

## КЛАСС БЕТОНА В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Дорофеев В.С., Заволока М.В., Заволока Ю.В.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина*

Генеральным стратегическим направлением в развитии отечественной нормативной базы является ее гармонизация с нормативной базой Европейского Союза, упрощающая применение существующих и новых технологий и способствующая широкому доступу к товарам и услугам, а также устраняющая барьеры на пути торговли с Европой. На основе Директивы Совета Европы 89/106 ЕЭС в нашей стране разработан Технический регламент строительных изделий, зданий и сооружений, утвержденный Постановлением Кабинета министров Украины от 20 декабря 2006 г., № 1764, который формирует общие требования к безопасной и надежной эксплуатации строительных материалов, изделий, зданий и сооружений.

Для реализации положений Технического регламента и внедрения оценки соответствия были изданы нормы и стандарты, определяющие прогрессивные требования: к расчету и конструированию строительных конструкций, строительной продукции, методам контроля и испытаний продукции, к обеспечению безопасности окружающей среды, что в полной мере способствует безопасности и надежности зданий и сооружений [2]. Ввиду серьезных проблем с обеспечением долговечности впервые в Украине в нормативные документы (строительные нормы и стандарты) введены классы влияния окружающей среды на бетон и соответствующие им минимальные классы бетона по прочности на сжатие (таблица 1) [1, 6].

В таблице 1 приведены 5 сред эксплуатации, всего их 6. Шестая среда эксплуатации определяется агрессивным воздействием на бетон хлоридов, содержащихся в морской воде, либо воздействием воздуха с аэрозолями морской воды. Агрессивная среда по присутствию хлоридов оценивается по трем категориям: XS1 – побережье моря; XS2 – подводные конструкции в море; XS3 – зона переменного уровня воды (см. таблицу 4.1, подпункт 4.1.4, ДСТУ [1, 6]).

Техническим регламентом определены шесть основных требований, предъявляемых к строительным изделиям, зданиям и сооружениям, одним из таких основных требований является обеспечение механического сопротивления и устойчивости. Выполнение требований, установленных техническим регламентом, обеспечивается качеством как самих зданий и сооружений, так и строительных материалов и изделий. Следовательно, на первом месте – требование качества, обеспечивающее надежность и долговечность.

Классы условий эксплуатации конструкций в зависимости от характеристики окружающей среды и минимальные классы бетона по прочности на сжатие

Класс условий эксплуатации	Характеристика окружающей среды, влажностный режим	Примеры условий окружающей среды	Минимальный класс бетона
1	2	3	4
1. Агрессивные воздействия отсутствуют			
ХО	Отсутствие попеременного замораживания, оттаивания, химических воздействий, старения, тому подобное. Очень сухой воздушно-влажностный режим ( $RH \leq 30\%$ ).	Конструкции, которые находятся в середине помещений с сухим режимом, в соответствии с ДБН 1.2-2:2006 «Навантаження і впливи», СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии», ДСТУ БВ.2.6-145:2010 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования (ГОСТ 31384-2008 NEQ)».	C8/10
2. Коррозионные повреждения, вызванные карбонизацией бетона			
XC1	Сухой воздушно-влажностный режим ( $30\% < RH \leq 60\%$ ) или постоянная эксплуатация во влагонасыщенном состоянии.	Конструкции, которые находятся внутри помещений с нормальным режимом в соответствии с ДБН 1.2-2:2006 и СНиП 2.03.11-85; конструкции, которые постоянно находятся в грунте либо под водой.	C12/15

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
XC2	Водонасыщенное состояние при эпизодическом высушивании.	Конструкции, поверхность которых длительное время контактирует с водой.	C16/20
XC3	Умеренный воздушно-влажностный ( $60\% < RH \leq 75\%$ ), эксплуатация в условиях эпизодического	Конструкции, которые находятся внутри помещений с влажным режимом согласно ДБН 1.2-2:2006 и СНиП 2.03.11-85; конструкции,	C20/25

