

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 666.972

Н. В. Суходоева, В. В. Бабицкий, д-р техн. наук, проф.

АНАЛИЗ ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

Приведены описанные в технической и научной литературе формулы для расчета прочности бетона на сжатие, дан сравнительный анализ их точности.

Введение

В основе любой методики проектирования состава бетона лежит расчет предела прочности бетона на сжатие (в дальнейшем – прочность бетона). И от точности формулы для расчета прочности бетона зависят как оптимальный расход компонентов бетонной смеси, в первую очередь вяжущего, так и соответствие всего комплекса фактических параметров бетона проектным значениям.

Проанализируем ряд формул, наиболее широко используемых в настоящее время предприятиями и научными организациями для расчета прочности бетона с целью выявления наиболее удачного варианта для создания в последующем основы методики проектирования состава бетона.

Основные формулы для расчета прочности бетона на сжатие

Впервые теоретическое обоснование влияния различных факторов на прочность бетона более века назад дал проф. Военно-инженерной академии И. Г. Малуга. Он установил связь между прочностью бетона и отношением количества воды в бетонной смеси к массе сухой смеси цемента и заполнителей. Фактически результатом исследований ученого явилось создание так называемого «закона водоцементного отношения», до сих пор лежащего в основе большинства расчетных формул.

В конце XIX в. Р. Фере предложил формулу [1]

$$f_0 = K \cdot \frac{C}{B+V}, \quad (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от активности цемента; C , B – абсолютные объемы цемента и воды; V – объем воздушных пор в единице объема бетона.

Затем Р. Фере несколько видоизменил ее [1], оставив те же влияющие факторы:

$$f_0 = K \cdot \left(\frac{C}{C+B+V} \right)^2. \quad (2)$$

Следует отметить правильность предложенного Р. Фере учета (хотя и достаточно сложного) содержания воздуха в бетонной смеси. Эта идея на практическом уровне начала развиваться лишь в настоящее время.

Д. Абрамс предложил формулу для расчета прочности бетона в следующем виде [1]:

$$f_0 = \frac{A}{B^{1.5} \left(\frac{B}{U} \right)}, \quad (3)$$

где A и B – постоянные, определяемые экспериментально.

М. Болоней представил формулу для расчета прочности бетона не как функцию водоцементного отношения, а цементно-водного [1]:

$$f_6 = K \cdot f_u \cdot \left(\frac{C}{B} - b \right), \quad (4)$$

где K – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние заполнителей на прочность бетона; f_u – активность цемента, МПа; b – значение цементно-водного отношения в пересечении функции с осью абсцисс.

Профессором Н. М. Беляевым предложена следующая формула [1, 2]:

$$f_6 = \frac{f_u}{A \cdot \left(\frac{B}{C} \right)^{1,5}}, \quad (5)$$

где A – постоянная, зависящая от вида заполнителей (может быть принята равной 3,5).

Формула М. З. Симонова устанавливает связь прочности бетона с плотностью цементного камня [3]:

$$f_6 = 0,49 \cdot A \cdot f_u \cdot \left(\frac{3,1 \cdot \frac{C}{B}}{3,1 + \frac{C}{B}} \right)^2. \quad (6)$$

Несмотря на то, что все указанные выше формулы, казалось бы, исчерпывающе описывают влияющие факторы, работы в данном разделе бетоноведения продолжились и в последующем.

Проста формула ВНИИЖелезобетона [4]:

$$f_6 = f_u \cdot \left(0,45 \cdot \frac{C}{B} - 0,18 \right). \quad (7)$$

Общеизвестна [5] широко применяемая (по причине ее простоты), вошедшая во многие нормативные и рекомендательные документы, формула:

– при $C/B \leq 2,5$

$$f_6 = A \cdot f_u \cdot \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right); \quad (8)$$

– при $C/B > 2,5$

$$f_6 = A_1 \cdot f_u \cdot \left(\frac{C}{B} + 0,5 \right), \quad (9)$$

где A и A_1 – эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние заполнителей.

Нетрудно убедиться в том, что формулы (8) и (9) являются развитием (с уточнением численных величин влияющих коэффициентов) формулы (4).

