

вами типа «Унигрунт», разведенным в воде (1:2), что упрочнит основание и свяжет пыль (если его не разводить, то раствор будет плохо прилипать к стене). Как более эффективный вариант – обработка поверхности стен следующим составом:

1. Клеевая смесь (типа «Атлас») – 1ч
2. Цемент М400 – 1ч
3. Грунтовка, разведенная в воде – (0,8..1,2)ч (типа «Унигрунт» 1:4, разведенный в воде)

Смесь наносится на поверхность валиком до получения равномерно нанесенного слоя смеси. Прочность полученного контактного слоя будет уже на следующий день достаточной, для выполнения штукатурных работ.

[5] - при штукатурке по металлическим поверхностям выполнять крепление металлической сетки не всегда эффективно. В качестве альтернативного варианта выступает штукатурка по стеклосетке, закрепленной при помощи клеевых составов (типа «Полимикс-КС) сцепляющихся с металлами. При этом вначале пока поверхность шпателем наносится клеевой состав, затем на поверхность прикладывается стекло сетка, а затем поверх закрепленной стеклосетки еще раз наносится клеевой состав. Через 2...3 дня, когда клеевая смесь наберет прочность, можно выполнить штукатурку по сетке. Можно штукатурку выполнять и без стеклосетки по клеевой смеси, схватившейся с металлом, но прочность такой штукатурки будет недостаточной для ее эксплуатации и поэтому не следует выполнять штукатурку по металлу без стеклосетки.

УДК 666.97–16.001.5

Рыскин М.Н.

### К ВОПРОСУ ПОДБОРА СОСТАВА ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА\*

Увеличение объемов применения высокопрочных бетонов (ВБ) в Республике Беларусь и странах ближнего зарубежья, связанное, в первую очередь, с широким внедрением новых каркасных конструктивных систем жилых и общественных зданий, требует разработки методики проектирования композиций бетона с классами по прочности на сжатие В45–В100. Следует отметить, что применение компьютерной техники при подборе состава бетона позволит увеличить число принимаемых в расчет факторов, и тем самым повысит сходимость заданных и фактических значений технологических и физико-технических свойств бетонных смесей и бетонов.

В основе существующих методик проектирования состава бетона лежат эмпирические формулы прочности (здесь и далее имеется в виду прочность бетона на сжатие ( $R_6$ )), базирующиеся на обобщении опытных данных о влиянии на  $R_6$  количественного соотношения и свойств исходных материалов: вяжущего, заполнителя, воды, химических добавок. Традиционно критериями, применяемыми в подобных закономерностях, являются показатели В/Ц (Ц/В) и  $R_u$ , т.е. используются формулы вида  $R_6=f(B/C; R_u)$  и их производные, в которых может учитываться ряд дополнительных параметров, например, характеристики цемента и заполнителей, объемное содержание цементного теста в бетоне и др. Ниже приведен ряд уравнений прочности бетона на сжатие, предлагавшихся в разное время:

Работа выполнена под руководством проф. д.т.н. Блещика Н.Пед в Ямбургском

$$R_b = \frac{C \alpha R_u \sqrt{1 - \eta_x}}{1 + a_0 K_{H.2}} \left( \frac{B}{\zeta} \right)_{ocm}^{ocm} - a_0 K_{H.2} \quad (1)$$

$$R_b = K R_u (\zeta / B - b); \quad (2)$$

$$R_b = a (V/V_0)^n R_u (\zeta / B - b); \quad (3)$$

$$R_b = (K_1 R_u + R_0) (\varphi_u - \varphi_0); \quad (4)$$

$$R_b = (0,45 R_u + 20) K_{R1} K_{R.M} \Phi_R. \quad (5)$$

Соответственно формулы: (1) – И.Н. Ахвердова [1], (2) – М. Болomeя Б.Г.-Скрамтаева [2], (3) – В.И. Сорокера - В.Г. Довжика [3], (4) – О.А. Гершберга - Л.И. Левина [4], (5) – БелНИИС [5], в которых  $R_u$  – активность цемента;  $K_{H.2}$  – нормальная густота цементного теста;  $\eta_x$  – количество минеральной добавки в цементе;  $V/V_0$  – отношение объема цементного камня в бетоне к "стандартному" количеству ( $300 \text{ л/м}^3$ );  $\varphi_u$  – исходная объемная концентрация цемента в цементном тесте;  $\Phi_R$  – функция, учитывающая влияние на прочность бетона объемной концентрации цементного теста в бетоне и его водоцементного отношения без учета воды поглощенной заполнителем;  $a_0, b, C, \alpha, K, K_1, R_0, \varphi_0, K_{R1}, K_{R.M}$  – эмпирические коэффициенты.

