

управлять городом и применять силовые воздействия строго целенаправленно и эффективно. Тем самым создается надежная и безопасная среда обитания.

Предлагаемая Доктрина в качестве индикаторов использует в обобщенном виде имеющиеся статистические данные, что делает количественную оценку более ясной и поддающейся управлению.

Примером преобразования патологий могут служить: технологии переработки бытовых и промышленных отходов, включая технологию сверхадиабатического горения для органических отходов, расширение производства шлакопортландцемента на основе шлаков и золы энергетических и металлургических комплексов, применение водоугольного топлива из отходов угольной промышленности и др.

Доктрина градостроительства и расселения (стратегического планирования – city planning) позволяет систематически решать в долгосрочной перспективе проблему преобразования городов, их инновационного развития и развития человеческого потенциала.

Доктрина подготавливает инновационное развитие городов в условиях стадии депрессии мировой экономической системы 2010-2018 г. на последующей новой стадии оживления шестого цикла Кондратьева.

Принцип симбиоза города и окружающей Природы (биосферной совместимости городов и поселений) является безальтернативным для выживания человека, а принцип удовлетворения потребностей человека в любом по размерам поселении является приоритетным для развития человечества как интеллектуального сообщества. Исполнение же городом прикладных функций – столицы, культурного или образовательного центра, военной базы, сельскохозяйственного

назначения и т.п. – должно выполняться после реализации двух указанных принципов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитические доклады и обзоры информационного характера, подготовленные Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Информационные выпуски «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды», 2002–2010 гг.
2. Алексашина, В.В. Развитие постиндустриальной цивилизации и эволюция биосферы // Academia. – 2011. – № 3. – С. 61–74.
3. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
4. Владимиров, В.В. Биосфера и город: монография «Градостроительство и экология». – М., 2000.
5. Каримов, А.М. Системный подход к разработке градостроительной документации и проблемы развития территорий в современных социально-экономических условиях // Градостроительство. – 2010. – № 2. – С. 18–22.
6. Колчунов, В.И. Основные направления развития конструктивных решений и обеспечение безопасности жилища // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 10. – С. 15-18.
7. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков // Academia. – 2009. – № 1. – С. 50–57.
8. Ильичев, В.А. К количественной оценке баланса биосферосовместимого и развивающего человека города / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Биосфера. – 2011. – № 4.

Материал поступил в редакцию 02.05.12

IL'ICHEV V.A., KARIMOV A.M., KOLCHUNOV V.I., ALEKSASHINA V.V., BAKAEVA N.V., KOBELEVA S.A. About the doctrine urban planning and resettlement-strategic planning of cities

The paper concerns a formulation of proposals for the development of the doctrine of urban planning and resettlement (strategic urban planning). The author gives an analysis of the current state of the environment and the necessity of a creative approach to urban development and person development at the time of contemporary environmental and social problems of the country and global challenges. The main strategic goal of the doctrine is urban development based on the concept of biosphere compatibility for towns and residential settlements, which can develop a person.

УДК 624.012

Тур В.В., Дереченник С.С.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В ПОДХОДАХ ЕВРОПЕЙСКИХ И АМЕРИКАНСКИХ СТАНДАРТОВ

Введение. В соответствии с EN 206(2000) качество производимого бетона, в отличие от ранее действующих нормативных документов, контролируется по критериям соответствия. В рамках применяемой концепции контрольные выборочные планы составляют таким образом, чтобы с использованием установленных процедур статистического моделирования (в частности, применения т.н. фильтрационных кривых или операционных характеристических кривых – англ. operating characteristic line) существовала возможность оценивания соответствия выделенных свойств произведенного бетона назначенным требованиям. Наиболее важным свойством бетона, подвергаемым контролю, является его прочность при сжатии. Поэтому большинство контрольных выборочных планов разрабатывается для этого свойства бетона. В соответствии с EN 1990 (2004) прочность бетона относится к базовым переменным, которые в рамках метода частных коэффициентов представлены ее характеристическими значениями (f_{ck}). Согласно EN 1990 (2004), характеристическая прочность бетона (f_{ck} , Н/мм²) представляет собой значение прочности бетона, установленное с учетом статистической изменчивости с обеспеченностью 0,95 для гипотетически бесконечной выборки (популяции) результатов испытаний. Как известно, прочность бетона, в отличие от классических представлений физических наук, не определяется некоторым детерминистическим значением, а может быть представлена как непрерывная случайная величина (веро-