Особенность формулы НИИЖБа [6] заключается в том, что она может быть использована для расчета прочности бетона не только нормального твердения (или с получением 70 % отпускной прочности после тепловой обработки):

$$f_6 = (0,23 \cdot f_u + 10) \cdot \frac{C}{B} - 8, \quad (10)$$

но и с получением 100 % отпускной прочности после тепловой обработки:

$$f_6 = (0,16 \cdot f_u + 7) \cdot \frac{C}{B} - 5,6. \quad (11)$$

Формула Гершберга-Левина [7] учитывает плотность цемента ρ_u в качестве одного из влияющих факторов:

$$f_6 = (1,72 \cdot f_u + 84) \cdot \left(\frac{\frac{C}{B}}{\frac{C}{B} + \rho_u} - 0,17 \right). \quad (12)$$

Оригинальна формула В. Н. Шмигальского [8], отличительной особенностью которой является введение в число влияющих факторов расхода воды B :

$$f_6 = f_u \cdot \frac{0,6 - 0,0014 \cdot B}{\left(\frac{B}{C} \right)^{1,3}}. \quad (13)$$

А в формуле, предложенной В. И. Соломатовым [9], одним из влияющих факторов является расход цемента C :

$$f_6 = K_6 \sqrt{2 \cdot f_u \cdot C}, \quad (14)$$

где K_6 – коэффициент, зависящий от вида заполнителей (может быть принят равным 0,6 для тяжелых бетонов и 0,2 для легких).

Формула, предложенная Г. В. Несветаевым [10], внешне несколько напоминает формулу Н. М. Беляева:

$$f_{\sigma} = K \cdot \frac{f_u}{\left(\frac{B}{C}\right)^{1,3885}} \quad (15)$$

Большой вклад в развитие науки о бетоне внесли и отечественные ученые.

Так, формула И. Н. Ахвердова [11] учитывает свойства цемента и одновременно (посредством коэффициента k_{Π}) размеры испытываемых образцов:

$$f_{\sigma} = \frac{k_{\Pi} \cdot k_3 \cdot f_u \cdot \sqrt{1 - \eta_x}}{1 + 1,65 \cdot K_{\text{нг}} \cdot \left(\frac{B}{C}\right)_6 - 1,65 \cdot K_{\text{нг}}}, \quad (16)$$

где k_{Π} – коэффициент, зависящий от размеров испытываемых образцов и коэффициента нормальной плотности цемента; $K_{\text{нг}}$ – коэффициент нормальной плотности цемента (водоцементное отношение цементного теста, соответствующее нормальной плотности цемента); k_3 – коэффициент, учитывающий вид заполнителя; η_x – коэффициент, учитывающий содержание тонкодисперсных фракций в цементе и заполнителе.

Оригинальность формулы, предложенной М. А. Шалимо [6], заключается в том, что прочность бетона связана не с водоцементным отношением бетонной смеси, а с относительным водосодержанием цементного теста X :

$$f_{\sigma} = \frac{K_k \cdot K_3 \cdot f_u}{X^2}, \quad (17)$$

где K_k – коэффициент качества цемента, зависящий от нормальной плотности цемента; K_3 – коэффициент, учитывающий вид и предельную крупность зерен заполнителя, а также соотношение модулей упругости заполнителя и раствора в бетоне; X – относительное водосодержание цементного теста (отношение водоцементного отношения цементного теста к коэффициенту нормальной плотности).

Одна из новейших капитальных разработок [12], выполненных под руководством профессора Н. П. Блещика, – многофакторная модель (упрощенная применительно к подбору состава бетона), связывающая прочность бетона с производением ряда функций, учитывающих влияние разнообразных факторов:

$$f_{\sigma} = k_{\text{ТО}} \cdot \varphi(f_{\text{кр.з}}) \cdot \varphi(f_{\text{вяж}}) \times \varphi(m_{\text{цк}}) \cdot \varphi\left(\left[\frac{C}{B}\right]_{\text{пр}}\right), \quad (18)$$

где $k_{\text{ТО}}$ – коэффициент, учитывающий условия твердения бетона; $\varphi(f_{\text{вяж}})$ – функция активности вяжущего; $\varphi(m_{\text{цк}})$ – функция относительного содержания цементного камня; $\varphi\left(\left[\frac{C}{B}\right]_{\text{пр}}\right)$ – функция приведенного цементно-водного отношения; $\varphi(f_{\text{кр.з}})$ – функция прочности крупного заполнителя.