	влажнонасыщения.	которые испытывают атмосферные воздействия (дождя).	
XC4	Попеременное увлажнение и высушивание	Конструкции, поверхности которых конфликтуют с водой, но не отвечают классу XC2.	C25/30
3. Коррозионные повреждения, вызванные переменным замораживанием-оттаиванием			
XD1	Влажный, в условиях воздушно-влажностного состояния (RH > 75 %) при отсутствии эпизодичного водонасыщения.	Конструкции, поверхности которых контактируют с газоподобными средами с содержанием хлор-ионов.	C25/30
XD2	В водонасыщенном состоянии.	Железобетонные конструкции, которые контактируют с технической водой, содержащей хлор-ионы; бассейны для плавания.	C30/35
XD3	Попеременное увлажнение и высушивание.	Элементы мостовых конструкций; трубопроводы; плиты автостоянок и т.п.	C30/35
4. Коррозионные повреждения, вызванные попеременным замораживанием и оттаиванием			
XF1	Эпизодическое водонасыщение, действие отрицательных температур при отсутствии антифриза (насыщение водой).	Конструкции вертикальные, поверхности которых испытывают атмосферные воздействия.	C25/30
XF2	То же, при наличии антифризов (антиобледенителей).	Конструкции, вертикальные поверхности которых испытывают атмосферные	C20/25

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
		воздействия и попадание антифризов, содержащихся в воздухе.	
XF3	Водонасыщенное состояние, антифризы не применяют.	Конструкции, горизонтальные поверхности которых испытывают атмосферные воздействия.	C25/30
XF4	Водонасыщенное состояние, применяют антифризы	Конструкции, горизонтальные поверхности которых испытывают прямые воздействия антифризов; проезжие части мостов, дороги.	C25/30
5. Коррозионные повреждения, вызванные химическими и биологическими воздействиями			
XA1	Слабоагрессивная среда	По СНиП 2.03.11-85	C25/30
XA2	Среднеагрессивная среда		
XA3	Сильноагрессивная среда		C30/35

Главным показателем качества конструкционного бетона является его прочность. Контроль прочности бетона [3-15] имеет первостепенное значение для обеспечения необходимой несущей способности конструкций и соответствия ее фактической

прочности проектной. Прочность на сжатие также является важнейшим классификационным показателем, характеризующим технические свойства бетона. Известно, что изменчивость прочностных характеристик бетона имеет случайный характер и подчиняется вероятностно-статистическим законам. Американский институт бетона первым, еще в 1957 году, принял статистический метод оценки результатов испытаний бетона на сжатие [1], что привело к значительной экономии цемента. Затем этот метод принял Европейский комитет по бетону, он был включен в нормы по железобетонным конструкциям Англии и Австралии. Наша страна (в составе СССР) одной из первых в мире приняла статистические методы контроля прочности бетона еще в 1972 г. В действующем с 01.06.2011 г. в Украине ДБН В.2.6-98:2010 «Бетонные и железобетонные конструкции», в соответствии с Евростандартом EN 206-1 «Бетон – общие технические требования, производство и контроль качества», класс бетона обозначен буквой «С» (от английского слова concrete – бетон) [18].

Класс бетона по прочности – количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его характеристической прочности на осевое сжатие (МПа) эталонных образцов – бетонных кубов ( $f_{ck, cube}$ ) с ребром 150 мм либо бетонных цилиндров ( $f_{ck, cyl}$ ) диаметром 150 мм, высотой 300 мм, испытанных в соответствии со стандартом через 28 суток хранения при температуре  $(20 \pm 3)$  °С с учетом статистической изменчивости. Пример условного обозначения классов бетона, принятого в современных нормах [1, 6] Украины: С20/25 (перед чертой – значение характеристической прочности бетона на осевое сжатие (МПа), определенное на образцах-цилиндрах ( $f_{ck, cyl}$ ), под чертой характеристическая прочность бетона на осевое сжатие (МПа), определенная на образцах-кубах ( $f_{ck, cube}$ )).

Классы прочности в нормах [1] основываются на характеристической кубиковой прочности  $f_{ck, cube}$ .

В нормах [1]  $C_{max} = C50/60$ . Для накопления достаточной для нормирования базы данных физико-механических характеристик бетона классов С55/70 – С100/115, применение их в практике проектирования и строительства возможно.

Класс бетона по прочности на сжатие С – основная характеристика качества бетона, принимаемая при проектировании и контролируемая при строительстве: ее необходимо указывать в проектах во всех случаях. Но именно этот показатель качества бетона С все еще не совсем привычен и понятен для строителей, которые неформально используют понятие марки бетона М, существенно отличающееся от класса.

Как видно из определения, класс бетона по прочности на сжатие принимается с гарантированной обеспеченностью (доверительной вероятностью) 0,95. Это означает, что установленное классом качество обеспечивается не менее, чем в 95 случаях из 100. Например, класс бетона 25 показывает, что при определении предела прочности при сжатии бетона на любом, произвольно взятом участке выполненной конструкции будет получен результат 25 МПа и более, и только в 5 % случаев могут быть значения менее 25 МПа.

