

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА
(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)**

УДК 624.014

УДК 624.012

**ОЦЕНИВАНИЕ СООТВЕТСТВИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА
НА СЖАТИЕ ПО ТРЕБОВАНИЯМИ СТБ EN 206-1:2000
И ГОСТ 18105-2010 (EN 206-1:2000; NEQ)**

ТУР В.В.

Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

ELZBIETA SZCZYGIELSKA

Государственная высшая школа имени Папы Яна Павла 11, Бяла
Подляска, Польша

Введение

В основу современных норм проектирования конструкций из бетона положен полувероятностный метод частных коэффициентов (иногда не вполне корректно определяемый как метод предельных состояний), тесно связанный и вытекающий из концепции проверок предельных состояний (*англ.* Limit States Design). Основы метода предельных состояний достаточно подробно изложены в специальных публикациях, посвященной этой проблеме [3, 22, 23] и не являются предметом данной работы.

В соответствии с положением, содержащимся в п. 6.1(1) ТКП EN 1990, «... *при применении метода частных коэффициентов сле-*

дует подтвердить, что во всех, рассматриваемых расчетных ситуациях никакое из значимых предельных состояний не будет превышено, если в расчетных моделях приняты расчетные значения эффектов воздействий и сопротивлений конструкции».

Сформулированное выше проверочное условие метода частных коэффициентов, в общем случае, может быть представлено с помощью следующего детерминистического неравенства:

$$E_i(F_d; f_d; a_d; \vartheta_d) \leq R_i(F_d; f_d; a_d; \vartheta_d). \quad (1)$$

Расчетные значения базисных переменных $(F_d; f_d; a_d; \vartheta_d)$ в неравенстве (1) выражают с учетом их статистической изменчивости из некоторых нормируемых характеристических значений $(F_k; f_k; a_k; \vartheta_k)$, к которым применяют систему частных коэффициентов (γ_i, ψ_i) , а также, если необходимо, и некоторые другие параметры, управляющие надежностью.

Так, согласно п.6.1(3) ТКП EN 1990 в расчетных моделях сопротивлений и эффектов воздействий в неравенстве (1) «следует устанавливать расчетные значения, используя характеристические значения базисных переменных» (воздействий и их эффектов F_k ; геометрических характеристик a_k ; ошибок моделирования ϑ_k ; прочностных характеристик материалов f_{ki}).

Численные значения частных коэффициентов (γ_i, ψ_i) и методы их калибровки для назначенного уровня конструкционной надежности, основанные на методах статистического моделирования, изложены в СТБ ISO 2394 [16] и ТКП EN 1990 [13].

Таким образом, в рамках метода частных коэффициентов базисные переменные определяют с учетом их статистической изменчивости, а проверки предельных состояний выполняют с применением детерминистических неравенств вида (1). При этом, для учета статистической изменчивости взамен функции распределения плотности вероятности (PDF) с её описательными статистиками (средним X_m и стандартным отклонением σ), для базисных переменных,

вводят одно характеристическое значение X_k , определяемое, согласно [17, 18], как квантиль установленного порядка.

В настоящее время на территории Республики Беларусь действует два стандарта, относящихся к статистическому контролю прочности бетона на сжатие: СТБ EN 206-1:2000 [19] и ГОСТ 18105-2010 [2]. Следует отметить, что введение этих стандартов не было предварено ни анализом содержащихся в них положений, ни комментариями, определяющими порядок их практического применения. Настоящая публикация в ограниченной мере содержит как комментарий, главным образом, нового для производителя СТБ EN 206-1, так и анализ критериев, применяемых для подтверждения соответствия. Декларирование соответствия является обязательным элементом технической политики, изложенной в Техническом регламенте [26] (к слову, стандарт ГОСТ 18105-2010 не содержит упоминаний о подтверждении соответствия).

1 СТАТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

1.1. Характеристическая прочность бетона на сжатие

Класс бетона по прочности на сжатие в конструкции, а соответственно и приписанное ему характеристическое значение прочности назначается проектировщиком с использованием, как правило, оптимизационных процедур, учитывающих технические, экономические, экологические и социальные последствия, связанные с отказом конструктивного элемента (конструкции) в соответствии с концепцией надежности, принятой в ТКП EN 1990.

Однако, как отмечается в ряде работ [20, 21], строительная практика показывает, что конструкции из бетона довольно редко возводятся в точном соответствии с назначенным уровнем качества бетона и характеристиками, принятыми при проектировании (здесь необходимо подчеркнуть, что проектирование – это процесс, когда все действия и операции совершаются с абстракциями).

В общем случае фактическая прочность бетона в возведенной конструкции зависит от случайных вариаций качества, которые имеют место в процессе приготовления, транспортирования, укладки бетонной смеси и условий хранения бетона. Кроме того, извест-

ную долю неопределенности в общую изменчивость качества при его оценивании вносят процедуры, связанные с испытанием опытных образцов. Основные источники изменчивости качества бетона приведены в [14], а их подробный анализ содержится в публикациях [13, 14].

Опыт показывает, что при стабильных условиях производства для описания непрерывно распределенной случайной величины, которой является прочность бетона, обычно применяют нормальное (Гауссовское) распределение с главными описательными статистиками – средним значением и среднеквадратичным (стандартным) отклонением прочности. Как было показано выше, в концепции полувероятностного метода частных коэффициентов взамен функции плотности вероятности прочности бетона со своими статистическими параметрами (средним значением и стандартным отклонением) вводят один параметр – **характеристическую прочность**.

Характеристическая прочность материала, согласно [18], определена как значение прочности, установленное с учетом статистической изменчивости, ниже которого может располагаться только ограниченно малая доля результатов (доля дефектов) из принятого гипотетически бесконечного распределения прочности.

Для бетона **характеристическая прочность на сжатие** f_{ck} определена как 5% - квантиль статистического распределения параметра прочности. Характеристическое значение прочности применяют как при проектировании, так и при контроле соответствия бетона при его производстве и применении в конструкциях.

Приведенное определение характеристической прочности бетона было впервые дано в ISO 3893:1997 [18]. Согласно ТКП EN 1990 [13] характеристическое значение прочности (f_{ck}) также определено как установленная квантиль принятого статистического распределения прочности для гипотетически бесконечной выборки результатов испытаний. Учитывая то обстоятельство, что на практике число результатов испытаний n является достаточно ограниченным (особенно в случае бетонных образцов, подвергаемых разрушению в процессе испытания), в стандарте ISO 3893:1997 [18] установлено, что при контрольных испытаниях квантили (коими являются характеристические значения прочности) следует оценивать

при доверительном уровне γ от 50% до 95%. Это же требование содержится и с СТБ ISO 12491:1997 [17].