ятность определения точного значения непрерывного распределения случайных величин равняется нулю). Таким образом, для проектных целей характеристическая прочность бетона, являющаяся некоторым допустимым нижним пределом прочности, принята как 5%-го квантиль теоретического распределения прочности для бетона рассматриваемого класса. Следует отметить, что в отличие от методов выборочного контроля применяемых, например, в машиностроении, электронике, прочность бетона, как контролируемая характеристика свойства, может быть определена только по результатам разрушающего контроля опытных (или контрольных) образцов. При этом, в случае оценки качества бетона, контролю может быть подвергнуто только ограниченное количество образцов, изготовленных из одной пробы бетона, взятого из одной партии произведенного бетона. Таким образом, в случае оценивания качества произведенного бетона изначально исключается возможность 100%-го контроля партии. При назначении планов выборочного контроля (англ. sampling inspection plan) принимают во внимание то обстоятельство, что изготовление и испытание контрольных образцов (кубов, цилиндров) является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Исходя из этого, размеры выборки, включающих опытные образцы, изготовленные из одной пробы, стараются ограничить, равно как и частоту отбора проб. Вместе с тем, при назначении критериев соответствия стараются максимально исключить, по возможности, неопределенности статистического оценивания, основанного на случайных выборках результатов испытаний из популяции.

Следует отметить и еще один достаточно серьезный недостаток оценивания выборок, составленных из результатов испытаний прочности бетона. В соответствии с действующими стандартами, контрольные образцы (кубы, цилиндры) испытывают в возрасте 28 суток. Полученные результаты испытаний могут быть использованы, главным образом, для подтверждения запланированной ожидаемой прочности.

В течение последних нескольких десятилетий наблюдается значительный прогресс в разработке статистических методов оценивания качества бетона по критериям соответствия, основанных на планах выборочного контроля качества бетона и соответствующих им операционных характеристиках (англ. operating characteristics) (R. Caspreele, L. Taerwe 2011; Blant H. 1976; Woliński S., Szypczak, 2006 и др).

Применяемая теория выборок дает возможность сделать заключение об ожидаемом качестве (соответствии) проверяемой партии по результатам испытания отдельной пробы (выборки), изготовленной из этой партии. Следует отметить, что такие выборочные оценки всегда содержат т.н. несовершенства или неопределенности.

В соответствии с (Blant H. 1976) можно выделить два вида планов выборочного контроля: контроль по качественным признакам и контроль по переменным. Спецификация испытаний для контроля по качественным признакам содержит, как правило, следующие данные:

- выборку размером n контрольных образцов;
 - допустимое количество дефектных элементов в выборке;
 - метод, посредством которого производится оценивание партии.
- Основные правила контроля по качественным признакам подробно описаны в работе (Blant H., 1976).

Контроль по переменным является более информативным, чем контроль по признакам. Спецификация испытаний в этом случае должна включать следующие действия:

- определение размеров критерия $z = \bar{X} - k \cdot \sigma$;
- выборка размером n из контролируемой партии;
- сравнение полученного размера критерия Z с требуемым значением β_N :

если $z \geq \beta_N$ – партия принимается;

если $z < \beta_N$ – партия бракуется.

Здесь \bar{X} – среднее значение оцениваемого свойства для пробы (выборки);

σ – стандартное отклонение для популяции;

k – коэффициент соответствия, получаемый из сопутствующей операционной характеристики в зависимости от допустимой доли (фракции) дефектов p (%), и размера выборки, n .

Как и в случае контроля по качественным признакам, в случае контроля по переменным возможно построить соответствующую операционную характеристику (OC-line), связывающую вероятность приемки P_a партии с выявленной долей дефектов (p , %) (см. рис. 1).

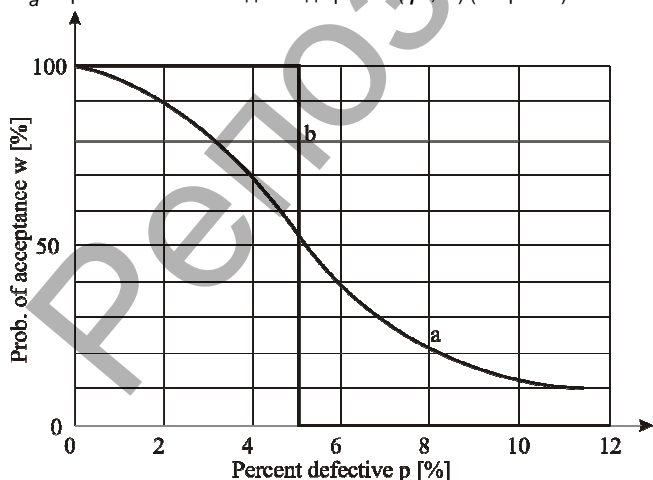


Рис. 1. Операционная характеристика для плана выборочного контроля $n = 50$, $c = 2$ (a) и идеальная операционная характеристика при $p \leq 5$ (b) (согласно Blant H., 1976)

1. Правила построения операционных характеристик подробно рассмотрены, например, в работе (Blant H., 1976)

Метод контроля по переменным положен в основу оценивания по критериям соответствия, принятым в EN 206–1 (2000).