На протяжении многих лет основной контролируемой характеристикой бетона была марка бетона, которая соответствовала среднему сопротивлению сжатия стандартных контрольных образцов-кубов (средняя кубиковая прочность).

Под нормативным сопротивлением бетона подразумевалась проектная марка бетона, представляющая собой среднее значение и обладающая в силу этого доверительной вероятностью порядка 0,5. Следовательно, установленное маркой качество обеспечивается в 50 случаях из 100.

---

[1] В нормах США не вводится понятие класса, нормативного сопротивления бетона и коэффициентов надежности по материалу. Существует только расчетное сопротивление с обеспеченностью 0,99.

Определение средней кубиковой прочности – это простейший способ оценки прочности бетона в данной партии. Среднее значение сопротивления бетона сжатию (среднее арифметическое значение), установленное при испытании партии стандартных кубов вычисляют по формуле:

$$f_{cm} = (1/n)(f_{c1} + f_{c2} + \dots + f_{cn}) = (1/n) \quad (1)$$

где:  $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn}$  – результаты отдельных измерений;  $n$  – общее число измерений в партии.

При этом предполагалось, что при подборе состава бетона необходимо получить его прочность не ниже численного значения марки.

Известно, что прочность стандартных бетонных кубов, изготовленных из одной смеси, не является постоянной, а отклоняется в большую или меньшую сторону от ее средней величины. На эти отклонения влияют многие причины, в частности, качество цемента и заполнителей, точность дозирования составляющих, тщательность приготовления бетонной смеси. Кроме этого, отклонения могут быть обусловлены низким качеством форм, неточностью измерительных приборов или неправильностью методики измерений, ошибками работника, производящего измерения. Поэтому качество бетона нельзя достаточно полно и объективно оценить только по его средней прочности или марке, т.к. марка бетона не отражает изменчивость среднего значения прочности, т.е. пределов колебания (варьирования) этой величины. Это основной недостаток определения качества бетона по его марке.

Например [21], в двух партиях изделий была получена прочность бетона (МПа): в первой партии – 21,0; 22,4; 21,4; 21,6; 25,6; во второй партии – 19,0; 24,4; 20,1; 23,0; 25,5. В итоге, средняя прочность в обеих партиях бетона одинаковая – 22,4 МПа, но колебания прочности во второй партии значительно больше, чем в первой. Более полное и объективное представление о качестве бетона дает одновременный учет средней прочности бетона и его однородности. При этом, чем ближе частные результаты испытания образцов-кубов к среднему значению, тем выше однородность бетона по прочности. Изменчивость прочностных характеристик бетона имеет, в целом, случайный характер, т.е. прочность бетона является случайной (в математическом смысле) величиной. Случайной называется величина, которая принимает разные значения в результате повторных опытов. Изменчивость прочностных характеристик бетона подчиняется вероятностно-статистическим законам. Поэтому для оценки прочности бетона используют вероятностные методы расчета. Теория вероятностей оперирует характеристиками теоретического распределения случайных величин. Математическая статистика – наука об общих способах обработки результатов экспериментов. Основная задача математической статистики состоит в установлении распределения реальной случайной величины или ее числовых характеристик по наблюдаемым значениям этой величины.

Основным средством изучения случайных величин является их функция распределения. Существует много теоретических функций распределения случайных величин ( $t$  – распределение Стюдента, распределение Вейбулла, Гумбеля и др.). В нашем случае принимают удовлетворяющее условиям поставленной задачи нормальное распределение или распределение Гаусса 2 [2] (рис. 1). Нормальное (Гаусса) распределение рассматриваемое с помощью плотности нормального распределения вероятностей имеет вид [16]:

---

2[2] Форма кривой была установлена примерно в 1800 г. и с тех пор названа кривой Гаусса, по имени Карла Фридриха Гаусса. Чем уже кривая, тем выше уровень контроля качества.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, \quad (2)$$

где  $P(x)$  – плотность нормального распределения (это не функция самой вероятности, а ее первая производная, называемая плотностью вероятностей),  $m$  – математическое ожидание,  $\sigma$  – стандарт (среднеквадратическое отклонение),  $\sigma^2$  – дисперсия.