Необходимо оговориться, что согласно [12] зависимость предназначена (в случае разрушения по цементному камню) для расчета прочности бетона классов С 35/45 и выше.

В. П. Сизов [13], устраняя недостатки формул (8) и (9), предложил единую формулу, максимально, посредством ряда поправок, учитывающую многочисленные влияющие факторы:

$$f_{\sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot f_u \cdot (A + \sum \Delta A) \cdot \left(\frac{1}{\frac{C}{B}} - 0,5\right), \quad (19)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от минералогического состава цемента; K_2 – коэффициент, учитывающий уровень производства бетона; A – коэффициент, учитывающий особенности крупного и мелкого заполнителей; $\sum \Delta A$ – поправки к величине коэффи-

циента A , зависящие от удобоукладываемости бетонной смеси, нормальной плотности цемента, модуля крупности песка, наибольшей крупности щебня, водоцементного отношения, соотношения прочностей каменной породы и бетона.

В [14] предложены как упрощенный вариант формулы для расчета прочности бетона:

$$f_6 = \frac{0,3 \cdot f_{ц}}{\frac{B}{C} - 0,1}, \quad (20)$$

так и развернутый, учитывающий свойства заполнителей согласно заимствованной из (18) функции прочности крупного заполнителя:

$$f_6 = \varphi(f_{кр.з}) \frac{0,3 \cdot f_{ц}}{\frac{B}{C} - 0,1}. \quad (21)$$

Можно отметить, что все приведенные (а также иные подобные, не вошедшие в выборку) формулы имеют один общий недостаток – они ориентированы только на расчет прочности бетона в возрасте 28 суток. Значения же прочности бетона в любом возрасте по ним рассчитаны быть не могут, поскольку в формулы не входит фактор времени как в прямом, так и косвенном виде.

Но существуют иные принципы к подходу расчёта прочностных характеристик бетона. Т. Пауэрс [15] предложил увязывать прочность цементного камня с долей образующегося в процессе гидратации цементного геля в доступном пространстве, то есть в разработанной им зависимости фигурирует степень гидратации цемента, прямо зависящая от времени твердения материала. А. Е. Шейкин [16], основываясь на воззрениях Т. Пауэрса, предложил соответствующую формулу для расчета прочности цементного камня. В [17] сделана попытка связать прочность со степенью гидратации цемента, а также величиной тепловыделения, что в принципе правильно, но не доведено до инженерной стадии расчета. Возможно также

определение прочности по величине контракции системы «цемент – вода» [18], однако и в этом случае необходимо экспериментальное определение первоначального соотношения величины контракции цемента и прочности бетона либо цементного камня. В [19] сделана попытка оценки прочности бетона в зависимости не от водоцементного отношения смеси, а от объемной концентрации цемента в цементном тесте. Отмеченные примеры показывают актуальность и необходимость поиска новых подходов к описанию кинетики прочности.

В [14] представлена формула для расчета прочности бетона, являющаяся развитием некоторых положений В. В. Бабкова [20] и получившая возможность для практического применения благодаря найденному И. Н. Ахвердовым и В. А. Богданом [21] соответствию водоцементного отношения раствора и нормальной плотности цемента при определении активности вяжущего. Она учитывает не только традиционные факторы (активность цемента $f_{ц}$ и B/C), но и физические свойства цемента $k_{ц}$, степень его гидратации α , объем цементного теста в 1 м^3 бетона V_T :

$$f_6 = \frac{k_{ц} \cdot f_{ц}}{\left[1 + \frac{\rho_{ц}}{\rho_{в}} \cdot \left(\frac{B}{C} \right)_6 + \frac{100}{\alpha} \right]^{3,2-0,12 \cdot \left(\frac{1}{V_T} - 1 \right)}}. \quad (22)$$

Степень гидратации цемента в проектном возрасте может быть рассчитана (без учета дополнительных влияющих факторов) как функция относительного водосодержания цементного теста [22]:

– при $X < 1,65$

$$\alpha = 60 \cdot X - \sqrt[3]{(1,65 \cdot X)^2} \cdot e^{1,65 \cdot X}; \quad (23)$$

– при $X \geq 1,65$

$$\alpha = 70 + 5 \cdot (X - 1,65). \quad (24)$$

И. В. Вольф [23] подверг сомнению общепринятый закон водоцементного отношения и ввел новое понятие – фактор прочности бетона, который определяется соотношением масс химически связанной в процессе гидратации цемента воды и химически не связанной:

$$f_{\sigma} = K \cdot f_u \cdot \frac{W_{\text{х.с.}}}{B_{\text{н.с.}}}, \quad (25)$$

где K – относительный показатель использования активности цемента в бетоне (рекомендуется принимать в пределах от 0,8 до 1,2); $W_{\text{х.с.}}$ – вода, химически связанная цементом при гидратации, кг; $B_{\text{н.с.}}$ – вода, не связанная химически при гидратации цемента (поровая), кг.

