

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ И ИЗДЕЛИЯХ

Методика выполнения измерений при натуральных испытаниях
методом вырыва анкера

МИ 2016-03

Москва
2003

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения	1
2 Норма погрешности	2
3 Основы метода испытаний	2
4 Требования к средствам испытаний	9
5 Указания по технике безопасности	10
6 Планирование испытаний.....	11
7 Подготовка к испытаниям	12
8 Проведение испытаний	13
9 Обработка результатов испытаний	14
Приложение А. Построение и корректировка рабочих градуировочных зависимостей для средств неразрушающего контроля в натуральных условиях.....	17
Приложение Б. Рекомендации по оттаиванию и изотермическому прогреву замерзшего бетона	20
Приложение В. Рекомендации по оценке прочности замерзшего бетона без проведения его предварительного оттаивания.....	22
Приложение Г. Протокол выполнения натуральных испытаний бетона методом вырыва.....	24
Приложение Д. Статистические таблицы	27
Приложение Е. Термины и определения	29

РЕКОМЕНДАЦИИ

ГОСИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ И ИЗДЕЛИЯХ

Методика выполнения измерений при натуральных испытаниях
методом вырыва анкера

МИ 2016-02

Вводится со дня регистрации

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящие рекомендации устанавливают правила определения прочности бетона методом вырыва анкера (далее - методом вырыва) в изделиях и конструкциях при их натуральных испытаниях.

Рекомендации распространяются на конструкционные цементные бетоны в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях.

Натурными испытаниями бетона в конструкциях и изделиях с применением метода вырыва решаются следующие задачи:

- определение фактической прочности бетона в конструкциях или изделиях в целом, или на отдельных их участках - в однородных зонах;
- оценка нижнего предела прочности бетона в конструкциях или партии изделий \check{R} , обеспеченной с надежностью $Q_n=0,95$;
- оценка фактической обеспеченности нормативной R_n или требуемой R_t прочности бетона в конструкции или партии изделий;
- установление систематических закономерностей изменения прочности бетона во времени (при твердении) и в пространстве, например, по высоте или толщине конструкции;
- построение и корректировка рабочих градуировочных зависимостей для других средств измерений, применяемых при неразрушающих испытаниях по ГОСТ 22690.

Натурные испытания бетона в конструкциях с применением метода вырыва анкера выполняют в случаях:

- отмеченных отклонений от заданных технологических режимов бетонных работ или изготовления изделий, возникших сомнений в кондиционности уложенного бетона; отрицательных результатов испытаний контрольных образцов или результатов натуральных испытаний с применением других неразрушающих методов;
- выполнения бетонных работ в неблагоприятных для бетона условиях (например, при отрицательной температуре, в сухом и жарком климате);
- освидетельствования состояния бетона после экстремальных неучтенных при проектировании внешних воздействий, изменения условий работы, перераспределения и изменения нагрузок, выявленных признаков деструкции бетона.

Рекомендации разработаны как временная альтернатива ГОСТ 22690 в расширенном диапазоне прочности и действует вплоть до утверждения нового стандарта на испытания бетона с применением метода вырыва анкера, разрабатываемого на основе настоящих рекомендаций.

2. НОРМА ПОГРЕШНОСТИ

2.1. Погрешность результата определения прочности бетона методом вырыва складывается из приведенной погрешности измерения усилия вырыва $\Delta_{и}$ и погрешности применяемой переводной зависимости $\Delta_{г}$. В случае проскальзывания анкера добавляется погрешность определения поправочного коэффициента $\Delta_{м}$. Если все погрешности оценивать СКО, то СКО относительной погрешности результата измерения можно представить как

$$\sigma_{\epsilon} = [\sigma_{и}^2 + \sigma_{г}^2 + \sigma_{м}^2]^{1/2}$$

2.2. Критерием применимости метода для количественного определения прочности бетона в конструкции с учетом неоднородности самого бетона, оцениваемого максимальной крупностью заполнителя и распределения его прочности по объему конструкции, оцениваемой коэффициентом вариации прочности, является выполнение двух требований:

- СКО погрешности метода испытаний σ_{ϵ} не должно превышать половины нормативного $V_{н}$ или фактического $V_{ф}$ коэффициента вариации прочности;
- напрягаемое, при нагружении анкера, сечение бетона должно охватывать не менее десяти крупных заполнителей с максимальным размером $d_{з}$.

2.3. Оба требования выполняются соответствующим выбором глубины захвата бетона $h_{н}$ согласно пп. 3.5 и 4.1 и выбором средств измерений, удовлетворяющих требованиям пп. 4.4 и 4.5.

Например, при $V_{н} = 13,5\%$ СКО суммарной погрешности единичного определения прочности бетона σ_{ϵ} не должно превышать 7%.

При максимальной крупности заполнителя $d_{з} \leq 30$ мм и глубине захвата анкера типа П-35 $h_{н} = 35$ мм, $\sigma_{г} \leq 4,5\%$; если применяемое средство измерений имеет предельную погрешность $\delta_{и} = 3\%$, а проскальзывание анкера измеряется с предельной погрешностью $\delta_{м} = 2\%$, то

$$\sigma_{\epsilon} = [4,5^2 + (3^2 + 2^2) / 1,7]^{1/2} < 6\%$$

3. ОСНОВЫ МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ

3.1. Метод вырыва основан на существовании расчетной зависимости между сопротивлением бетона одноосному сжатию $R_{с}$ и усилием $P_{о}$ вырыва анкера из бетона.

3.2. Метод вырыва позволяет определять прочность бетона при сжатии в образце-кубе $R_{ск}$ без разрушения или с локальным разрушением малого объема.

3.3. Метод вырыва реализует нагружение бетона равномерно возрастающим вырывным усилием закрепленного в бетоне на заданной глубине $h_{н}$ анкера определенной формы до отрыва фрагмента бетона или до заданной контрольной нагрузки $R_{к}$. Кубиковую прочность бетона при сжатии $R_{к}$ находят по зафиксированному усилию вырыва $P_{о}$ с помощью переводной зависимости, которая, если размерность $R_{к}$ и $P_{о}$ выражена соответственно в МПа и кН, имеет вид:

$$R_k = \left(\frac{5P_0}{\chi S_p} \right)^{3/2} + \frac{10 P_0 \sin \beta \cos (60-\beta)}{S_c} \quad (1)$$

где S_p и S_c - площади поверхностей главных напряжений, соответственно, растяжения и сжатия,

β - угол расклинивания бетона, град.,

l - ширина дуги захвата бетона, см,

\mathcal{D} - диаметр дуги захвата бетона, см,

χ - коэффициент хрупкости бетона, МПа^{1/3}

$$S_p = 3,6 h_n (0,58 h_n + \mathcal{D}), \text{ см}^2 \quad (2)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{d_n - d_c}{2h_k}, \text{ град} \quad (3)$$

Для анкеров типа I

$$S_c = 3,14 l \cos(60 - \beta) [1,15 h_n + \mathcal{D} - 1,44 \cos(60 - \beta)], \text{ см}^2 \quad (4)$$

$$l = (d_n - d_c) / 2 \sin \beta, \text{ см} \quad (5)$$

$$\mathcal{D} = d_n, \text{ см} \quad (6)$$

Для анкеров типа II

$$S_c = 3,14 l (1,15 h_n + \mathcal{D} - 1,44), \text{ см}^2 \quad (7)$$

$$l = \frac{0,36 (2d_n - \Delta)}{d_n (d_n + \Delta)} (1 + 0,002 P_0), \text{ см} \quad (8)$$

$$\mathcal{D} = (d_n + \Delta) (1 + 0,002 P_0), \text{ см} \quad (9)$$

Величины h_n , h_k , d_n , d_c , β и Δ являются геометрическими характеристиками анкера, значения которых находят из размеров и формы применяемых анкеров (рис.1).

