

ТРЕБОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВ БЕТОНОВ В КОНСТРУКЦИЯХ

Й. КОРДА*—К. САЛАИ

Кафедра железобетонных конструкций Будапештского Технического Университета

(Поступило: 14 ноября 1972 г.)

Представлено: проф. д-р Э. Бёлккен

Условные обозначения

- σ_{bH} — расчетное сопротивление бетона на сжатие;
 K_{\min} — требуемое (нормативное) значение прочности бетона;
 k — коэффициент запаса прочности бетона;
 K_i — значение частного результата испытания;
 $\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$ — среднее значение частных результатов испытаний;
 n — число частных результатов испытаний;
 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}$ — стандарт по прочности (разброс) частных результатов испытаний;
 $v_k = \frac{s}{\bar{K}}$ — изменчивость (коэффициент вариаций) частных результатов испытаний;
 $t, t_{N\gamma}, (t_{N50}; t_{N75}), t_p, \tau_N$ — факторы, используемые при образовании порога прочности;
 $K_{2,3}$ — 2,3%-ное пороговое значение прочности бетона;
 $K_{0,15}$ — 0,15%-ное пороговое значение прочности бетона;
 K_M — медиан значений результатов измерений, то есть значение прочности, относительно которого количества меньших и больших значений одинаковы;
 f — асимметрия кривой распределения прочности;
 K_{90} — определяемое на основании серии измерений то значение прочности, до которого вероятность наличия меньших значений равна 90%;
 K_{10} — определяемое на основании серии измерений то значение прочности, до которого вероятность наличия меньших значений равна 10%;
 $\Delta = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{jr} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{jrm}$ — тарирующее значение прочности;
 m — число тех мест измерений, где прочность измерялась двумя способами (неразрушающим и разрушающим методами);
 K_{jr} — значение частного результата при испытании разрушающим способом на месте j ;
 K_{jrm} — значение частного результата при испытании неразрушающим способом на месте j ;
 K_0 — наименьшая найденная прочность бетона;
 K_{eng} — наименьшая допускаемая прочность бетона;
 K_1 — наименьшее статистически вероятное значение частного результата испытаний бетона (характеризующее значение);
 γ_1, γ_2 — запасной поправочный коэффициент характеризующего значения;
 V — объем испытанного бетона [м^3];
 F — опалубная поверхность испытанного бетона [м^2];
 g — коэффициент однородности бетона.

* дипл. инженер, начальник конструкторского бюро (АЕТИ)

1. Введение

В новых венгерских нормах проектирования [1] предъявляемое к бетону требование прочности состоит в том, чтобы кубиковая прочность 28-дневного бетона во всем его объеме нигде бы не была ниже значения $\sigma_{bH}/0,9$ (здесь величина 0,9 — соотношение прочности на изгиб и прочности на сжатие [7]).

Статистическое определение наименьшей прочности (экстраполяцией) сталкивается с определенными практическими трудностями. Поэтому, учитывая рекомендации СЭВ и ЕКБ [2], [3], новые нормы в качестве практического требования прочности бетона называют обеспечение нормативного значения прочности бетона K_{\min} .

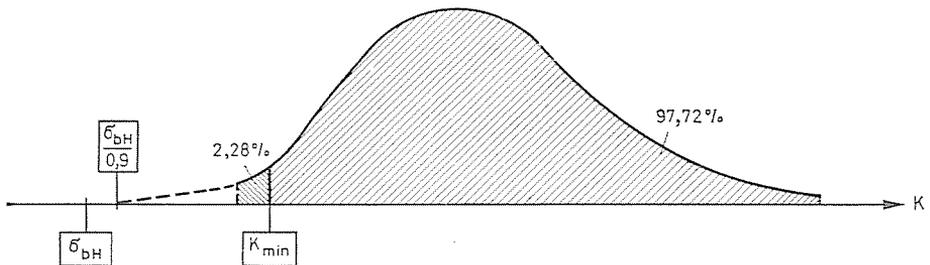


Рис. 1

Предписываемое в нормах проектирования нормативное значение прочности бетона K_{\min} в принципе является требованием определения 2,28%-ного порогового значения прочности бетона (рис. 1), найденного посредством производимых со средней точностью измерений и оценок. Предписываемое нормативное значение потому является таким процентным пороговым, что оно может быть определено даже и практическими методами, и в случае нормального распределения прочности среднее значение меньше в два раза по разбросу именно этого порогового значения прочности. (Далее мы будем обозначать это пороговое значение 2,3%). На основании нормативного значения прочности бетона расчетное сопротивление бетона на сжатие может быть определено по формуле

$$\sigma_{bH} = \frac{0,9 K_{\min}}{k}. \quad (1)$$

В (1) формуле k — коэффициент запаса прочности бетона, который для новой железобетонной конструкции $k = 1,25$, для новой обычной бетонной конструкции $k = 1,8$.

Предписание нормативного значения прочности бетона K_{\min} является основным техническим и экономическим изменением в сравнении с имевшей

до настоящего времени место практикой, когда среднее значение прочности, в сущности, было основой оценки качеств бетона.

Изготавливающее бетон предприятие тем самым получило возможность для того, чтобы определить экономически свои возможности и обеспечить наиболее целесообразным для себя способом предписываемое проектировщиком нормативное значение прочности бетона K_{\min} [2]. В случае обеспечивающих более равномерную прочность технологических условий и дисциплины предприятия меньший стандарт по прочности может удовлетворить предписываемое проектированием нормативное значение K_{\min} при меньшем среднем значении прочности \bar{K}_A (рис. 2/а). В случае большего разброса предприятие вынуждено, например, ценой большего расхода цемента работать с завышенным значением прочности \bar{K}_B (рис. 2/б).