Основным недостатком эмпирических зависимостей является отсутствие четкой взаимосвязи между структурой бетона и его прочностью. Такой подход делает невозможным получение универсальных закономерностей, с требуемой точностью оценивающих свойства бетона во всех диапазонах изменения качества и количества применяемых материалов. Это приводит к необходимости предварительного определения коэффициентов входящих в формулы (1)–(5) опытным путем, т.к. комплекс факторов, влияющих на  $R_b$ , не может быть в должной мере учтен в уравнениях прочности бетона при помощи констант [6]. Принципиально во всех подобных формулах прочность бетона оценивается упрощенно, исходя только из свойств цементного камня. Характеристики заполнителей учитываются, как правило, в неформализованном виде (например, заполнители могут считаться высококачественными, качественными или рядовыми с соответствующими коэффициентами [7] и т.п.). Между тем, при изменении вида и физико-механических свойств заполнителей прочность бетона может варьироваться в значительном интервале ( $\pm 50\%$ ). Это особенно актуально для высокопрочного бетона, в котором  $R_b$  может быть лимитирована прочностью песка или щебня, т.е. наступление предельного состояния при сжатии возможно как в матрице бетона (цементом камне), так и в заполнителе.

Наиболее точное прогнозирование прочностных и деформативных свойств ВБ возможно при применении структурного моделирования свойств материала, при котором учитывается геометрическая организация, свойства компонентов бетона и характер их взаимодействия. В ряде публикаций авторов [8–10] была представлена общая структурно-механической модель при сжатии композиционного материала типа "матрица – включение", на основе которой описывались прочность и деформативность при сжатии таких композитов как цементный камень ("микробетон") и бетон. Для этого в качестве входных параметров использовались механические свойства (прочность  $f$ , модуль деформаций  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и др.) и относительные объемы компонентов композита, при учете специфических особенностей строения, процессов деформирования и разрушения каждого материала.

На базе разработанной модели получены аналитические зависимости, устанавливающие взаимосвязь "напряжения-деформации" в тяжелом бетоне вплоть до момента разрушения материала. К примеру, расчетные формулы максимальных напряжений в бетоне (призмная прочность), которым соответствует пиковая дефор-

мация на диаграмме "σ-ε" в обоих возможных случаях разрушения бетона (по цементному камню или по заполнителю) имеют вид, соответственно:

$$f_{б(цк)} = f_{цк} \frac{1 + 2K_{\tau} \nu_{цк} C_{стр,цк}}{1 - 2\mu_{пр} \nu_{цк} C_{стр,цк}} \left( m_I + \frac{E_{II}}{E_I} m_{II} \right); \quad (6)$$

$$f_{б(з)} = f_3 \frac{K_3 - 2 \frac{f_{цк}}{f_3} K_{\tau} \nu_3 C_{стр,з}}{1 + 2\mu_{пр} \nu_3 C_{стр,з}} \left( m_I + \frac{E_{II}}{E_I} m_{II} \right); \quad (7)$$

где:  $f_{цк}$ ,  $\nu_{цк}$  и  $f_3$ ,  $\nu_3$  — прочность и коэффициент Пуассона цементного камня и заполнителя;

$C_{стр,цк}$ ,  $C_{стр,з}$  — структурные параметры, определяемые исходя из геометрии композита;

$E_I$ ,  $E_{II}$  и  $m_I$ ,  $m_{II}$  — модули деформаций и относительные объемы элементов модели;

$K_{\tau}$ ,  $\mu_{пр}$  — коэффициенты контактного взаимодействия (трения) цементного камня и заполнителя;

$K_3 \leq 1$  — коэффициент учитывающий снижение несущей способности бетона по заполнителю ввиду концентрации напряжений в зернах заполнителя.

При помощи полученных математических зависимостей возможны как оптимизация композиций бетона по требуемым механическим и технологическим свойствам, так и теоретический анализ влияния отдельных факторов на свойства материала в целом.