Значения χ или $\chi' = \chi^{3/2}$ зависят от вида заполнителя и при естественном твердении бетона, их значения равны:

Таблица 1

Вид заполнителя	χ	χ'
Гранитный	0,24	0,117
Известняковый	0,26	0,133
Гравийный и мелкозернистый	0,22	0,100

3.4. Для испытаний бетона методом вырыва применяют замоноличиваемые - типа I или закладные саморасклинивающиеся типов II и III анкеры.

Рекомендуемые конструкции, формы и размеры анкеров типов I и II приведены на рис.1 и 2.

Глубину захвата бетона h_n выбирают из ряда: 48, 35, 30 и 25 мм.

3.5. В таблице 2 приведены значения расчетных геометрических параметров анкеров типов I и II с $h_n = 48$ и 35 мм и соответствующие им значения СКО переводных зависимостей σ_r при максимальной крупности аполнителя не более 30 мм.

Таблица 2

Типоразмер анкера	h_n , см	β , град	d_n , см	d_c , см	h_k , см	Δp , см	σ_r , %
I - 48	4,8	22,0	1,4	1,0	0,5	-	3,0
II - 48	4,8	17,0	2,4	1,0	2,5	0,03	4,0
I - 35	3,5	26,6	1,6	1,0	0,6	-	4,0
II - 35	3,5	17,0	1,6	1,0	1,0	0,02	4,5

3.6. Изготовитель анкеров должен привести в паспорте номиналы указанных параметров, после подстановки которых в формулу (1), получают переводные зависимости, которые представляют в графическом виде для каждого типоразмера применяемых анкеров и вида заполнителя.

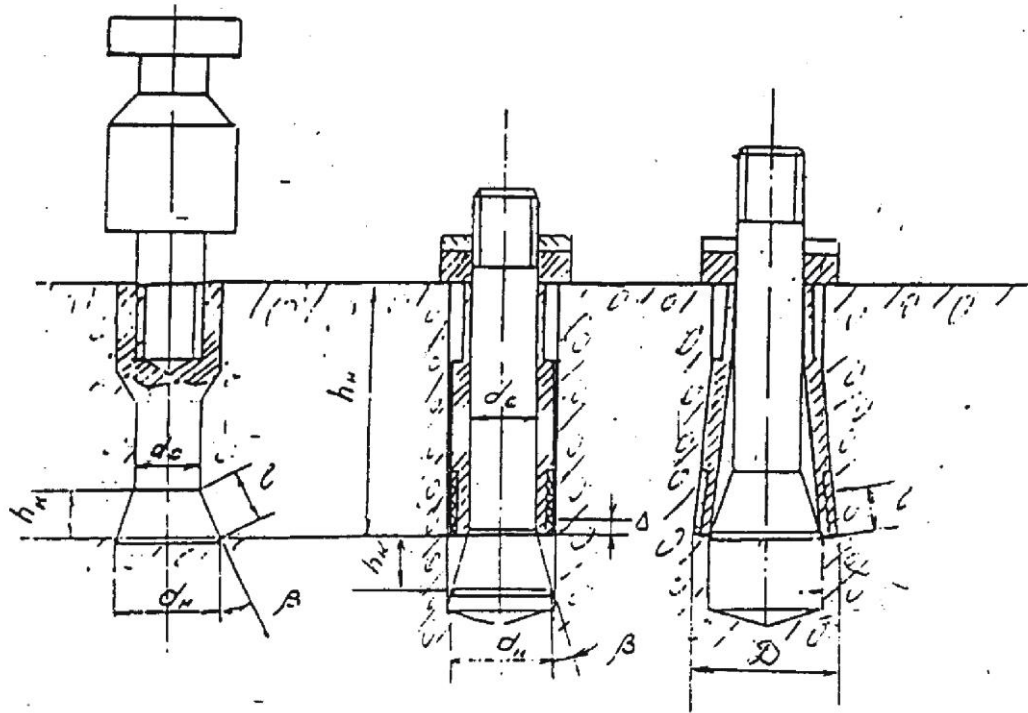
На рис. 3 приведены зависимости $R_k(P_0)$ для приведенных в табл.2 типоразмеров анкеров для бетона нормального твердения на гранитном и гравийном заполнителе.

На рис.4 приведено сравнение значений переводных коэффициентов m , приведенных в ГОСТ 22690 от значений рассчитанных по настоящей методике.

3.7. Для анкеров типа II допускается их проскальзывание по стенкам шпура на величину Δh не более $0,1h_n$. При этом измеренное значение $R_{ск}$ необходимо умножить на поправочный коэффициент $\gamma = h_n^2 / (h_n - \Delta h)^2$.

Тип I

Тип II



$$D = d_n$$

$$l = (d_n - d_c) / 2 \sin \beta$$

$$\beta = \arctg \frac{d_n - d_c}{2 h_k}$$

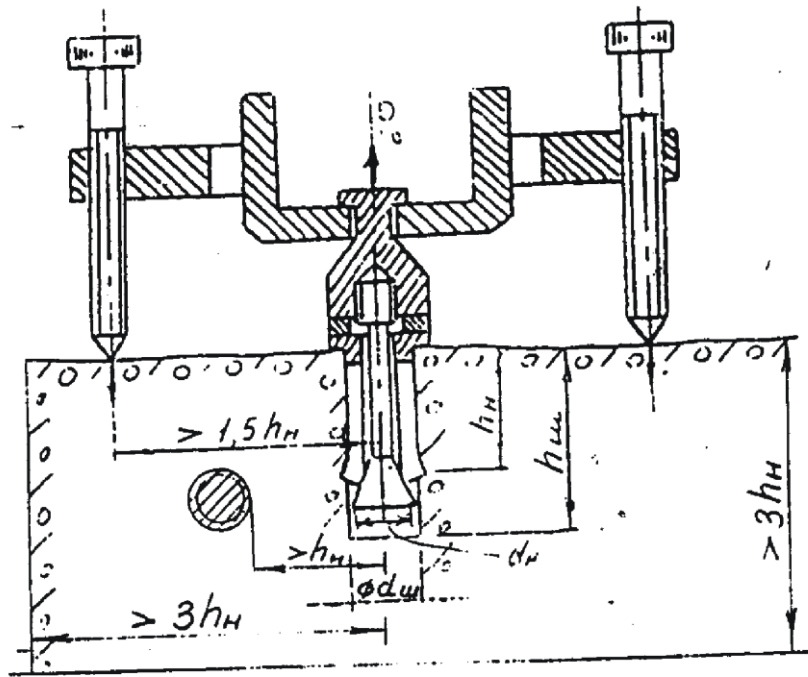
$$D = (d_n + \Delta p) \left(1 + \frac{P_0}{500} \right), \text{ где}$$