Результаты испытаний контрольных образцов (кубов, цилиндров), применяемых при оценивании прочности бетона, обладают изменчивостью. В соответствии с ACI214R–02 (2002), в качестве основных источников изменчивости результатов испытаний принято рассматривать:

- вариации, обусловленные неопределенностями в процессе отбора проб бетона, при подготовке контрольных образцов (включая формование, уплотнение, выравнивание граней), их хранения и проведении испытаний и выражающиеся в т.н. внутрипартитовой изменчивости (англ. within-test variation). Здесь принимается во внимание, что единичный результат испытаний прочности связывают с отдельной партией произведенного бетона (замесом, миксером и т.д.);
- вариации, обусловленные, главным образом, отклонениями в технологическом процессе производства бетона (включая качества и характеристики свойств исходных материалов, применяемых для приготовления бетонной смеси, точность дозирования компонентов, качество перемешивания и т.д.), транспортировке и укладке бетонной смеси, хранении и т.д. и выражающиеся т.н. межпартитонной изменчивостью (англ. batch-to-batch variation). Как было показано выше, заключение о соответствии прочности бетона может быть сделано только на основании оценивания результатов испытаний репрезентативных выборок контрольных образцов.

Вариации в оцениваемых характеристиках свойств могут быть либо случайными, либо установленными (выявленными) измерениями в зависимости от источника их происхождения. Случайные вариации (изменчивости) свойственны любому стабильному процессу (стабильные процессы обладают только случайными вариациями). Вариации, установленные измерениями, оценивают по результатам систематических испытаний (измерений) и обычно выражаются смещениями некоторых базовых статистических характеристик. В табл. 1 представлены основные источники изменчивости прочности бетона согласно ACI 214R-02 (2002).

Внутрипартитовая изменчивость (англ. within-test variation), обусловленная, главным образом, процедурой испытаний (см. табл. 1), базируется на оценивании различий в прочности контрольных образцов-близнецов, из испытаний которых определяется результат испытаний. В соответствии с американским подходом, изложенным в ACI 214R-02 (2002), внутрипартитовое стандартное отклонение определяют из величины среднего размаха \bar{R} , рассчитанного из как минимум 10 последовательных результатов испытаний прочности, полученных для бетонной смеси одного класса, испытанных в одинаковом возрасте по формуле

$$s_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R}; \quad (1)$$

$$v_1 = \frac{s_1}{\bar{X}} 100, \quad (2)$$

где s_1 – внутрипартитовое стандартное отклонение пробы (выборки);

\bar{R} – среднее значение внутрипартитового размаха, определяемое как минимум из 10 последовательных испытаний отдельных партий;

d_2 – коэффициент для расчета внутрипартитового стандартного отклонения, принимаемый по табл. 2;

v_1 – внутрипартитовый коэффициент вариаций для пробы (выборки);

\bar{X} – среднее значение результатов испытаний прочности.

Например, если из каждой пробы бетона (из 10 отдельных проб) было изготовлено 2 образца и среднее значение размаха $\bar{R} = 1,75 \text{ Н/мм}^2$, оценочное значение внутрипартитового стандартного отклонения составит $s_1 = 1,75/1,128 \text{ Н/мм}^2$ (по табл. 2 $d_2 = 1,128$ при $n = 2$ в отдельной пробе).

Таблица 1. Основные источники изменчивости прочности бетона (согласно ACI214R-02)

| Вариации, обусловленные свойствами бетона | Вариации, обусловленные методами испытаний |
|---|--|
| 1. <u>Отклонение от проектного водоцементного отношения (w/c), вызванное</u> – неудовлетворительной точностью дозирования воды; – чрезмерными вариациями влажности заполнителей или погрешностями в измерении влажности заполнителей; – повторное добавление воды и перемешивание. | 1. <u>Несоответствующая процедура отбора проб.</u> 2. <u>Вариации, вызванные методами изготовления контрольных образцов, включая формирование, уплотнение, хранение свежизготовленных образцов (кубов, цилиндров), плохое качество, повреждения и поломка ферм.</u> 3. <u>Отклонения от стандартных условий хранения:</u> – вариации температуры; – вариации в контроле влажности; – несвоевременная доставка образцов в лабораторию и опоздание с началом стандартного хранения. |
| 2. <u>Вариации в водопотребности, вызванные</u> – вариациями в гранулометрии, форме заполнителя; – изменениями в количестве (объеме) вовлеченного воздуха (воздухосодержание); – временем поставки и температурными изменениями. | 4. <u>Неудовлетворительная процедура испытаний, включая:</u> – подготовку образцов; – процедуру испытаний; – не поверенное оборудование. |
| 3. <u>Вариации в характеристиках и свойствах, составляющих:</u> – заполнители; – цемент и добавки. | |
| 4. <u>Вариации в перемешивании, транспортировке, укладке и уплотнении бетонной смеси.</u> | |
| 5. <u>Вариации условий хранения, включая температуру бетона.</u> | |

Таблица 2. Коэффициенты для расчета внутритестового стандартного отклонения (согласно ACI 214R-02)

| Количество образцов в серии | d_2 |
|-----------------------------|-------|
| 2 | 1,128 |
| 3 | 1,693 |
| 4 | 2,059 |

Примечание: данная таблица соответствует Table 49, ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, MNL7

Следует отметить, что точные указания, приведенные в ASTM C 39, устанавливают значение внутритестового коэффициента вариаций для образцов, изготовленных в лабораторных условиях $v_1 = 2,37\%$, а в условиях строительной площадки $v_1 = 2,87\%$.

