

шения. Если за исходное число принять допустимую удельную активность радона в 100 Бк/м<sup>3</sup>, то при условии полностью закрытых дверей и окон в помещениях кирпичного дома она увеличится в 8 раз приблизительно через 20 часов. Проветривание такого помещения в течение часа снизит содержание радона до значений, соответствующих его концентрации в наружном воздухе [1]. Необходимо учитывать, что на концентрацию радона в помещениях может зависеть от строительных материалов, применяемых при отделке. Так, достаточно хорошими "излучателями" радона являются гранит и мрамор, щебень и керамзит. Кроме того, в последнее время в отделочных работах стал применяться так называемый фосфогипс. На сегодняшний день известно, что фосфатные шлаки являются одними из наиболее сильных источников радона. Не смотря на свою дешевизну, строительные материалы из них являются источником дополнительного облучения человека.

В условиях техногенного повышения радиационного фона целесообразно проводить измерения концентрации радона во всех помещениях и принимать соответствующие меры по уменьшению его содержания. Это смогло бы существенно снизить дозовую нагрузку на человека со стороны естественных источников радиации. Желательно, чтобы каждый житель Республики Беларусь знал уровень радиационного фона в той местности, где он проживает. При проведении анкетирования студентов 1 курса экономического и 2 курса строительного факультетов с целью выявить, какой "багаж знаний" имеют студенты после школы в курсе "Радиационная безопасность", лишь 16,3 % "строителей", 14,3 % "экономистов" сообщили, что знают уровень гамма-фона в своем населенном пункте [4].

Радиозоологическое воспитание студентов должно быть связано с решением специальных задач в процессе обучения: усвоение системы радиозоологических знаний; формирование ценностных ориентаций; усвоение норм и правил радиационной гигиены; развитие умений и навыков в области радиационной безопасности; активизация деятельности по радиологическому мониторингу окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 175 с.
2. Асаенок И.С. Навоша А.И. Радиационная безопасность. – Мн.: Брестпринт, 2004. – 105 с.
3. НРБ – 2000. – Мн.: УП «ДИЭКОС», 2000. – 140 с.
4. Кушнер Т.Л., Янусик И.С., Хуснутдинова В.Я., Швец М.И. Предмет "Радиационная безопасность" в образовательном процессе // Материалы областной научно-методической конференции "Новые образовательные технологии в экологической подготовке студентов", Брест 3-4 июня 2004, — С.53.
5. Котловский О.А. Проблемы фарміравання радыяэкалагічнай культуры асобы // Народная асвета. – № 7 – 1998. – С. 44-48.

УДК 624.012.46

**ПРОТАСЕВИЧ А.А.**

*Научный руководитель: Тур В.В., д.т.н., профессор*

#### КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПО КРИТЕРИЯМ СООТВЕТСТВИЯ

В современных условиях производства предприятия стройиндустрии должны поставлять продукцию на строительный рынок, отвечающую обязательным требованиям технических нормативно-правовых актов и удовлетворяющую запросам потребителей. Производитель обязан давать гарантию и нести ответственность за несоответствие бетона заданным характеристикам его свойств. Кроме того, изготовитель, поставляя бетонную смесь, должен гарантировать качество затвердевшего бетона. Основной задачей заводов ЖБИ выступает защита отечественного рынка от недоброкачественной и небезопасной продукции. Предприятие, отпуская бетон с требуемым, согласно специфика-

кации, классом прочности, должно информировать потребителя, если декларированная прочность окажется несоответствующей. Выполнение оценки соответствия прочности по установленным критериям позволяет снизить риск того, что бетоны впоследствии не будут приняты потребителем, а также целенаправленно влиять на производственный процесс. В связи с этим весьма значимым является сопоставление подходов в определении критериев соответствия прочности бетона на сжатие, раскрытых в действующей нормативной документации: ГОСТ 18105 [1] и европейском стандарте EN 206 [2]. С этой целью рассмотрим концептуальные положения указанных стандартов, непосредственно касающиеся контроля прочности бетона по критериям соответствия.

#### 1. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ ПО ГОСТ 18105-86 [1]

В соответствии с требованиями ГОСТ 18105-86 [1] на предприятиях при изготовлении бетонной смеси и производстве сборных конструкций, а также на строительных площадках при бетонировании монолитных конструкций должны производиться статистический контроль и приемка бетона по прочности с учетом однородности.

При контроле по образцам для определения прочности бетона из произвольно выбранных замесов отбирают не менее двух проб бетонной смеси от каждой партии бетона и не менее одной пробы:

- в смену – на предприятии-изготовителе сборных конструкций;
- в 1 сут. – на предприятии-изготовителе бетонной смеси для монолитных конструкций;
- в 1 сут. – на строительной площадке для монолитных конструкций.