Δp - шаг зубьев нарезки разъемного конуса

$$l = \frac{0,36 (2d_n + \Delta p)}{d_n (d_n + \Delta p)} \left(1 + \frac{P_0}{500} \right)$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{d_n - d_c}{2 h_k} \right)$$

Рис. I. Типы анкеров



Параметры шпуров, мм

h_n	$h_{ш}$	d_n	$d_{ш}$
48	58	25	25+1
35	45	16	16+0,5
25	35	16	16+0,5
30	40	16	16+0,5

Рис.2. Схема испытаний методом вырыва анкера

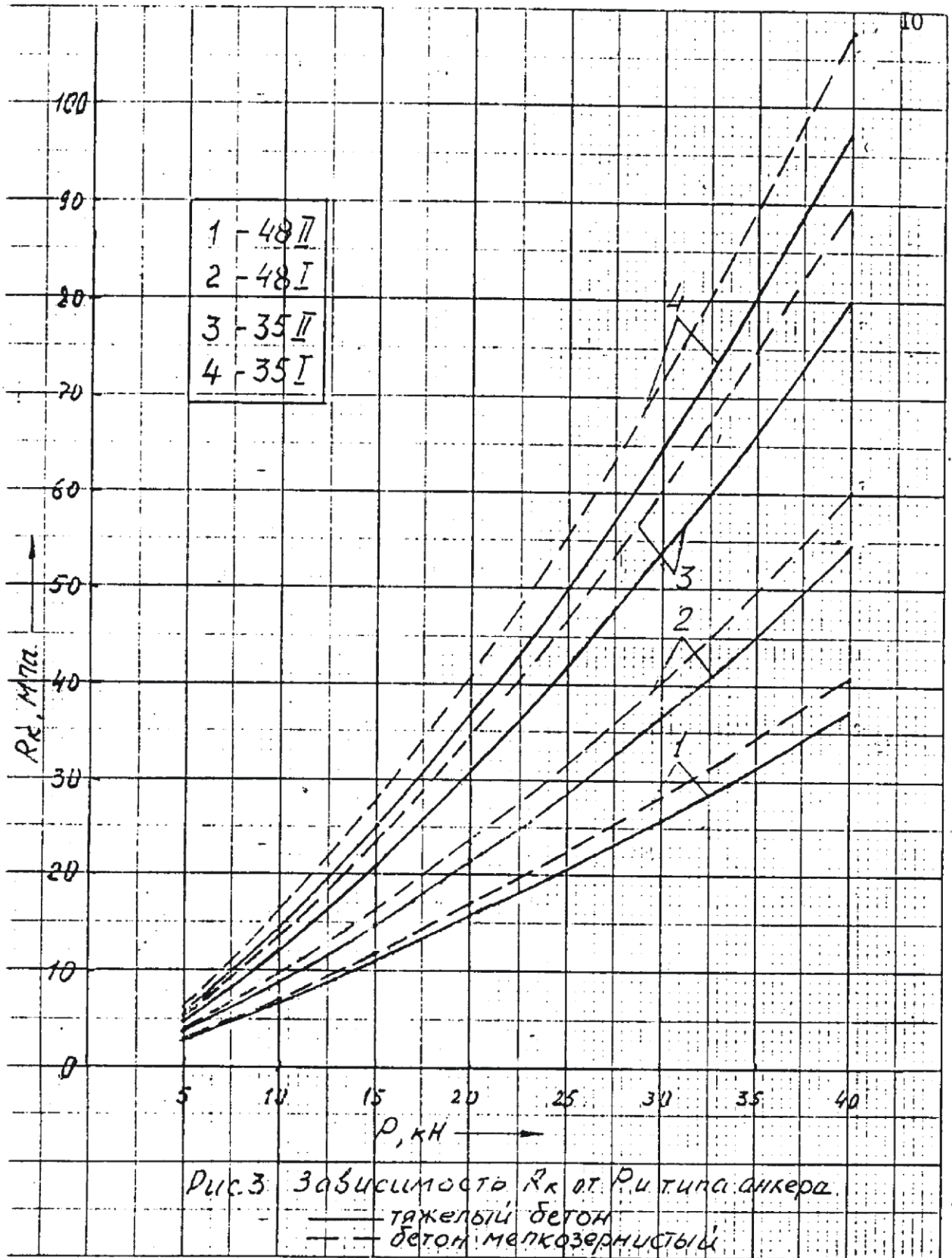


Рис. 3. Зависимость R_k от P и типа анкера.
 — — — — — тяжелый бетон
 - - - - - бетон мелкозернистый