Кривая нормального распределения дает возможность определить и оценить точность измерений и точность их окончательного результата, а также ближе подойти к установлению точного значения измеряемой величины. Для закона нормального распределения характерен ряд положений, которые можно рассматривать как аксиомы, т.е. принимать без особого доказательства. Эти положения можно формулировать так:

- отклонения не могут иметь один и тот же знак, т.е. измеряемые значения бывают и больше и меньше среднего значения;
- абсолютные значения отклонений ограничены какими-либо пределами для большинства результатов измерений;

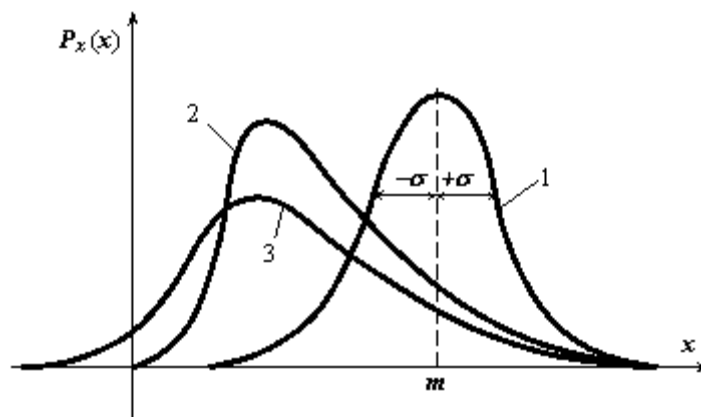


Рис. 1. Кривые распределения случайной величины  $x$ :

- (1) – нормальное (Гаусса) распределение;
- (2) – по закону Вейбулла; (3) – по закону Гумбеля.

- чем больше значение отклонения, тем реже оно встречается;
- если число измерений достаточно велико, то сумма положительных отклонений ориентировочно равна сумме отрицательных [16].

Если по оси абсцисс отложить ту или иную величину прочности бетона  $R$ , полученную из испытания большого количества образцов одного класса (с округлением), а на оси ординат  $n$  – частоту случаев появления того или иного значения прочности то образуется кривая, показывающая небольшое число образцов с очень низкой прочностью, большое число образцов со средними показателями и снова небольшое число с очень высокой прочностью. Эта кривая распределения прочности, характеризует изменчивость прочности бетона, имеет симметричный характер и соответствует кривой нормального распределения (рис. 2) и определяется формулой (2) (с введением обозначений принятых в ДБН В.2.6-98 и ДСТУ БВ 2.7-224)

$$n(f) = \frac{1}{S_m \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f_{ci} - f_{cm})^2}{2S_m^2}} \quad (3)$$

где  $f_{ci}$  – величина прочности бетона;  $f_{cm}$  – средняя величина прочности бетона.

По результатам испытаний образцов вычисляют среднее значение временного сопротивления бетона сжатию по формуле (1). Для среднего временного сопротивления

бетона, как уже отмечалось ранее, доверительная вероятность составляет 50%, что недопустимо. Поэтому вычисляют среднее квадратичное отклонение прочности бетона в партии  $S_m$ , МПа, характеризующее изменчивость прочности (стандарт), определяют при числе единичных значений прочности бетона в партии  $n$  больше шести.

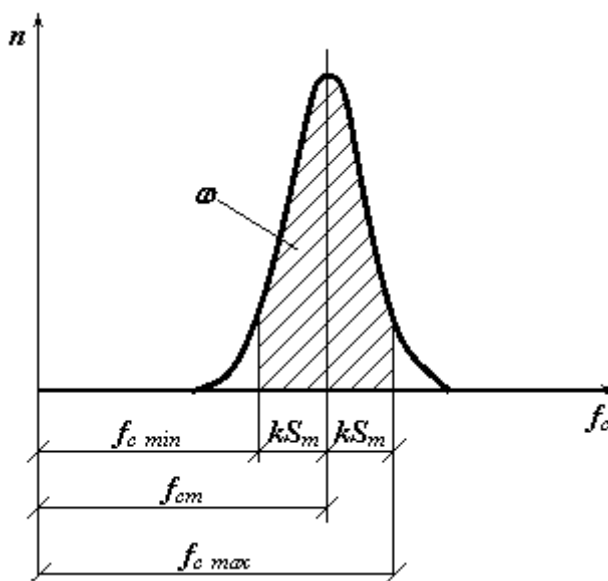


Рис. 2. Кривая нормального распределения

$$S_m = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}, \quad (4)$$

где  $f_{ci}$  – предел прочности отдельного образца, т.е. единичное значение прочности бетона, МПа;  $f_{cm}$  – средняя прочность бетона в партии, МПа, определяют по формуле (1);  $\sum (f_{ci} - f_{cm})^2$  – сумма квадратов отклонений всех измерений от среднего арифметического;  $n$  – число измерений.