Масса химически связанной воды определяется относительным количеством химически связанной воды от массы цемента $W_{\text{х.с.}}$ и расходом цемента C на 1 м³ бетона:

$$W_{\text{х.с.}} = W_{\text{х.с.}} \cdot C. \quad (26)$$

Масса же химически не связанной воды определяется разностью расхода воды, идущей на затворение бетонной смеси B , и массы химически связанной воды:

$$W_{\text{н.с.}} = B - W_{\text{х.с.}}. \quad (27)$$

Автор формулы (25) указывает на то, что прямое определение степени гидратации цемента весьма сложно, поэтому величину $W_{\text{х.с.}}$ рекомендует принимать (из условия обеспечения максимального значения прочности бетона) постоянной и равной 0,2.

Итак, имеется ряд формул для расчета прочности бетона. Какая из них может быть рекомендована для практического применения

Анализ точности формул

Для оценки точности формул были сопоставлены фактические величины прочности бетона с рассчитываемыми по приведенным выше формулам. Фактические величины прочности брались из

[23–25], при этом выборки были нацелены на широкое изменение величин водоцементного отношения, активности и расхода цемента, прочности крупного заполнителя. Всего фактических результатов n было около 500.

Представленные на рис. 1 достаточно хаотические результаты вполне убедительно подтверждают ранее сделанное заключение [2]: «... Многочисленные попытки уточнить зависимость прочности бетона от водоцементного отношения и ряда других факторов не увенчались успехом. Условление формул и введение различных поправок не дает желаемого повышения точности технологических расчетов, поскольку вряд ли удастся учесть в этих формулах все факторы, влияющие на прочность бетона ...».

Для количественной оценки точности формул произведен статистический анализ. Естественно, более точна та формула, для которой сумма отклонений фактической величины прочности бетона от рассчитанной минимальна. Считалось, что точность той либо иной формулы тем выше, чем меньше коэффициент вариации V отклонений единичных значений расчетной прочности бетона $f_{\sigma \text{рi}}$ от фактических $f_{\sigma \text{фi}}$:

$$V = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{\sigma \text{рi}} - f_{\sigma \text{фi}})^2}{n-1}}}{\bar{f}_{\phi}} \cdot 100. \quad (28)$$

Гистограмма на рис. 2 наглядно отражает эффективность использования той либо иной формулы. Для наглядности на этом же рисунке приведена граница, соответствующая нормативному коэффициенту вариации прочности бетона (13,5 %). Интересно отметить тот несомненный факт, что формулы, полученные еще при основании бетоноведения как науки, вполне удовлетворительно описывают зависимость прочности бетона от влияющих факторов. В то же время отдельные формулы, полученные

уже в период расцвета науки и предназначенные, казалось бы, для уточнения расчетов, весьма далеки от совершенствования. Естественно, авторы данной работы далеки от мысли, что ими проведен исчерпывающий анализ, но определенные

тенденции налицо. Например, точность формул (8) или (9), нашедших весьма широкое применение при проектировании составов бетона на заводах ЖБК, далека от идеала.