Допускается изготавливать серии контрольных образцов для определения прочности бетона сборных конструкций в проектном возрасте не из каждой пробы, но не менее чем из двух проб, отбираемых от одной партии в неделю при классе бетона по прочности С25/30 и ниже, и четырех проб, отбираемых от двух партий в неделю, при классе бетона по прочности С28/35 и выше.

В течение анализируемого периода для каждой партии бетона вычисляют среднее квадратическое отклонение  $S_m$  и коэффициент вариации  $V_m$  прочности.

**Анализируемый (базисный) период** – период времени, за который определяются статистические характеристики, служащие для назначения требуемой прочности на последующий контролируемый период.

Продолжительность анализируемого периода для определения характеристик однородности бетона устанавливают от одной недели до 2 мес. Число единичных значений прочности бетона в течение этого периода должно составлять не менее 30.

При контроле по образцам среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии  $S_m$ , МПа, при числе единичных значений прочности бетона в партии  $n$  больше шести вычисляют по формуле:

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

где  $f_{cm}$  – прочность бетона в партии, МПа.

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n}, \quad (2)$$

где  $f_{ci}$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

Коэффициент вариации прочности бетона в партии (партионный) в процентах вычисляют по формуле:

$$V_m = \frac{S_m}{f_{cm}} \cdot 100. \quad (3)$$

В начальный период до накопления необходимого для ведения статистического контроля числа результатов испытаний требуемую прочность бетона  $f_{тр}$ , определяют по формуле:

$$f_{тр} = 1,1 \cdot \frac{f_{сн}}{K_{сб}}, \quad (4)$$

где  $f_{сн}$ —нормируемое значение прочности бетона на сжатие для данного класса, МПа;  
 $K_{сб}$ —коэффициент, для тяжёлого бетона, равный 0,78.

Продолжительность *контролируемого* периода, в течение которого может использоваться установленное значение требуемой прочности, следует принимать от одной недели до 1 мес.

Контролируемый период — период времени, в течение которого коэффициент вариации принимается постоянным, определённым за предшествующий анализируемый период.

В соответствии с ГОСТ 18105 [1] партия бетона подлежит приемке, если фактическая прочность бетона в партии будет не ниже требуемой прочности, т. е.

$$f_{сн} \geq f_{тр}. \quad (5)$$

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К КОНТРОЛЮ ПРОЧНОСТИ ПО КРИТЕРИЯМ СООТВЕТСТВИЯ СОГЛАСНО EN 206-1 [2]

В соответствии с концепцией EN 206 [2] производственный процесс разделяется на два этапа:

➤ Начальное производство—период времени от начала производства до накопления, по крайней мере, не менее 35 единичных значений прочности бетона, но не превышающей 12 месяцев.

➤ Постоянное производство—следующий за начальным периодом этап производственного процесса, после того, как, по крайней мере, 35 единичных значений прочности бетона получено за период времени, не превышающий 12 месяцев.

В EN 206 [2] введено новое понятие — "*семейство бетонов*", которое чрезвычайно важно с точки зрения осуществления подхода к оценке критериев соответствия прочности.

Семейство бетонов — группа бетонов, для составов которых установлены и задокументированы надежные (достоверные) зависимости между соответствующими характеристиками свойств.

В соответствии с правилами, изложенными в приложении к EN 206 [2], в семейства рекомендуется включать бетоны:

1) приготавливаемые с использованием цемента одного вида, класса по прочности, выпускаемых одним производителем;

2) приготовленные на заполнителях одного вида и геологического происхождения, подготовленных по одной технологии (например, дробление).

При включении бетонов нескольких классов по прочности в семейство и установлении надежных зависимостей между прочностью и расходом цемента фактические единичные результаты испытаний прочности бетонов различных классов могут быть *приведены* к некоторой *эквивалентной* прочности базового бетона. Тогда в статистической обработке через *транспонированные* единичные значения участвуют все представители семейства. В качестве *эталонного* бетона рекомендуется принимать наиболее часто производимый бетон.

Европейский стандарт EN 206 [2] предлагает минимальные нормы отбора проб для оценки соответствия прочности бетона, представленные в таблице 1.

Производственный день представляет собой день, в который произведено не менее 20 м<sup>3</sup> бетона, или день, в который кумулятивный (накопленный) объем составит 20 м<sup>3</sup>.

Производственная неделя — период, состоящий из 7 последовательных дней, включающих, по крайней мере, 5 производственных дней.

Таблица 1. Минимальные нормы отбора проб.