Знак плюс или минус в формуле (4) показывает, что отклонение прочности бетона может быть как в одну, так и в другую сторону от среднего арифметического значения. Квадрат среднего квадратического отклонения

$$S_m = (f_{c \max} - f_{c \min})/d, \quad (6)$$

где  $d$  – коэффициент, зависящий от числа единичных значений ( $n$ ), т.е. числа измерений.

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5	2,70	2,85	2,97	3,08

Абсолютное значение среднего квадратического отклонения не позволяет сравнить степень изменчивости прочности бетона в нескольких партиях бетона. Например [21], испытали две партии бетона на сжатие, получили  $f_{cm1} = 45$  МПа,

$$(S_{m_1}/f_{cm_1}) \quad (S_{m_2}/f_{cm_2})$$

$$v_c = \frac{S_m}{f_{cm}} \cdot 100\%$$

$$f_{c \min}^{max} = f_{cm} \pm kS_m$$



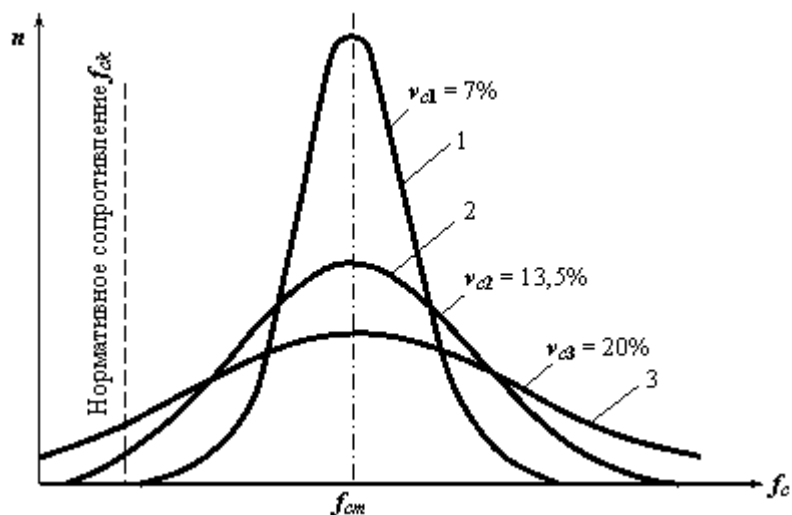


Рис. 3. Форма кривых распределения прочности бетона при одинаковой средней прочности и различных коэффициентах вариации прочности

Определив  $S_m$ , можно методами теории вероятностей найти значение прочности  $f_{ck}$ , которое будет обеспечено с заданной надежностью (вероятностью):

$$f_{ck} = f_{c \min} = f_{cm} - kS_m \text{ или } f_{ck} = f_{cm} (1 - kv) \quad (9)$$

Чем больше число  $k$  (рис. 4), тем большее число образцов бетона покажут прочность  $f_{cm} - kS_m$  и более и тем выше будет надежность. Если за минимальную прочность, вводимую в расчет, принять  $f_{ck} = f_{cm} - S_m$  (т.е. задаваясь  $k = 1$ ), то 84% всех образцов (в нашем случае – кубов) покажут такую же или большую прочность (надежность 0,84). Если принять  $k = 1,64$  то 95% образцов – кубов покажут прочность  $f_{ck} = f_{cm} - 1,64S_m$  и более, а при  $k = 3$  уже 99,7% образцов будут обладать прочностью не ниже  $f_{ck} = f_{cm} - 3S_m$ . Следовательно в последнем случае ( $k = 3$ ), если испытать 1000 образцов, то пониженная прочность против  $f_{ck} = f_{cm} - 3S_m$  будет наблюдаться только у трех образцов (с вероятностью  $3/1000$ ), т.е. только в 3-х случаях из тысячи прочность окажется ниже принятой. Такое событие считается практически невероятным, если оно проявляется реже трех раз на 1000 случаев. Поэтому,  $f_{cm} - 3S$  – представляет собой возможный предел снижения прочности. Такая величина задана с надежностью (вероятностью) 0,997.