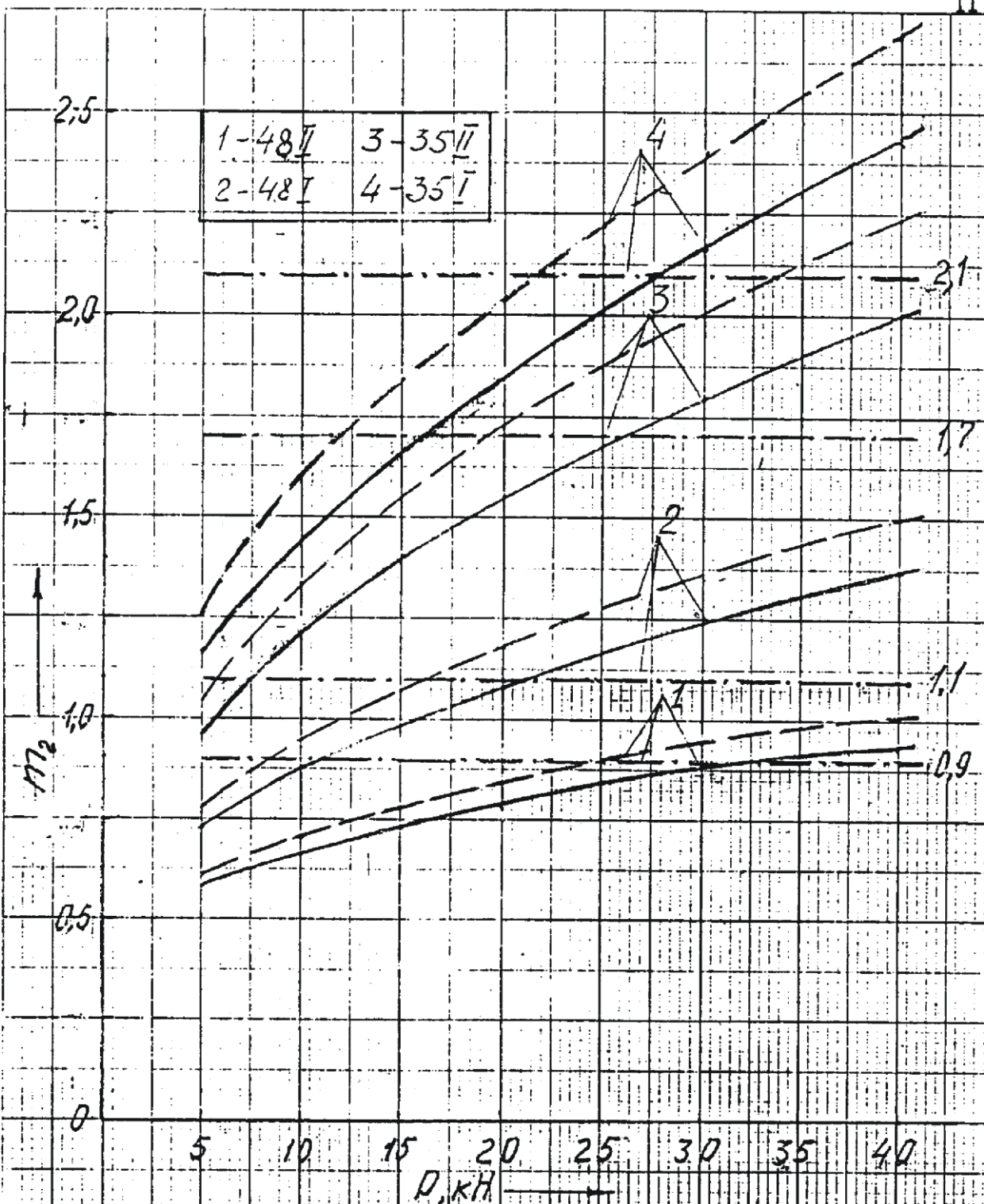


Рис. 4 Зависимость M_2 от D и типа анкера
 ————— тяжелый бетон
 - - - - - бетон мелкозернистый

4. ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Глубина захвата бетона h_n является основным параметром анкера, она должна превышать наибольший размер зерен крупного заполнителя d_m : $h_n > d_m$.

4.2. Конструкция анкера типа II должна обеспечивать предварительное (до приложения нагрузки) обжатие стенок шпура на глубине h_n и контроль проскальзывания с помощью специального или табельного инструмента.

4.3. Усилие вырыва должно быть направлено по оси анкера и равномерно возрастать за время τ , с, до отрыва фрагмента бетона или до заданного контрольного уровня $P_0 = P_{ок}$. Скорость возрастания нагрузки должна быть такой, чтобы значение $2200 P_0 / h_n^2 \tau$ находилось в пределах

$$0,2 < 2200 P_0 / h_n^2 \tau < 1,0. \quad (5)$$

4.4. Предел погрешности δ_n измерения, приложенного к анкеру усилия, должен быть не более $\pm 3\%$ от действующего значения.

4.5. Контроль проскальзывания анкера должен производиться с погрешностью не более $\pm 2\%$ от номинального значения h_n .

4.6. Нагружающие устройства должны обеспечивать равномерно возрастающее усилие, направленное по оси анкера. Опора должна позволять центрировать ось приложения усилия и выбирать зазоры.

4.7. При опирании устройства нагружения о поверхность бетона, опоры должны быть регулируемые по высоте или иметь возможность регулировки в пределах не менее 5 мм и отстоять от оси приложения нагрузки на расстоянии не менее $2h_n$.

4.8. Шпуры под анкера выполняют вращательным или ударно-вращательным инструментом. Требуемые параметры шпуров приведены на рис. 2.

В таблице 3 приведены наиболее распространенные виды аппаратуры для испытаний бетона методом вырыва.

Таблица 3

Изготовитель	Тип, марка	Основные характеристики
СКБ Стройприбор, г. Челябинск	Пресс переносной гидравлический на 50 кН с анкерами типов I-48 и II-48	Нагрузка до 50 кН Глубина 48 мм Диаметр 25 мм Масса 3,5 кг
Московское представительство ВЗ "ЭТАЛОН"	Пресс переносной гидравлический на 30 кН с анкерами типов I-35 и II-35	Нагрузка до 30 кН Глубина от 25 до 35 мм Диаметр анкера 16 мм Масса 2,8 кг
Контрос-стройприбор, Москва-Солнечногорск	Пресс переносной на 50 кН с анкером типа III-30	Нагрузка до 50 кН Глубина 30 мм Диаметр анкера 28 мм Масса 4,5 кг

5. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1. На обследование конструкции составляется задание, которое должно содержать: схему обследования, перечень мероприятий, необходимых для обеспечения обследования и безопасности работ с указанием лиц, ответственных за их выполнение.

5.2. При работе на высоте более 2 м и на глубине более 3 м, а также при прохождении в пределах 15 м силовой электросети или электрофицированных путей, необходимо строго соблюдать установленный порядок допуска к работам.

5.3. Перед работой необходимо ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, действующей на стройке или предприятии, к которому относится обследуемый объект.

5.4. О начале, окончании и характере работ при обследовании необходимо уведомить прораба стройки, начальника участка или смены предприятия.

5.5. Зону выполнения обследований необходимо обозначить предупреждающими знаками.

5.6. При выполнении шпуров с использованием электрических машин необходимо:

- обесточить проходящую в зоне испытаний скрытую электропроводку;
- обеспечить подводку напряжения от ближайшего щитка обрезиненным шнуром сечением не менее 1,0 мм;
- выбрать устойчивое положение, стоя на земле или специальных подмостях.

5.7. При подготовке шпуров с использованием электронагревателей необходимо:

- использовать напряжение не более 42 В,
- работать в сухих брезентовых рукавицах,
- обеспечить подводку напряжения от ближайшего щитка обрезиненным шнуром сечением не менее 1,5 мм,
- отключать напряжение перед установкой и снятием нагревателей.
- заземлять металлические корпуса нагревателей,
- контакты подвода тока изолировать от попадания воды или пара,
- установить световую индикацию наличия напряжения.

5.8. При выполнении обследований на высоте более 2 м и глубине более 3 м необходимо:

- работать вдвоем,
- работать, стоя на специальных подмостях,
- обязательно пользоваться монтажным поясом и каской.

6. ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ

6.1. Испытания методом вырыва могут быть:

- количественными с определением фактической прочности R в изделиях или зоне конструкции;
- количественным с определением нижней границы прочности \check{R} , обеспеченной с надежностью Q_n ;
- альтернативными с определением фактического уровня обеспеченности Q_j требуемой R_T , например нормативной R_n , прочности.

По объему контроля испытания методом вырыва могут быть выборочными и сплошными. Сплошные испытания могут выполняться комплексно методом вырыва и любым другим методом по ГОСТ 22690 при условии корректировки их градуировочных зависимостей согласно приложения А.

6.2. При выборочных испытаниях оценивают фактическую прочность бетона в отдельных конструкциях или изделиях в целом или в отдельных их зонах.

6.3. При сплошных испытаниях однотипные изделия или конструкции объединяют в условные партии, исходя из выборочных партий бетона, объема бетона, длительности бетонирования (изготовления), однотипности изделий или конструкций.

Изделия или конструкции одной партии разбивают на однородные зоны испытаний, исходя из естественных, влияющих на прочность факторов: высоты бетонирования, наличия раздельных ярусов, различия в сроках бетонирования, режимах уплотнения и твердения.

6.4. Оценки прочности и надежности бетона в изделиях или конструкциях, а также их приемку производят для каждой партии отдельно в пределах однородных зон.

6.5. Результатом одного испытания методом вырыва считают:

- при глубине захвата $h_n \leq 48$ мм и $d_m < h_n$;
- единичное значение прочности, полученное по результату одного испытания, если выполнено условие п.п.3.7 и 4.1;
- при глубине захвата $h_m \leq 35$ мм;
- среднее значение прочности R , полученное по результатам не менее 3-х единичных испытаний R_i , полученных на одном контрольном участке в одной однородной зоне $R = \sum R_i / 3$ при условии, что ни одно единичное значение R_i не отклоняется от средней R более чем на 12%.