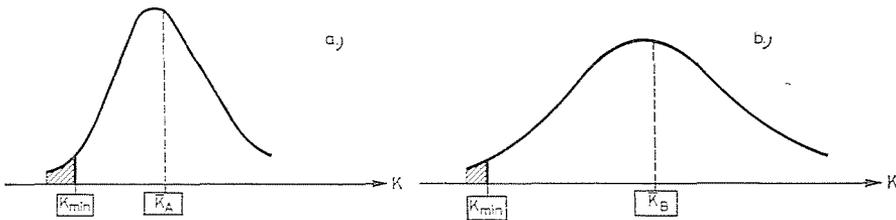


Рис. 2

Предполагая нормальное распределение, на рис. 3 показано, какая средняя прочность \bar{K} должна быть в принципе обеспечена заводским технологическим бетоном посредством выбора состава бетона в функции относительного разброса v_K , зависящей от предписанного проектировщиком K_{\min} нормативного значения прочности бетона, а также технологических и субъективных условий изготавливающего бетон предприятия. Так, например, в случае предписанного проектировщиком $K_{\min} = 140$ кп/см² (знак прочности: В 200) из рисунка видно следующее:

- $v_K = 0,07$ — для случая обеспечивающего изменчивость предприятия А
 $\bar{K}_A = 160$ кп/см²
- $v_K = 0,20$ — для случая выполняющего изменчивость предприятия Б
 $\bar{K}_B = 235$ кп/см²
может оказаться средним значением прочности на уровне проектирования бетона.

По поручению Главного административного управления Министерства Строительства и Развития Городов на Кафедре Железобетонных Конструкций Будапештского Технического Университета была создана специальная комиссия, которая в соответствии с принятыми в 1972 году проектными нормами занимается разработкой нового метода контроля по качеству бетона в

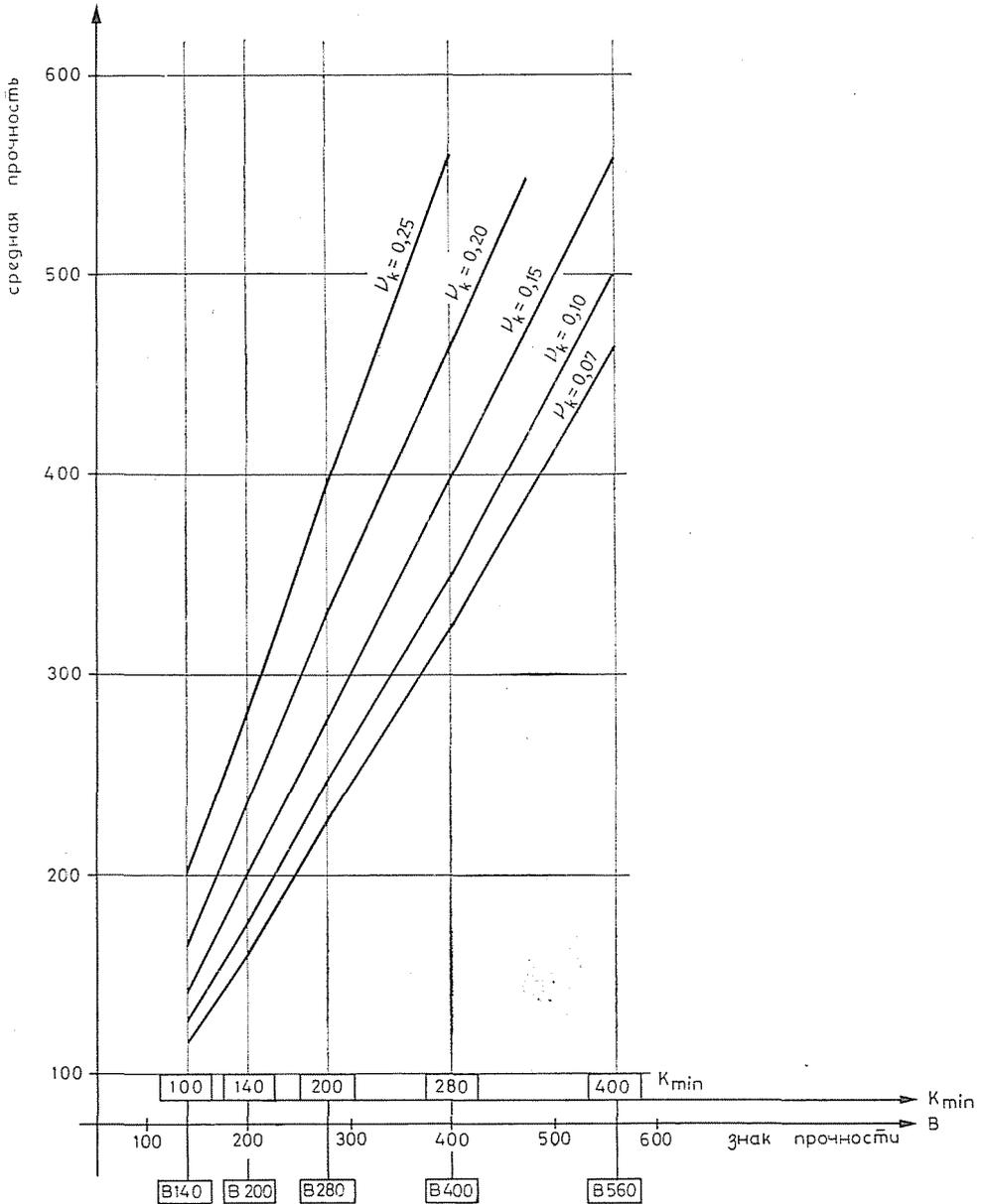


Рис. 3

конструкциях. В приводимом ниже отчете авторы, как частичный результат этой деятельности, обобщают свои, связанные с данной проблемой, предложения.

2. Описание предпосылок

2.1 Использувавшиеся прежде в ВНР методы определения прочности

2.11 Предписания венгерских норм МС 4715—61. В нормативных предписаниях изданных в 1961 году венгерских норм МС 4715 [4] в разделе определения прочности уже содержатся некоторые соображения теории вероятности. В соответствии с этим основа контроля по качеству бетона в конструкциях представляет собой значение прочности изготовленного одновременно с бетоном куба с ребром 20 см, рассчитываемое с помощью формулы

$$K = 1,15 \left(\bar{K} - \frac{3 \sqrt{n}}{n-1} s \right), \quad (2)$$

причем здесь должно быть обеспечено условие: $n \geq 5$. В этом случае расчетное сопротивление бетона на сжатие равно

$$\sigma_{bH} = \frac{K}{2}. \quad (3)$$

Из этого можно видеть, что данное предписание уже не удовлетворяет современным требованиям. В первую очередь, оно вызывает возражения потому, что не представляет возможности для учета отклонений от нормального распределения значений прочности и делает спорным вопрос возможности статистической оценки числа предписанных испытаний прочности.