При этом следует иметь в виду, что по результатам сравнения прочностей для одной выборки образцов-близнецов, изготовленной из одной пробы бетона, выявить внутритестовую изменчивость не представляется возможным (даже при относительно большом размере выборки). Вариации прочности могут быть малыми при неудовлетворительно проведенных испытаниях даже для "плохого" бетона, если испытания выполнялись единообразно, в одинаковых условиях.

Межпартиционная изменчивость (англ. batch-to-batch variation) отражает вариации, наблюдаемые в результатах испытаний прочности для различных испытаний бетона (партия в данном случае – отдельный замес, миксер и т.д.), обусловленные изменчивостью в характеристиках свойств составляющих бетонной смеси, технологией приготовления бетонной смеси и процедурой отбора проб. Как показано в работе (Casperlee R., 2010), вариации, реализующиеся в процессе испытаний, могут незначительно влиять на общую изменчивость.

Межпартиционная изменчивость может быть оценена только в том случае, если каждый единичный результат испытаний принадлежит отдельной партии бетона (замес, миксер и т.п.). Общая изменчивость, выраженная σ (для популяции) или S (для пробы), включает две рассмотренные выше компоненты изменчивости:

- внутритестовую σ_1 (или S_1 , см. ф. (1));
- межпартиционную σ_2 (или S_2).

Дисперсия для отдельной пробы может быть определена согласно ACI 214R-02:

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2, \quad (3)$$

из которой стандартное отклонение для межпартиционной изменчивости:

$$s_2 = \sqrt{s^2 - s_1^2}. \quad (4)$$

Например, если общее стандартное отклонение S для пробы, определенное из статистического анализа многократно повторяющихся партий бетона одного класса по прочности, составляет $3,14 \text{ Н/мм}^2$ и рассчитанное по ф. (1) оценочное значение внутритестового стандартного отклонения составляет $S_1 = 1,99 \text{ Н/мм}^2$, тогда межпартиционное среднеквадратичное отклонение по ф. (4) составит $S_2 = 2,43 \text{ Н/мм}^2$.

В американской практике (ACI214R-02) значения общего и внутритестового стандартного отклонений используется для оценки уровней контроля качества (например, см. табл. 3). В европейской практике оценивание внутритестовой изменчивости не выполняется. Это объясняется принятыми подходами (Taerwe L., 2010; Taerwe L., 2011) при калибровке коэффициентов соответствия, используемых в критериях по EN 206-1 (2000).

2. Уровни контроля качества в соответствии с ACI214R-02

Одной из основных целей выполнения статистического оценивания результатов испытаний бетона является выявление источников или причин изменчивости. Эти данные могут быть в дальнейшем использованы для разработки плана мероприятий, направленных на поддержание требуемого уровня контроля качества при производстве бетона. Как известно, стандартное отклонение является достаточно адекватной статистической мерой, характеризующей рассеивание результатов испытаний прочности. Вместе с тем, данные современных исследований показывают, что стандартное отклонение остается близким к постоянному для ограниченного интервала прочностей бетона, тогда как коэффициент вариации является практически постоянным в широком диапазоне прочностей, включая высокопрочные бетоны (Cook, 1982; Cook, 1989).

При этом, как отмечено в работах (Neville, 1989), коэффициент вариации является более подходящей статистикой для оценивания внутритестовой изменчивости.

Таким образом, согласно ACI214R-02 (2002), для оценивания уровня контроля может быть использовано либо среднеквадратичное отклонение (S), либо коэффициент вариации (v), в зависимости от нормируемой прочности бетона (см. табл. 3). Значения параметров, приведенных в табл. 3, могут быть модифицированы по мере накопления опытных данных.

