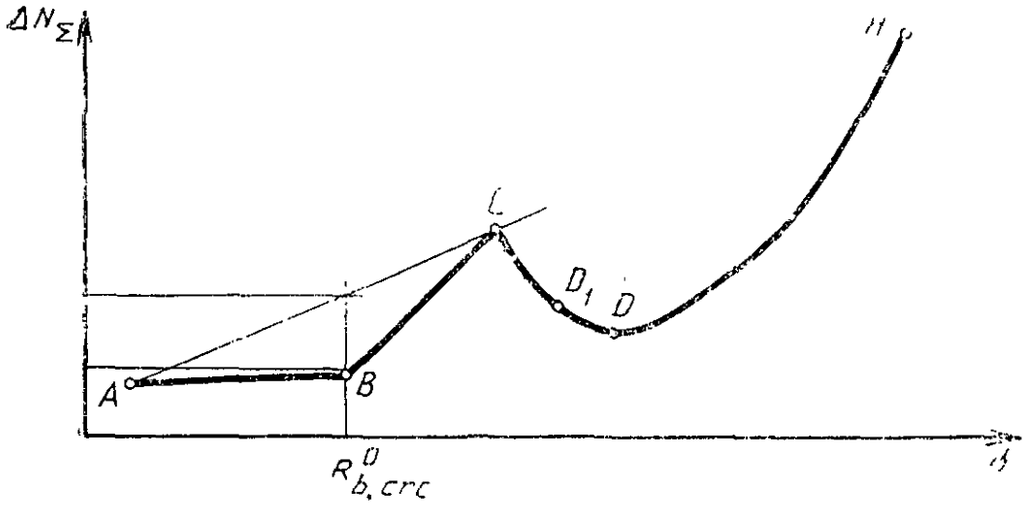


Рис. 3

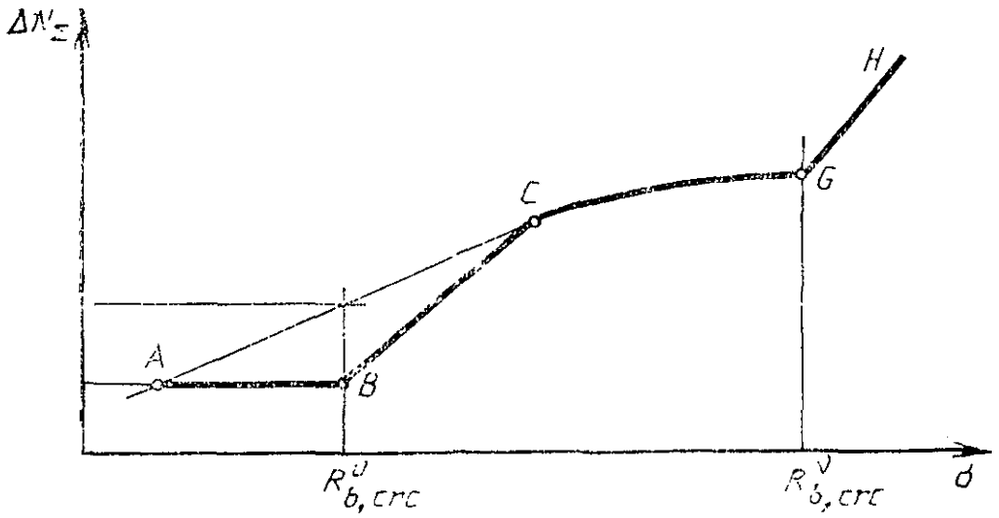


Рис. 4

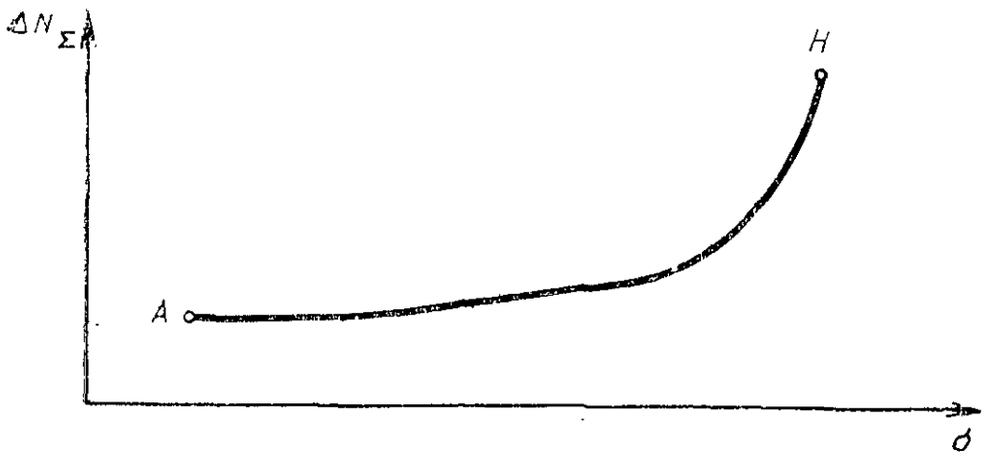


Рис. 5

2. СГЛАЖИВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ σ—ΔN_Σ

Экспериментальную зависимость σ—ΔN_Σ рекомендуется сглаживать с помощью локального линейного аппроксимирования.

С этой целью последовательность экспериментальных точек (x_j, y_j), где $x=\sigma$; $y=\Delta N_\Sigma$, разбивают на подпоследовательности по три точки в каждой следующим образом: первую подпоследовательность ($k=1$) образуют из первых трех точек, начиная от точки A диаграммы; вторую и все следующие подпоследовательности — исключением первой точки предыдущей подпоследовательности и добавлением последующей точки. Таким образом, каждая подпоследовательность k будет состоять из точек $j=k$; $k+1$; $k+2$.

Для каждой подпоследовательности определяют согласно указаниям приложения 21 коэффициенты A и B уравнения линейной регрессии $\tilde{y}=A+Bx$ и вычисляют по ним для точки $j=k+1$ (средней в подпоследовательности) значение $\tilde{y}_{j=k+1}=A+Bx_{j=k+1}$.

Сглаженная зависимость строится по точкам $(x_j; \tilde{y}_j)$.

3. НАХОЖДЕНИЕ ГРАНИЦ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

3.1. Если в эксперименте получена полная диаграмма σ—ΔN_Σ, то значения $R^{\circ}_{b,crc,i}$ и $R^{\nu}_{b,crc,i}$ находят по этой диаграмме.

Если экспериментальная диаграмма отличается от полной, то значения $R^{\circ}_{b,crc,i}$ и $R^{\nu}_{b,crc,i}$ находят по сглаженной диаграмме.