2.12 Предписания отраслевых норм ЕС 24—Т. Для обследования построенных в 1930-ых годах зданий из бокситобетона в 1970 и 1971 гг. были разработаны отраслевые нормы [5], в которых уже заметен значительный прогресс в сравнении с методом контроля, описанным в пункте 2.11.

По ЕС 24—Т пороговая прочность бетона может быть рассчитана по формуле

$$K_{2,3} = \bar{K} - ts \quad (4)$$

на основании результатов измерений, полученных путем проведенных на взятых из бетона конструкций образцах испытаний разрушающим способом или же путем проведенных на бетоне конструкций испытаний неразрушающим способом.

Здесь t — коэффициент, относящийся к 97,7%-ой вероятности на уровне 50%-ой надежности при нормальной кривой распределения; значение коэффициента t приводятся в таблице № 1.

Табл. I.

| n — число проб в шт. | 10 | 12 | 14 | 20 | 25 | 30 | >30 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| t — значения коэффициента | 2,20 | 2,16 | 2,14 | 2,10 | 2,09 | 2,07 | 2,00 |

Используя найденный по (4) формуле $K_{2,3}$ расчетное сопротивление бетона на сжатие при учете (1) и при том условии, что коэффициент для железобетона $k = 1,15$ и для бетона $k = 1,65$, может быть рассчитано в форме

$$\sigma_{bH} = \frac{0,9 K_{\min}}{1,15} ; \quad \sigma_{bH} = \frac{0,9 K_{\min}}{1,65} .$$

Значения 1,15 и 1,65, использованные для бокситобетона, представляют собой коэффициент запаса прочности, который в настоящем случае на основании надежного в течение десятилетий функционирования конструкций меньше, чем коэффициент запаса прочности бетона, используемого в конструкциях новых зданий.

Предписания ЕС 24—Т до определенной степени создают возможность и для принятия во внимание отклонений от нормальной кривой распределения прочности. В том случае, если число проб равно хотя бы 50 ($n \geq 50$) и ставится требование

$$\bar{K} - K_M \geq 0,1 \bar{K} , \quad (5)$$

тогда пороговое значение прочности бетона может быть рассчитано по формуле

$$K_{2,3} = \text{num log} [\overline{\log K} - ts_{\log K}] \quad (6)$$

с использованием логарифмической нормальной кривой распределения.

ЕС 24—Т, между прочим, предписывают, что испытание должно производиться, по крайней мере, двумя способами. Правая сторона (4) формулы, полученной посредством дающего большое число результатов испытаний неразрушающего способа, будет дополнена тарирующим значением прочности

$$\Delta = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{jr} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{jrm} , \quad (7)$$

означающим разницу средней прочности, полученной в результате проведенных на m пробах двумя способами испытаний. Тогда выражение (4) может быть записано в форме

$$K_{2,3} = \bar{K} + \Delta - ts . \quad (8)$$

Этот метод, сложившийся для контроля качества прочности бокситобетона, означает большой шаг вперед в сравнении с описанными в пункте 2.11 предписаниями. В то же время накопленный практический опыт показывает, что кривая распределения во многих случаях не совпадает ни с нормальной, ни с логарифмической кривой [6].

2.13 *Определение порогового значения прочности бетона в соответствии с принятой в 1965 году рекомендацией СЭВ.* В рекомендации СЭВ 1965 года [2] были полностью учтены все существовавшие к тому времени теоретические и экспериментальные результаты. В этой рекомендации пороговая прочность определяется значением 0,15%. На основании этого рекомендацией предлагается определять пороговое значение прочности бетона следующим образом.

- Для определения порогового значения прочности $K_{0,15}$ требуется хотя бы $n > 30$ число частных результатов испытаний.
- В случае более низких значений коэффициента вариации частных результатов испытаний ($v_K \leq 0,12$) применима нормальная кривая распределения. Тогда пороговая прочность может быть установлена по формуле

$$K_{0,15} = \bar{K} (1 - 3 v_K). \quad (9)$$

- В случае высоких значений коэффициента вариации частных результатов испытаний ($v_K > 0,12$) применима кривая распределения Пирсона третьего типа. Тогда значение пороговой прочности может быть рассчитано по формуле

$$K_{0,15} = g \bar{K}. \quad (10)$$

Имеющийся в (10) формуле g — коэффициент однородности бетона, получаемый из рис. 4, в функции f — асимметрии и v_K — коэффициента изменчивости.

- Расчет асимметрии распределения прочности производится по формуле

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^3}{n s^3}. \quad (11)$$

В странах-членах СЭВ на основании этой рекомендации был проведен ряд исследований. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили основные принципы рекомендации. Однако, практически возникают трудности при определении 0,15%-ного порогового значения прочности бетона, поэтому венгерскими нормами (на основании более поздней рекомендации СЭВ) предписывается нормативное значение прочности бетона, относящееся к 2,3%-ному (точнее, 2,28%-ному) пороговому значению.

Практическое применение данной выше (11) формулы по асимметрии кривой распределения прочности привело к противоречиям.

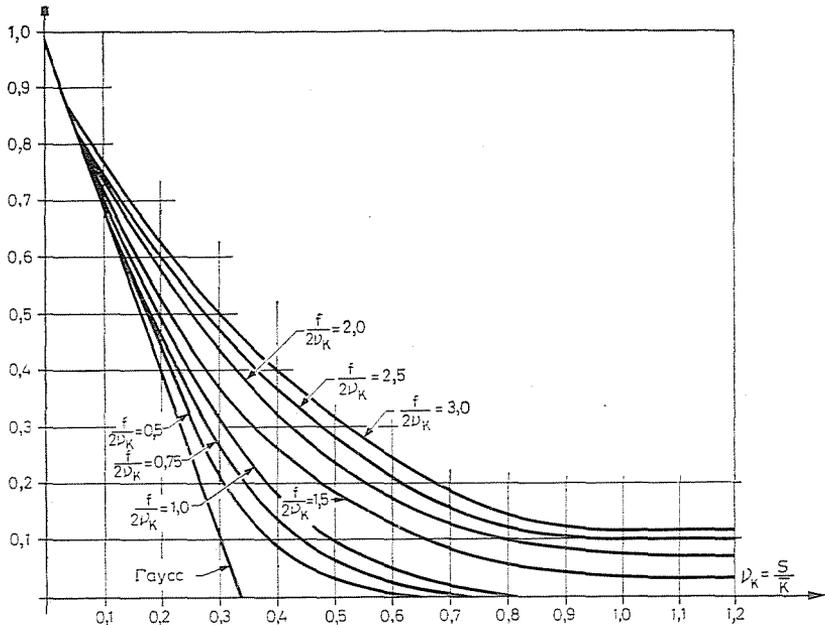


Рис. 4

2.2 Способ определения нормативного значения прочности бетона при $K_{2,3}$ на основании исследований, проведенных в 1971 году на Кафедре Железобетонных Конструкций