Производство	Минимальная норма отбора проб		
	Первые 50 м <sup>3</sup> производства	Следующие за первыми 50 м <sup>3</sup> продукции	
		Сертифицированное производство	Не сертифицированное производство
Начальное	3 пробы	1/200 м <sup>3</sup> или 2 в производственную неделю	1/150 м <sup>3</sup> или 1 в производственный день
Постоянное		1/400 м <sup>3</sup> или 1 в производственную неделю	

В EN 206 [2] оценка соответствия прочности бетона на сжатие выполняется отдельно на начальном этапе производства (до накопления статистики) и при постоянном производстве (см. табл.2).

Таблица 2 Критерии соответствия.

Производство	Число «n» результатов испытаний в группе	Критерий 1	Критерий 2
		Среднее из «n» результатов ( $f_{cm}$ ), Н/мм <sup>2</sup>	Каждый индивидуальный результат ( $f_{ci}$ ), Н/мм <sup>2</sup>
Начальное	3	$\geq f_{c,cube}^G + 4$	$\geq f_{c,cube}^G - 4$
Установившееся	15	$\geq f_{c,cube}^G + 1.48^* \sigma$	$\geq f_{c,cube}^G - 4$

Таким образом, для начальных условий производства установлены следующие критерии соответствия прочности бетона на сжатие:

- критерий 1 для группы «n»  $f_{cm3} > f_{c,cube}^G + 4$ ;
  - критерий 2 для индивидуального единичного результата  $f_{ci} \geq f_{c,cube}^G - 4$ ,
- где  $f_{ci}$  — единичный результат испытания прочности на сжатие, Н/мм<sup>2</sup>;
- $f_{c,cube}^G$  — прочность бетона на сжатие, соответствующая его классу, Н/мм<sup>2</sup>;
- $f_{cm3}$  — среднее значение прочности из 3 единичных результатов, Н/мм<sup>2</sup>.

Нормы EN 206 [2] устанавливают единственный период, являющийся как анализируемым, так и контролируемым — *оценочный*. В качестве расчетного *оценочного периода*, для которого выполняется оценка соответствия, принимают наименьший из:

- период, необходимый для получения 35 результатов;
- период однородного производства, характеризующийся постоянной величиной стандартного отклонения;
- период, не превышающий 12 месяцев.

Для проверки однородного (установившегося) производства выполняется контроль стандартного отклонения для последних 15 результатов:

$$0,63^* \sigma \leq S_{15} \leq 1,37^* \sigma,$$

где  $\sigma$  — стандартное отклонение для популяции, определяемое по формуле:

$$\sigma = 0,886 \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (f_{ci} - f_{a+i})}{n-1} \quad (6)$$

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (г. БРЕСТ)

С целью накопления 35 единичных значений для оценки соответствия прочности бетона на сжатие в лаборатории завода ЖБИ г. Бреста в течение марта и апреля месяцев 2005г. (переходного периода) определялась отпускная прочность испытанием до разрушения контрольных образцов-кубов размерами 100x100x100 мм. Отпускная прочность бетона классов С12/15, С16/20, С20/25 производимых на предприятии изделий (перемы-

чек, балок, ригелей, лотков, экранов перекрытия колец, колодцев телефонизации, плит пустотного настила) колеблется от 70% до 90%.

После обработки показаний испытательной машины, группировки фактических результатов с учетом объема произведенного бетона, что связано с формированием производственных дней, а также после перехода к 100%-ной прочности, которую бетон должен будет достичь в проектном возрасте, бетоны различных классов были объединены в семейство путем транспонирования (приведения) к эквивалентной прочности базового бетона с учетом данных о расходе цемента для каждого вида конструкций. В качестве эталонного принимаем класс бетона по прочности на сжатие C20/25 ( $f_{c,cube}=25$  МПа). Для оценки соответствия прочности бетона приведенные единичные результаты полученной выборки проверяем по критериям соответствия (см. табл.3).

Таблица 3. Контроль единичных результатов по критериям соответствия.

Бетон C20/25				
№	$f_{ci}$ , МПа	$f_{ci} \geq f_{c,cube} - 4 = 21$ МПа	$f_{cm3}$ , МПа	$f_{cm3} \geq f_{c,cube} + 4 = 24$ МПа
1	48.8	+	38.22	+
2	35.94	+		
3	29.92	+		
4	40.49	+	37.62	+
5	36.41	+		
6	35.96	+		
7	29.09	+	38.04	+
8	43.73	+		
9	41.31	+		
10	29.14	+	35.7	+
11	37.34	+		
12	40.62	+		
13	26.43	+	33.94	+
14	42.69	+		
15	32.69	+		
16	39.14	+	38.46	+
17	43.4	+		
18	32.85	+		
19	44.76	+	41.51	+
20	32.37	+		
21	47.41	+		
22	39.91	+	38.93	+
23	42.01	+		
24	34.86	+		
25	34.68	+	34.34	+
26	33.9	+		
27	34.44	+		
28	32.43	+	38.79	+
29	43.03	+		
30	40.9	+		
31	43.3	+	36.02	+
32	29.69	+		
33	35.06	+		
34	38.48	+	39.72	+
35	45.4	+		
36	35.21	+		

Из обработки представленной выборки в соответствии с ГОСТ 18105 [1] средняя прочность составит  $f_{cm35}=37,91$  МПа. Среднее квадратическое отклонение  $S_m=5,71$  МПа. Коэффициент вариации прочности  $V_m=15,1\%$ . Стандартное отклонение  $\sigma = 6,44$  МПа.

