

БЕТОНЫ

Методы испытаний на выносливость

Concrete. Methods of endurance test

ГОСТ
24545—81

Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 30 декабря 1980 г. № 214 срок введения установлен

с 01.01.82

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на все виды бетонов, применяемых в промышленном, энергетическом, транспортном, водохозяйственном, жилищно-гражданском и сельскохозяйственном строительстве, в том числе на бетоны, подвергающиеся в процессе эксплуатации нагреву, насыщению водой или нефтепродуктами.

Стандарт устанавливает методы испытаний на выносливость путем нагружения образцов стандартных размеров многократно повторяющейся осевой сжимающей нагрузкой, составляющей различные доли от разрушающей. Результатом испытаний является либо число циклов до разрушения образца, либо достижение бетоном заданного числа циклов многократного приложения нагрузки (база испытаний) на определенном уровне нагружения. При изучении бетонов результаты испытаний используют для построения линии регрессии выносливости, по которой оценивают бетон.

Предусмотренные настоящим стандартом испытания проводят только на образцах, специально изготовленных из бетонной смеси. Образцы, выпущенные или выбуренные из элементов конструкций, при испытаниях бетона на выносливость не применяют.

В стандарте учтены рекомендации СЭВ по стандартизации РС 279-65 в части методов испытаний на выносливость.

Термины, применяемые в настоящем стандарте, и их пояснения приведены в справочном приложении 4.

1. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОТБОРА ОБРАЗЦОВ

1.1. Испытание бетона на выносливость следует проводить на образцах-призмах размерами $70 \times 70 \times 280$, $100 \times 100 \times 400$, $150 \times 150 \times 600$, $200 \times 200 \times 800$ мм. В качестве базового образца принимают призму с размерами $150 \times 150 \times 600$ мм.

1.2. Размеры образцов для испытаний выбирают в зависимости от наибольшей крупности заполнителей в пробе бетонной смеси в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78.

1.3. Отбор проб бетонной смеси, изготовление и хранение образцов следует производить в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78.

1.4. Образцы изготовляют сериями. Для проведения испытаний на выносливость при заданных параметрах нагружения (уровня и частоты нагружения, а также коэффициента асимметрии) серия должна состоять из 6 образцов, из которых 3 образца подвергают многократному повторному нагружению, а на 3 образцах определяют призмную прочность.

Для проведения испытаний с целью построения линии регрессии выносливости серия должна состоять из 15 образцов, из которых 12 образцов подвергают многократному повторному нагружению, а на 3 образцах определяют призмную прочность.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

2.1. Для проведения испытаний следует применять испытательные машины и установки, работающие в режиме многократного повторного нагружения, отвечающие требованиям настоящего стандарта и аттестованные в установленном порядке в соответствии с требованиями ГОСТ 8.001-80 и МУ 8.7-77.

2.2. Испытания следует проводить на испытательных машинах и установках, имеющих счетчик числа циклов нагружения, а также динамическую тарировку в эксплуатационном режиме.

2.3. Машины и установки должны обеспечивать возможность изменения и регулирования уровня нагружения.

2.4. Опорные плиты испытательной машины должны обеспечивать неподвижность образцов в процессе испытаний и возможность их центрирования по отношению к центральной оси машины и отвечать требованиям ГОСТ 8905—82.

2.5. Для насыщения образцов водой или нефтепродуктами, а также для испытания образцов при нагреве следует применять оборудование и приборы в соответствии с требованиями ГОСТ 24452—80.

3. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

3.1. Образцы должны быть перенесены в помещение для испытаний не менее чем за 3 сут.

3.2. Подготовку образцов к испытаниям следует начинать с их осмотра и определения линейных размеров, при этом допускаемые отклонения от номинальных размеров должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10180—78.

3.3. Призменную прочность бетона определяют по ГОСТ 24452—80 до испытаний на выносливость.

3.4. Насыщение образцов водой или нефтепродуктами, а также подготовку образцов, подвергаемых испытаниям при нагреве, проводят по ГОСТ 24452—80.

3.5. В помещении, где проводят испытания, температура воздуха должна быть не ниже плюс 10°C.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

4.1. Испытание следует проводить при постоянных значениях уровня нагружения σ_{max}/R_{sp} , частоты циклов многократного повторного нагружения f , коэффициента асимметрии цикла напряжений ρ_0 , а также заданного числа циклов многократного повторного нагружения (базы испытаний), назначаемых в соответствии с программами испытаний, исследований или с указаниями стандартов и технических условий на бетонные и железобетонные конструкции.

При отсутствии таких указаний испытания проводят при базовых условиях с последующим построением линии регрессии выносливости.