Зная противоречия, имеющиеся в описанных выше методах, для определения нормативного значения прочности бетона на Кафедре Железобетонных Конструкций БТУ в рамках проведенного в 1971 году исследования [6] по теме «Расчет конструкций, основывающийся на теории вероятности» при сотрудничестве авторов настоящего отчета было разработано следующее, служащее для нахождения нормативного значения прочности бетона, предложение:

- Нормативное значение $K_{2,3}$, определяемое статистической оценкой на основании результатов испытаний, обычно может быть найдено предположением нормальной кривой распределения. Тогда соответствующее 2,3%-ному порогу нормативное значение может быть рассчитано по формуле

$$K_{2,3} = \bar{K} (1 - t_{N\gamma} v_K) \quad (12)$$

Обозначение $t_{N\gamma}$, имеющееся в (12) формуле, — коэффициент, который может быть получен из таблицы № II или таблицы № III и зависит

от выбранного 50%-ного или 75%-ного уровня надежности обработки результатов испытания.

- В том случае, если для ν_K коэффициента изменчивости частных результатов измерений $\nu_K \geq 0,10$, а для f , асимметрии кривой распределения прочности $f > 0,00$, далее, число проб превышает пятьдесят ($n > 50$), тогда нормативное значение $K_{2,3}$ *определимо с учетом асимметрии*. В этом случае нормативное значение прочности бетона может быть рассчитано по формуле

$$K_{2,3} = \bar{K} (1 - t_p \tau_N \nu_K) \tag{13}$$

В (13) формуле

t_p — коэффициент из таблицы № IV, которую в зависимости асимметрии и относительного разброса на основании кривой распределения Пирсона третьего типа составил Иштван Хегедюш, младший преподаватель Кафедры Железобетонных Конструкций.

τ_N — получаемое из таблицы № III значение в зависимости n для оценки, проведенной на 75%-ном уровне надежности обработки результатов испытания (на 50%-ном уровне надежности $\tau_N = 1,0$).

Табл. II

| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 25 | 30 | 40 | > 40 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t_{N50} | 2,80 | 2,68 | 2,52 | 2,42 | 2,28 | 2,20 | 2,16 | 2,14 | 2,13 | 2,12 | 2,09 | 2,07 | 2,00 | 2,00 |
| t_{N75} | 3,35 | 3,2 | 3,1 | 2,98 | 2,78 | 2,66 | 2,54 | 2,48 | 2,44 | 2,40 | 2,31 | 2,27 | 2,22 | → |

Табл. III

| n | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 200 | > 200 |
|-----------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| t_{N75} | 2,20 | 2,18 | 2,16 | 2,14 | 2,13 | 2,06 | 2,00 |
| τ_N | 1,1 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,065 | 1,03 | 1,00 |

Для нахождения асимметрии кривой распределения результатов испытаний на основании теории урегулированного (по величине) ряда проб д-р Йозеф Рейманн, доцент Кафедры Математики БТУ, предложил следующую формулу:

$$f = \frac{(K_{90} - K_M) - (K_M - K_{10})}{(K_{90} - K_M) + (K_M - K_{10})} \tag{14}$$

Отдельные члены (14) формулы могут быть объяснены с помощью также и рис. 5.

Положительная асимметрии кривой распределения результатов испытаний ожидаема в том случае, если относительно результатов испытаний выполняется условие

$$\bar{K} - K_M \geq 0 \quad (15)$$

(см. рис. 5).

В том случае, если исследование прочности производится двумя способами (неразрушающим способом с большим числом проб и дополнительно разрушающим способом), тогда получаемое из формул (12) или (13) характеризующее значение $K_{2,3}$ должно быть увеличено за счет тарирующего значения Δ по формуле (7).

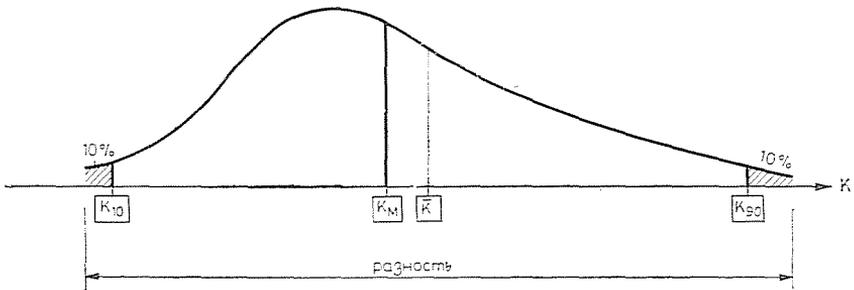


Рис. 5

Табл. IV

| ν_K | $f^2 \nu_K$ | | | | | | | |
|---------|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,75 | 0,5 | 0 |
| 0,1 | 1,60 | 1,63 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,80 | 1,87 | 2,0 |
| 0,2 | 1,35 | 1,54 | 1,57 | 1,67 | 1,75 | 1,80 | 1,90 | 2,0 |
| 0,3 | 1,08 | 1,20 | 1,37 | 1,54 | 1,69 | 1,77 | 1,88 | 2,0 |
| 0,4 | 0,85 | 0,97 | 1,16 | 1,37 | 1,59 | 1,70 | 1,82 | 2,0 |
| 0,5 | 0,68 | 0,80 | 0,98 | 1,21 | 1,49 | 1,63 | 1,76 | 2,0 |
| 0,6 | 0,57 | 0,67 | 0,83 | 1,07 | 1,39 | 1,54 | | |
| 0,7 | 0,49 | 0,57 | 0,72 | 0,94 | 1,29 | | | |
| 0,8 | 0,42 | 0,50 | 0,63 | 0,84 | 1,18 | | | |
| 0,9 | 0,38 | 0,44 | 0,56 | 0,75 | 1,08 | | | |
| 1,0 | 0,34 | 0,40 | 0,5 | 0,67 | 0,98 | | | |
| 1,1 | 0,31 | 0,36 | 0,46 | 0,61 | 0,90 | | | |
| 1,2 | 0,28 | 0,33 | 0,42 | 0,56 | 0,83 | | | |

Замечание: промежуточные значения могут быть рассчитаны путем линейной интерполяции.

