

**ГСИ. Материалы цементные. Методика ускоренного определения водоцементного отношения, прогнозирования и контроля прочности бетона по контракции**

**МИ 2488-98. ГСИ. Материалы цементные. Методика ускоренного определения водоцементного отношения, прогнозирования и контроля прочности бетона по контракции**

ГНМЦ ГП «ВНИИФТРИ»

ОТДЕЛ МЕТРОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## РЕКОМЕНДАЦИЯ

**ГСИ. Материалы цементные.**

**Методики ускоренного определения водоцементного отношения, прогнозирования и контроля прочности бетона по контракции**

**МИ 2488-98**

## Информационные данные

**Разработана** Государственным научным метрологическим центром ГП ВНИИФТРИ, Отделом метрологии в строительстве

**Исполнители:** А. И. Марков, М. П. Польшаникова

Метрологическая экспертиза проведена Отделом общих и теоретических проблем метрологии ГП ВНИИФТРИ

**Утверждена** ГП ВНИИФТРИ «19» июля 1998 г.

**Зарегистрирована** ВНИИМС «26» июля 1998 г.

**Вводится с «1» августа 1998 г.**

### 1 Область применения

Настоящая рекомендация устанавливает методики выполнения ускоренного определения водоцементного отношения бетона, обеспечивающего его заданную прочность к требуемому времени; прогнозирования и контроля прочности бетона в зависимости от его состава и сроков твердения.

Методики распространяется на все виды бетонов и используемых для их изготовления химических и минеральных добавок, плотных заполнителей и режимов твердения бетона, как в нормальных (стандартных) условиях от 7 до 360 суток, так и при тепловлажностной обработке (ТВО) при температуре изотермической стадии до 95 °С.

Ускоренное определение и прогнозирование указанных величин предполагает использование сведений об активности цемента и его контракции, экспрессно определяемых в соответствии с рекомендациями МИ 2486-98 и МИ 2487-98, а также применение ряда расчетных зависимостей.

Рекомендация разработана в развитие и дополнение МИ 1353-93 «ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений при определении характеристик на дифференциальных контрактометрах», и ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава».

### 2 Методика ускоренного определения водоцементного отношения бетона

Методику определения водоцементного отношения  $W_i/C_i$  применяют при определении или корректировке состава бетона

для обеспечения заданной прочности бетона  $R_i$  к требуемому времени  $i$  или непосредственно после ТВО.

Методика предусматривает использование активности цемента по ГОСТ 310.4 и активности цемента в бетоне. Применение активности цемента в бетоне повышает точность расчета  $W_i/C_i$ .

2.1. Определяют по МИ 2486-98 удельную текущую контракцию цемента  $V_{\phi ji}$  - при твердении в нормальных условиях в возрасте  $i$  или  $V_{\phi jT}$  - по завершению ТВО.

2.2. Определяют по МИ 2487-98 активность цемента по ГОСТ 310.4, т.е.  $R_{ji}$ , или активность цемента в бетоне при его твердении в нормальных условиях в течение заданного времени  $i$ , или непосредственно по завершению ТВО, т.е. соответственно  $R_{Бji}$  и  $R_{БjT}$ .

2.3. Определяют по ГОСТ 8269 и ГОСТ 8735 содержание пылевидных и глинистых частиц в применяемых щебне (гравии)  $\Gamma_{щ}$  и песке  $\Gamma_{п}$  (в долях от их массы). Вычисляют среднеесуммарное содержание этих примесей в заполнителях по формуле

$$\Gamma = (\Gamma_{п} + 2\Gamma_{щ}) / 3, \quad (2.1.)$$

2.4. Определяют водоцементное отношение  $W_i/C_i$  бетона, обеспечивающее его заданную прочность  $R_i$ .

2.4.1. При использовании активности цемента по ГОСТ 310.4 и твердении бетона изначально в нормальных условиях к любому времени  $i$  7 сут, или к  $i$  28 сут независимо от параметров предшествовавшего режима ТВО бетона - принимают формулу

$$\frac{W_i}{C_i} = \frac{0,4 + 2v_0 / C_0 + \Delta V'_{ji} / \Delta V' \gamma_c}{[R_i / a R_{ji} (1 - \Gamma 0,5)]^{2/3}} - 2v_0 / C_0 - \Delta V'_{ji} / \Delta V' \gamma_c, \quad (2.2.)$$

где

$v_0, i$  - объемы воздуха в 1 л уплотненных смесей соответственно по ГОСТ 310.4 и бетона с заданной прочностью  $R_i$  (значения  $v_0$  принимают равным 30 см<sup>3</sup>, а  $i$  определяют по ГОСТ 10181.3);

$C_0$  - содержание цемента в стакане контрактометра (при определении активности), г;