Как было сказано ранее, в нормах проектирования железобетонных конструкций [27, 28] механические характеристики бетона выражают через его характеристическую прочность f_{ck} , определенную как 5% - квантиль статического распределения прочности на сжатие для гипотетически бесконечной выборки результатов, получаемых из испытаний стандартных цилиндров ($\varnothing 150$ мм; $h = 300$ мм) или кубов (со стороной 150 мм). На практике доля дефектов (результатов, меньших чем f_{ck}) может быть большей, либо меньшей 5% (см. рис. 1). Дефектность произведенного бетона при оценивании прочности на сжатие можно выразить как долю (фракцию) дефектных результатов:

$$\theta = \Pr \{ f_{ci} \leq f_{ck} \}, \quad (2)$$

где f_{ci} – единичные значения прочности в n – элементной выборке результатов испытаний.

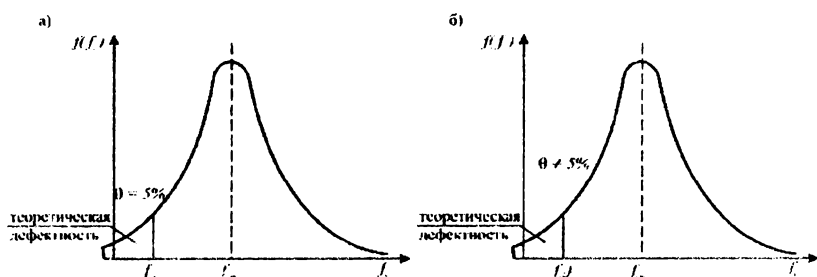


Рис.1 – Теоретическая (а) и фактическая (б) доли дефектов при оценивании прочности на сжатие [4]

Согласно СТБ ISO 12491:1997 [17], рассматривают возможность применения трех методов оценивания квантилей статических распределений:

-- **статическое оценивание** с учетом количества единичных результатов испытаний при назначенном доверительном уровне оценивания γ ;

- применение **операционно-характеристических функций (ОС)** при назначенных (или установленных) значениях риска производителя (поставщика) и потребителя;

- применение для оценивания **Байесовских статистик**.

В последние годы предприняты попытки разработки новых подходов к созданию критериев соответствия прочности бетона. Однако, они пока не используются в практике. Здесь следует отметить интересные предложения I.Skrzypczak [4], основанные на теории нечетной логики (fuzzy logic), а также применение порядковых статистик [3, 25].

1.2. Критерии соответствия, устанавливаемые с помощью операционных функций (функций ОС)

1.2.1. Определение функции ОС

В процедурах статического управления качеством, установленных в ISO 3534-2 [29] существенное значение имеют функции определяющие в испытательном плане вероятность того, что выполняются критерии соответствия в зависимости от принятого уровня качества (QL) контролируемой партии изделия или процесса (далее рассуждения ограничиваются до приемки партии). На практике эти функции графически представляют в виде так называемых операционно-характеристических кривых (*англ.* Operating Characteristic Curve), обозначаемых далее символом ОС. Кривые ОС, показанные на рисунке 2 определены следующими характеристическими параметрами:

- качество, соответствующее риску поставщика (производителя) (*англ.* Producer's Risk Quality – PRQ);

- качество, соответствующее риску потребителя (*англ.* Consumer's Risk Quality – CRQ);

- допустимый (приемлемый) уровень качества (*англ.* Acceptable Quality Level – AQL);

- предельный (граничный) уровень качества (*англ.* Limiting Quality Level – LQL).

Риск потребителя (CR) в назначенном плане выборочного контроля означает вероятность приемки (P_a) партии, если уровень ее качества характеризуется значением, признаваемым в этом плане, как неудовлетворительное (например, принимает значение нижнего граничного уровня качества LQL , как показано на рис. 2). Риск по-

требителя называют также максимальной вероятностью ошибки II рода.

Риск производителя (поставщика) (PR) в назначенном плане выборочного контроля обозначает вероятность отклонения (отбраковки) партии, если уровень ее качества имеет значение, признаваемое в этом плане как возможный (допустимый) для приемки, или приемлемый (например, принимает значение приемлемого или допустимого уровня качества AQL , как показано на рис. 2). Риск производителя (поставщика) определяют как максимальную вероятность ошибки I рода.

Согласно СТБ ISO 12491 [17] рекомендовано принимать равные значения риска производителя (поставщика) и потребителя на уровне 5% ($PR = CR = 0,05$, см. рис. 2). Соответствующие этим значениям рекомендуемые максимальные уровни качества: PQR – до 4% и CRQ – до 15%.

Согласно EN206-1 решение о соответствии или несоответствии прочности бетона принимают на основе сравнения результатов испытаний контрольных образцов с двойными критериями соответствия, выделяя начальный ($n = 3$) непрерывный и установившийся ($n = 15$) периоды производства.

В связи с трудностями аналитического вычисления вероятности приемки, эффективность двойных критериев соответствия анализируют на специальных масштабных сетках (как правило, в Гауссовских координатах), позволяющих линеаризовать кривые ОС, а также показать границы неэкономичной и небезопасной областей, между которыми располагается рабочая область, в пределах которой должны располагаться линии ОС. Границы указанных областей, предложенные комитетами CEB/CIB/FIP/RILEM в 1975 г., представлены на рисунке 4.