3. Основные понятия, связанные с качественным контролем прочности бетона

Узел качественного контроля

Узлом качественного контроля является бетонная или железобетонная конструкция целиком или же могущая быть выделенной по несущей способности или геометрически часть конструкции, в которой изменение прочности бетона носит лишь случайный характер.

К тому же самому узлу качественного контроля не могут быть отнесены те части конструкции, которые

- проектировались из различных по качеству материалов,
- изготавливались различными по технологии способами,
- на прочность бетона значительное влияние оказали отдельные факторы,
- из-за какой-то причины они определены как обладающие грубой ошибкой.

Наименьшими узлом качественного контроля является один элемент конструкции.

Наименьшая найденная прочность бетона (K_0)

Наименьшая найденная прочность бетона в узле качественного контроля встречающаяся в ходе данного исследования самая слабая прочность бетона.

Наименьшая допускаемая прочность бетона

Наименьшая допускаемая прочность бетона — требование по наименьшей прочности бетона.

Пороговое значение прочности бетона ($K_{2,3}$)

Математическим статистическим методом определено 2,3%-ное пороговое значение прочности бетона, то есть то значение прочности, от которого 97,7% объема всего количества бетона, вместе подвергнутого контролю по качеству, большей прочности, и до которого 2,3% объема всего количества бетона — меньшей прочности. Сокращенное название: пороговая прочность.

Характеризующее значение прочности бетона (K_1)

Характеризующее значение прочности бетона — это приведенное (нормативное) к уровню средней точности значение пороговой прочности. Оно совпадает с пороговой прочностью в том случае, если

- число проб репрезентирует характеризующий бетон на таком среднем уровне, который в норме учитывался при определении расчетного сопротивления бетона на сжатие,
- измерение прочности производится со средней точностью,
- пороговая прочность определяется из результатов испытаний со средней надежностью.

В случае пороговой прочности, отличающейся от средней точности, характеризующее значение может быть получено с помощью поправочных коэффициентов.

Требуемое значение прочности бетона (K_{\min})

Требуемое (нормативное) значение прочности бетона — это требование по характеризующему значению прочности бетона.

Уровень статистической надежности контроля по качеству

Уровень статистической надежности контроля по качеству это та вероятность, с которой может быть совершена ошибка в пользу безопасности при определении характеризующего значения из результатов испытаний.

Например, при 75%-ном уровне надежности статистическая оценка в трех четвертых случаев может быть ошибочной в пользу безопасности и в одной четвертой случаев в ущерб запаса!

Характер контроля по качеству

Контроль *информационного* характера, если из описанных ниже требований существует хотя бы одно:

- число результатов испытаний для статистической оценки представляет только весьма ограниченную возможность (требования, данные в таблице № VI);
- испытание прочности проводится не на бетоне конструкции, а например, из результатов, полученных от испытаний взятых из смеси кубов, делается вывод относительно прочности бетона в конструкции;
- контроль по качеству производится на основании таких испытаний неразрушающим способом, которые потом не тарируются испытаниями разрушающим способом по данному бетону;
- из-за какой-либо другой причины результаты испытаний по прочности оцениваются только как информационные;

- имеются серьезные сомнения относительно того, что результаты испытаний не репрезентируют прочность бетона узла качественного контроля (например, если испытания могут быть проведены только в специальных местах, прочность бетона которых не случайно отличается от прочности остального бетона узлов качественного контроля).

Контроль *обычного* характера тогда, если

- не имеется ни одного из условий, перечисленных для контроля информации характера;
- число испытаний достигает нормального уровня сравнительно с величиной по размеру узла качественного контроля (требования, приводимые в таблице № VI);
- статистическая оценка проводится на уровне 50%-ной надежности.

Контроль *подробного* характера тогда, если

- не имеется ни одного из условий, перечисленных для контроля информации характера;
- число испытаний достигает подробного уровня сравнительно с величиной узла качественного контроля (требование, приводимое в таблице № VI),
- статистическая оценка производится на уровне 75%-ной надежности.

Способ контроля по качеству

В случае контроля по качеству, проводимого *без использования результатов технологических испытаний*, оценка дается только с использованием результатов испытаний, проведенных на бетоне в конструкциях.

О контроле по качеству, проведенному *с использованием результатов технологических испытаний*, мы говорим в том случае, если для оценки берутся значения прочности тех результатов испытаний, которые были проведены на изготовленных во время технологических процессов кубах из смеси.

Запасной поправочный коэффициент характеризующего значения (γ)

Запасные поправочные коэффициенты характеризующего значения это такие делящие коэффициенты, с помощью которых различные по характеру характеризующие значения могут быть приведены к тому среднему уровню запаса, который имеется в виду при определении расчетного сопротивления в проектных нормах.

4. Требования, связанные с контролем по качеству бетона

4.1 Требования по прочности бетона

Принципиальные основы требований по прочности, предписываемые в новых венгерских нормах проектирования, могут быть обобщены следующим образом:

- основное требование контроля по качеству прочности — определенная на основании МС 4715 прочность на сжатие приведенного к 28-дневному возрасту бетона;
- прочность на растяжение обычно можно определить на основании прочности на сжатие по формуле, даваемой в МС 15022/1. Для нового здания этот контроль по качеству возможен и путем контроля смеси по принципам контроля по качеству прочности на сжатие;
- основное *принципиальное требование* по прочности бетона на сжатие состоит в том, чтобы кубиковая прочность нигде бы не была меньше, чем значение

$$\sigma_{bH}/0.9.$$

Практически место наименьшей прочности обычно не может быть найдено, а определение его методом экстрополяции сталкивается с теоретическими трудностями. Поэтому в духе новых норм для прочности бетона должно быть указано два уровня требований:

- нормативное значение K_{\min} прочности бетона;
- наименьшая допускаемая прочность бетона

$$K_{eng} = \frac{0.9 K_{\min}}{1.1}.$$

Требование по наименьшей прочности бетона должно применяться для наименьшей прочности бетона, найденной на уровне данного контроля. Наименьшая определенная прочность бетона может быть меньше нормативного значения только в случае подробного контроля.