$c$  - истинная плотность цемента, г/см<sup>3</sup> (по сертификату);

$V_{\phi}$  - удельная полная контракция, принимаемая для основных типов цемента равной 0,12 (алюминатный); 0,11 (БТЦ, ОБТЦ); 0,1 (портландцемент) и 0,09 (шлакопортландцемент, пуццолановый), см<sup>3</sup>/г;

$a$  - адгезионный показатель крупного заполнителя (для гранитного и известнякового щебня и кварцевого песка при  $\Gamma$  0,01, 0,01  $\Gamma$  0,03 и  $\Gamma > 0,03$  значение  $a$  принимают равным соответственно 1; 0,9 и 0,85, а для дробленого гравия эти показатели умножают на 0,95).

2.4.1.1. Определение  $W_i/C_i$  для обеспечения заданной прочности бетона непосредственно после ТВО, производят расчетом по формуле (2.2), где  $R_{ji}$  заменяют на  $R_{jT}$ , а  $V_{\phi ji}$  - на  $V_{\phi jT}$ .

2.4.2. При использовании активности цемента в бетоне и при твердении бетона изначально в нормальных условиях к любому времени  $i$  7 сут, или  $i$  28 сут - независимо от параметров предшествовавшего режима ТВО бетона - применяют формулу

$$\frac{W_i}{C_i} = \frac{0,4 + 2v_0 / C_0 + \Delta V'_{ji} / \Delta V' \gamma_c}{(R_i / R_{Бji})} - 2v_0 / C_0 - \Delta V'_{ji} / \Delta V' \gamma_c, \quad (2.3.)$$

здесь все обозначения те же что и для формулы (2.2)

2.4.2.1. Определение  $W_i/C_i$  для обеспечения заданной прочности бетона непосредственно после ТВО, производят расчетом по формуле (2.3), где  $R_{Бji}$  и  $V_{\phi ji}$  заменяют соответственно на  $R_{БjT}$  и  $V_{\phi jT}$ .

**Примечание.**

**Значения чисел, возведенных в степень 2/3, определяют по таблице А.3 Приложения А (МИ 2486-98).**

### 3 Методика прогнозирования прочности бетона

Прогнозирование прочности бетона производят в зависимости: от контракции цемента к различному времени, изменения водоцементного отношения и степени уплотнения бетонной смеси (объема вовлеченного в смесь воздуха). При этом в зависимости интегрально учитывают влияние особенностей конкретно применяемых компонентов бетона.

3.1. Прогнозирование прочности бетона одного и того же состава на сжатие и растяжение (далее прочности) к различному времени в условиях нормального твердения после тепловлажностной обработки (ТВО) производят по формуле

$$R_i = R_0 \left[ \frac{\Delta V'_i \cdot (W/C + \Delta V'_0 / \Delta V' \gamma_c)}{\Delta V'_0 \cdot (W/C + \Delta V'_i / \Delta V' \gamma_c)} \right]^x, \quad (3.1)$$

где

$R_i$  - значение прогнозируемой (искомой) прочности бетона к заданному времени, МПа;

$R_0$  - известное значение прочности бетона к одному (любому) времени (после ТВО, в возрасте семи суток или др.), МПа;

- показатель степени, равный 3/2 для сжатия и 1 - для растяжения;

$W/C$  - водоцементное отношение бетона, за вычетом водопоглощения заполнителей или водоотделения бетонной смеси,  $\text{см}^3/\text{г}$ ;

$V\phi_0, V\phi_j$  - удельная текущая контракция цемента соответственно известная (для  $R_0$  к любому времени) и спрогнозированная ко времени достижения искомой прочности  $R_j$ ,  $\text{см}^3/\text{г}$ .

Контракцию  $V\phi_0, V\phi_j$  определяют (прогнозируют) по МИ 2486-98.

3.2. Прогнозирование прочности бетона, при постоянстве вида применяемых компонентов в зависимости от изменения водоцементного отношения производят по формуле

$$R_i = R_0 \left[ \frac{\Delta V'_i \cdot (W_0/C_0 + \Delta V'_0/\Delta V'_c \gamma_c)}{\Delta V'_i \cdot (W_i/C_i + \Delta V'_i/\Delta V'_c \gamma_c)} \right]^\alpha, \quad (3.2)$$

где

$R_i, R_0$  - прочность бетона соответственно искомая известная, МПа;

$W_i/C_i, W_0/C_0$  - водоцементное отношение для бетона с прочностью, соответственно,  $R_i$  и  $R_0$ .