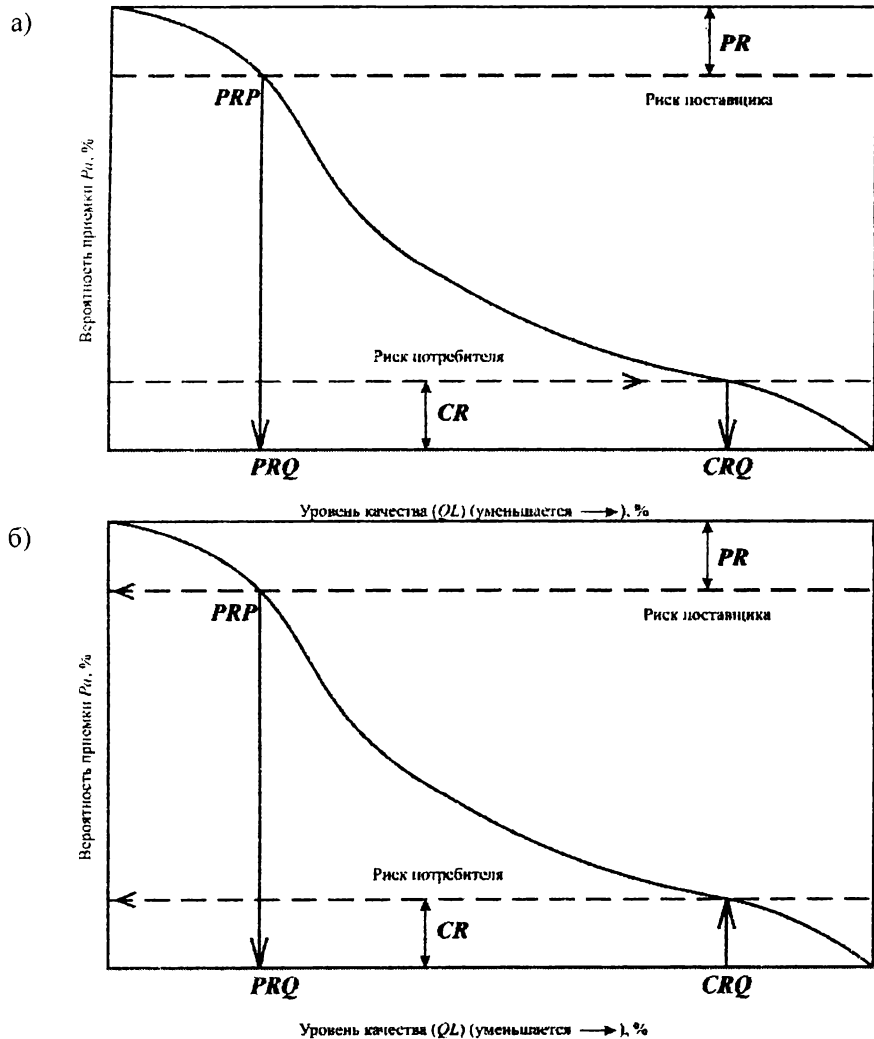


Рис. 2 – Кривые ОС, определенные согласно [12]: а) через риск поставщика (PR) и потребителя (CR), б) через допустимый (приемлемый) уровень качества (AQL) и предельный уровень качества (LQL)

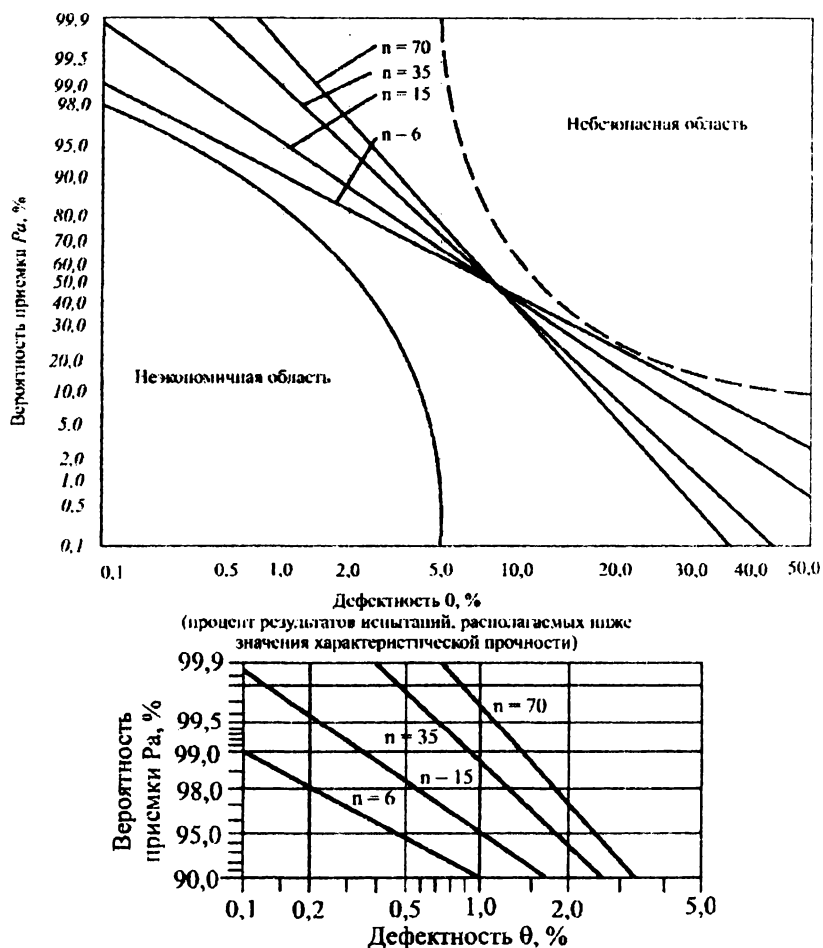


Рис. 3 – Влияние количества единичных результатов испытаний n , на положение линейризованных операционных кривых (ОС-кривых) для критериев постоянного производства, принятых в EN-206-1, согласно [30]

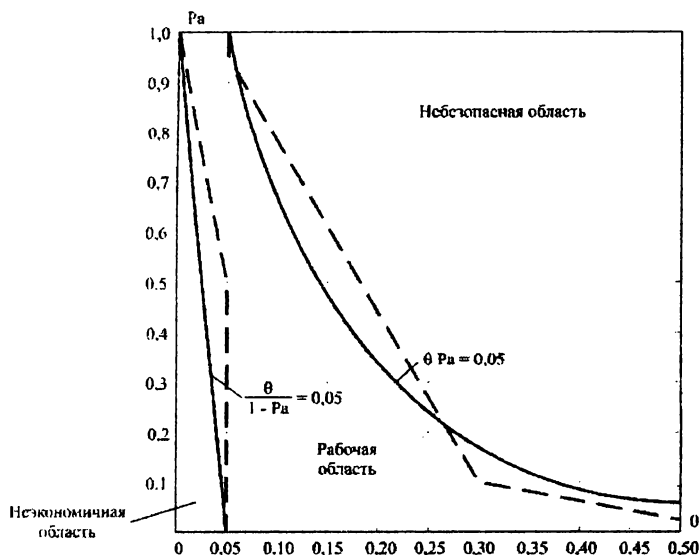


Рис. 4 – Граничные кривые, предложенные L. Таегве (сплошная линия) и Комитетами СЕВ/СІВ/РІР/РІЕМ (штриховая линия), согласно [8, 20]

Другой вид кривых, описывающих границы неэкономичной и небезопасной областей, предложил L. Таегве (рис.3, 4). Для верификации критериев соответствия L. Таегве определил две области, ограниченные линиями, связывающими значения дефектности θ и вероятности приемки P_a [4, 32–34]:

– для небезопасной области: $\theta \times P_a = 0,05$; (3)

– для неэкономичной области: $\frac{\theta}{1 - P_a} = 0,05$. (4)

Граничные кривые, предложенные L. Таегве, относятся к двум дефектностям, которым приписывают исключительно большой вес при проектировании выборочных планов:

– большая вероятность приемки должна соответствовать партии с дефектностью ниже 0,05 ($\theta < 0,05$), поэтому декларируемое значение 0,05 отнесено к риску производителя ($1 - P_a$) в формуле (4) при описании граничной кривой для неэкономичной области;

– большая вероятность отклонения должна соответствовать партиям с дефектностью $\theta > 0,1$. Значение 0,05 в формуле (3) для гра-

ничной кривой небезопасной области относится к значению 0,1, для которой риск потребителя (вероятность приемки P_a партии бетона удовлетворяющей требованиям), а также риск производителя бетона ($1 - P_a$) – вероятность отклонения партии, удовлетворяющей требованиям – являются равным и составляют 0,5. В уравнении появляется значение 0,05, которое определено как произведение вероятности приемки и дефектности (по существу значение $\theta \times P_a = AOK$): $0,1 \times 0,5 = 0,05$.