Если одно из значений R_i выходит за 12%, то его отбрасывают и усредняют оставшиеся два. Если два значения R_i выходят за 12%, то выполняют дополнительные испытания на том же участке до получения двух значений, отличающихся друг от друга не более 24% от наибольшего.

6.6. Нормативный уровень обеспеченности заданной прочности бетона в партии однотипных изделий или однородных зонах конструкций принимают равным $Q_n = 0,95$ (соответствующий односторонний квантиль нормального распределения $U=1,64$).

Уровень достоверности оценок принимают равным $\gamma=0,9$ ($U=1,28$), риск за-казчика $\beta = 1 - \gamma = 0,1$.

Нормативное значение коэффициента вариации прочности бетона внутри выделенной партии принимают равным $VR_n = 0,13$.

СКО погрешности результата одного испытания σ_e принимают равной

$$\sigma_e = [\sigma_{\Gamma}^2 + \delta_n^2 / \sqrt{3}]^{1/2},$$

где σ_{Γ} - берут из таблицы 2, а δ_n - из паспорта прибора.

6.7. При сплошном контроле, общий объем испытаний определяют, исходя из требований ГОСТ 18105.

6.8. Минимальное количество испытаний N_{min} , необходимое для подтверждения заданной обеспеченности ($Q_n = 0,95$) нормативной прочности бетона R_n , при известной средней прочности бетона в контрольных образцах-кубах R_m оценивают по формуле

$$N_{min} > 1,28 \frac{[1 + \sigma_e / 144]^{1/2}}{(R_m - R_n) / R_m \cdot 0,13 - 1,64}, \quad (6)$$

где σ_e - СКО погрешности одного результата испытаний.

6.9. Минимальное количество альтернативных испытаний при уровне контрольной прочности R_k оценивают по формуле

$$N_{min} \geq \ln 0,1 / \ln Q_k \quad (7)$$

где $Q_k = \Phi(U_k)$, $U_k = (R_k - R_n - 1,28 \sigma_e R_k) / 0,13 R_k$,
 $\Phi(U)$ - табулированная функция Лапласа (см. табл. Г 3)

Контрольную прочность рекомендуется устанавливать на уровне средней прочности бетона, определенной по образцам-кубам (марочной прочности R_m):
 $R_k = R_m$

Контрольное усилие R_k определяют по переводной зависимости, представленной в графическом виде.

7. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

7.1. Выбирают типоразмер анкера, глубину захвата h_n и соответствующее нагружающее устройство, исходя из сведений о максимальной фракции крупного заполнителя и соблюдения условия п.4.1.

7.2. Если расположение арматуры неизвестно, необходимо его выявить с помощью индикатора защитного слоя и обозначить на поверхности бетон.

7.3. Производят разбивку конструкций, изделий или выбранных однородных зон на контролируемые участки и разметку точек выполнения шпуров, соблюдая следующие требования:

- шпуров выполняют между арматурными стержнями на расстоянии не ближе h_n к ближайшему стержню;
- шпуров должны быть расположены не ближе $3h_n$ от края бетона или соседнего шпура;
- толщина бетона на контролируемом участке должна быть не менее $3h_n$.

7.4. Диаметр шпура не должен превышать диаметра анкера более, чем на 1 мм для диаметра ≥ 25 мм и на 0,5 мм - для диаметра 16 мм, глубина шпура должна быть не менее $1,25h_n$, отклонение от вертикальности - не более 1:20.

При замоналичивании анкеров тип I, их закрепляют в отверстиях на опалубке или стенках таким образом, чтобы перед распалубливанием можно было удалить оголовники анкеров.

7.5. Испытываемый бетон должен иметь во всех контролируемых зонах одинаковое влажностное состояние. Если поверхность бетона локально переувлажнена, например после сверления с водяным охлаждением рабочего органа, ее следует перед испытаниями подсушить.

В зимних условиях поверхностный слой переувлажненного бетона оттаивают приставным или лучистым нагревателем и подсушивают до воздушно-сухого состояния согласно приложения Б.

7.6. При необходимости определения возможного добора прочности зимнего бетона производят локальный поверхностный изотермический прогрев бетона по режиму согласно приложения Б.

Если требуемый относительный набор прочности до замерзания бетона составляет φ_t от марочной, а фактический набор достигает φ_f , то длительность нагрева τ , ч, при температуре t °С рассчитывают по формуле

$$\tau = \frac{24}{\alpha_c K_t} \ln \frac{1 - \varphi_f}{1 - \varphi_t}, \quad (8)$$

где коэффициенты α_c и K_t находят по таблицам 3 и 4 приложения Б.

7.7. В протокол заносят следующие имеющиеся сведения о бетоне:

- вид и максимальная крупность заполнителя;
- средняя прочность бетона по контрольным образцам - кубам (марка бетона);
- сроки укладки бетона и условия твердения до момента испытаний, для зимнего бетона - способ прогрева и температурный лист прогрева;
- нормативное (в проектном возрасте) R_n или требуемое (в промежуточных возрастах) R_t значения прочности.

При оценке возможного добора прочности зимнего бетона, дополнительно необходимо знать вид используемого цемента.

Производят привязку контролируемых участков для конструкций - к осям и высотам, для изделий - к сроку изготовления и порядковому номеру партии.

8. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

8.1. Проверяют целостность анкера, подбирают (при необходимости) размер ограничительной шайбы, закладывают анкер в шпур до ограничительного фланца и закрепляют анкер с помощью оголовника. При наличии микрометрической гайки, ее завинчивают до упора о поверхность бетона.

8.2. Нагружающее устройство приводят в начальное положение, силоизмеритель - в нулевое, соединяют оголовник анкера с захватом нагружающего устройства и с помощью регулируемых ножек выбирают начальный зазор и добиваются соосности анкера оси захвата нагружающего устройства.

8.3. Равномерно с заданной скоростью производят нагружение анкера до контрольного усилия R_k или до отрыва фрагмента бетона. После чего замеряют с помощью микрометрической гайки или щупов проскальзывание анкера Δh и снимают показания силоизмерителя I_p , которые заносят в протокол.

С помощью градуировочной характеристики силоизмерителя $P_o(I_p)$, приведенной в паспорте прибора, находят усилие отрыва P_o .

8.4. Если вырыва или нагружения не произошло или значение проскальзывания Δh превышает $0,1h_n$, то испытание бракуют и выполняют его повторно, закрепляя анкер вновь в этом же или соседнем шпуре.

Если проскальзывание в пределах нормы, то рассчитывают поправочный коэффициент m_2 (см п.3.7), который заносят в протокол (Приложение В).

8.5. При альтернативной схеме испытаний, положительным исходом следует считать, если в серии из 3-х нагружений на одном участке хотя бы в 2-х случаях отрыва не произошло или хотя бы два отрыва произошло с проскальзыванием анкера, учет которых по п.3.7 дает приведенное усилие $P' = P \cdot \gamma$, превышающее R_k .