Если после сглаживания получен вариант диаграммы σ—ΔN_Σ, показанный на рис. 3, то невозможно определить верхнюю границу микротрещинообразования, а если получен вариант, показанный на рис. 5, то нельзя определить и нижнюю границу. В этих случаях следует для определения границ микротрещинообразования воспользоваться другим методом.

3.2. Нижнюю границу микротрещинообразования $R^{\circ}_{b,crc,i}$ по полной диаграмме находят следующим образом.

Соединяют прямой линией точку A с точкой C и находят максимальное значение отрезка ординаты, заключенного между $[AC]$ и экспериментальной диаграммой. Соответствующая абсцисса принимается за $R^{\circ}_{b,crc,i}$.

Для вариантов диаграммы σ—ΔN_Σ без участка B_1B_2 нижняя граница микротрещинообразования соответствует абсциссе точки B.

3.3. Верхнюю границу микротрещинообразования по полной диаграмме или ее вариантам, на которых выделяются участки CD и DF, находят следующим образом.

3.3.1. Оценивают значимость участка DFG.

Для этого находят логарифмы $\lg(\Delta N_\Sigma)$ и $\lg(\Delta\tilde{N}_\Sigma)$ соответственно экспериментальных значений $y_j=\Delta N_\Sigma$ и сглаженных по п. 2 приложения $\tilde{y}_i=\Delta N_\Sigma$.

Проводят сглаживание полученной зависимости σ_j—$\lg(\Delta N_\Sigma)_j$ либо с помощью процедуры *VSPSQ* на ЕС ЭВМ*, либо методом локального линейного аппроксимирования согласно указаниям п. 2 настоящего приложения, принимая $x=\sigma$; $y=\lg(\Delta N_\Sigma)$. По результатам сглаживания получают значения $y_j=\lg(\Delta N_\Sigma)_j=L_j$, где $j=2, 3, \ldots, m-1$.