Для этого последовательно проводят испытания образцов на четырех уровнях нагружения, которые принимают равным 0,9; 0,8; 0,7 и 0,6 от разрушающей нагрузки, принимая значения коэффициента асимметрии цикла напряжений ρ_0 равным 0,1, частоту многократно повторного нагружения равной 5—10 Гц. Возраст бетона к началу испытаний должен быть не менее 28 сут.

4.2. Образцы до соответствующего уровня нагружают непрерывно с постоянной скоростью нарастания напряжений $(0,05 \pm 0,02)$ МПа/с [$\text{кгс}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$], после чего создают многократно повторяющуюся нагрузку соответствующей интенсивности. Значение минимальных напряжений цикла многократно повторного нагружения σ_{min} вычисляют по формуле

$$\sigma_{min} = \sigma_{max} \rho_0, \quad (1)$$

где σ_{max} — максимальное напряжение цикла;

ρ_0 — коэффициент асимметрии цикла напряжений.

4.3. Испытания образцов следует начинать с уровня нагружения, равного 0,9, с последующим снижением уровня в порядке, указанном в п. 4.1.

4.4. На каждом уровне нагружения следует испытывать 3 образца. Схема испытательной машины для одновременного испы-

тания 3 образцов приведена на чертеже. При разрушении образца испытательную машину останавливают, на его место устанавливают металлический вкладыш, способный воспринимать прилагаемую нагрузку, и продолжают испытания.

4.5. Испытания проводят на испытательной машине одного типа и считают законченными в случае разрушения образцов или достижения ими заданного числа циклов (базы испытаний).

4.6. Дополнительные требования к методике испытаний бетона на выносливость при нагреве приведены в обязательном приложении 1.

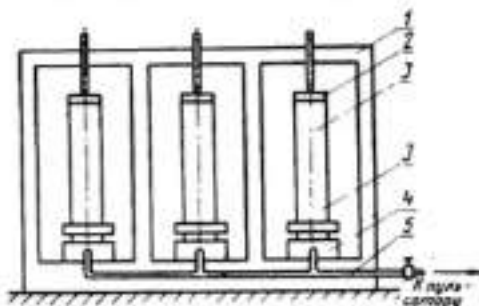
4.7. Исходные данные и результаты каждого испытания фиксируют в журнале испытаний, форма которого дана в рекомендуемом приложении 2.

4.8. При проведении испытаний должны соблюдаться требования нормативных документов по безопасности труда и требования, указанные в ГОСТ 10180—78.

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. В обработку результатов испытаний включают образцы разрушившиеся в интервале от 100 до заданного числа циклов многократно повторного нагружения.

Схема испытательной машины на три образца



1—рама машины; 2—зажимы; 3—образцы; 4—датчик деформации; 5—трубопроводы.

5.2. По результатам испытаний отдельных образцов при заданных параметрах нагружения в соответствии с пп. 1.4, 4.1 вычисляют среднее значение числа циклов многократно повторного нагружения n по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n} \quad (2)$$

где \bar{n}_i — значение числа циклов отдельного образца;
 n — число образцов в серии.

Если среднее значение числа циклов, вычисленное по формуле (2), меньше числа циклов заданного нормативным документом, то делают заключение о несоответствии прочности бетона требованиям к его выносливости и следует провести испытания на другом составе бетона.

5.3. По результатам испытаний образцов для построения линии регрессии выносливости в соответствии с пп. 1.4, 4.1 следует установить линейную зависимость, определяемую уравнением регрессии

$$\frac{\sigma_{max}}{R_{ct}} = A + B \lg \bar{n}, \quad (3)$$

где A и B — коэффициенты, определяемые по результатам испытаний;

\bar{n} — число циклов, соответствующих разрушению образца.

Теснота корреляционной связи, определяемая коэффициентом корреляции, должна находиться в пределах $-0,7 > r > -1,0$.

5.4. Линия регрессии выносливости должна строиться в виде диаграммы, на оси абсцисс которой откладывают в логарифмическом масштабе число циклов нагружений до разрушения отдельных образцов, а по оси ординат — отношение $\frac{\sigma_{max}}{R_{ct}}$ либо максимальные напряжения σ_{max} .

5.5. По построенной линии регрессии выносливости следует провести оценку сопротивляемости бетона многократно повторному нагружению.

5.6. Примеры обработки результатов испытаний по пп. 5.2—5.4 и оценки на их основе испытанного бетона приведены в справочном приложении 3.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЙ БЕТОНА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ ПРИ НАГРЕВЕ

1. Для каждой требуемой температуры нагрева бетона следует отбирать образцы по п. 1.3 настоящего стандарта.