9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1. Прочность бетона на одном контролируемом участке определяют по результатам одного, если выполнены условия п.3.5, или не менее трех испытаний путем усреднения в последнем случае не менее двух приведенных усилий отрыва, скорректированных на проскальзывание анкера по п.5.4 и удовлетворяющих требованиям п.3.5.

Приведенное единичное или среднее усилие вырыва P_0 переводят в кубиковую прочность бетона при сжатии $R_k(P_0)$, используя зависимость в графическом виде.

Полученному значению прочности $R_{ск}$ приписывают СКО погрешности

$$\sigma_e = [\sigma_r^2 + \sigma_n / \sqrt{3}]^{1/2} \quad (9)$$

9.2. Одна однородная зона или одна серия изделий характеризуется средней прочностью \bar{R} , если размах прочности - разница между максимальной R_{max} и минимальной R_{min} полученными значениями прочности отдельных участков в пределах этой зоны (изделия) не превышает 20 % от R_{max} .

В зонах с размахом прочности более 20 % производят дополнительные испытания и, если размах все же остается более 20 %, пересматривают границы однородных зон.

9.3. Если в однородной зоне (одной серии изделий) выполнено m серий испытаний результаты которых R_j , $j = 1, 2 \dots m$ удовлетворяют условиям пп.3.4 и 6.2, вычисляют оценки:

$$\text{- средней зональной прочности } \bar{R}_z = \sum_j^m R_j / m, \quad (10)$$

- зонального коэффициента вариации прочности

$$S_z = \frac{1}{\bar{R}_z} \left[\frac{1}{m-1} \sum_j^m (R_j - \bar{R})^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

9.4. При выборочном контроле, нижнюю границу средней прочности бетона в одной однородной зоне определяют с достоверностью $\gamma = 0,9$ по формуле

$$\check{R}_z = \bar{R}_z \cdot \left[1 - 1,28 \left(\frac{1}{m} + \sigma_e^2 \right)^{1/2} \right] \quad (12)$$

Отбраковку бетона в отдельных однородных зонах выполняют путем сравнения \check{R}_z с требуемой прочностью R_t .

Если в отдельных зонах $\check{R}_z < R_t$, в них производят дополнительные испытания и по результатам основных и дополнительных испытаний рассчитывают скорректированные значения \bar{R}_z и S_z и вычисляют новые значения \check{R}_z .

9.5. Если в пределах одной условной партии бетона конструкций или изделий были выполнены испытания в M однородных зонах конструкций (сериях изделий) и получено M значений $\bar{R}_{z\eta}$, $\eta = 1, 2 \dots M$, то вычисляют среднюю прочность по всем зонам

$$\bar{R}_p = \frac{1}{M} \sum_{\eta} \bar{R}_{z\eta}, \quad (13)$$

межзональный коэффициент вариации

$$S_p = \frac{1}{\bar{R}_p} \left[\frac{1}{M-1} \sum_{\eta} (\bar{R}_{z\eta} - \bar{R}_p)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

и нижнюю границу прочности

$$\check{R}_p = \bar{R}_p \left[1 - 1,64S_p - 1,28 \left(\frac{S_p^2}{M_m} + S_e^2 \right)^{1/2} \right] \quad (15)$$

9.6. При испытаниях по альтернативной схеме, обеспеченность требуемой прочности принимаемой партии бетона конструкций или изделий подтверждается, если на каждом контролируемом участке произошло не более одного вырыва с приведенным усилием P' менее контрольного R_k и общее количество контролируемых участков составило не менее, указанного в п.6.7.

Если в отдельных зонах имеются m участков, на которых произошло не менее двух вырывов при средних приведенных усилиях P_j соответствующих средним прочностям $R = P_j \cdot m$, $j = 2, 2 \dots m_0$ и ни одно из значений R_j не ниже j требуемой прочности R_T , то по результатам $M_m - m_0$ положительных и m_0 отрицательных испытаний производят перерасчет нижней границы прочности R_p^* следующим образом: вычисляют показатели V и h

$$V = m_0 \frac{\sum_j (R_k - R_j)}{[\sum_j (R_k - R_j)]}, \quad (16) \quad h = \frac{mM - m_0}{mM} \quad (17)$$

и по таблицам Г1 и Г2 приложения Г находят значение коэффициента Z и $f_1(z)$, и затем вычисляют оценки

$$S_p = \frac{1 - h}{h f_1(z) - (1-h)z} \frac{\sum_j (R_k - R_j)}{m_0} \quad (18)$$

$$\text{и } \bar{R}_p = Z \cdot S_p + R_k \quad (19)$$

и по ним выполняют расчет нижней границы прочности, обеспеченной с надежностью $Q_n = 0,95$

$$R_{p*} = \bar{R} \left[1 - 1,64 S_p - 1,28 \left(\frac{S_p^2}{M_m} + \sigma_e^2 \right)^{1/2} \right] \quad (20)$$

9.7. В однородных зонах, в которых отрицательные результаты альтернативных испытаний хотя бы на одном участке показали среднюю прочность R_j ниже требуемой прочности R_T , переходят на количественную схему контроля и обработки результатов по пп.9.2-4.

9.8. При оценке возможного добора прочности зимнего бетона (уложенного при отрицательной температуре) на не менее двух участках одной однородной зоны выполняют серии из трех испытаний до и после локального изотермического прогрева в течение τ часов при температуре t °С.

Если по результатам n сравнительных испытаний были получены средние значения прочности до прогрева R_1 и после прогрева R_2 при соответствующих СКО прочности S_1 и S_2 и

$$R_2 - R_1 > \frac{1,28}{\sqrt{n}} (S_1^2 + S_2^2),$$

то рассчитывают коэффициент прироста прочности $K_R = R_2 / R_1$, на который при оценке ожидаемой прочности умножают значения прочности, полученные по результатам измерений при натуральных испытаниях с указанием времени достижения прироста прочности после оттаивания бетона, определяемые согласно приложения Б.

9.9. Обработку результатов измерений при натуральных испытаниях оформляют протоколом, форма протокола приведена в приложении В.

Приложение А
(рекомендуемое)

ПОСТРОЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВКА РАБОЧИХ ГРАДУИРОВОЧНЫХ
ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

1. Метод вырыва, как наиболее точный, позволяет получать и корректировать рабочие градуировочные зависимости (РГЗ) для других механических средств измерений, применяемых при неразрушающем контроле (МНК) по ГОСТ 22690 в натуральных условиях с привязкой к конкретным видам бетона и условий испытаний.

2. Нелинейную в общем случае РГЗ прочности R от косвенного показателя H во всем диапазоне измерения R можно линеаризировать в ограниченном рабочем поддиапазоне и представить в виде кусочно линейной зависимости

$$R = A + BH, \quad R_n < R < R_v, \quad H_n < H < H_v \quad (A 1)$$

дополняя ее, при необходимости, квадратичной зависимостью вида

$$R = A + BH + [C_1 \cdot (H_n - H)^2 - C_2], \quad (A 2)$$

где $H_n = \frac{1}{2} (H_n + H_v)$ - средняя точка диапазона изменения косвенного показателя H .

3. Построение РГЗ выполняют по результатам сравнительных испытаний бетона методом вырыва и другим методом МНК в пределах не менее трех однородных зон со средними значениями прочности, перекрывающими весь рабочий диапазон, при числе серий (участков) сравнительных испытаний в одной однородной зоне не менее 9-ти.