Если прогнозирование прочности производят к одному и тому же времени, то есть когда  $V\phi_i = V\phi_0$ , то используют формулу

$$R_i = R_0 \left[ \frac{W_0/C_0 + M}{W_i/C_i + M} \right]^\alpha, \quad (3.3)$$

где

$M = V\phi_c / V\phi_0$  - относительный показатель, принимаемый при завершении ТВО и к возрасту 28 сут, в среднем соответственноравным 0,08 и 0,1,  $\text{см}^3/\text{г}$ .

3.3. Прогнозирование прочности бетона в зависимости от объема вовлеченного или не вытесненного воздуха в бетонной смеси производят следующей упрощенной формуле (прогноз к одному и тому же времени твердения бетона, как с прочностью  $R_0$  так и  $R_j$ ).

$$R_i = R_0 \left[ \frac{(W_0 + V_0)/C_0 + M}{(W_i + V_i) + C_i + M} \right]^\alpha, \quad (3.4)$$

где

$V_i, V_0$  - объем воздуха, вовлеченного в 1 л бетонной смеси для бетонов с прочностью соответственно искомой  $R_i$  и известной  $R_0$ ,  $\text{см}^3$ ;

$C_i, C_0$  - содержание цемента в 1 л бетонной смеси для бетонов с прочностью соответственно  $R_i$  и  $R_0$ , г

Объем вовлеченного воздуха  $V$  находят по ГОСТ 10181.3 или по формуле

$$V = (1 - \phi / \rho) \cdot 1000, \quad (3.5)$$

где

$\phi, \rho$  - объемная масса бетонной смеси соответственно фактическая и расчетная. Фактическую объемную массу находят по ГОСТ 10181.2, а расчетную - согласно составу бетона, определенного по методу абсолютных объемов (ГОСТ 27006).

**Примечание.**

*Прогнозирование прочности бетона по формулам 3.2-3.4 может быть произведено и с использованием активности цемента по ГОСТ 310.4. Для этого в указанных формулах взамен  $R_0$  и  $W_0/C_0$  подставляют соответственно выражение  $\alpha R_j$  (1 - Г/0,5) и 0,4 (см. методику 2).*

*Значения чисел, возведенных в степень 3/2 определяют по таблице МИ 2487-98 (таблица А1).*

Если возникает необходимость прогнозирования бетона к любому сроку при одновременном изменении водоцементного отношения и объема вовлеченного воздуха, то используют формулу (3.2) в которой заменяют  $W_0/C_0$  на  $(W_0 + V_0) / C_0$ , а  $W_i / C_i$  на  $(W_i + V_i) / C_i$ .

#### 4 Методика ускоренного контроля прочности бетона

Настоящая методика устанавливает порядок ускоренного контроля прочности бетона по пробам, отобранным из

поступающей бетонной или растворной смеси осадкой конуса (5 ± 20) см.

Методика распространяется на бетоны и растворы с тяжелыми заполнителями не ограничена видом (типом) применяемого цемента и химических добавок.

#### 4.1. Норма погрешности

Методика обеспечивает контроль прочности бетона с погрешностью, не превышающей 15 %.

#### 4.2. Средства измерений, испытаний и вспомогательные устройства.

| № п.п. | Наименование средств измерений, устройств и материалов | Тип, нормативно-технические характеристики                                    |
|--------|--|---|
| 1      | 2  | 3   |
| 1      | Контракциометр   | КД-07 конструкции ГП ВНИИФТРИ (ГОСТ 10060.4)                                  |
| 2      | Весы лабораторные                                      | По ГОСТ 24104, верхний предел измерения не более 1 г.                         |
| 3      | Мерные цилиндры  | По ГОСТ 1770, объемом 50 и 500 мл, цена деления, соответственно, 1 мл и 5 мл. |
| 4      | Электрощкаф сушильный                                  | По ГОСТ 13474, температура до 105 °С.   |
| 5      | Виброплощадка лабораторная                             | По ГОСТ 10180, частота 50 Гц. Амплитуда 0,5 мм.                               |
| 6      | Противень  | По ГОСТ 10180, емкость до 3 л.  |
| 7      | Смазка   | Солидол, отработанное машинное масло, эмульсол.                               |
| 8      | Вода для цементного теста, раствора, бетона            | По ГОСТ 23732   |
| 9      | Чаша с мастерком для приготовления цементного теста    | По ГОСТ 310.3   |
| 10     | Термометр  | По ГОСТ 9871, диапазон (0 ± 100) °С   |
| 11     | Брусok   | Дерево, 400 × 50 × 60 мм.   |

#### 4.3. Требования по безопасности

При применении методики должны выполняться требования безопасности по ГОСТ 10180.

#### 4.4. Требования к квалификации операторов

К выполнению методики допускаются лица, изучившие настоящую методику и методику работы на контракциометре КД-07.