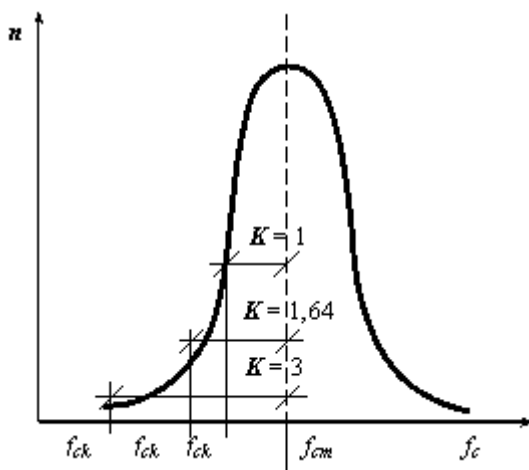


Рис. 4. Зависимость  $f_{ck}$  от числа  $k$

В 1975 г. в соответствии с ГОСТ 18105-72 был введен статистический контроль качества бетона. В основу этого метода были положены коэффициент вариации прочности бетона  $V^n$  (статистическая характеристика рассеивания), нормативное значение которого для тяжелых бетонов и бетонов на пористых заполнителях принято 0,135 (13,5%) и марка бетона. Подбор состава бетона производился по марке бетона. Нормативная прочность бетона с обеспеченностью 0,95 (95%) определялась по СНиП II-21-75 и определяется сейчас по СНиП 2.03.01-84\* и [1] по формуле

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64V^n), \quad (10)$$

где 1,64 (точнее 1,645) – величина соответствующая обеспеченности нормативной кубиковой прочности ( $f_{ck}$ ) 0,95 (95%).

Обеспеченность (0,95) является весьма высокой и дает большой запас прочности конструкции и отвечает рекомендациям ЕКБ и других международных документов.

При нормативном коэффициенте вариации прочности бетона  $V^n = 0,135$  и показателе надежности – числе  $k = 1,64$  на основании формулы (10) получим:

$$f_{ck} = 0,78f_{cm} \quad (11)$$

Из формулы (10), зная требуемое значение нормативного сопротивления  $f_{ck}$  и определив фактический коэффициент вариации  $V^f$ , можно найти соответствующее значение средней прочности бетона  $f_{cm}$ . Если фактическое значение коэффициента вариации на производстве будет соответствовать нормативному т.е. 0,135, то требуемая средняя прочность будет соответствовать проектной марке. При фактическом коэффициенте вариации  $V^f$  меньше нормативного  $V^n$ , среднюю прочность бетона можно принять ниже проектной марки, что позволит уменьшить расход цемента. Если фактический коэффициент вариации будет больше нормативного, то необходимо увеличить среднюю прочность против проектной марки, в этом случае потребуется дополнительный расход цемента. Иллюстрируем сказанное примерами определения средней прочности бетона по формуле (10) [17]:

При  $M = 300$  и  $V^n = 0,135$ ;  $f_{ck} = 300 (1 - 1,645 \cdot 0,135) = 0,78 \cdot 300 = 234$

1.  $V^f = 0,07$ ;  $f_{ck} = 234$ ;  $f_{cm} = f_{ck} / (1 - 1,645 \cdot 0,07) = 234 / 0,885 = 264$

2.  $V^f = 0,135$ ;  $M = 300$ ;  $f_{ck} = 234$  (эталон)

$f_{cm} = 234 / (1 - 1,645 \cdot 0,135) = 234 / 0,78 = 300$

3.  $V^f = 0,02$ ;  $M = 300$ ;  $f_{ck} = 234$ ;

$f_{cm} = 234 / (1 - 1,645 \cdot 0,135) = 234 / 0,671 = 350$

Вывод: при  $V^f < V^n$  на производстве будут экономить цемент, а при  $V^f > V^n$  – перерасходовать.

Для получения заданного нормативного характеристического сопротивления  $f_{ck}$  при различных коэффициентах вариации  $V$  необходимо изменять требования к средней величине прочности бетона  $f_{cm}$ .

Формула (11) установила значение  $f_{ck}$  при  $V^n = 0,135$ . Если  $V^f$  будет меньше  $V^n$ , например  $V^f = 0,07$  то для получения того же значения нормативного сопротивления  $f_{ck}$  (при  $V^n = 0,135$ ) средняя прочность

$$f_{cm_1} = \frac{f_{ck}}{1 - 1,64 \cdot 0,07} = \frac{0,78 f_{cm}}{1 - 1,64 \cdot 0,07} = 0,88 f_{cm}$$