Как показано в работе [4], предложенные L.Taerwe изменения при верификации критериев соответствия (непрерывные, гладкие кривые на рис. 4) по отношению к граничным кривым для неэкономичной и небезопасной областей, рекомендованных комитетами CEB/CIB/FIP/RILEM (ломаные, прерывистые кривые), являются не столь существенными, однако, в некоторых случаях могут играть важное значение при оценке риска производителя и потребителя товарного бетона (для производимого бетона с дефектностью до 0,05).

Таким образом, среди наиболее важных характеристик при построении графиков функций ОС следует выделить:

- **нейтральную (или рабочую) область**, содержащую уровни качества между допустимым уровнем качества (AQL) и предельным уровнем качества (LQL);

- **наклон** (англ. slope) кривой ОС, определяемый как наклон линии, соединяющий точки, соответствующий риску производителя и риску потребителя на кривой ОС выборочного плана. Чем больше угол наклона (линия более крутая), тем большим дискриминационным потенциалом обладает критерий выборочного контроля. Очевидно, что с увеличением числа единичных результатов n в выборке кривая ОС будет приближаться к ступенчатой кривой (характеристике), имеющей угол наклона 90° и соответствующей идеальному плану контроля качества.

Как было показано ранее, в СТБ ISO 12491:1997 [17] рекомендовано принимать равные значения риска производителя и потребителя на уровне 5% ($PR = CR = 0,05$). Соответствующие этим значениям рекомендуемые уровни качества следующие: для PRQ – от 0,15% до 4% и для CRQ – от 0.65% до 15%.

Как видно из рис. 3, при вероятности приемки $P_a = 50\%$, только при $n = 35$ принятый уровень качества $AQL = 5\%$, или доля дефектов $\theta = 5\%$, не является превышенными.

В общем случае, в соответствии с рекомендациями статистического контроля качества, рациональный план испытаний и критерии соответствия должны удовлетворять как минимум трем основным требованиям:

- вероятность P_a приемки партии бетона, удовлетворяющей требованиям (или $(1 - P_a)$), или риск производителя бетона, связанный с отклонением партии бетона, удовлетворяющей требованиям) должна быть не меньшей, чем предварительно установленная, и должна учитывать компромисс между риском производителя и риском потребителя (риском приемки партии, не удовлетворяющей требованиям);
- при увеличении размера выборки (количества n единичных результатов испытаний) вероятность приемки P_a должны возрастать, а, соответственно, риск производителя – уменьшаться;
- большие значения вероятности приемки P_a должны соответствовать партиям с меньшей изменчивостью прочности, имеющим меньшее стандартное отклонение.

3. КРИТЕРИИ СООТВЕТСТВИЯ по EN 206-1

Как было показано выше, при оценивании прочности бетона на сжатие в СТБ EN 206-1 применяют критерии соответствия, выделяя условно два периода (или вида) производства: начальное и установившееся (постоянное).

Начальный период, начальное производство (*англ. initial period, initial production*). Производство квалифицируется как начальное, если неизвестно (или не существует) начальное стандартное отклонение σ , определенное из выборки единичных результатов, полученных в предшествующий период.

Непрерывное (установившееся) производство (*англ. continuous production*). Производство квалифицируется как постоянное (непрерывное), если известно (существует) начальное стандартное отклонение, определенное из выборки единичных результатов, полученных в предшествующих периодах.

Критерии соответствия согласно СТБ EN 206-1 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии соответствия прочности бетона при сжатии

Характеристика производства	Количество « n » результатов испытаний прочности	Критерий 1	Критерий 2
		среднее из « n » результатов $(f_{cm,n})$, Н / мм ²	Каждый отдельный (индивидуальный) результат (f_{ci}) , Н / мм ²
Начальное	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Установившееся (постоянное)	15	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Примечание. Стандартное отклонение σ определяется по выборке не менее 35 единичных результатов испытаний, полученных за период, составляющий не менее 3 месяцев и не более 12 месяцев, и который предшествует периоду изготовления, в течение которого производят оценку соответствия (оценочный период).

В соответствии с СТБ EN 206-1 начальное производство определяется как «производство, которое охватывает выпуск бетона до момента накопления не менее 35 результатов испытаний прочности» и для которого стандартное неизвестно. В этом случае критерий соответствия 1 базируется на проверке неравенства вида:

$$f_{cm,3} \geq f_{ck} + 4, \quad (5)$$

где $f_{cm,3}$ – среднее значение прочности бетона на сжатие, полученное для группы из трех последовательных (перекрывающихся или неперекрывающихся) единичных результатов испытаний

f_{ck} – характеристическая прочность бетона на сжатие.

Примечание. В оригинальном тексте EN 206-1 не указано конкретно, что следует понимать под f_{ck} в неравенстве (20) и сохраняется ли данная запись при изменении формы контрольного образца. Так, в соответствии с п.4.3.1 EN 206-1 установлено, что «основой классификации может являться характеристическая прочность на сжатие, определенная в возрасте 28 суток на цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 300 мм ($f_{ck,cyl}$) или на кубках со стороной 150 мм ($f_{ck,cube}$)».

3.1 Последовательность действий при оценивании соответствия прочности бетона на сжатие согласно EN 206-1

Схема алгоритма оценивания соответствия прочности бетона на сжатие согласно СТБ EN 206-1 на рисунке 5, а комментарии к производимым по алгоритму действиям – в таблице 2.