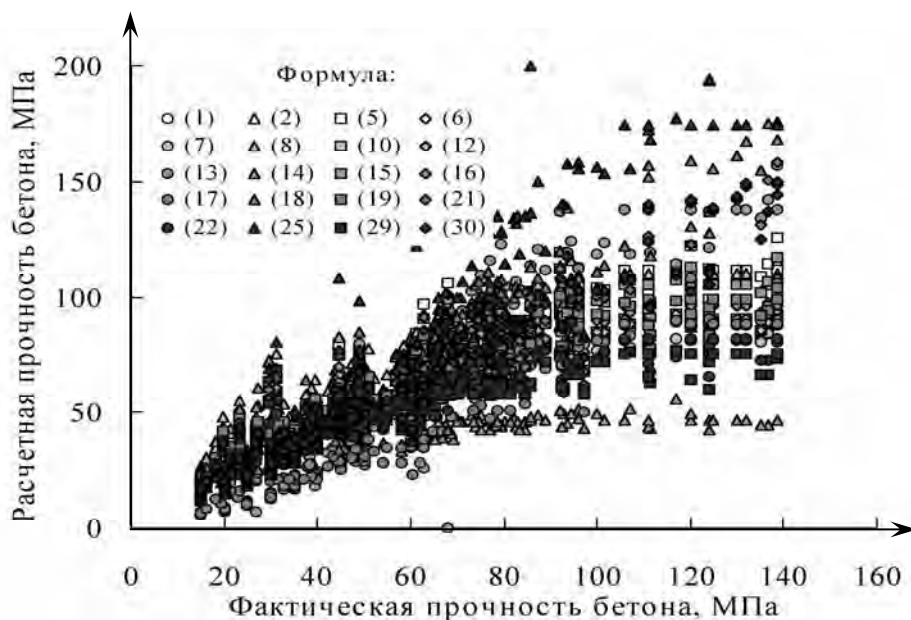


Рис. 1. Взаимосвязь прочности бетона, рассчитываемой по различным формулам, с фактической прочностью

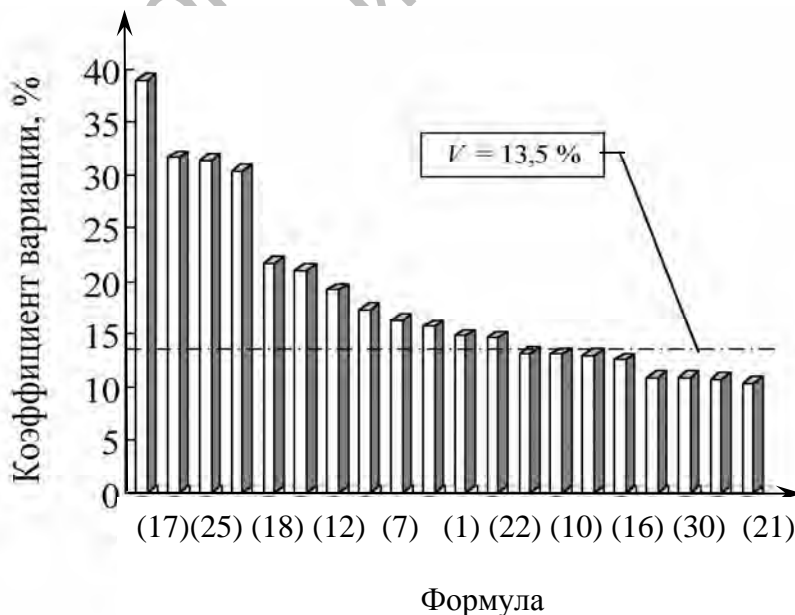


Рис. 2. Точность расчета прочности бетона по различным формулам

Более подробно рассмотрим формулы, содержащие в основе степень гидратации цемента, как более перспективные и позволяющие оценивать промежуточные величины прочности бетона, в частности, формулу И. В. Вольфа.

Как видно из полученных данных, формула (25) характеризуется весьма высоким коэффициентом вариации, что, казалось бы, делает ее бесперспективной. Это объясняется двумя существенными недостатками.

Во-первых, величина относительно количества химически связанной воды, как уже отмечалось, принимается постоянной и равной 0,2 на всем диапазоне водоцементных отношений (рис. 3). На самом же деле это далеко не соответствует теоретическим выкладкам и экспериментальным результатам. Проанализированные нами теоретические и фактические изменения степени гидратации цемента представлены на рис. 3. Наглядно видно,

что зависимость фактической степени гидратации цемента α от водоцементного отношения имеет криволинейный характер, что не было учтено И. В. Вольфом. Если формулу (25) видоизменить и представить как функцию количества химически связанной воды, выраженную через степень гидратации цемента (считая по Т. Пауэрсу, что при полной гидратации цемента химически связанная вода составляет около 23 % от массы цемента), то получим выражение

$$f_{\sigma} = K \cdot f_u \cdot \frac{1}{\frac{B}{0,23 \cdot \alpha \cdot C} - 1}}, \quad (29)$$

где степень гидратации цемента может быть рассчитана по формулам (29) или (30).