При  $V^f = 0,2$  средняя прочность

$$f_{cm_2} = \frac{0,78 f_{cm}}{1 - 1,64 \cdot 0,2} = 1,16 f_{cm}.$$

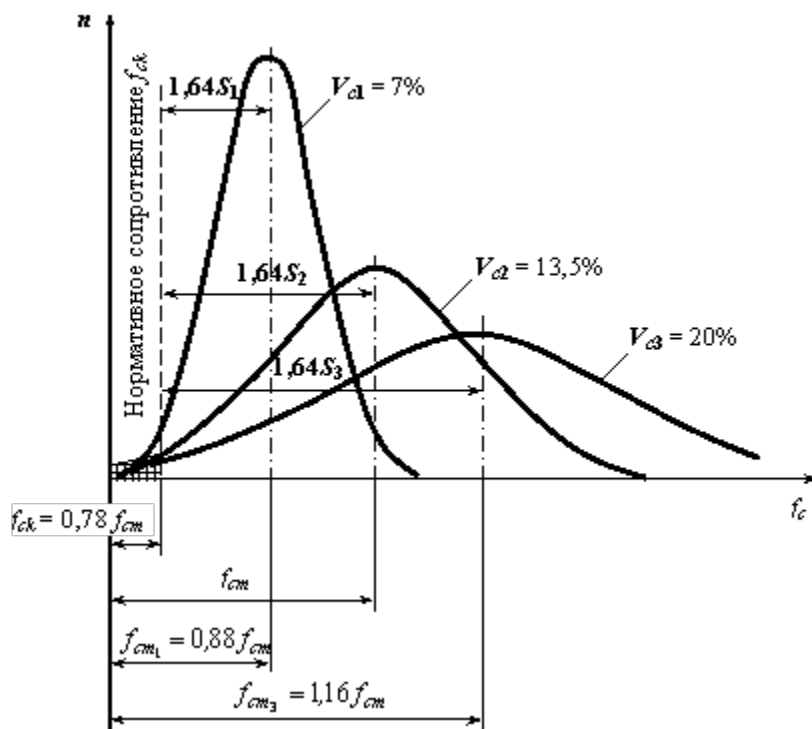


Рис. 5. Изменение средней прочности бетона  $f_{cm}$  при различных коэффициентах вариации  $V$  обеспечивающие получение заданного нормативного сопротивления  $f_{ck}$ .

$$f_{cm} = \frac{10C}{0,981(1 - 1,64V)} \quad (12)$$

где  $C$  – численное значение класса бетона в МПа; 0,981 – переходный коэффициент от МПа к кгс/см<sup>2</sup>;  $V$  – фактическое значение коэффициента вариации прочности бетона.

Следовательно, при  $V^f < V^n$  производители бетона будут экономить цемент, а при  $V^f > V^n$  перерасходовать. Несмотря на колебания коэффициентов вариации  $V$  и средней прочности бетона  $f_{cm}$  постоянная обеспеченность нормативных сопротивлений  $f_{ck}$  гарантируется, что подтверждается следующими расчетами по формуле (10):

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 328(1 - 1,645 \cdot 0,135) = 255 \\ f_{ck} &= 288(1 - 1,645 \cdot 0,07) = 255 \\ f_{ck} &= 380(1 - 1,645 \cdot 0,2) = 255. \end{aligned}$$

Сопоставление методов подбора состава бетона по маркам и по классам показало, что отличие в методах расчета состоит только в том, что по статистическому методу контроля за эталон принимается марка бетона при  $V^n$ , а при введении классов по  $f_{cm}$  при  $V^n = 0,135$ . Контроль качества бетона требует лабораторных методов испытаний. Однако не все строительные организации имеют свои испытательные лаборатории и вынуждены пользоваться услугами сторонних аккредитованных лабораторий. При этом, с целью экономии средств, обычно оговаривается минимальный объем контроля, необходимый для приемки и ввода в эксплуатацию здания. При монолитном домостроении имеются свои особенности, которые значительно усложняют контроль качества бетона, особенно при производстве работ в зимнее время НИИЖБ рекомендует использовать неразрушающие методы. Для получения объективной оценки прочности бетона в монолитной конструкции рекомендуется этот показатель контролировать испытанием бетонных образцов (кубов), изготовленных из бетонной смеси перед бетонированием

конструкций и оценкой прочности бетона непосредственно в конструкциях неразрушающими методами. Применение неразрушающих методов дает возможность сократить расходы на испытание конструкций.

### **Выводы**

1. На основании введенных в Украине новых нормативных документов (ДБН В.2.6-98:2009 и ДСТУ БВ 2.6-156:2010) в качестве основного метода расчета, в данном случае бетонных и железобетонных конструкций, принята деформационная модель. Этот метод основан на применении диаграмм деформирования, аппроксимирующих нелинейную работу бетона и арматуры, и некоторого закона распределения относительных деформаций по площади поперечных сечений элементов, также применяется гипотеза плоских сечений или ее модификация для средних деформаций. Расчет по деформационной модели требует итерационного поиска решения нелинейной системы уравнений, что затрудняет процесс вычислений. Расчет по деформационной модели производят по специальным программам на персональных компьютерах.