3. Критерии, применяемые при оценивании соответствия с использованием планов выборочного контроля

3.1. Подходы, принятые в европейской практике (EN206-1)

Как показано (Taerwe L., 2006), на практике при проведении выборочных испытаний доля дефектов θ (т.е. результатов испытаний,

Таблица 3. Уровни контроля качества (ACI214R-02)

| Общая изменчивость | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------|---------------|--------------------|----------------------|
| Класс операции | Стандартное отклонение для различных уровней контроля, МПа | | | | |
| | Отличное | Очень хорошее | Хорошее | Удовлетворительное | Неудовлетворительное |
| Испытания на производстве | ниже 2,8 | от 2,8 до 3,4 | от 3,4 до 4,1 | от 4,1 до 4,8 | свыше 4,8 |
| Испытания лабораторных партий | ниже 1,4 | от 1,4 до 1,7 | от 1,7 до 2,1 | от 2,1 до 2,4 | свыше 2,4 |
| Внутрипостовая изменчивость | | | | | |
| Класс операции | Коэффициент вариации для различных условий контроля, % | | | | |
| | Отличное | Очень хорошее | Хорошее | Удовлетворительное | Неудовлетворительное |
| Испытания на производстве | ниже 3,0 | от 3,0 до 4,0 | от 4,0 до 5,0 | от 5,0 до 6,0 | свыше 6,0 |
| Испытания лабораторных партий | ниже 2,0 | от 2,0 до 3,0 | от 3,0 до 4,0 | от 4,0 до 5,0 | свыше 5,0 |

которые будут меньше, чем характеристическая прочность f_{ck}) может оказаться как большей, так и меньшей установленного 5 %-го квантиля распределения плотности вероятности прочности для гипотетически бесконечной выборки (популяции) согласно EN 1990. Согласно (Таегве L., Caspreele, 2006), доля дефектов в общем случае может быть определена:

$$P[x \leq f_{ck}] = \theta, \quad (5)$$

где x – результат испытания прочности бетона на сжатие, рассматриваемый как случайная переменная.

Как было показано выше, в концепции EN206-1 (2000) контроль соответствия всегда базируется на результатах испытаний пробы ограниченных размеров (планы выборочного контроля по переменным), по которой делают заключение о соответствии всей популяции.

Согласно EN206 (2004), в общем случае критерии соответствия имеют следующий вид:

$$\bar{x}_n \geq f_{ck} + \lambda \cdot \sigma_i; \quad (6)$$

$$\bar{x}_n \geq f_{ck} + \lambda \cdot s_n, \quad (7)$$

где n – количество анализируемых результатов испытаний;

\bar{x}_n – среднее значение результатов испытаний прочности;

σ_i – известное стандартное отклонение для популяции;

s_n – стандартное отклонение, полученное из обработки результатов выборочных испытаний;

λ – параметр критерия соответствия.

Значение параметра λ для каждого критерия определяется согласно (Таегве, 1986; Govindaraju, 1990) с использованием процедуры AOQL (average outgoing quality limit) в сочетании с использованием симуляции Monte Carlo. Методические основы определения критериев λ детально рассмотрены в работах (Таегве, 1986; Govindaraju, 1990). Ниже в краткой форме рассмотрим наиболее упрощенные подходы к назначению параметров критериев соответствия с применением т.н. операционных характеристик (OC-кривых).

Принято, что прочность бетона (как основное свойство) подчиняется нормальному закону распределения со средним μ и стандартным отклонением σ . Тогда размер критерия $z_i = \bar{x}_i - \lambda \cdot \sigma$, определенный из достаточного числа результатов испытаний отдельных партий (не менее 35), также подчиняется нормальному распределению со средним $\xi = \mu - \lambda \cdot \sigma$ и стандартным отклонением $\sigma_2 = \sigma / \sqrt{n}$. На рис. 2 показана функция распределения плотности вероятности для свойства X , а ниже (на той же шкале абсцисс) – функция распределения критерия Z , который является большим, чем f_{ck} , и поэтому партия будет принята в W (%) случаях. Рассматривая различные доли дефектов, будут иметь место различные вероятности приемки партии.

Если теперь при разработке критериев для прочности вероятность приемки P_a , определенную таким образом, построить графически в зависимости от доли дефектов (брака θ), то в результате будет получена единая сплошная операционная характеристика (OC-line). На рис. 3 показан пример построения операционной характеристики для $\lambda = 1,65$ и $n = 10; 15; 30$.

Для оценки соответствия на основе $n = 15$ автокоррелированных результатов испытаний прочности статистическое исследование совместно с оптимизационной процедурой (AOQL), выполненное в работах Таегве (Таегве, 1985; Таегве, 2006), позволило получить значения $\lambda = 1,29$ для уравнения (6) и $\lambda = 1,48$ для уравнения (7).

В общем случае критерий соответствия вида $x_{\min} \geq f_{ck} - k_2$ (x_{\min} – наименьшее значение в пробе) используется в комбинации с критерием (6) или (7), что дает следующий обобщенный критерий:

$$\begin{cases} \bar{x}_n \geq f_{ck} + \lambda \cdot \sigma_i \\ x_{\min} \geq f_{ck} - k_2 \end{cases} \quad (8)$$