Практические требования прочности бетона на сжатие, проектируемого на основании МС 15022/1, содержатся в таблице № IV/a .

Табл. IV/a

| Знак прочности бетона | В 50 | В 70 | В 100 | В 140 | В 200 | В 280 | В 400 | В 560 |
|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Нормативное значение K_{\min} [кp/cm ²] | 35 | 50 | 70 | 100 | 140 | 200 | 280 | 400 |
| Наименьшая допускаемая прочность бетона K_{eng} [кp/cm ²] | 29 | 40 | 58 | 80 | 115 | 165 | 230 | 330 |

Практические требования прочности бетона на сжатие могут быть удовлетворены, если обеспечены условия

$$a.) K_1 \leq K_{\min} \quad (16)$$

$$b.) K_0 \leq K_{\text{eng}} \quad (17)$$

K_1 — 2,3%-ная нормативная пороговая прочность, приведенная к уровню репрезентативности, средней точности измерений и оценки, учтенных при определении расчетного сопротивления;

K_0 — наименьшая допускаемая прочность бетона.

4.2 Требования относительно характера и способа контроля по качеству

Контроль по качеству *информационного* характера применим тогда, когда удовлетворены следующие условия:

- цена сооружения или ущерб, причиненный возможными разрушениями бетона, не превышают 10 000 000 форинтов;
- ответственные за сдачу и за приемку бетона представлены специалистами по технологии бетона;
- каждая из заинтересованных сторон считает контроль по качеству информационного характера достаточным, то есть согласна с его результатами.

Контроль по качеству *подробного* характера должен проводиться в следующих случаях:

- контроль по качеству нормального характера показывает неудовлетворительную прочность бетона;
- возникают основательные сомнения относительно надежности результатов контроля по качеству нормального характера.

Во всех остальных случаях может проводиться контроль по качеству *нормального* характера.

Контроль по качеству информационного и нормального характера может производиться и с использованием результатов технологических испытаний.

В случае контроля по качеству *подробного* характера результаты технологических испытаний использовать не разрешается. Так как в этом случае даже сходство качеств испытанных кубов и бетона в конструкциях оказывается спорным.

4.3 Требования по числу и виду проводимых испытаний

При установлении числа испытаний следует обращать внимание на то, чтобы в соответствии с характером контроля по качеству

- число испытаний репрезентировало бы бетонный объем на уровне требуемой надежности;
- число испытаний в требуемых размерах предоставляло бы возможность для статистической обработки.

В качестве необходимого числа испытаний мы предлагаем взять число, даваемое в норме МС 213—63 [9]. Давая числовые значения, предполагаем, что

- испытание одного куба относится на 200 дм³ бетона;
- проведенное в пяти местах испытание неразрушающим способом соответствует испытанию одного куба с точки зрения прочности относительно места испытания;
- с точки зрения репрезентативности бетонного объема два взятых из конструкции образца однозначны испытанию трех кубов;
- по разбросу прочности точность испытания неразрушающим способом подобна точности испытания разрушающим способом;
- для статистической обработки необходимы результаты, по крайней мере, двадцати испытаний.

В соответствии с перечисленными выше требованиями, а также нормами МС 213—63 число испытаний может быть определено на основании таблицы № V.

Табл. V

| Характер контроля по качеству | Информационный | Нормальный | Подробный |
|-------------------------------|----------------|------------|-----------|
| репрезентированное значение | 16 000 | 8 000 | 4 000 |
| степень строгости | I | II | IV |
| ключевой знак | H | J | M |
| число испытаний | 20 | 30 | 50 |

Число необходимых испытаний по характеру контроля по качеству дается на основании данных таблицы № V. Авторы предлагают несколько вариантов планов испытаний, эти варианты планов в группировке по характеру испытаний даются в таблице № VI. Варианты расположены в столбцах таблицы. Перечисленные в одном столбце все виды испытаний должны быть проведены параллельно. Из числа трех условий, приводимых для каждого случая, во внимание должно приниматься то, которое дает наибольшее число испытаний.

В случае контроля по качеству, основывающегося на результатах *технологических испытаний*, (информационный характер I, нормальный характер J), их репрезентативность должна быть проверена и на бетоне в

Табл. VI

| Вид испытания | | Характер контроля по качеству | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|---|--|---|--|--|--|--|
| | | информационный | | нормальный | | | | подробный | | |
| | | I | II | I | II | III | IV | I | II | |
| испытание разрушающим способом | из технологического испытания куба | 1 | $n \geq \left\{ \begin{array}{l} 3 \\ \frac{V}{150} \\ F \\ 750 \end{array} \right.$ | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 24 \\ \frac{V}{75} \\ F \\ 400 \end{array} \right.$ | — | — | $n \geq \left\{ \begin{array}{l} 3 \\ \frac{V}{150} \\ F \\ 750 \end{array} \right.$ | — | — |
| | образец из бетона | 2 | — | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 6 \\ \frac{V}{200} \\ F \\ 1000 \end{array} \right.$ | $n \geq \left(\begin{array}{l} 20 \\ \frac{V}{75} \\ F \\ 400 \end{array} \right.$ | $n \geq \left(\begin{array}{l} 2 \\ \frac{V}{200} \\ F \\ 1000 \end{array} \right.$ | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 50 \\ \frac{2V}{75} \\ F \\ 200 \end{array} \right.$ | $n \geq \left(\begin{array}{l} 4 \\ \frac{V}{100} \\ F \\ 500 \end{array} \right.$ |
| испытание неразрушающим способом | | 3 | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 20 \\ \frac{V}{30} \\ F \\ 150 \end{array} \right.$ | — | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 30 \\ \frac{V}{15} \\ F \\ 75 \end{array} \right.$ | $n \geq \left(\begin{array}{l} 30 \\ \frac{V}{15} \\ F \\ 75 \end{array} \right.$ | — | $n \geq \left(\begin{array}{l} 50 \\ \frac{2V}{15} \\ 2F \\ 75 \end{array} \right.$ |

Объяснение знаков: n — число испытаний

V — объем исследуемого бетона [м³]

F — опалубочная поверхность испытанного бетона [м²]

конструкциях. В случае контроля по качеству *информационного* характера эта проверка должна осуществляться осмотром бетона. В ходе контроля по качеству *нормального* характера репрезентативность должна быть проверена на образце, по указанию в месте 1/2 таблицы № VI. Технологическое испытание можно считать репрезентативными, если разница между полученным в результате его средним значением прочности образцов, взятых из бетона, и средним значением прочности, измеренным на бетоне в конструкции, не превышает 15%-ов большего из двух средних значений. Если же эта разница больше, то результаты технологических испытаний не могут быть использованы для контроля по качеству бетона в конструкциях.