#### 4.5. Условия выполнения контроля

При выполнении контроля должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от 15 до 30
- температура бетонной (растворной) смеси, °С от 10 до 30
- интервал времени с момента приготовления и до отбора пробы смеси, не более, ч 2
- относительная влажность воздуха, % 30-90

#### 4.6. Порядок контроля

При поступлении смеси должны быть предъявлены сведения: о ее составе, проектной марки бетона (раствора), активности и контракции за 3 ч применяемого цемента. Если применяют добавки-пластификаторы, то для определения  $V_{jo}$  их также используют в той же дозировке.

4.6.1. Устанавливают интервал времени с момента приготовления смеси и определяют ее температуру. Если эти показатели удовлетворяют требованиям п.4.5., отбирают пробу смеси массой не менее 3 кг, а также определяют ее осадку конуса.

4.6.2. Наполняют частью пробы стакан контракциометра КД-07, где ее уплотняют на виброплощадке и взвешиванием (за вычетом массы стакана) определяют ее массу  $m_1$ .

4.6.3. Измеряют в течение 6 ч по МИ 2486-98 контракцию бетонной смеси и определяют ее значение за 3 ч, производя первый и конечный отсчеты соответственно через 3 и 6 часов после герметизации контракциометра. При этом в емкости, где устанавливают контракциометр, температура воды должна быть  $(20 ± 2)$  °С.

#### Примечание.

**Если температура контролируемой бетонной смеси находится в пределах  $(20 ± 3)$  °С, то измерения осуществляют за 3ч, производя первый отсчет непосредственно после герметизации.**

4.6.4. Из оставшейся части пробы смеси отбирают ее навеску массой  $m_1$ , которую раскладывают на противне, толщина растворной части в котором должна быть не более 10 мм. Противень с пробой помещают в сушильный шкаф, где пробу высушивают в течение трех часов при температуре  $(100 ± 5)$  °С.

4.6.5. Через 3 ч высушивания определяют массу пробы  $m_2$  и рассчитывают водосодержание в 1 л контролируемой бетонной смеси по формуле

$$W_j = E(m_1 - m_2) / d, \quad (4.1)$$

где

$E$  - коэффициент, определяемый по формулам:

$$E = 1,9 + 0,009 (22 - OK) + 0,08 (M - 1) + 0,0015 (60 - R),$$

при использовании пластификаторов

$$E = 2 + 0,009 (22 - OK) + 0,08(M - 1),$$

где

$OK$  - осадка конуса (см),

$M$  - модуль крупности песка (отн.),

$R$  - проектная прочность бетона (МПа),

$d$  - плотность воды при температуре 20 °С, ( $d = 1 \text{ г/см}^3$ ).

4.6.6. Определяют водоцементное отношение  $W_j/C_j$  поступившей смеси расчетом по формуле

$$\frac{W}{C} = \frac{2W_j}{\theta \cdot \left[ 1400 + (2 \cdot 10^6 - 1300 \cdot W_j / \theta)^{1/2} \right]}, \quad (4.2)$$

где

равно  $V_{j3} / V_{j0}$  или  $(V_{j6} - V_{j3}) / V_{j0}$  (см.п. 4.6.3.);

$V_{j3}, V_{j6}$  - контракция поступившей смеси соответственно за три и шесть часов,  $\text{см}^3$ ;

При использовании цемента с эффектом «торможения» в расчетах по формуле 4.2 используют только измеренные значения  $V_{j3}, V_{j6}, V_{j0}$  ( $V$  не прибавляют).

$V_{j0}$  - контракция 1000 г применяемого цемента за три часа,  $\text{см}^3$ .

4.6.7. Фактическая прочность на сжатие бетона (раствора) в проектном возрасте 28 сут из поступившей смеси определяют по формулам

$$R_{j\phi} = R_j \left[ \frac{W_{jn} / C_{jn} + 0,1}{W_j / C_j + 0,1} \right]^{3/2}, \quad (4.3)$$

или

$$R_{j\phi} = 0,35 \cdot a \cdot R_{cj} \cdot \frac{(1 - \Gamma / 0,5)}{(W_j / C_j + 0,1)^{3/2}}, \quad (4.4)$$

где

$R_j, R_{cj}$  - соответственно проектная марка и активность применяемого цемента, МПа;

$W_{jn}/C_{jn}, W_j/C_j$  - водоцементное отношение соответственно, номинальное (по составу бетона) и фактическое (в поступившей смеси),  $\text{см}^3/\text{г}$ ;

$a, \Gamma$  - показатели, определение которых дано в разделе 2 настоящей рекомендации.

## СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Область применения
- 2 Методика ускоренного определения водоцементного отношения бетона
- 3 Методика прогнозирования прочности бетона
- 4 Методика ускоренного контроля прочности бетона