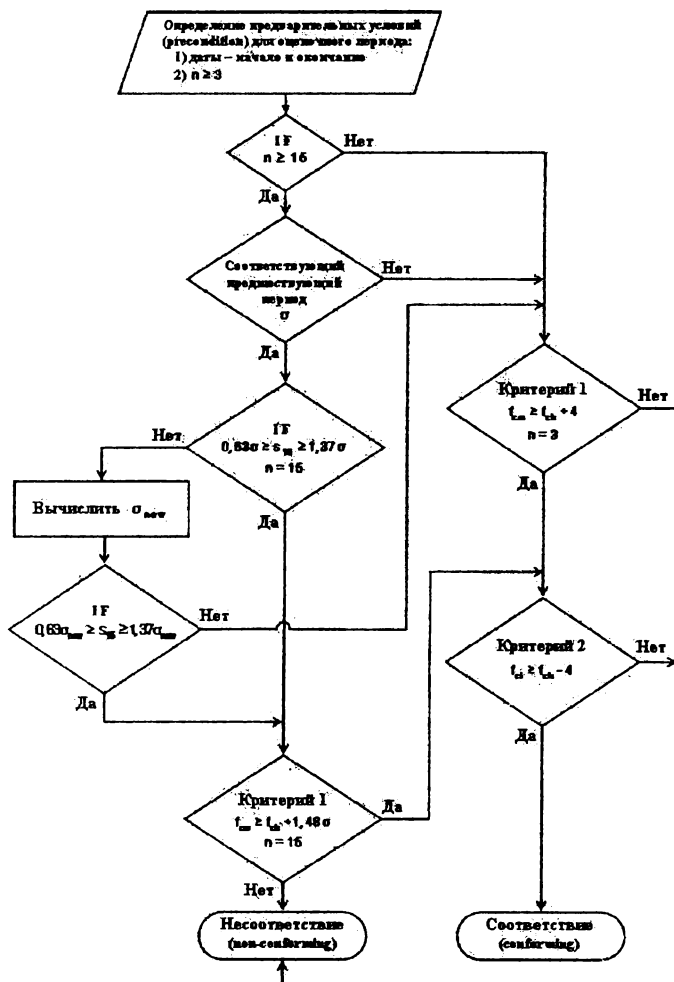


Рис. 5 – Схема алгоритма оценивания соответствия прочности бетона на сжатие согласно СТБ EN 206-1

Таблица 2 – Оценивание соответствия прочности бетона на сжатие по критериям EN 206-1:2000.

Очередность действий	Комментарий к действию
Шаг 0: предварительное условие (preconditions)	Определение (установление) оценочного периода (включает даты начала и конца оценочного периода, количество достоверных единичных результатов $n \geq 3$).
Шаг 1: поиск соответствующего предшествующего (предыдущего) периода (previous period)	Если соответствующий предшествующий период не существует, производство следует квалифицировать как начальное, а оценку соответствия следует выполнять по критерию начального производства (табл.1) (оценивание выполняют по группам результатов с количеством $n = 3$); Если в оценочном периоде получено как минимум 15 единичных результатов и существует соответствующий предшествующий период, производство квалифицируется как потенциально непрерывное (установившееся) и для оценивания соответствия принимают группы из $n = 15$ непрерывающихся результатов;
Шаг 2: проверка стандартного отклонения	Для непрерывного (установившегося) производства стандартное отклонение s_{15}, рассчитанное из группы $n = 15$ последних результатов, полученных за оценочный период, следует сравнить с начальным стандартным отклонением σ, полученным за предшествующий период, проверяя критерий метода 1 по EN 206-1: $0,63\sigma \leq s_{15} \leq 1,37\sigma$ (проверка однородных условий производства); Если условие метода 1 не выполняется, следует: а) принять новый предшествующий период (из последних 35 результатов, полученных в период от 3 до 12 месяцев); б) снова проверить критерий, рассчитав новое стандартное отклонение σ_{new}; <i>Важное исключение: если новое значение стандартного отклонения σ_{new} из последних результатов и далее отличается от s_{15} сверх установленных пределов, необходимо корректировать технологический процесс после окончания оценочного периода</i> Если отсутствует достоверно определенное стандартное отклонение σ, применяемое для оценки соответствия непрерывного (установившегося) производства, могут быть применены критерии для начального производства.

Шаг 3: проверка критерия 1	Как для начального, так и непрерывного производства рассчитывают среднее значение прочности f_{cm} из n результатов, полученных в оценочный период, и проверяют критерии: $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ для начального производства ($n = 3$); $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$ для непрерывного производства ($n \geq 15$)
	Если оцениваемая группа результатов не удовлетворяет критерию 1, они квалифицируются как несоответствующие (non-conforming) .
	Если критерий выполняется, группа квалифицируется как соответствующая (conforming) .
Шаг 4: проверка критерия 2	Независимо от этапа (периода) производства, каждый индивидуальный результат f_{ci} сравнивают с критерием: $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
	Если хотя бы один из результатов не удовлетворяет критерию, группа квалифицируется как несоответствующая (nonconforming)
	Если все индивидуальные результаты удовлетворяют критерию, группа результатов квалифицируется как соответствующая (conforming)
Шаг 5: окончательное оценивание (final evaluation)	Произведенный бетон должен удовлетворять критериям 1 и 2, которые проверяют на основе перекрывающихся или неперекрывающихся и последовательных результатов (п. 8.2.1.3).
	Если хотя бы одна группа не удовлетворяет критериям 1 или 2, произведенный бетон за оценочный период квалифицируется как несоответствующий (nonconforming) требованиям спецификации.
	Если для всех групп выполняются оба критерия, бетон, произведённый за оценочный период, квалифицируется как соответствующий (conforming) требованиям спецификации.

3.2. Анализ критерия соответствия EN 206-1:2000, применяемого для оценивания начального производства

Несмотря на то что, критерии соответствия прочности бетона на сжатие, включенные в EN 206-1:2000, базируются на предложениях сформулированных L.Taerwe, ни в его личных публикациях, ни в публикациях членов рабочей группы CEN не удастся найти их статистического анализа (в частности, когда речь идет о начальном

производстве и выполняется оценивание групп $n = 3$) с применением операционных кривых (ОС) и граничных кривых, описывающих положение т.н. «неэкономичных» и «небезопасных» областей.

Впервые такая попытка была предпринята в работах Beal A.N. [9], Brown I., Gibb I. [6], I.Skrzypczak [4], E.Szczygielska [25]. Так, по результатам анализа критерия соответствия для начального производства Beal A.N. [9] писал: *«правила контроля, приведенные в современных BS-EN 206-1 являются непрактичными, нелогичными и дают непредсказуемый результат (... are impractical, illogical, give unpredictable result and put to much concrete at risk on single decision)»*.

Ссылаясь на то, что получить аналитические решения для кривых ОС при применении двойных (составных) критериев соответствия крайне сложно [4], в приведенных работах был применен метод симуляции (например, генерировали 118 518 групп $n = 3$ случайных чисел в соответствии с нормальным распределением при различной доле дефектов).

Учитывая неопределенности, имеющие место при генерировании случайных выборок, в собственных исследованиях нами были получены аналитические решения для описания кривых ОС в случае равномерного и нормального распределений для двойного критерия соответствия, применяемого при контроле прочности бетона на сжатие для условий начального производства.