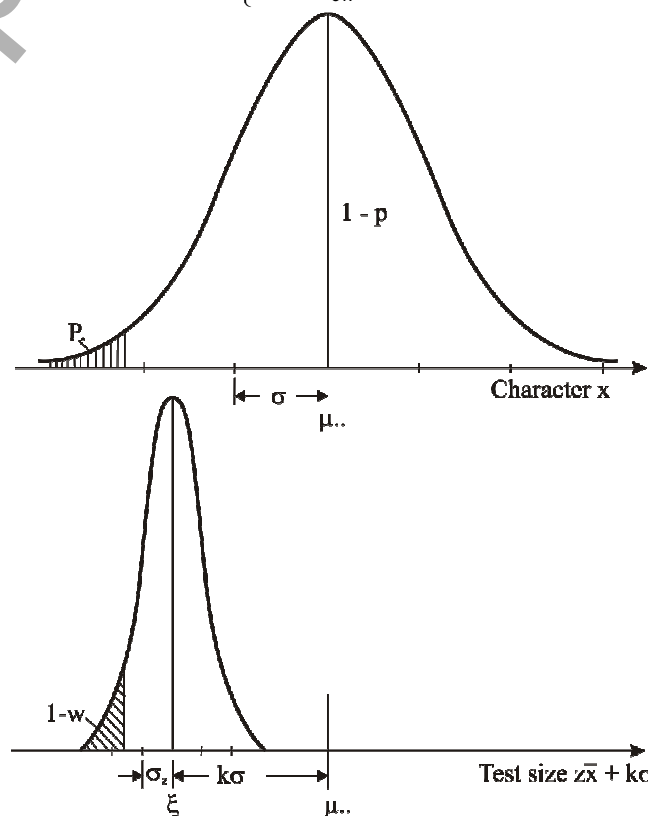


Рис. 2. Распределение свойства X (вверху) и размер критерия $\bar{z} = \bar{x} - k\sigma$ (внизу) (согласно Blant H., 1976)

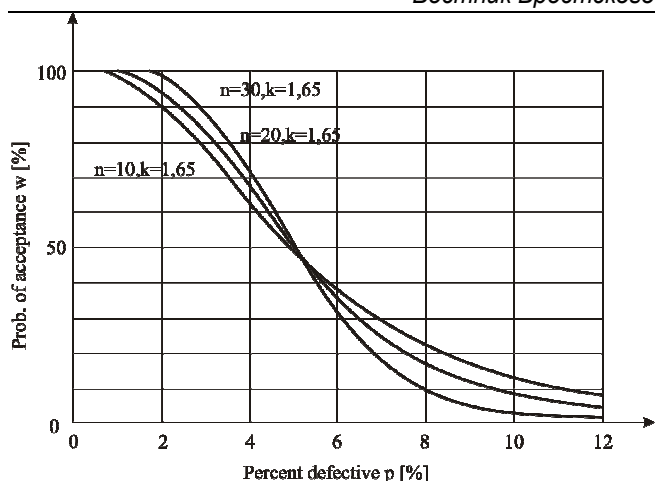


Рис. 3. Операционная характеристика для контроля по переменным (согласно Blant H., 1976)

Обобщенный критерий соответствия используется в EN206–1 (2000) в случае непрерывного производственного контроля с параметрами $n = 15$; $\lambda = 1,48$ и $K_2 = 4 \text{ Н/мм}^2$. Значение σ_i оценивается с использованием как минимум 35 последовательных результатов испытаний прочности, полученных за период времени, превышающий 3 месяца. Это значение может быть внесено в уравнение (8) при условии, что стандартное отклонение (как минимум 15 результатов (S_{15})) не отличается существенно от σ_i . Это соответствует условию $0,63\sigma_i \leq s_{15} \leq 1,37\sigma_i$.

3.2. Подходы, принятые в американской практике (ACI214R–02)

Как было показано ранее, результаты испытания прочности образцов (кубов, цилиндров) в общем случае являются лишь предварительным доказательством качества бетона, использованного для изготовления конструкции, хотя прочность бетона в образцах и конструкции не обязательно будет такой же.

В соответствии с американской практикой (ACI214R–02) инженер устанавливает (назначает) значение требуемой прочности бетона, порядок и частоту отбора проб, методику проведения испытаний, допустимые отклонения оцененной прочности от установленных значений прочности. Как было показано выше, очевидно нецелесообразно устанавливать некоторое абсолютное значение нормируемой минимальной прочности, т.к. даже при хорошем уровне контроля качества существует возможность случайных вариаций, при которых результаты испытаний прочности окажутся ниже назначенного критериального значения.

Результаты испытаний единичных образцов (цилиндров, кубов) могут не обеспечивать ясного представления об изменениях (вариациях) прочности бетона в отдельной партии (порции) бетона (либо отдельных элементах, участках конструкции).

Введение частных коэффициентов для бетона в рамках расчетной методологии предельных состояний (метод частных коэффициентов), согласно EN1990, позволяет для ограниченного отклонения от установленной нормируемой прочности исключить риски наступления предельного состояния и обеспечить требуемую безопасность конструкции.