Корректировку ранее полученной РГЗ выполняют по результатам сравнительных испытаний не менее, чем на 9-ти участках в пределах одной пртии.

4. При построении РГЗ, обработку сравнительных испытаний выполняют способом Вальда.

Если в M однородных зонах было выполнено по m сравнительных испытаний и получены значения прочности методом ОСК - R_{kj} и косвенного параметра - методом МНК H_{kj} , $j = 1, 2 \dots m$, $k = 1, 2 \dots M$, то последовательно рассчитывают средние зональные \bar{R}_k и \bar{H}_k

$$\bar{R}_k = \frac{1}{m} \sum_j R_{kj} \quad (A 3), \quad \bar{H}_k = \frac{1}{m} \sum_j H_{kj} \quad (A 4)$$

и общие средние значения \bar{R}_c и \bar{H}_c

$$\bar{R}_c = \frac{1}{M} \sum_k \bar{R}_k \quad (A 5), \quad \bar{H}_c = \frac{1}{M} \sum_k \bar{H}_k \quad (A 6)$$

затем после ранжирования \bar{R}_k по возрастанию, определяют оценки коэффициентов регрессии B и A :

$$B = \sum_k^M \bar{R}_k (M+1-2k) / \sum_k^M \bar{H}_k (M+1-2k) \quad (A 7), \quad A = R_c - B_{\text{вн}} \quad (A 8)$$

Например, для случая трех однородных зон: $k = 1, 2, 3$:

$$B = \frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_3}{\bar{H}_1 - \bar{H}_3} \quad (A 9), \quad A = \frac{1}{2} (\bar{R}_1 + \bar{R}_3) - \frac{1}{2} B (\bar{H}_1 + \bar{H}_3) \quad (A 10)$$

5. Для оценки точности полученной РГЗ, вычисляют зональные СКО

$$S_{Rk} = \left[\frac{\sum_j^m (\bar{R}_k - R_{kj})^2}{m(m-1)} \right]^{1/2} \quad (A 11), \quad S_{Hk} = \left[\frac{\sum_j^m (\bar{H}_k - H_{kj})^2}{m(m-1)} \right]^{1/2} \quad (A 12)$$

и общие СКО:

$$S = \frac{1}{M} \sum_k^M S_{Rk} \quad (A 13), \quad S_H = \frac{1}{M} \sum_k^M S_{Hk} \quad (A 14)$$

СКО погрешности определения коэффициента B

$$S_B = \frac{1}{\sqrt{M}} [S_R^2 + B^2 \cdot S_H^2]^{1/2} \quad (A 15)$$

и СКО погрешности РГЗ в любой точке R

$$S_{\Gamma H}(R) = \left[\frac{1}{\sqrt{M}} S_H^2 + B^2 (\bar{R}_c - R)^2 \cdot S_B^2 \right]^{1/2} \quad (A 16)$$

СКО результирующей погрешности градуируемого средства МНК получают путем геометрического суммирования $S_{\Gamma H}$ с СКО погрешности метода вырыва σ_r :

$$S_{\Sigma} = (\sigma_r^2 + S_{\Gamma H}^2)^{1/2} \quad (A 17)$$

6. Далее, по данным m_n испытаний бетона в зоне с промежуточными значениями средней прочности \bar{R}_n и СКО прочности S_{Rn} , найденными по п.4-5, определяют отклонение среднего значения R_n от расчетного значения прочности, полученного с использованием полученной РГЗ - $R(H_n)$:

$$\Delta R = R(\bar{H}_n) - \bar{R}_n \quad (A 18)$$

Если эта разность превышает величину

$$1,64 [S_{\Gamma H}^2(R_n) + S_{Rn}^2]^{1/2} \quad (A 19)$$

это значит, что необходимо ввести в РГЗ дополнительно квадратичный член:

РЕКОМЕНДАЦИИ

по оттаиванию и изотермическому прогреву
зимнего бетона

1. В зимних условиях без оттаивания допускается испытывать зимний бетон только подверженный электропрогреву. Бетон, уложенный методом термоса или прогретый паром, может давать завышенные оценки прочности до 20 %.

2. Для испытаний бетона в зимних условиях принимают предварительное местное оттаивание бетона на контролируемом участке.

Для оценки возможного добора прочности после оттаивания применяют местный поверхностный изотермический прогрев бетона.

3. Оттаивание может производиться, как лучистым обогревом, так и с помощью приставных обогревателей. Размер приставных обогревателей должен быть в поперечнике не менее 120 мм, охватывая до 9-ти шпуров, температура на поверхности + (60-90) °С. Прогрев выполняют до температуры + (2-3) °С, которую контролируют с помощью закладного термометра в донной части одного из шпуров.

4. Длительность обогрева τ , сут, при известных: марочной прочности бетона $R_{см}$ (средней прочности бетона в контрольных образцах-кубах, выдержанных 28 суток при температуре +20 °С) и группы примененного цемента определяют в зависимости от достигнутой равновесной температуры t_i , °С, по формуле твердения бетона по В. Лукьянову:

$$R(\tau_{пр}) = R_{см} [1 - B e^{-\alpha \tau_{пр}}], \quad (Б 1)$$

где $\tau_{пр} = \tau \cdot K_{пр}(t_i)$ и определяемой по табл. Б 2,

B и α - константы твердения, определяемые в зависимости от группы применяемого в бетоне цемента по табл. Б 1.

5. Если при твердении выявляются несколько интервалов твердения длительностью t_i , $i = 1, 2, \dots$ при средней температуре t_i , $i = 1, 2, \dots$, то приведенный возраст определяют путем суммирования

$$\tau_{пр} = \sum i K_{пр}(t_i)$$

Например, если при электропрогреве в течение τ_1 , сут, средняя температура была t_1 , °С, а при изотермическом обогреве в течение τ_2 , сут, средняя температура составила t , °С, то

$$\tau_{пр} = \tau_1 \cdot K_{пр}(t_1) + \tau_2 \cdot K_{пр}(t) \quad (Б 2)$$

Ориентировочно с погрешностью $\pm 15\%$ оценку $K_{пр}(t)$ дает формула

где S находят по таблице Б 1 для данной группы цемента.

$$K_{пр}(t) = 1 + (t - 20) S$$

это значит, что необходимо ввести в РГЗ дополнительно квадратичный член :

$$\Delta R = C_1 (H_n - H)^2 - C_2 \quad (20)$$

где коэффициенты C_1 и C_2 находят по формулам:

$$C_1 = \frac{R_n}{(H_n - H_c)^2 - (H_m - H_c)^2}, \quad C_2 = C_1 (H_m - H_c)^2 \quad (21, 22)$$

7. Считается, что полученной РГЗ можно пользоваться по крайней мере в диапазоне

$$R_l - S_A < R < R_m + S_A$$

если в нем соблюдается условие $S_A / R < 0,08$

При необходимости выйти за пределы указанного диапазона, например, в сторону больших прочностей используют данные испытаний по крайней мере в одной однородной зоне с прочностью R_{m+1} , перекрывающей требуемое расширение диапазона; при этом линейную зависимость строят в поддиапазоне от R_{m-1} до R_{m+1} и проверяют на адекватность в точке R_m .