3.2.1 Расчетные фильтрационные кривые и их анализ

Операционные кривые, полученные для условий начального производства по EN 206-1:2000 при оценивании групп из $n = 3$ результатов со стандартным отклонением в диапазоне $\sigma = 1,5 \dots 5$ МПа, показаны на рисунке 6.

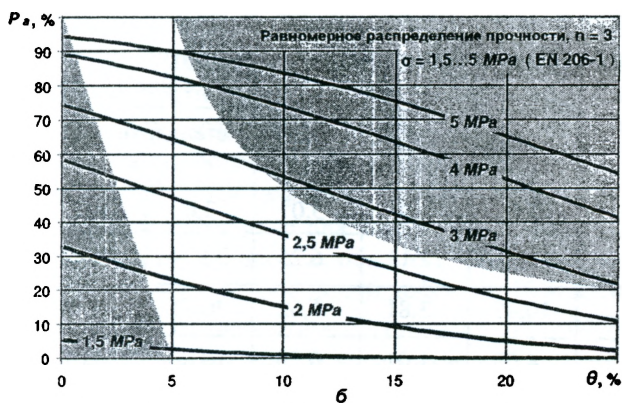
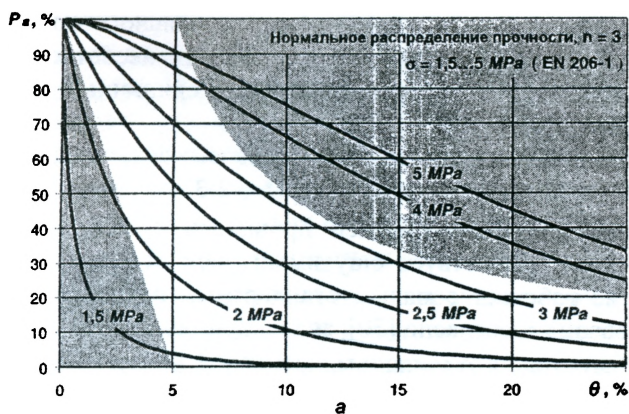


Рис.6 – Фильтрационные кривые (ОС) критерия EN 206-1:2000 для условий начального производства при различных вероятностных законах распределения (а, б) и изменении стандартного отклонения σ параметра прочности[36]

При рассмотрении графиков операционных кривых (ОС), представленных на рис. 6, обращает на себя внимание следующий эффект: при применении критерия для $n = 3$ по EN 206-1:2000 форма кривых существенно зависит как от величины стандартного отклонения σ , так и от принятой функции распределения плотности вероятности $f(x)$. При этом вероятность приемки увеличивается с ростом стандартного отклонения. Этот эффект отмечен также в работах [4, 6, 25]. Так, Brown B.V. и Gibb J. [6] анализировали риск

несоответствия критериям EN 206-1 для начального производства. В таблице 3 приведены значения вероятности несоответствия, полученные при анализе неперекрывающихся единичных результатов испытаний.

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что даже при довольно большом проектном запасе ($M = 2,33\sigma$), применяемом для определения требуемой средней прочности при проектировании состава бетона, существует ощутимый риск несоответствия, если предприятие работает с малым стандартным отклонением (по общим требованиям, согласно [30], значение стандартного отклонения не может быть принято меньшим, чем $\sigma = 3$ МПа).

Таблица 3 – Вероятности несоответствия (%) критериям EN 206-1 для начального производства согласно [6]

Расчетный запас	Нормальное распределение прочности			Треугольное распределение прочности		
	стандартное отклонение σ , МПа			стандартное отклонение σ , МПа		
	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0
1,64 σ	28,41	11,11	6,25	33,34	16,17	10,11
2,00 σ	10,45	3,81	1,62	20,71	8,74	3,99
2,33 σ	4,08	1,01	0,25	10,80	3,01	1,11

Аналогичные результаты были получены при анализе критериев соответствия EN 206-1 для начального производства в работах I.Skrzypczak [4] и E.Szczygielska [25].

Анализ фильтрационных кривых, приведенных на рис. 6, показывает, что при использовании закона нормального распределения только кривые ОС, полученные для стандартных отклонений 2,5 и 3,0 МПа, удовлетворяют требованиям построения рациональных выборочных планов испытаний и размещаются в рабочей области, заключенной между линиями, ограничивающими небезопасную и неэкономичную области. При стандартном отклонении 2,0 МПа кривая ОС входит в неэкономичную область, пересекая ее границу

в точке, соответствующей вероятности приемки $P_a = 48\%$ при дефектности $\theta = 2,6\%$.

Таким образом, партия бетона, содержащая долю дефектов большую, чем 3% , при довольно низком значении стандартного отклонения $2,0$ МПа будет отбракована с вероятностью большей, чем 52% , а следовательно экономические затраты перекладываются на производителя бетона. Так, для обеспечения вероятности приемки на уровне $P_a = 50\%$, при стандартном отклонении $2,0$ МПа, производитель должен определять требуемую среднюю прочность бетона опираясь на обеспеченность $\sim 1\%$ квантили нормального распределения. Следует также обратить внимание на факт снижения риска дисквалификации партии бетона при возрастании величины стандартного отклонения, несмотря на то, что по логике такой результат является неэкономичным и нерациональным. С одной стороны, производитель не заинтересован улучшать технологию путем повышения однородности свойства прочности бетона, а с другой – увеличивается риск потребителя, связанный с применением на строительном объекте бетона с пониженным качеством.

Для случая, когда доля дефектов превышает 5% , операционные кривые критерия, построенные для стандартных отклонений свыше 3 МПа, попадают в небезопасную область. Так, по результатам проверки качества партий бетона с долей дефектов 10% и стандартным отклонением $6,0$ МПа, вероятность приемки $P_a = 84\%$ (соответственно, вероятность отбраковки составляет 16%). Применение материала с таким качеством может создавать угрозу безопасности возведенного объекта. Следует отметить, что результаты исследований, опубликованные в работах Rackwitz R [21], указывают на стабилизацию стандартного отклонения прочности бетона на сжатие на уровне близком к 5 МПа. Это же значение стандартного отклонения учитывали при разработке EN 1992-1-1 (значение средней прочности бетона на сжатие f_{cm} для гипотетически бесконечной выборки единичных результатов, принимаемое при выполнении конструкционных расчетов, определено из условия: $f_{cm} = f_{ck} + 8$).

Обращает на себя внимание, что в случае использования равномерного распределения параметра прочности (условия очень малой изменчивости) предложенный в EN 206-1:2000 двойной критерий

полностью не удовлетворяет требованиям к конструированию рациональных критериев. При довольно низких значениях вероятностей приемки кривые ОС (см. рис. 6) располагаются как в неэкономичной, так и в небезопасной областях.