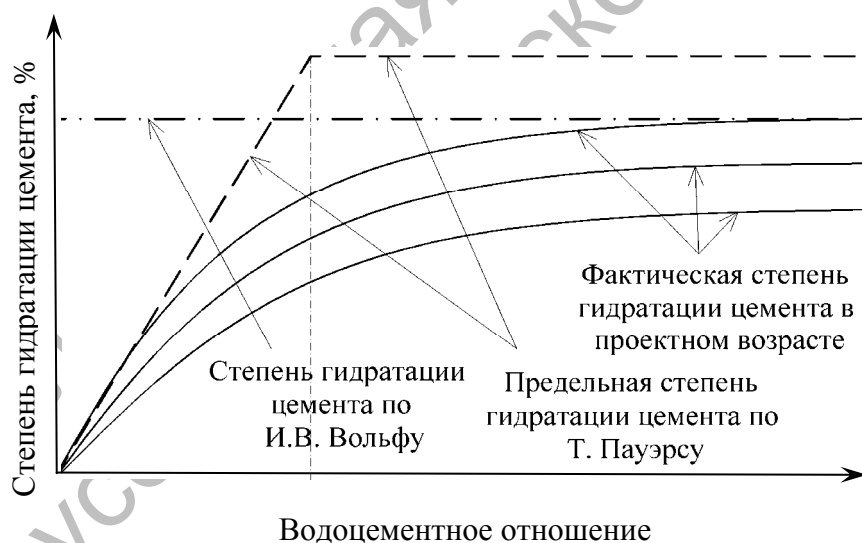


Рис. 3. Зависимость степени гидратации цемента от водоцементного отношения

Из графика на рис. 2 следует, что точность расчетов (величина коэффициента K принята постоянной и равной 1) по формуле (29), во-первых, существенно выше, чем по классической формуле И. В. Вольфа. И это естественно, поскольку общеизвестно, что количество химически связанной воды

определяется степенью гидратации цемента, а она, в свою очередь, зависит от множества факторов: минералогического состава цемента, вида и количества химических добавок, водоцементного отношения бетонной смеси, условий твердения и возраста бетона и пр.

Во-вторых, выбор коэффициента K в (25) не подкрепляется четкими рекомендациями и произвольно принимается в пределах от 0,8 до 1,2, что предполагает весьма значительные отклонения рассчитываемых значений прочности бетона от фактических. В связи с этим вернемся к графикам на рис. 3 и обратим внимание на то, что в области водоцементных отношений около 0,4 имеет место явный перегиб кривых степени гидратации цемента. Это говорит о том, что соотношение химически связанной и химически не связанной воды не может однозначно описывать функцию прочности бетона на всем диапазоне водоцементных отношений. Поэтому попытаемся коэффициент K принимать в зависимости от В/Ц. Кроме того, введем в формулу (29) показавшую свою эффективность функцию прочности крупного заполнителя:

$$f_b = K_{В/Ц} \cdot f_u \cdot \frac{\varphi(f_{кр.з})}{\frac{B}{0,23 \cdot \alpha \cdot Ц} - 1}, \quad (30)$$

где при $\frac{B}{Ц} < 0,4$

$$K_{В/Ц} = \frac{0,75}{\frac{B}{Ц}}, \quad (31)$$

а при $\frac{B}{Ц} \geq 0,4$

$$K_{В/Ц} = 1,6 - 0,5 \cdot \left(\frac{B}{Ц} - 0,4 \right). \quad (32)$$

Статистический анализ формулы (30), представленный на рис. 2, показывает, что она дает точность расчетов, практически не уступающую иным проанализированным формулам. Однако эта формула имеет и достаточно убедительные положительные стороны – она сравнительно проста и, что весьма важно, в принципе может быть использована для расчета кинетики изменения прочности

бетона в процессе твердения при различных температурах.