В случае вариантов, основанных на *испытаниях неразрушающим способом* (информационный характер II, нормальный III и IV и подробный характер II) дополнительные испытания разрушающим способом служат для тарирования испытаний неразрушающим способом. Поэтому на бетоне, подвергнутому испытанию разрушающим способом, (на кубе непосредственно перед разрушением; на взятом из сооружения образце перед его взятием из сооружения) следует проводить предварительно испытание неразрушающим способом, используя тот же самый прибор, который используется для испытаний неразрушающим способом. В этом случае испытание разрушающим способом на взятом из сооружения образце надо проводить так, чтобы за время между взятием образца и началом испытания его прочность не изменилась бы ощутимо.

5. Определение пороговой прочности

5.1 Определение пороговой прочности в случае контроля по качеству информационного характера

Определение пороговой прочности должно производиться при предположении того, что

- кривая распределения прочности бетона нормальная (Гауссовая),
- предписываемый уровень статистической надежности контроля по качеству составляет 50%.

В этом случае пороговая прочность бетона может быть рассчитана по формуле

$$K_{2,3} = \bar{K} - t_{N50} s \quad (18)$$

где

- t_{N50} — коэффициент, получаемый из таблицы № II;
- s — разброс результатов испытаний.

В том случае, если $n \geq 20$, разброс можно рассчитать по закону статистики. Если $n < 20$, надо знать разброс прочности, характеризующий

работу предприятия или стройплощадки. Среднее значение разброса определимо в зависимости от средней прочности по формуле

$$s = 20 + 0,12 \bar{K} \quad [\text{кp/cm}^2] \quad (19)$$

(19) формула была выведена сотрудником ЕМИ Ласло Дьёрдьем и может быть найдена в рекомендациях СЭВ.

5.2 Определение пороговой прочности в случае контроля по качеству нормального характера

Определение пороговой прочности должно производиться при предположении того, что

- кривая распределения прочности бетона нормальная (Гауссовая),
- предписываемый уровень статистической надежности контроля по качеству составляет 50%.

5.21 В случае испытаний, основывающихся на разрушающем способе, (в таблице № VI варианты нормальные I и II) пороговая прочность может быть установлена с помощью формулы (18).

5.22 В случае испытаний, основывающихся на неразрушающем способе, (в таблице № VI варианты нормальные III и IV) тарирующее значение прочности Δ должно быть рассчитано по формуле (7). Тогда пороговая прочность может быть выражена с помощью формулы

$$K_{2,3} = \bar{K} + \Delta - t_{N50} \cdot s \quad (20)$$

Однако, результат от испытаний разрушающим способом следует учитывать только при определении тарирующего значения прочности Δ .

5.3 Определение пороговой прочности в случае контроля по качеству подробного характера

Определение пороговой прочности должно производиться при предположении того, что предписываемый уровень статистической надежности контроля составляет 75%.

Для определения учитываемого типа кривой распределения прочности надо высчитать

$$\text{— изменчивость: } v_K = \frac{s}{\bar{K}}$$

- асимметрию распределения прочности по формуле (14).

В том случае, если любое из условий

$$v_K < 0,1 \quad \text{и} \quad f \leq 0,00$$

выполнено, кривую распределения прочности следует предполагать нормальной (Гауссовой), в противном случае при определении пороговой прочности надо исходить из предположения кривой Пирсона третьего типа.

5.31 Определение пороговой прочности при условии нормальной кривой распределения

может быть рассчитано с помощью формулы

$$K_{2,3} = \bar{K} + \Delta - t_{N75} s. \quad (21)$$

Отдельные члены (21) формулы в случае II варианта — за исключением Δ — должны быть определены с учетом результатов испытания только нарушающим способом. В (21) формуле

- Δ — значение, рассчитываемое в случае II варианта с помощью (7) формулы (в случае I варианта это значение равно нулю);
- t_{N75} — коэффициент из таблицы № III, соответствующий 75%-ному уровню статистической надежности контроля.

5.32 Определение пороговой прочности при условии кривой распределения Пирсона третьего типа производится с помощью формулы

$$K_{2,3} = \bar{K} + \Delta - t_p \tau_N s. \quad (22)$$

Определение отдельных членов (22) формулы производится по пункту 5.31:

- t_p — получаемое из таблицы № IV значение зависимости изменчивости и асимметрии распределения;
- τ_N — получаемое из таблицы № III значение зависимости числа образцов.

6. Определение характеризующего значения прочности бетона

Принцип определения характеризующего значения прочности бетона в наглядной форме показан на рис. 6. Здесь показано формирование запасного поправочного коэффициента характеризующего значения в зависимости от характера контроля по качеству (от уровня измерения, оценки и репрезентативности), далее, от необнаруженности скрытой ошибки бетона (в новом здании) или же от обнаруженности скрытой ошибки бетона (в старом здании,

где $T \geq 25$ лет). Здесь тарирующий уровень — та точность измерения и оценки которую использовали в случае контроля по качеству нормального характера при определении расчетного сопротивления.