2. Для обеспечения долговечности зданий и сооружений впервые в Украине, с учетом опыта Евросоюза, введены классы условий эксплуатации конструкций в зависимости от характеристики окружающей среды и установлены для этих сред минимальные классы бетона по прочности на сжатие. При назначении класса бетона по прочности для отдельных классов по условиям окружающей среды может оказаться необходимым принимать более высокие классы бетона по прочности, чем это требуется из расчета прочности конструкции.

3. Необходимо перейти к проектированию и применению бетонов комплексных классов [20], которые должны учитывать, кроме условий эксплуатации также и заданную долговечность конструкции или сооружения, в составе которой будет использоваться проектируемый бетон.

4. Статистический метод контроля и оценки прочности бетона является наиболее совершенным и дает возможность эффективно повысить качество и надежность конструкций и назначить требуемую прочность бетона, исходя из его однородности, характеризуемой коэффициентом вариации, что дает возможность реально экономить цемент, сокращать время тепловой обработки и в целом повышает технико-экономическую эффективность производства.

5. Нормативная (характеристическая) кубиковая прочность  $f_{ck}$  (С) необходима для производственного контроля, но не применяется в расчетах при проектировании. Сопротивление бетона сжатию характеризуется в расчетах призмочной прочностью  $f_{ck, prism}$ .

6. Рекомендовать при производстве бетонных и растворных смесей исключить смешивание цементов разных заводов, поскольку они отличаются по химическому составу, срокам схватывания, удельной поверхности, темпам набора прочности.

7. Мероприятий, направленных на повышение однородности бетона много. Главное – необходимо применять качественные заполнители и цемент, правильно назначать состав бетона, обеспечивать весовую дозировку составляющих, тщательное перемешивание бетонной смеси, регулярно проводить метрологическую проверку лабораторного оборудования.

8. Проблему качества бетона следует решать комплексно, как административными, так и экономическими мерами. Необходимо создать такие условия для производителя, при которых реализовывать низкокачественный продукт будет невыгодно.

9. При гармонизации отечественной нормативной базы с европейской необходимо учитывать действующую длительное время и достаточно эффективную нормативную базу Украины. Прямое применение европейских нормативных документов может привести к несогласованности требований нормативных документов. Поэтому, на переходный период целесообразно установить плавное внедрение европейских требований с учетом их

постепенного вхождения по отдельным показателям и одновременного существования нормативных документов с европейскими и отечественными требованиями [19].

## SUMMARY

**Article is devoted to an important topic - the quality and durability of the construction of modern buildings and structures to meet the requirements of new regulations, harmonized with the relevant European documents. There was clarified the notion of concrete class "C" - the main indicator of the quality of structural concrete. The requirements for the durability of concrete and reinforced concrete structures, depending on the classes of their operating conditions were represented. The generalized conclusions and recommendations were given.**

## *Литература*

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування.
2. ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.
3. ДБН А.1.1-94-2010. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення.
4. ДСТУ БВ.2.7-43-96. Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови.
5. ДСТУ БВ.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.
6. ДСТУ БВ.2.7-179:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
7. ДСТУ БВ.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
8. ДСТУ БВ.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони правила контролю міцності.
9. ДСТУ БВ.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.
10. ДСТУ БВ.2.7-219:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Метод прискореного визначення міцності на стиск.
11. ДСТУ БВ.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності.
12. ДСТУ БВ.2.7-223:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій.
13. ДСТУ БВ.2.7-221:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Класифікація і загальні технічні вимоги.
14. БВ.2.7-217:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.
15. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам. – М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 216 с.
16. Джонсон Н., Лион Ф. Статика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. – М.: Издательство «Мир», 1980. – 510 с.
17. Дорофеев В.С., Заволока М.В., Заволока Ю.В. Мониторинг качества бетона в многоэтажном монолитном домостроении // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 29. – Частина 2. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2008. – С. 111-127.

18. Маер Х.Г. Новый европейский стандарт на бетон EN 206-1:2000 / Труды 1-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону (9-14 сентября 2001 г., Москва). – С.78-90.

19. Барзилович Д.В., Тарасюк В.Г., Шейнич Л.А. Особенности развития строительной нормативной базы Украины / Строительные материалы. – 2010. - № 1. – С. 24-25.

20. Рапопорт Н.В., Рапопорт П.Б., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э. Особенности необходимости введения и идентификации комплексной марки или класса бетона / Строительные материалы. – 2010. - № 6. – С. 22-28.

21. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Издательство АСВ, 1999. – 240 с.

---