Как было показано выше, всегда существует вероятность того, что в процессе контроля будут иметь место результаты испытаний, которые окажутся ниже f_{ck} . Нормы ACI318, как и большинство других стандартов, устанавливают допустимые значения отклонений для вносимых критериев соответствия прочности на сжатие. В концепции ACI318 для удовлетворения статистических критериев прочности требуемая средняя прочность бетона должна быть выше установленной нормируемой прочности на сжатие f'_c (или f_{ck} согласно европейским документам). Требуемая средняя прочность f'_{cr} , используемая при подборе (проектировании) составов бетон-

ной смеси, зависит от ожидаемой (прогнозируемой) изменчивости результатов испытаний (стандартное отклонение и/или коэффициент вариации) и допустимой доли результатов испытаний, которые могут быть ниже, чем установленный критерий.

3.2.1. Минимальное значение требуемой средней прочности

Для назначения требуемой средней прочности бетона f'_{cr} необходимо установить и оценить параметры изменчивости прочности бетона. По требованиям ACI318 выборка результатов испытаний прочности, используемая для оценки стандартного отклонения (σ) и коэффициента вариации (v) должна составлять группу, содержащую как минимум из 30 последовательных результатов испытаний (для сравнения EN206–1 требует для оценивания не менее 35 последовательных результатов). Допускается использовать выборки, содержащие не менее 15 последовательных результатов испытаний. Однако в этих случаях расчетное стандартное отклонение следует повышать как минимум на 15 % для учета неопределенностей оценки стандартного отклонения при ограниченном числе результатов. Если количество результатов испытаний находится в интервале от 15 до 30, расчетные значения стандартного отклонения следует дополнительно умножить на модифицирующий коэффициент, принимаемый по табл. 4, содержащейся в ACI318. Кроме того, в соответствии с ACI318 допускается использовать предварительную информацию (например, стандартное отклонение S), полученную на других подобных производствах.

Таблица 4. Коэффициенты модификации для стандартного отклонения согласно ACI318

| Количество результатов испытаний | Коэффициент модификации |
|----------------------------------|-------------------------|
| менее, чем 15 | см. табл. 5 |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| 30 и более | 1,00 |

Таблица 5. Требуемая минимальная средняя прочность (при отсутствии достаточного объема статистической информации согласно ACI318)

| | |
|--|--|
| $f'_{cr} = f'_c + 6,9 \text{ МПа}$ | когда $f'_c < 20,7 \text{ МПа}$ |
| $f'_{cr} = f'_c + 8,3 \text{ МПа}$ | когда $f'_c \geq 20,7 \text{ МПа}$ и $f'_c \leq 34,5 \text{ МПа}$ |
| $f'_{cr} = 1,1 \cdot f'_c + 4,8 \text{ МПа}$ | когда $f'_c > 34,5 \text{ МПа}$ |

3.2.2. Критерии соответствия прочности

В отличие от EN206–1 (2000) критерии соответствия прочности, согласно ACI214R–02 и ACI318, представляют требуемым минимальным значением прочности с использованием уравнений:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c}{1 - Z \cdot v} \quad (9)$$

или

$$f'_{cr} = f'_c + Z \cdot S, \quad (10)$$

где Z – коэффициент, принимаемый для обеспечения достаточно высокой вероятности достижения установленной нормируемой прочности. Следует отметить, что в американской практике в представленных критериях значение f'_c часто заменяют на $(f'_c - 3,5 \text{ МПа})$ или $0,9 f'_c$, в зависимости от прочности бетона.

В случае, если нормы допускают определение среднего значения из некоторого ограниченного количества последовательных испытаний (например, среднего из трех последовательных испытаний), рекомендуется применять уравнения:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c}{1 - z \cdot v / \sqrt{n}}; \quad (11)$$

$$f'_{cr} = f'_c + z \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

Число n обычно принимают равным 3.

В ACI318 приведены значения коэффициента z для различных квантилей нормального распределения (доля результатов, попадающих в интервал $\mu + z \cdot \sigma$ от до $\mu - z \cdot \sigma$). Соотношение между требуемой средней прочностью и нормируемой (характеристической) прочностью зависит от критерия соответствия, принятого для отдельного проекта.

Критерий 1. В соответствии с ACI214R-02 (2002) инженер может установить максимальную долю дефектов (отдельных результатов испытаний, которые могут находиться ниже нормируемой прочности). Типовое требование состоит в том, что не более 10 % результатов испытаний может показать прочность, меньшую, чем f'_c . При этом должно выполняться условие: $21 \text{ МПа} \leq f'_c \leq 35 \text{ МПа}$. В этом случае используется критерий вида (при $z = 1,28$ для $p = 10\%$):

$$f'_{cr} = f'_c + 1,28 \cdot s \quad (13)$$

или

$$f'_{cr} = \frac{f'_c}{1 - 1,28 \cdot v}. \quad (14)$$

Критерий 2. Инженер может устанавливать (назначать) вероятность того, что среднее из n последовательных испытаний прочности будет ниже нормируемой прочности. Например, один из критериев соответствия, согласно ACI318, требует выполнения условия, что среднее из трех последовательных результатов испытаний прочности должно быть не менее, чем f'_c . Требуемая средняя прочность должна быть назначена так, чтобы несоответствие прогнозировалось не чаще, чем 1 раз в 100 испытаниях (0,01). Несложно заметить, что такой подход можно отнести к оцениванию по признакам.