2. Для проведения испытаний нагревательное устройство и средства измерения температур применяют по ГОСТ 24452—80.

3. Нагревательное устройство (камерная электрическая печь) должно обеспечивать равномерный нагрев образца по заданному режиму до требуемой температуры и устанавливаться таким образом, чтобы оно не подвергалось воздействию многократно-повторного нагружения.

Перепад температуры по высоте рабочего пространства нагревательного устройства не должен превышать 10°C при нагреве до 200°C .

4. Температуру в рабочем пространстве нагревательного устройства контролируют термометрами, установленными у верхнего и нижнего торца образца.

5. Признанную прочность бетона для требуемой температуры нагрева определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 24452—80.

6. Параметры нагружения образцов принимают по п. 4.1 настоящего стандарта.

7. Образцы нагревают со скоростью $30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ до требуемой температуры, после чего подвергают многократно-повторному нагружению. Во время испытаний температура в рабочем пространстве нагревательного устройства не должна изменяться.

8. Для каждой температуры нагрева линию регрессии строят по п. 5.3 настоящего стандарта. При этом на графике (приложение 3) по оси ординат откладывают отношение максимального напряжения сжатия σ_{max} к призмочной прочности бетона для требуемой температуры $\bar{R}_{\text{пр.т}}$.

9. В протоколе испытаний (приложение 2) указывают температуру нагрева бетона.

ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

1. Пример построения линии регрессии выносливости бетона и оценки результатов испытаний.

Требуется построить линию регрессии выносливости бетона и определить выносливость при базе испытаний $2 \cdot 10^6$ циклов, а также оценить выносливость бетона при надежности $t = 0,95$.

В таблице представлены результаты испытаний бетона на уровнях напряжений 0,9; 0,8; 0,7; 0,6 (при $f = 6 \text{ Тн}$, $\rho_c = 0,2$).

Намер. испытания	$\eta = \frac{\sigma_{max}}{R_{sp}}$	\bar{x}_i	$\lg \bar{x}_i$
1	0,9	1000	3,000
2	0,9	1500	3,176
3	0,9	1800	3,255
4	0,8	5000	3,699
5	0,8	2000	3,301
6	0,8	7070	3,850
7	0,7	31620	4,500
8	0,7	20000	4,300
9	0,7	100000	5,000
10	0,6	450000	5,653
11	0,6	580000	5,763
12	0,6	860000	5,934

Вид линии регрессии

$$\frac{\sigma_{max}}{R_{sp}} = A + B \lg \bar{x} \text{ или в виде } y = A + Bx. \quad (1)$$

Значения коэффициентов A и B в уравнении (1) вычисляются по результатам испытаний, принимая их в форме:

$$A = \bar{y} - B\bar{x} \text{ и } B = \frac{m_{xy}}{S_x^2}, \quad (2)$$

где \bar{y} , \bar{x} — средние арифметические значения измеренных величин;
 m_{xy} — корреляционный момент, вычисляемый по формуле

$$m_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); \quad (3)$$

S_x и S_y — дисперсия измеренных величин, вычисляемые по формулам:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ и } S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2; \quad (4)$$

n — число разрушенных образцов.

По результатам вычислений получим:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{51,43}{12} = 4,286; \\ \bar{y} &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{3(0,9+0,8+0,7+0,6)}{12} = 0,75; \\ S_x^2 &= 1,161; S_y = 1,077; \\ S_y^2 &= 0,0136; S_y = 0,116; \\ r_{xy} &= -0,121.\end{aligned}$$

Коэффициент корреляции $r = \frac{0,121}{1,077 \cdot 0,116} = -0,963 < -0,7$.

После подстановки в формулу (2) вычисленных значений получим численные значения коэффициентов линии регрессии:

$$B = -0,104; A = 0,75 - (-0,104) \cdot 4,286 = 1,197.$$

Уравнение линии регрессии по средним точкам имеет вид

$$\frac{\sigma_{max}}{R_{sp}} = 1,197 - 0,104 \bar{x}.$$

Доверительную оценку коэффициента B линии регрессии (1) производят при надежности оценки t , равной 0,95, по формуле

$$B_t = -t \frac{S_y}{S_x} \frac{\sqrt{1-t^2}}{\sqrt{n-2}} \pm B, \quad (5)$$

где t — коэффициент Стьюдента при числе степеней свободы $K = n - 2$ и надежности $t = 0,95$.

Вычисляя значения доверительных границ по формуле (5), получим уравнение линии регрессии верхней границы доверительного интервала в виде

$$\frac{\sigma_{max}}{R_{sp}} = 1,197 - 0,0836 \bar{x} \quad (6)$$

и уравнение линии регрессии нижней границ доверительного интервала

$$\frac{\sigma_{max}}{R_{sp}} = 1,197 - 0,1244 \bar{x}. \quad (7)$$

при которой производят оценку соответствия прочности бетона требованиям к его выносливости.