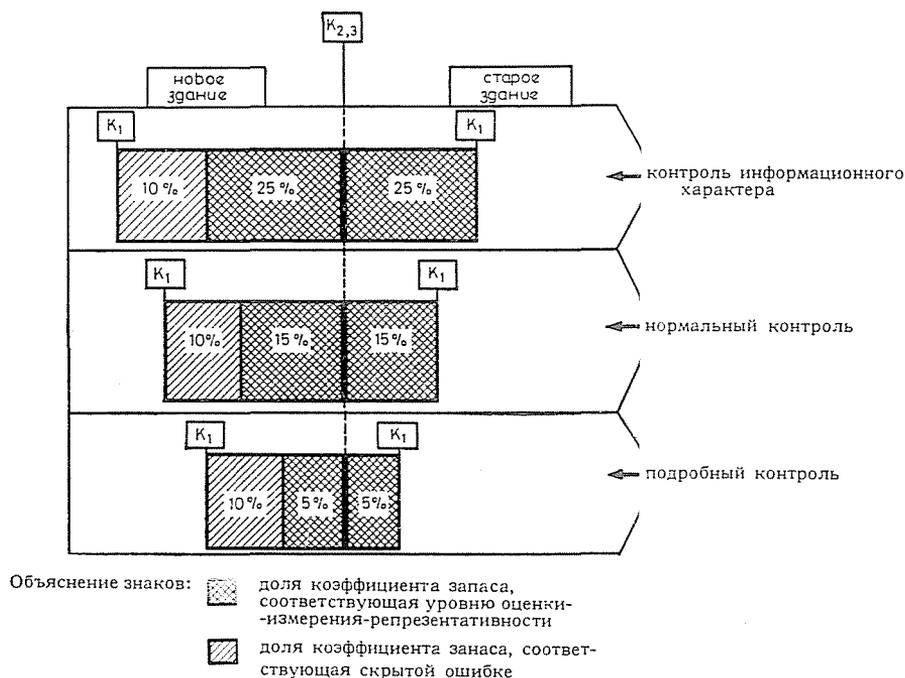


Рис. 6

Из рис. 6 видно, как может быть объяснен коэффициент запаса прочности бетона в случае железобетона (1,25) и как он меняется в случаях контроля по качеству различного характера.

- Для *нового здания* сопутствующая ошибка при контроле по качеству *нормального* характера: $10\% + 15\% = 25\%$. Эта ошибка при контроле по качеству *информационного* характера увеличивается и будет $10\% + 25\% = 35\%$, а при контроле по качеству *подробного* характера она уменьшается и ее значение составляет $10\% + 5\% = 15\%$.
- Для *старого здания* ошибка, сопутствующая при контроле по качеству *нормального* характера составляет 15% , при контроле *информационного* характера она вырастает до 25% , при контроле *подробного* характера она уменьшается и становится равной 5% .

На основании вышесказанного характеризующее значение оказывается равным меньшему из двух (K_1' и K_1'') значений, рассчитанному на основании следующих формул:

— в случае контроля информационного и нормального характера

$$K_1' = \frac{K_{2,3}}{\gamma_1 \cdot \gamma_2} \quad \text{и} \quad K_1'' = \frac{K_0}{\gamma_1 \cdot \gamma_2} \quad (23/a)$$

— в случае подробного контроля

$$K_1' = \frac{K_{2,3}}{\gamma_1 \cdot \gamma_2} \quad \text{и} \quad K_1'' = \frac{1,1 K_0}{0,9 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2} \quad (23/b)$$

В (23) формуле

γ_1 — запасной поправочный коэффициент характеризующего значения, который уравнивает характер контроля по качеству. Его значение

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| для контроля нормального характера | $\gamma_1 = 1,00$ |
| для контроля подробного характера | $\gamma_1 = 0,90$ |
| для контроля информационного | $\gamma_1 = 1,10$ |

γ_2 — запасной поправочный коэффициент характеризующего значения, которым учитывается, что в ходе использования здания в испытанном бетоне вероятность скрытых ошибок несравненно меньше

| | |
|---------------------------|-------------------|
| для случая нового здания | $\gamma_2 = 1,00$ |
| для случая старого здания | $\gamma_2 = 0,90$ |

7. Определение расчетного сопротивления на сжатие

Расчетное сопротивление бетона на сжатие следует определять в соответствии с предписаниями норм по проектированию конструкций.

В том случае, когда

$$\text{а) } K_0 \geq \frac{0,9 K_1}{1,1}, \quad \text{тогда} \quad K_{\min} = K_1$$

$$\text{б) } K_0 < \frac{0,9 K_1}{1,1}, \quad \text{тогда} \quad K_{\min} = \frac{1,1 K_0}{0,9}$$

Расчетное сопротивление бетона на сжатие

$$\text{— в случае железобетонной конструкции } \sigma_{bH} = 0,9 \frac{K_{\min}}{1,25}$$

$$\text{— в случае бетонной конструкции } \sigma_{bH} = 0,9 \frac{K_{\min}}{1,80}$$

Резюме

Статья знакомит с требованиями новых венгерских норм проектирования, предъявляемыми к контролю по качеству прочности в связи с расчетом конструкций.

Приводится краткий исторический обзор существовавших до сих пор способах контроля по качеству.

В соответствии с новыми требованиями приводится дефиниция связанных с контролем по качеству бетона понятий и принципов.

Описываются варианты планов испытаний, обеспечивая возможность проведения контроля по качеству, основанного на испытании кубов, что достаточно знакомо из существовавшей до сих пор практики, а также для использования современных способов испытаний неразрушающим способом.

Даются те запасные поправочные коэффициенты, с помощью которых результаты проведенных на различных уровнях надежности контролей по качеству могут быть приведены к одинаковому по риску уровню. Знакомит с методом определения расчетного сопротивления.

Литература

1. Динамическое проектирование несущих конструкций зданий.* (Серии венгерских норм МС 15020 и МС 15022), Будапешт, 1971 г.
2. Механические свойства строительных материалов (Методика установления коэффициентов однородности бетона) НИИЖБ. Москва, 1965 г.
3. International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures. FIP. 1970
4. Испытание затвердевшего бетона.* (МС 4715/1—7—Т)
5. Проверка динамики несущих конструкций зданий. Конструкции из бокситобетона. Отраслевая норма строительства, 1972 г.
6. Расчет конструкций, основывающийся на теории вероятности. Отчет о результатах исследований, проведенных в 1971 г.* Кафедра Железобетонных Конструкций, БТУ, 1971 г.
7. Салаи, К.: Некоторые проблемы расчета несущей способности сжатых железобетонных стержней. *Periodica Polytechnica*. Vol. 14. No. 4. Budapest, 1970. 327—340
8. Корда, Й.—Валас, Й.: Проверка зданий из бокситобетона.* Группа строительной информации, Будапешт, 1970 г.
9. Математико-статистическая квалификация массовых изделий измерительным методом.* (МС 213—63).
10. Корда, Й.: Определение прочности эласто-пластичных веществ на растяжение и сжатие на основе теории вероятности.* *Mélyép. Szle.* 1972. 4. 175—188

Инж. Янош Корда, 1016 Будапешт, Кристина крт 99

Доцент д-р Калман Салаи, 1111 Будапешт, Мюедетем ркп 3, ВНР