Вывод

Модифицированная формула И. В. Вольфа обеспечивает достаточную точность расчета прочности бетона в проектном возрасте в широком диапазоне водоцементных отношений и может быть положена в основу универсальной методики проектирования составов бетона, твердеющего как при нормальных температурах, так и повышенных и отрицательных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Френкель, И. М. О расчетах прочности бетона по формулам / И. М. Френкель // Бетон и железобетон. – 1974. – № 9. – С. 8–9.
2. Скрамтаев, Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов / Б. Г. Скрамтаев, П. Ф. Шубенкин, Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1966. – 160 с.
3. Довжик, В. Г. О зависимости прочности бетона от В/Ц / В. Г. Довжик // Бетон и железобетон. – 1974. – № 9. – С. 9–10.
4. Кайсер, Л. А. Цементы и их рациональное использование при производстве сборных железобетонных изделий / Л. А. Кайсер, Р. С. Чехова. – М.: Стройиздат, 1972. – 83 с.
5. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1975. – 272 с.
6. Шалимо, М. А. Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий: учеб. пособие / М. А. Шалимо. – Минск: Выш. шк., 1987. – 196 с.
7. Гершберг, О. А. Уточнение формулы прочности тяжелого бетона на основе физической интерпретации закона водоцементного отношения / О. А. Гершберг, Л. И. Левин // Бетон и железобетон. – 1974. – № 9. – С. 5–7.
8. Шмигальский, В. Н. Оптимизация составов цементобетонов / В. Н. Шмигальский. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 124 с.
9. Обоснование зависимости прочности бетона от активности и расхода цемента / В. И. Соломатов [и др.] // Бетон и железобетон. – 1999. – № 2. – С. 6–8.
10. Несветаев, Г. В. Эффективное применение суперпластификатора «Полипласт СП-1», / Г. В. Несветаев // Технологии бетонов. – 2006. – № 1(6). – Ч. 1. – С. 10–80.

11. **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
12. **Рыскин, М. Н.** Структурно-механические свойства и технология высокопрочного бетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 2002. – 16 с.
13. **Сизов, В. П.** Проектирование составов тяжелого бетона / В. П. Сизов. – М. : Стройиздат, 1979. – 144 с.
14. **Бабицкий, В. В.** Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Минск, 2006. – 46 с.
15. **Пауэрс, Т.** Физическая структура портландцементного теста / Т. Пауэрс // Химия цементов : сб. тр. – М., 1969. – С. 300–319.
16. **Шейкин, А. Е.** Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А. Е. Шейкин. – М. : Стройиздат, 1974. – 192 с.
17. **Запорожец, И. Д.** Тепловыделение бетона / И. Д. Запорожец, С. Д. Огороков, А. А. Парийский. – Л. : Стройиздат, 1966. – 316 с.
18. Методика определения характеристик структуры и пределов прочности бетона на основе измерения контракционного объема / ВНИИФТРИ. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 34 с.
19. **Волженский, А. В.** Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский. – М. : Стройиздат, 1973. – 479 с.
20. **Бабков, В. В.** Закономерности связи структуры и прочности бетона / В. В. Бабков // Тепломассоперенос в процессах структурообразования и гидратации вяжущих веществ : сб. науч. тр. Ин-та тепло- и массопереноса им. А. В. Лыкова АН БССР. – Минск, 1981. – С. 38–51.
21. **Ахвердов, И. Н.** К унификации методики определения активности портландцементов по ГОСТ 310-60 / И. Н. Ахвердов, В. А. Богдан // Бетон и железобетон. – 1973. – № 12. – С. 32–33.
22. **Бабицкий, В. В.** Прогнозирование степени гидратации цемента / В. В. Бабицкий // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь : сб. тр. VII междунар. науч.-метод. семинара. – Брест, 2001. – С. 211–215.
23. Исследование прочности бетона и подвижности бетонных смесей с целью повышения качества и обеспечения заданных свойств. Методы расчета составов бетона и подвижности бетонных смесей : отчет о НИР (заключ.) / Донецкий Промстройинипроект ; отв. рук. И. В. Вольф. – Донецк, 1980. – 306 с.
24. Исследование структурных характеристик бетона с целью разработки методики подбора составов бетона с заданной водонепроницаемостью и прочностью : отчет о НИР (заключ.) / Кишиневский политехнический ин-т ; отв. рук. А. В. Акимов ; исполн. : А. Г. Рубличан. – Кишинев, 1978. – 60 с.
25. **СНиП 5.01.23-83.** Типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных, железобетонных изделий и конструкций. – М. : Стройиздат, 1985. – 44 с.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 17.11.2008

N. V. Sukhadoeva, V. V. Babitski
The analysis of formulas for calculation
of compressive concrete strength

The article presents given in the technical and scientific literature formulae for calculation of compressive concrete strength. The comparative analysis of their accuracy is given in the paper.