Очевидно, имеет смысл высказать некоторые соображения относительно условия критерия $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ (в общем виде: $f_{ci} \geq f_{ck} - k_2$). Следует отметить, что некоторые специалисты в данной области, например [5], придерживаются мнения, что данное условие должно иметь вид $f_{ci} \geq f_{ck}$, т.е. $k_2 = 0$ (это далее будет показано в ГОСТ 18105:2010). Несложно заметить, что такое условие вносит дополнительное ограничение, входя в противоречие с определением характеристической прочности, как квантили порядка $p = 5\%$, особенно при больших выборках (так, очевидно, что при $n \geq 20$ весьма вероятно расположение ниже квантили хотя бы одного результата f_{ci}). Речь может идти лишь об абсолютном значении коэффициента $k_2 > 0$. Так, стандарты различных стран содержат свои значения коэффициента k_2 [36]

Анализируя двойной критерий EN 206-1:2000 для условий как начального, так и установившегося производства, можно констатировать следующее. Основной дискриминационной силой в рабочей зоне, как в случае групп $n = 3$, так и групп $n = 15$, обладают первые условия в двойном критерии, относящиеся к оцениванию средних значений прочности.

Второе условие вида $f_{ci} \geq f_{ck} - k_2$ играет роль ограничителя (страховки) в случаях, когда дефектность партий произведенного бетона велика (15% и более), а стандартное отклонение превышает 4 МПа.

Таким образом, из анализа полученных операционных кривых ОС и их сравнения с результатами других авторов [4, 6, 25] можно сделать следующие выводы:

1) Внесенный в EN 206-1:2000 двойной критерий соответствия для условий начального производства, применяемый для оценивания групп $n = 3$, существенно зависит от величины стандартного отклонения и закона распределения случайного параметра прочности бетона на сжатие. При этом результаты оценивания соответ-

ствия неблагоприятны как для производителя, так и для потребителя. С одной стороны, применение критерия не инициирует действий производителя, направленных на совершенствование технологии с целью улучшения показателей однородности прочности бетона на сжатие (в частности, снижения стандартного отклонения), т.к. это снижает вероятность приемки продукции. По-существу, для выполнения критерия производитель должен назначить требуемую (среднюю) прочность, опираясь все равно на высокие значения стандартных отклонений, или использовать более низкие квантили, чем это определено для нормируемой характеристической прочности. С другой стороны, при значениях стандартного отклонения более 3 МПа увеличиваются риски потребителя, связанные с применением бетона пониженного качества.

2) При оценивании соответствия по двойному критерию EN 206-1:2000 при $n = 3$ следовало бы указывать условия его применения и ограничивать максимальное значение стандартного отклонения параметра прочности поставляемого бетона.

3) Двойной критерий соответствия EN 206-1:2000, применяемый для условий начального производства (оценивание групп $n = 3$) сконструирован нерационально, и, в зависимости от величины стандартного отклонения параметра прочности, может давать неэкономичные либо небезопасные результаты.

4. ПРАВИЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ СОГЛАСНО ГОСТ 18105-2010 (EN206-1:2000; NEQ)

4.1. Общая характеристика правил контроля по стандарту

Введенный на территории Республики Беларусь ГОСТ 18105-2010 (EN206-1:2000; NEQ) имеет ряд принципиальных отличий как от действовавшего ранее ГОСТ 18105-86, так и собственно от СТБ-EN 206-1. Вместе с тем, в п. 4 «Сведения о стандарте» декларировано, что *«в настоящем стандарте учтены основные нормативные положения европейского стандарта EN206-1:2000 в части контроля и оценки прочности бетона»*. Следует сразу же оговориться, что подобная декларация, по меньшей мере, сомнительна. Не улучшает ситуацию и подчеркнутая в стандарте степень соответствия – неэквивалентная (NEQ).

Во-первых, как уже было показано ранее, стандарт EN 206-1:2000 [19] относится к оцениванию соответствия произведенных партий бетона, т.е. предполагает статистическое оценивание качества бетона, подготовленного и поставляемого потребителю за некоторый отчетный период (ранее это было обозначено специальной процедурой контроля качества “of-line”). Декларирование качества, как этого требует Технический регламент, является компетенцией производителя бетона.

Во-вторых, при выполнении статистического контроля качества бетона по выборочным планам ведущую роль играют как собственно схема проведения контроля (включая назначение количества единичных результатов), так и принятые критерии оценивания соответствия. Если в отличие от ранее действовавшего ранее ГОСТ 18105-86, внесенные в новый стандарт схемы контроля хотя бы отдаленно напоминают подходы EN 206-1, то принятые критерии оценивания не имеют с ним, на первый взгляд, ничего общего. Насколько применимы эти критерии в практической деятельности производителя бетона – это отдельный вопрос. Несоответствие требований двух анализируемых стандартов замечается также и в достаточно важном элементе контроля по выборочным планам – процедуре отбора проб бетона. Не входя в подробный анализ, можно отметить, что частота отбора проб должна определяться не продолжительностью временного интервала, а все-таки объемами произведенного бетона в оценочный период, как это было показано для EN 206-1. В соответствии же с ГОСТ 18105-2010 приемке подлежат партии бетонной смеси, продолжительность изготовления которых должна составлять не менее одной смены и не более одного месяца.

В состав партии готовой бетонной смеси (БСГ по ГОСТ 18105-2010) включают бетонные смеси одного номинального состава, приготовленные по одной технологии. По-существу, эти требования могут быть отнесены к определению или нормированию оценочного периода (*англ.* assessment period, в соответствии с EN 206-1), для которого сохраняются условия однородного производства. Вместе с тем, в п. 6.1 ГОСТ 18105-2010 указано, что продолжительность **анализируемого** периода для определения характеристик однородности бетона по прочности по схемам А и Б устанавливают от одной недели до трех месяцев. При этом число единичных значений

прочности бетона в течение этого периода принимают в зависимости от выбранной схемы контроля.

В соответствии с п. 4.3 ГОСТ 18105-2010 [2] контроль прочности бетона применительно к бетонным смесям, готовым к применению (БСГ), следует производить по одной из следующих схем:

схема А – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 30 единичных результатов определения прочности, полученных при контроле прочности бетона **предыдущих** партий;

схема Б – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 15 единичных результатов определения прочности бетона **в контролируемой партии и предыдущих** проконтролированных партиях в **анализируемом** периоде;

схема Г – без определения характеристик однородности бетона по прочности, когда при изготовлении отдельных партий, конструкций или в **начальный** период производства невозможно получить число единичных результатов определения прочности бетона, предусмотренное схемами А и Б.