Тем не менее, для подбора и корректировки состава высокопрочного бетона (или при прогнозных технико-экономических расчетах) в производственных условиях целесообразно использовать разработанный в БелНИИС алгоритм, предусматривающий решение системы двух уравнений: прочности бетона и подвижности (жесткости) бетонной смеси. Закономерности  $R_b$ , выведенные на базе структурного моделирования, были использованы для получения упрощенного (более приемлемого для совместного решения с уравнением удобоукладываемости) эмпирического уравнения прочности ВБ, отражающего дифференцированное влияние основных характеристик состава бетона. К ним относятся: активность цемента, водоцементное отношение, наличие и свойства тонкодисперсных добавок, пустотность смеси заполнителей, относительное содержание цементного камня в бетоне, механическая прочность применяемых заполнителей.

Анализ значительного массива опытных данных позволил сделать вывод о том, что средняя прочность на сжатие бетона в случае его разрушения по цементному камню в 28-суточном возрасте может быть описана зависимостью вида:

$$R_{б(цк)} = k_{ТО} \cdot \varphi(R_{зп}) \cdot \varphi(R_{вяж}) \cdot \varphi(m_{цк}) \cdot \varphi([Ц/В]_{лр}), \text{ [МПа]} \quad (8)$$

где:  $k_{ТО}$  — коэффициент;

$\varphi(R_{вяж})$ ,  $\varphi(m_{цк})$ ,  $\varphi([Ц/В]_{лр})$ ,  $\varphi(R_{зп})$  — соответственно функции активности вяжущего, относительного содержания цементного камня, приведенного цементно-водного отношения и прочности крупного заполнителя.

Коэффициент  $k_{ТО}$  представляет собой отношение прочности бетона подвергнутого ТО или беспрогревному выдерживанию с использованием экзотермии цемента по сравнению с прочностью бетона того же состава, твердевшего в нормальных условиях:  $k_{ТО} = R_{б,ТО} / R_{б,н.у.}$  Из анализа литературных данных [11], а также собственных

исследований [12] следует, что, как правило, для высокопрочных бетонов при оптимальных режимах тепловой обработки или условиях беспрогревного выдерживания  $k_{ТО} \geq 1,0$ . Оптимальные режимы ТО (критерием оптимальности является  $R_6$  в возрасте 28 суток) при интенсификации процессов гидратации вяжущего в условиях пониженного водосодержания в системе и повышенных дозировках суперпластификатора (особенности ВБ), обеспечивают отсутствие температурной деструкции материала. Для высокопрочных бетонов рекомендуются "мягкие" режимы ТО с предварительной выдержкой 3..5 ч; скоростью подъема температуры не более 15..20 °С/час и температурой изотермического прогрева  $t_{из} = 50..60$  °С. Для каждого вида цемента и применяемых химических модификаторов необходимо определять требуемые режимы ТО и, соответственно  $k_{ТО}$  экспериментально. При необходимости, усреднено можно принимать, что при использовании цементов с содержанием  $C_3A < 10$  % и однокомпонентной добавки (суперпластификатора)  $k_{ТО} = 1,05$ ; для комплексной химической добавки (суперпластификатор+ускоритель), в т.ч. и С-3+ПВК,  $k_{ТО} = 1,075$ . В случае применения высокоалюминатного цемента с  $C_3A \geq 10$  %  $k_{ТО} = 1,0$ .

Прочность цементного камня в бетоне учитываются в зависимости (8) двумя функциями:  $\varphi([C/B]_{пр})$  и  $\varphi(R_{вяж})$ . Первая характеризует первоначальную структуру цементного теста (соотношение твердая фаза/поровое пространство), изменяющуюся затем по мере гидратации вяжущего, химическую активность которого оценивает вторая функция. Аргументом функции  $\varphi([C/B]_{пр})$  является приведенное цементно-водное отношение, представляющее собой отношение объема твердой фазы (вяжущего) цементного теста в бетоне к объему жидкой и газообразной фаз (вода, вовлеченный воздух, поры уплотнения):

$$[C/B]_{пр} = \frac{C/\rho_c + DN/\rho_{д.н.}}{(B - B_n)/\rho_e + V_{воз}} \quad (9)$$

где:  $C, DN$  — расходы цемента и дисперсного наполнителя, в кг на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси;

$\rho_c, \rho_{д.н.}, \rho_e$  — плотности цемента, дисперсного наполнителя и воды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$V_{воз}$  — количество вовлеченного воздуха в  $1\text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси,  $\text{м}^3$ .  $V_{воз}$  определяется экспериментально или в соответствии

с [5] как функция от удобоукладываемости смеси и предельной крупности заполнителя;

$B - B_n$  — вода в бетоне без учета воды поглощенной порами заполнителя,  $\text{кг}$ .