На чертеже показаны в полулгарифмических координатах линия регрессии по средним точкам, линии верхней и нижней границ доверительного интервала.

Выносливость испытанного бетона по средним значениям на базе испытаний $2 \cdot 10^6$ циклов, вычисленная в долях от призмочной прочности, равна 0,542, а при надежности оценки $t = 0,95$ на той же базе испытаний она составляет 0,413.

2. Пример проверки соответствия прочности бетона требованиям к его выносливости.

Техническими условиями на изготовление железобетонной балки задано проверить соответствие прочности бетона требованиям к его выносливости при следующих параметрах:

уровень максимальных напряжений $\sigma_{0,11}$, равен $0,5 \bar{R}_{sp}$;

частота циклического нагружения $f = 6$ Гц;

Линия регрессии по результатам испытаний на выносливость



коэффициент асимметрии цикла $\mu_c = 0,1$;

база испытаний $2 \cdot 10^6$ циклов. Приложенная прочность бетона на момент испытаний равна 42,5 МПа. Значения максимальных и минимальных напряжений цикла равны:

$$\sigma_{\max} = 0,5 \cdot 42,5 = 21,25 \text{ МПа}; \quad \sigma_{\min} = 21,25 \cdot 0,1 = 2,125 \text{ МПа}.$$

Испытание проводят на образцах-призмах размерами $10 \times 10 \times 40$ см.

В результате испытаний 3 образцов до разрушения при заданных параметрах получены значения числа циклов многократного повторения нагрузки, соответственно равные $0,28 \cdot 10^7$; $1,2 \cdot 10^7$; $1,8 \cdot 10^7$ циклов.

Среднее арифметическое значение \bar{n} равно,

$$\bar{n} = \frac{3,28 \cdot 10^7}{3} = 1,09 \cdot 10^7 \text{ циклов.}$$

Ошибочное значение среднеквадратического отклонения равно

$$S_n = 0,765 \cdot 10^7$$

В соответствии с ГОСТ 11.002—73 выявление аномального результата при испытании 3 образцов производят по формуле

$$v_n = \left| \frac{n_i - \bar{n}}{S_n} \right| < 1,15$$

Подставляя значения величин минимального и максимального результатов, имеем:

$$v_{n_{\min}} = \frac{(0,28 - 1,09) \cdot 10^7}{0,765 \cdot 10^7} = 1,06 < 1,15;$$

$$v_{n_{\max}} = \frac{(1,8 - 1,09) \cdot 10^7}{0,765 \cdot 10^7} = 0,925 < 1,15$$

Проверка условия показывает, что все результаты испытаний являются статистически значимыми и должны быть включены для оценки выносливости бетона. Так как среднее значение числа циклов \bar{n} , приведенных к разрушению образца, равно $10,9 \cdot 10^6$ циклов, а заданная база испытаний равна $2 \cdot 10^6$ циклов, то делают заключение о том, что выносливость испытанного бетона на уровне $0,5 R_{bt}$ в базе испытаний $2 \cdot 10^6$ циклов обеспечена и бетон может быть рекомендован к применению.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

ТЕРМИНЫ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ

Термин	Обозначение	Пояснение
Выносливость	—	Свойство материала противостоять многократно повторному нагружению
База испытаний	N	Предварительно задаваемая наибольшая продолжительность испытаний на выносливость в циклах
Частота цикла	f	Отношение числа циклов нагружений к интервалу времени их действия
Максимальное напряжение цикла	σ_{max}	Наибольшее по алгебраическому значению напряжение в образце
Минимальное напряжение цикла	σ_{min}	Наименьшее по алгебраическому значению напряжение в образце
Коэффициент асимметрии цикла напряжений	r	Отношение минимального напряжения к максимальному

СОДЕРЖАНИЕ

ГОСТ 24452—80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона	1
ГОСТ 24544—81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести	10
ГОСТ 24545—81 Бетоны. Методы испытаний на выносливость	45

Редактор *В. С. Бобкина*
Технический редактор *Э. В. Милай*
Корректор *Г. И. Чубко*

Сдано в наб. 14.03.86 Подл. в печ. 14.06.86 3,3 усл. л. л. 3,675 усл. гр.-отт. 3,42 уч.-изд. л.
Тираж 10 000 Цена 15 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новоспиренский пер., д. 3.

Валдайская типография Издательства стандартов, ул. Дарвус и Гирено, 26. Зак. 1407.