8. Для корректировки ранее построенной РГЗ путем введения поправочного множителя K_g , достаточно в одной однородной зоне со средней прочностью бетона в пределах рабочего поддиапазона выполнить не менее 9-ти сравнительных испытаний и по полученным данным: R_j и R_{nj} ; $j = 1, 2, \dots, m$, где R_{nj} - значения прочности, полученные методом МНК, рассчитывают оценки средних значений R_c и R_{nc} :

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_j R_j; \quad R_{nc} = \frac{1}{m} \sum_j R_{nj} \quad (23, 24)$$

значения поправочного множителя и СКО погрешности его определения:

$$K_g = R_c / R_{nc}, \quad S_k = S / \left[\sum_j (R_{nj} - R_{nc})^2 \right]^{1/2} \quad (25, 26)$$

$$\text{где } S = \left[\frac{1}{m-2} \sum_j (R_j - K_g \cdot R_{nj})^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

Если отношение $K_g / S_k > 2$, то на результат, полученный методом МНК следует вводить поправку, равную K_g , если $K_g / S_k < 1$ то поправка не вводится, если $1 < K_g / S_k < 2$, то решение о введении поправки принимают по результатам удвоенного количества сравнительных испытаний.

При введении поправки, истинную прочность бетона R по крайней мере в диапазоне $R_c - 2S < R < R_c + 2S$,

$$\text{где } S_A = \left[\frac{1}{m-1} \sum_j (R_j - R_c)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

по результатам испытаний методом МНК, R_n находят путем умножения R_n на K_g .

6. При необходимости оценки возможного добора прочности бетона после оттаивания и установления возможных сроков нагружения конструкции, на двух-трех участках выполняют не менее 6-ти шпуров на каждом из них по три шпура используют для испытаний сразу после оттаивания по п.3 и по три - после изотермического прогрева по пп.4-6.

Таблица Б 1

B , α , S - константы твердения, составляющие для групп цемента.

Группа цемента	Характеристика группы	Марка бетона	B	α	S
1	ОБТЦ марки 600	400-600	0,78	0,28	0,055
2	БТЦ марки 500	300-400	0,81	0,21	0,060
3	ПЦ марки 400 с КЗ - добавками до 10 %	200-300	0,87	0,17	0,070
4	ШПЦ марок 300-400 со шлаковыми добавками до 15 %	200-300	0,95	0,14	0,085
5	Пуццолановые ПЦ марки 300 и ниже	100-200	1,02	0,12	0,110

Таблица Б 2. Температурные коэффициенты приведения $K(t)$

Группа цемента	Температура, °C									
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
1	0,67	0,84	1	1,3	1,5	2,0	2,7	3,3	4,1	4,9
2	0,65	0,83	1	1,3	1,5	2,0	2,8	3,6	4,5	5,4
3	0,62	0,81	1	1,3	1,6	2,3	3,2	4,2	5,4	6,7
4	0,56	0,78	1	1,4	1,8	2,7	4,0	5,6	7,4	9,6
5	0,50	0,71	1	1,5	2,0	3,3	5,2	7,7	11,0	15,0

Приложение В
(обязательное)

ПРОТОКОЛ

выполнения натуральных испытаний бетона на прочность

Строительная организация _____

1. Объект испытаний _____

2. Цель испытаний _____

3. Период обследования _____

Температурный лист _____
Дата _____
°C

4. Сведения о конструкции:

сроки бетонирования _____

способ бетонирования _____

способ выдерживания _____

средняя температура бетона _____
Время _____
°C

расположение швов, ярусов _____

вид армирования _____

5. Сведения о бетоне:

вид и крупность заполнителя _____

группа и марка цемента _____

наличие и вид добавок _____

нормативная прочность, МПа _____

требуемая прочность, МПа _____
(на период обследования)

состояние бетона (визуально) _____

средняя прочность (марка, класс) бетона по паспорту
(испытаниям образцов-кубов) _____

6. Средства измерений

NN пп	Наименование	Тип, осн. характеристики	Сведения о поверке или калибровке
1			
2			
3			
4			
5			

7. Планирование измерений

Карта разделения на однородные зоны и расположения участков измерений приведена в приложении 1.

Схема измерений (количественная, альтернативно-количественная) _____

Дозированный уровень нагружения, МПа _____

Количество однородных зон в конструкции _____

Глубина и схема нагружений _____

Значение поправочного коэффициента _____

8. Подготовка конструкции

Размеры шпуров $\varnothing \times$, мм _____

Способ и режим предварительной обработки (прогрев, высушивание) _____

9. Результаты измерений

Координаты участка	Показания силоизмерителя	Усилие вырыва, кН	Проскальзывание, мм
Основные измерения			
Дополнительные измерения			

10. Результаты обработки данных измерений прочности по участкам:

NN пп	Усилие вырыва, кН	Поправочный коэффициент	Прочность, МПа	Средняя прочность по участкам
Основные измерения				
Дополнительные измерения				

11. Результаты расчетов прочности.

11.1. Нижние границы прочности по зонам.

Зоны	Средние значения, МПа	СКО, МПа	Нижняя граница прочности, МПа

11.2. Нижние границы прочности по результатам дополнительных измерений по зонам

Зоны	Средние значения, МПа	СКО, МПа	Нижняя граница прочности, МПа

11.3. Зоны с необеспеченной требуемой прочностью.

11.4. Расчет нижней границы прочности партии бетона, конструкций, изделий.

Средняя прочность \bar{R}_p , МПа _____ СКО, МПа _____

\check{R}_p , МПа _____

11.5. Расчет прироста прочности после прогрева.

12. Заключение _____

Испытания проводили _____

Приложение Г

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица Г 1

V	Значения коэффициента Z для цензурированной выборки						
	h=0,10	h=0,15	h=0,20	h=0,25	h=0,30	h=0,35	h=0,40
1,00	-2,680	-1,985	-1,537	-1,207	-0,943	-0,720	-0,523
1,10	-1,889	-1,528	-1,242	-1,004	-0,797	-0,612	-0,443
1,20	-1,536	-1,282	-1,064	-0,871	-0,696	-0,534	0,236
1,30	-1,325	-1,123	-0,941	-0,775	-0,620	-0,474	-0,334
1,40	-1,180	-1,009	-0,850	-0,702	-0,561	-0,425	-0,294
1,50	-1,073	-0,921	-0,779	-0,643	-0,512	-0,385	-0,261
1,60	-0,990	-0,852	-0,721	-0,594	-0,471	-0,351	-0,232
1,80	-0,866	-0,747	-0,631	-0,518	-0,407	-0,296	-0,039
2,00	-0,778	-0,671	-0,565	-0,461	-0,357	-0,253	-0,149
2,20	-0,711	-0,611	-0,513	-0,415	-0,317	-0,219	-0,119
2,40	-0,657	-0,564	-0,471	-0,378	-0,284	-0,189	-0,093
2,60	-0,613	-0,525	-0,436	-0,347	-0,257	-0,165	-0,072
2,80	-0,576	-0,491	-0,406	-0,320	-0,233	-0,144	-0,053
3,00	-0,545	-0,463	-0,381	-0,297	-0,212	-0,125	-0,036

НЕ КОПИРОВАТЬ