---

* Математическое обеспечение ЕС ЭВМ,; Минск, 1974, вып. 12.

Вычисляют для каждой точки $j=2... m-1$ отклонения логарифмов экспериментальных значений АЭ — характеристики от сглаженных:

$$S_j=\lg(\Delta N_\Sigma)-\lg(\Delta\tilde{N}_\Sigma); \quad (1)$$

$$q_j=\lg(\Delta N_\Sigma)-\tilde{L}_j \quad (2)$$

и находят их средние арифметические значения

$$\overline{S}=\frac{\sum_{j=2}^{m-1} S_j}{m-2}; \quad (3)$$

$$\overline{q}=\frac{\sum_{j=2}^{m-1} q_i}{m-2}, \quad (4)$$

где m — количество экспериментальных точек на диаграмме $\sigma-\Delta N_\Sigma$ без учета участка OA.

Вычисляют F — отношение

$$F=\frac{\Sigma(q_i-\overline{q})^2}{\Sigma(S_i-\overline{S})^2}. \quad (5)$$

По таблице F — распределения Фишера находят значения $F_{\alpha/2,(m-3),(m-3)}$ и $F_{(1-\alpha/2),(m-3),(m-3)}$, принимая уровень значимости $\alpha=2$ %.

Если выполняется условие

$$F_{1-\alpha/2}\leqslant F\leqslant F_{\alpha/2}, \quad (6)$$

то наличие участка DFG незначимо; если условие (6) не выполняется, то наличие участка DFG значимо.

3.3.2. Если наличие участка DFG значимо, то верхняя граница микротрещинообразования $R^{\nu}_{b,crc,i}$ соответствует абсциссе точки G.

Если наличие участка DFG незначимо, то данная диаграмма соответствует варианту, приведенному на рис. 3 настоящего приложения. Точное определение $R^{\nu}_{b,crc,i}$ по ней невозможно и для ее определения следует воспользоваться другим методом.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Методы измерения 3
2. Образцы 7
3. Средства измерения и вспомогательные устройства . . . 11
4. Требования безопасности 15
5. Требования к квалификации операторов 16
6. Условия выполнения измерений 16
7. Подготовка к проведению измерений 16
8. Выполнение измерений 23
9. Обработка результатов измерений 26
10. Оформление результатов измерений 36
Приложение 1. Основные обозначения величин 37
Приложение 2. Определение минимального числа образцов в серии . 38
Приложение 3. Формы журналов для записи сведений об исходных материалах, составе бетонной смеси, технологии изготовления и хранения образцов 40
Приложение 4. Рекомендации по изготовлению образцов с заданным значением коэффициента уплотнения бетонной смеси 42
Приложение 5. Рекомендации по отбору образцов из сооружений, конструкций и изделий 43
Приложение 6. Оборудование для выпиливания и выбуривания образцов из сооружений, конструкций и изделий . . 44
Приложение 7. Упругие перераспределяющие устройства к нежестким испытательным машинам 48
Приложение 8. Дополнительные опорные устройства к стандартным испытательным машинам при испытаниях на сжатие 49
Приложение 9. Квазигидрошарниры 51
Приложение 10. Схема устройства для центрирования образца под нагрузкой при испытании на сжатие 52
Приложение 11. Захваты для испытания образцов на осевое растяжение 53
Приложение 12. Устройства для крепления на образце тензометров и первичных тензометрических преобразователей . 57
Приложение 13. Схемы установки образца и преобразователей при определении динамических модулей упругости и сдвига резонансным методом 63
Приложение 14. Определение допустимой продолжительности испытаний партии образцов 64
Приложение 15. Схемы установки ультразвуковых и акустоэмиссионных преобразователей 66
Приложение 16. Схема измерения при определении динамического модуля упругости и модуля сдвига резонансным методом 68
Приложение 17. Журнал тензометрических измерений 69
Приложение 18. Журнал акустоэмиссионных измерений . . . 70
Приложение 19. Журнал ультразвуковых измерений 71
Приложение 20. Варианты диаграмм упругих деформаций и определение по ним модуля упругости 72
Приложение 21. Выделение и оценка параметров начального линейного участка диаграмм 74
Приложение 22. Характерные варианты диаграмм σ—ΔN_{Σ} и определение по ним границ микротрещинообразования . 75

gost.e-ecolog.ru