Критерий в данном случае имеет вид:

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

или

$$f'_{cr} = \frac{f'_c}{1 - 2,33 \cdot v / \sqrt{n}}. \quad (16)$$

Критерий 3. Инженер может назначить определенную вероятность того, что отдельный случайный результат испытаний будет не менее некоторого наперед заданного значения прочности, установленного с учетом отклонения ниже нормируемого значения. Например, для бетонов с $f'_c < 34,5 \text{ МПа}$ критерий имеет вид:

$$f'_{cr} = (f'_c - 3,5) + z \cdot s \quad (17)$$

или

$$f'_{cr} = \frac{f'_c - 3,5}{1 - z \cdot v}. \quad (18)$$

Кроме того, могут быть использованы обобщенные критерии (как это приведено в EN206-1 (2000)). В соответствии с ACI318M требуется, чтобы прочность бетона на сжатие соответствовала критериям, назначенным как для индивидуального результата испытаний (критерий 3) и скользящего среднего из трех последовательных результатов (критерий 2).

Несложно заметить, что как и в американских, так и в европейских подходах, не уделяется должного внимания оцениванию качества отдельной партии бетона. Разработанные критерии достаточно хорошо применимы для условий установившегося производства, но не позволяют адекватно оценить малые партии бетонов, производимых в условиях эпизодического производства.

Заключение. Представленный анализ американских и европейских подходов к оцениванию качества производимого бетона с использованием планов выборочного контроля позволяет сделать следующие выводы:

1. Критерии соответствия, разработанные на основе теории выборок и внесенные в EN206-1 (2000), позволяют осуществлять контроль качества бетона с использованием выборочных планов и сопутствующих операционных характеристик (фильтрационных кривых) и позволяют достаточно адекватно осуществлять контроль качества для установившегося (непрерывного производства).
2. В отличие от европейских подходов, американские нормы ACI214R-02 (2004) предлагают устанавливать и оценивать уровни контроля, опираясь на внутритестовую и общую изменчивость прочности бетона. Такие подходы могут быть весьма полезны при оценивании отдельных партий бетона. Критерии, используемые в американской практике, опираются на определение требуемой средней прочности, используемой при подборе составов бетона. При этом статистические параметры оцениваются по результатам предыдущих испытаний бетонов, относящихся к одному классу.
3. Нормативные документы (EN206-1 (2000) и ACI214R-02 (2004)) не содержат обоснованных критериев для оценивания ограниченных партий бетона, производимого эпизодически.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ACI214R-02 (2002) *Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. Reported by ACI Committee 214.
2. ACI318 (2008) *Design of concrete Structures*. American Standard.
3. Blanty H. (1973) *Sampling inspection plan and operating characteristics for concrete* (1977). Deutscher ausschuss für stahlbeton (233):1973.
4. Caspeele R. (2010) *Probabilistic Evaluation of Conformity Control and the Use of Bayesian Updating Techniques in the Framework of Safety Analysis of Concrete Structures*. PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium – 129 p.
5. Caspeele R., Taerwe L. (2011) *Variance reducing capacity of concrete conformity control in structural reliability analysis under parameter uncertainties*. W: Application of Statistics and Probability in Civil Engineering. – Faber, Kohler. – S. 2509–2516.
6. Cook J. (1982) *Research and Application of High Strength Concrete Using Class C Fly Ash*. W: Concrete International, v. 11, N 10, Oct. – P. 67–75.
7. EN206-1 (2000) *Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity*. European Standard, CEN.
8. EN 990 (2004). *Basis of Structural Design*. European Standard, CEN.
9. Neville A.M. (1975) *The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes*. Magazine of Concrete Research (London), v. 11, N 32, July. – P. 75–84.
10. Taerwe L. (2006) *Analysis and modeling of autocorrelation in concrete strength series*. W: Proske D., Mehdianpours M., Proceeding 4th International Probabilistic Symposium, 12–13 October 2006, Berlin, Germany. – P. 57–70.
11. Woliński S., Skrzypczak I. *Kryteria statystyczne zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie*. Materiały Budowlane. N 2, 2006 – S. 20–25.

Материал поступил в редакцию 06.06.12

TUR V.V., DERECHENNIK S.S. Assessment criteria for compliance concrete strength by European and American standards approaches

Article is presented a view of conceptual approaches to assessment of compliance concrete strength, what consist in European and American standards. Analysis was showed, that compliance criteria may be adopted for stable large-volume productions, but no recommendation, what are connected with low-volume productions.