Функция приведенного цементно-водного отношения имеет область определения  $0,6 \leq [C/B]_{пр} \leq 1,5$  и рассчитывается по уравнению:

$$\varphi([C/B]_{пр}) = 0,475 \cdot \exp(1,26 \cdot [C/B]_{пр}) \quad (10)$$

Функция активности вяжущего записана в виде:

$$\varphi(R_{вяж}) = k_{д.н.}(0,45R_c + 20), [\text{МПа}] \quad (11)$$

где:  $R_c$  — активность цемента по ГОСТ 310.4-81;

$k_{д.н.}$  — коэффициент, учитывающий влияние на прочность бетона введения дисперсного наполнителя. Принимая во внимание большое число факторов от которых зависит  $k_{д.н.}$  (вид, дисперсность, водопотребность и т.д.

наполнителя; доля  $DN$  в вяжущем; время и условия твердения бетона, вид цемента и др.), целесообразно получать его значение опытным путем, определяя величину изменения (увеличения/уменьшения) прочно-

сти композиции с дисперсным наполнителем по отношению к контрольному составу (без  $DN$ ). Для шлака БМЗ функция  $k_{д.н.}$  от относительной

величины  $DN$  в вяжущем  $k_{д.н.} = 1,05 \cdot (DN/100)^{0,5}$ .

массовой доли наполнителя в вяжущем  $r_{д.н.}$  получена в виде:  $k_{д.н.БМЗ} = 1 - 7 \cdot r_{д.н.}^2$ . Обработка опытов в работах [13, 14] позволила получить аналогичную зависимость для микрокремнезема:  $k_{д.н.МК} = 1 + (0,45 \div 0,5) \cdot r_{д.н.}^{0,6}$ .

Функция относительного содержания цементного камня получена при анализе теоретической зависимости прочности бетона ( $R_b$ ) от содержания цементного камня при  $V_{воз} = 0$ . В пределах  $m_{ЦК} = 0,2 \div 0,4$  для низких В/Ц =  $0,25 \div 0,35$ ,  $\varphi(m_{ЦК})$  может выразиться линейной зависимостью:

$$\varphi(m_{ЦК}) = 1,4 - m_{ЦК}, \quad (12)$$

где:  $m_{ЦК}$  — относительное содержание цементного камня в бетоне:

$$m_{ЦК} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{Дн}{\rho_{д.н.}} + \frac{(B - B_n)}{\rho_{в}} + V_{воз}, \quad (13)$$

$\varphi(R_{зап})$  — функция, учитывающая влияние на прочность бетона механических характеристик горной породы крупного заполнителя. Представляет собой отношение прочности высокопрочного бетона на примененном щебне к прочности бетона на "базовом" гранитном щебне марки М1400. Может быть рассчитан либо по марке горной породы на сжатие  $R_{щ}$  (ГОСТ8269-87), либо по показателю дробимости  $Др$  (%), полученному по методике ВНИИЧеруд [15]:

$$\varphi(R_{зап}) = 1 + 1,6 \cdot 10^{-5} (R_{щ} - 140) (\varphi(R_{вяж}) \cdot \varphi([Ц/В]_{пр}) - 35), \quad (14)$$

$$\varphi(R_{зап}) = 1 + 4 \cdot 10^{-3} (1 - 0,125(Др - 5)) (\varphi(R_{вяж}) \cdot \varphi([Ц/В]_{пр}) - 35). \quad (15)$$

Из формул (14) и (15) следует, что, наряду с прочностью щебня, значение  $\varphi(R_{зап})$  определяется и прочностью цементного камня в бетоне, по мере увеличения которой, растет и влияние  $R_{щ}$  на  $R_b$ . При выводе функции были приняты во внимание экспериментальные данные [16, 17], согласно которым при прочности бетона меньшей 30-35 МПа, вне зависимости от прочности горной породы щебня, значение  $\varphi(R_{зап})$  близко к единице.