По EN 206 [2] критерий для среднего значения имеет вид  $f_{cm} \geq f_{c,cube} + 1.48 \cdot \sigma$ . При  $S_m=5,71$  МПа  $f_{cm} \geq 25 + 1.48 \cdot 5.71 = 33.45$  МПа; при  $\sigma = 6,44$  МПа  $f_{cm} \geq 25 + 1.48 \cdot 6.44 = 34.53$  МПа.

По критерию EN 206 [2] представленная выборка соответствует.

Выполняем контроль стандартного отклонения для последних 15 результатов:

$0,63 \cdot \sigma \leq S_{15} \leq 1,37 \cdot \sigma$ ;  $4,06 \text{ МПа} \leq S_{15} \leq 8,82 \text{ МПа}$ ;  $S_{15} = 7,96 \text{ МПа}$  и находится в пределах заданного интервала при  $f_{cm15} = 38,37 \text{ МПа}$ . Для дальнейшего производства на основании полученных статистических характеристик необходимо произвести корректировку состава бетонной смеси.

#### ВЫВОДЫ

1) Критерий оценки прочности бетона, принятый в ГОСТ 18105 [1], посредством сопоставления среднего значения фактических единичных результатов испытаний, полученных для произведённой партии бетона, с определённой требуемой прочностью, является недостаточным адекватным, чтобы гарантировать производителю соответствие выпускаемого бетона по прочности согласно его спецификации. Оценка прочности бетона только по среднему значению единичных результатов испытаний представляется неэффективной, так как не привлекает во внимание единичные значения прочности. Предложенная норма отбора проб не позволяет получить надёжную оценку среднего значения прочности бетона для всей произведённой партии, поскольку не зависит от количества произведённого бетона в партии и от периода времени, необходимого для ее выпуска. Нецелесообразным выглядит нормирование анализируемого (начального) периода только по времени. ГОСТ 18105 [1] является несовершенным в методах оценки соответствия прочности бетона и не позволяет производителю гарантировать поставку на рынок бетонов, отвечающих необходимым требованиям по прочности.

2) Согласно EN 206 [2] при оценке критериев соответствия прочности по семейству существенно сокращается число результатов испытаний, которые необходимо было бы получить по каждому из отдельных бетонов, включённых в семейство. Вместе с тем результаты оценки критериев соответствия распространяются на все бетоны семейства; таким образом, даже редко производимые бетоны, по которым трудно обеспечить накопление 35 единичных результатов, могут быть оценены по критериям соответствия. Представленная норма отбора проб устанавливает минимальную норму в зависимости от количества произведённого бетона. Такая норма позволяет получать наиболее объективные данные о прочности, так как она учитывает конкретный объём произведённого бетона, что обеспечивает получение репрезентативных результатов по отношению ко всей популяции. Критерий 2 является наиболее оптимальным для определения соответствия, т.к. позволяет включить в статистический контроль каждый единичный результат испытаний, что даёт возможность избежать влияния на оценку соответствия прочности бетона негативных факторов (автокорреляция результатов, неадекватность среднего значения). Кроме того, единичный критерий позволяет при выявлении несоответствия определить конкретный период, в течение которого был произведён объём бетона, показавший несоответствие. В EN 206 [2] впервые введено понятие оценки или проверки критериев соответствия. Такой подход оправдан, поскольку позволяет производителю не только гарантировать качество выпускаемого бетона, но и целенаправленно воздействовать на процесс производства, корректируя составы бетонной смеси в соответствии с назначенной вероятностью приемки. Таким образом, принятая EN 206 [2] модель оценки соответствия прочности бетона по двум оценочным критериям (для каждого единичного значения и среднего значения для группы результатов) является наиболее эффективной, так как позволяет производить сплошной контроль соответствия прочности производимого бетона, а при выявлении несоответствия чётко определить границу несоответствия и своевременно информировать потребителя бетона о его несоответствии.

3) По итогам оценки соответствия прочности бетона на сжатие на основе производственных результатов испытаний получен достаточно консервативный (безопасный) критерий, обеспечивающий, однако, весьма неэкономичный результат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 18105-86 «Бетоны. Правила контроля прочности»
2. EN 206-1 "Concrete—Part 1: Specification, performance, production and conformity".