Уравнение прочности бетона при разрушении по заполнителю получено на основании выражения (7) и имеет вид:

$$R_{б(з)} = k_{стр} R_{зап} = \frac{\varphi(\delta_{ЦК}/r_{зап}) - 3,5 \cdot 10^{-2} \varphi(R_{зап})}{1 + 0,115 \cdot \varphi(R_{зап})} R_{зап}, \quad [МПа] \quad (16)$$

где:  $k_{стр} < 1,0$  — структурный коэффициент;

$R_{зап}$  — принимается равным наименьшей прочности используемых заполнителей. В случае применения кварцевых песков, как правило,  $R_{зап} = R_{щ}$ ;

$\varphi(\delta_{ЦК}/r_{зап})$  — функция, учитывающая влияние на прочность бетона отношения толщины обмазки цементным тестом (камнем) зерна заполнителя к его радиусу:

$$\varphi(\delta_{ЦК}/r_{зап}) = 0,05 \cdot \ln(\delta_{ц.к}/r_{зап} - 0,01) + 1,1 \quad (17)$$

Параметр  $\delta_{ЦК}/r_{зап}$  рассчитывается из следующего выражения [9]:

$$\frac{\delta_{ЦК}}{r_{зап}} = \sqrt[3]{\frac{1 - m_{п.зап}}{1 - m_{ЦК}} - 1} \approx \sqrt[3]{\frac{1 - m_{Т.2}}{(1 - m_{Т.2}) - m_{Т.1}} - 1} \quad (18)$$

где:  $m_{п.зап}$  — пустотность смеси заполнителей;  $m_{Т.1}$ ,  $m_{Т.2}$  — соответственно относительные объемы цементного теста, обусловленного раздвижкой зерен заполнителя и цементного теста;  $m_{Т.1}$  — относительный объем цементного теста, заполняющего пустоты в смеси заполнителей.

Анализ выражений (16)–(18) показывает, что наибольшее влияние на величину  $k_{стр}$  (формула (16)) оказывает величина  $m_{Т.1}$  — относительный объем цементного теста, идущего на раздвижку зерен заполнителя, т.е. фактически на образование



$\delta_{цк}$ . При значениях  $m_{T,1} \approx 0,05-0,06$  структурный коэффициент  $k_{стр}$  приближается к максимуму, равному  $0,83-0,77$ . Следовательно, для таких значений  $m_{T,1}$  необходимая средняя прочность бетона на сжатие в случае  $R_{щ} \geq (1,2-1,3)R_6$  будет обеспечиваться (ограничиваться) прочностью цементного камня, что соответствует известным рекомендациям по требуемой величине прочности горной породы щебня на сжатие [18].

Расчетная средняя прочность на сжатие бетона принимается равной наименьшему значению из  $R_{б(цк)}$  и  $R_{б(з)}$ .

Формулы (8)–(16) были применены для расчета средней прочности бетона на сжатие (кубы  $15 \times 15 \times 15$  см) в возрасте 28 суток ряда составов (более 100) из опытов автора или заимствованных в литературе. Прочность обчисленных композиций находилась в пределе от 60 до 140 МПа. Часть из них приведена в таблице, где также даны расчетные и фактические величины  $R_6$  и отклонения между ними. Мелким заполнителем служили кварцевые пески с модулем крупности от 1,7 до 3,1. В качестве крупного заполнителя использовались щебни из прочных магматических (гранит, базальт, диабаз, гранитогайс, габбро, габбро-диабаз, тешенит, гранодиорит), осадочных (известняк) горных пород. Их прочность на сжатие колебалась от 120 до 390 МПа. Расход цемента активностью от 49,0 до 80,0 МПа составлял  $400..700 \text{ кг/м}^3$ ; водоцементное отношение изменялось от 0,24 до 0,42. Удобоукладываемость бетонных смесей рассматриваемых составов находилась в диапазоне от сверхжестких бетонных смесей (жесткость по техническому вискозиметру 200с) до литых ( $OK > 20$  см). В ряде составов использовались пластификаторы (СДБ) или суперпластификаторы (С-3, 10-03).

Анализ таблицы, свидетельствует об удовлетворительной сходимости расчетных и фактических значений прочности бетона на сжатие. Диапазон относительных погрешности находились в диапазоне от  $-14,6$  до  $+13,3$  %, при среднеквадратичном отклонении равном  $7,1$  %. Полученные результаты позволяют рекомендовать алгоритм, изложенный в зависимостях (8)–(18) для предварительных инженерных расчетов или технико-экономических обоснований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения: Учеб. пособие. — Мн.: Выш. шк., 1991. — 188с.
2. Получение бетона заданных свойств. М.: Стройиздат, 1978. — 53 с. (Центр. правл. НТО стройиндустрии. Наука — строит. производству). Авт.: Ю.М. Баженов, Г.И. Горчаков, Л.А. Алимов, В.В. Воронин.
3. Сорокер В.И., Довжик В.Г. Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1964. — 307с.
4. Гершберг О.А., Левин Л.И. Уточнение формулы прочности тяжелого бетона на основе физической интеграции закона водоцементного отношения // Бетон и железобетон. — 1974. — №9. — С. 5-7.
5. Пособие 5.03.01-96 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и возведение конструкций подземных частей полносборных зданий с рациональным применением монолитного бетона / Минстройархитектуры РБ. — Минск, 1997. — 153 с.
6. Пунагин В.Н., Дзюбан А.В. и др. Анализ и совершенствование методов прогнозирования прочности бетона // Строительство и архитектура. Сер. Изв. Вузов. — 1990. — №11. — С. 53-58.
7. Руководство по подбору состава тяжелого бетона. НИИЖБ Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1979. — 103с.

**Таблица** Составы бетона, расчетные и фактические значения средней прочности бетона на сжатие

№*	R <sub>ц</sub> МПа	Щебень (горн. порода) R <sub>с.п.</sub> МПа	Ц кг/м <sup>3</sup>	Дн кг/м <sup>3</sup>	П кг/м <sup>3</sup>	Щ кг/м <sup>3</sup>	В кг	Воз л	R <sub>б</sub> <sup>расч</sup> МПа	R <sub>б</sub> <sup>оп</sup> МПа	Δ, %
1	62,1	Гранит/140	600	-	96	1500	168	30	113,4**	107,0	+6,0
2	62,1	Гранит/140	700	-	663	800	189	30	99,86	117,0	-14,6
3	50,2	Гранит/140	500	-	909	800	165	30	70,46	77,0	-8,5
4	50,2	Гранит/140	400	-	298	1500	132	30	72,33	69,0	+4,8
5	57,9	Гранит/160	520	-	525	1385	135	20	105,0	111,6	-5,9
6	57,9	Гранитогнейс/160	520	-	525	1385	135	20	111,0	124,0	-10,5
7	52,5	Гранодиорит/295	520	-	535	1400	125	20	133,7	138,7	-3,6
8	52,5	Габбродиабаз/345	520	-	530	1530	125	20	141,3	136,6	+3,5
9	48,0	Габбродиабаз/345	510	-	535	1520	133	20	112,4	111,0	+1,3
10	53,0	Гранодиорит/250	525	-	520	1390	131	20	123,9	124,0	-0,1
11	53,0	Гранодиорит/295	520	-	550	1400	130	20	119,2	135,0	-11,8
12	61,0	Гранит/140	500	-	500	1285	135	20	104,2**	106,0	-1,7
13	61,0	Базальт/390	500	-	560	1435	135	20	131,4	138,6	-5,2
14	61,0	Базальт/330	500	-	550	1410	135	20	126,0	111,2	+13,3
15	61,0	Габбро/350	500	-	575	1470	135	20	126,3	129,8	-2,7
16	61,0	Габбро/385	500	-	564	1450	135	20	131,2	131,8	-0,5
17	61,0	Диабаз/340	500	-	580	1480	135	20	124,1	120,0	+3,4
18	61,0	Диабаз/320	500	-	575	1470	135	20	122,0	124,8	-2,2
19	53,7	Гранит/140	556	-	329	1660	173	35	76,28	77,1	-1,1
20	57,0	Гранит/140	517	-	387	1351	155	20	75,68	80,1	-5,5
21	49,0	Гранит/140	685	-	514	1070	185	15	83,70	92,9	-9,9
22	53,7	Гранит/140	586	-	350	1660	157	35	99,30	96,1	+3,3
23	53,7	Базальт/300	526	-	314	1620	141	40	89,62	93,6	-4,3
23	49,0	Гранит/140	685	-	514	1070	185	15	83,70	92,9	-9,9
25	80,0	Гранит/140	422	-	422	1498	147	30	87,53	94,5	-7,4
26	52,5	Тешенит/175	450	-	461	1413	151	35	63,72	65,6	-2,9
27	52,5	Тешенит/175	500	-	406	1413	156	35	69,35	67,2	+3,2
28	52,5	Тешенит/175	550	-	342	1413	164	35	72,2	78,7	-8,3
29	52,5	Известняк/120	450	-	461	1413	151	35	62,44	65,1	-4,1
30	52,5	Известняк/120	500	-	406	1413	156	35	67,59	66,5	+1,6
31	52,5	Известняк/120	550	-	342	1413	164	35	70,12	71,0	-1,2
32	50,0	Гранит/140	600	-	625	1135	164	30	83,23	85,8	-3,0
33	50,0	Гранит/140	520	80	645	1170	167	30	93,0	97,1	-4,2
34	60,0	Гранит/120	600	-	620	1040	153	30	93,4	92,0	+1,6
35	60,0	Гранит/120	550	55	600	1060	154	30	88,14	87,5	+0,7
36	60,0	Гранит/120	500	100	600	1060	147	30	81,31	77,0	+5,6
37	60,0	Гранит/120	550	110	450	1150	168	30	75,36	73,0	+3,2
38	60,0	Гранит/120	550	110	450	1150	162	30	79,54	75,0	+6,1
39	60,0	Гранит/120	450	90	645	1075	132	30	82,70	79,4	+4,2

Примечания: \* — составы № 1-4 по данным Э.К.Клеблеева; №5-11 — Н.В.Свиридова; № 12-18 — Ш.Т.Бабаева; № 19-25 — НИИСК; № 26-31 — А.А.Секанделидзе; № 32-39 — БелНИИС.  
 \*\* — разрушение бетона по заполнителю.  
 \*\*\* — в опытах № 35-39 Дн — шлак БМЗ; в опыте № 33 — микрокремнезем.

8. Блещик Н.П., Рыскин М.Н. Структурное моделирование механических свойств высокопрочного бетона // Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. / Под ред. Блещика Н.П. - Мн., «Технопринт». - С.51-63.
9. Блещик Н.П., Рыскин М.Н. Высокопрочный бетон – основа дальнейшего развития универсальных систем каркасных зданий // Архитектура и строительство. – 2001. – №1 (143). – С. 36-39.
10. Блещик Н.П., Рыскин М.Н. К вопросу о моделировании структуры и прочности цементного камня // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений/ Сборник статей П Межвузовской Научно-технической Конференции. Под ред. Н.П. Блещика, В.В. Тура. Брест: БПИ, 1998, в 2-х частях. Ч. 1. С.36-43.
11. Бабаев Ш.Т., Комар А.А. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками. М.: Стройиздат, 1987. - 240 с.
12. Рыскин М.Н. Влияние технологических и структурных факторов на прочность высокопрочных бетонов // Современные архитектурно-конструктивные системы зданий и сооружений, новые строительные материалы и технологии: Сб. трудов. – Мн.: "Стринко", 2000. – С. 243–250.
13. Wee T.H., Chin M.S., Mansur M.A. Stress-Strain Relationship of High-Strength Concrete in Compression // Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 8, No 2, May, 1996, pp.70-76.
14. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М., 1998. – 748 с.
15. Рекомендации по технологии изготовления конструкций из тяжелого высокопрочного бетона марок 600-800 агрегатно-поточным методом. Киев, НИИСК, 1974. – 24 с.
16. Гордон С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М., Стройиздат, 1969. -151с.
17. Гладышев Б.М. Механическое взаимодействие элементов структуры и прочность бетонов. Харьков, ВШ, 1987. – 166 с.
18. Сытник Н.И. Теоретические предпосылки и основы технологии получения бетона высокой прочности // Высокопрочные бетоны. К., НИИСК, 1967. – С. 6-14.

УДК 69.003:658.012

Селькин Д.М.

### **ФОРМИРОВАНИЕ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ЛИЗИНГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ**

Среди многих факторов, влияющих на фактическую стоимость строительства, одним из наиболее существенных является совершенствование организации и управления строительного производства и, в частности, парка строительных машин.

В настоящее время номенклатура парка строительных машин включает огромное количество наименований, и машины одного и того же назначения представлены многими типами. Интенсивность воздействия фактора технического прогресса и существующие темпы морального и физического износа техники порождают разнородность парка строительных машин.