Партия бетонной смеси подлежит приемке по прочности бетона, если фактическая прочность R_m (определяется как среднее значение прочности из серии единичных результатов испытаний отобранных проб) не ниже требуемой прочности R_T , а минимальное единичное значение $R_i^{\min}$ – не ниже величины $(R_T - 4)$ и превышает нормируемый класс бетона по прочности (величину B , которая аналогична характеристической прочности f_{ck} по EN 206-1).

4.2. Критерии оценивания прочности бетона на сжатие

В соответствии со сформулированным правилом оценивания критерий имеет следующий вид:

$$\begin{cases} R_m \geq R_T, \\ B < R_i^{\min} \geq R_T - 4. \end{cases} \quad (6)$$

Требуемое значение прочности в общем случае следует определять по формуле:

$$R_T = k_T \cdot B_{\text{норм}}, \quad (7)$$

где k_T – коэффициент требуемой прочности, определяемый:

- при контроле по схеме А – по таблице [2, табл. 2];
- при контроле по схеме Б – рассчитывается по формуле (54);
- при контроле по схеме Г – по таблице [2, табл. 4];

Заметим, что таблица [2, табл. 2], содержащая значения коэффициентов требуемой прочности k_T , применяемых при контроле по схеме А, без изменений перенесена в новую редакцию стандарта из действовавшего ранее ГОСТ 18105-86. Достаточно подробные комментарии к ней были даны в ряде публикаций (например, [1]). Вместе с тем, без анализа принятого метода оценивания, следует остановиться только на одном, незаметном на первый взгляд, утверждении, принятом при установлении значений коэффициентов k_T , внесенных в аналогичную таблицу ГОСТ 18105-86.

Так, согласно [1], как в случае известной (А), так и неизвестной (Б) вариации прочности, коэффициент k_T вычисляют, принимая в полученной авторами расчетной зависимости процентную точку нормального распределения, зависящую от обеспеченности нормативных значений, равной $u_1 = 2,0$ (обозначение по источнику [1], *прим. авт.*). Таким образом, характеристическое значение прочности бетона (или нормативное сопротивление по ГОСТ 18105 и СНиП 2.03.01-84 *) при выполнении контроля определяется не как декларированная в нормах проектирования и стандартах квантиль порядка $p = 5 \%$, а как квантиль порядка $p = 2,3 \%$ (!). Подтверждение этому мы находим и у одного из разработчиков ГОСТ 18105, который пишет: «... *Чтобы устранить этот недостаток* (недостаточную надежность железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону, *прим. авт.*), был скорректирован ГОСТ 18105 так, чтобы обеспеченность расчетного сопротивления бетона была не ниже 0,9986. Мы составили таблицы для приемочного контроля, которые остаются в ГОСТ и по сегодняшний день, и которыми в течение почти 30 лет пользуются все производители бетона в стране».

Представленный комментарий делает совершенно бесполезными ведущиеся на протяжении ряда лет дискуссии о «необоснованно

завышенном уровне надежности» железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону, возникшие после введения в национальные нормативные документы (например, СНБ 5.03.01 [27]) частного коэффициента по бетону $\gamma_c = 1,5$ – взамен $\gamma_c = 1,3$ по действовавшему ранее СНиП 2.03.01-84* и введенных позднее СНиП и Сводах правил. По-существу, оказывается, что как в первом, так и во втором случае имеет место практически равная обеспеченность расчетных значений прочности бетона ($\sim 0,999$), применяемых при проверках предельных состояний несущей способности, несмотря на различные значения самой этой характеристики, применяемой в расчетных моделях сопротивлений. Таким образом, при применении табличного [2, табл. 2] коэффициента k_T фактически производится оценивание квантили порядка $p = 2,3 \%$, а не $p = 5 \%$, как это установлено требованиями действующих отечественных и международных стандартов на материалы.

При выполнении контроля прочности бетона по схеме Б коэффициент требуемой прочности рассчитывают по формуле:

$$k_T = \frac{1}{1 - t_\alpha \cdot v_c}, \quad (8)$$

где t_α – табличный коэффициент, принимаемый по [2, табл. 3] в зависимости от количества n единичных результатов, участвующих в оценивании. В частности, для групп $n = 15$ значение коэффициента из этой таблицы: $t_\alpha = 1,76$.

При контроле ограниченных выборок по схеме Г значение коэффициента требуемой прочности зависит от типа бетона, и для тяжелого бетона составляет $k_T = 1,28$.

Для удобства дальнейшего сравнения и анализа представим критерии для схем контроля Б и Г в обозначениях согласно ISO 3898 (как это принято в национальной практике) и для групп $n = 15$ (начальное производство) и $n = 15$ (установившееся производство), как это принято в EN 206-1. С учетом внесенных изменений и несложных преобразований критерии ГОСТ 18105-2010 представлены в таблице 5

Таблица 5 – Критерии для оценивания прочности бетона на сжатие по схемам Б и Г ГОСТ 18105-2010

Количество единичных результатов, n	Критерий
3 (начальное производство)	$\begin{cases} f_{cm,3} \geq 1,28 f_{ck} \\ f_{ck} < f_{ci,min} \geq 1,28 f_{ck} - 4 \end{cases}$
15 (установившееся производство, $t_a = 1,76$)	$\begin{cases} f_{cm,15} \geq f_{ck} + 1,76 s \\ f_{ck} < f_{ci,min} \geq f_{ck} + 1,76 s - 4 \end{cases}$

Примечание. Условные обозначения характеристик (Н/мм²) приняты по ISO 3898: f_{ck} – характеристическая прочность бетона, соответствующая его классу ($f_{c,cube}^G$ при контроле по кубам); $f_{cm,n}$ – средняя прочность из n единичных результатов; $f_{ci,min}$ – минимальный результат испытаний прочности в группе; s – эстиматор (выборочная оценка) стандартного отклонения прочности.

5.3.2. Операционные (фильтрационные) кривые и их анализ

На рисунках 7, 8 показаны операционные кривые (ОК), полученные расчетным путем для критерия по ГОСТ 18105-2010 [2] в предположении, соответственно, двух различных вероятностных законов распределения параметра прочности бетона класса С 16/20. Расчет выполнен для стандартного отклонения в диапазоне 2...7 МПа при количестве единичных испытаний в группе (n) из ряда: 3, 7, 10.

Как видно из приведенных на рис. 7, 8 графиков, анализируемый критерий ГОСТ 18105-2010 является зависимым от величины стандартного отклонения подобно тому, как это имеет место для двойного критерия EN206-1 при $n = 3$ (условия начального производства). При этом, для нормального распределения (рис. 7) в рабочей области располагаются кривые, соответствующие стандартному отклонению от 4,0 до 7,0 МПа.

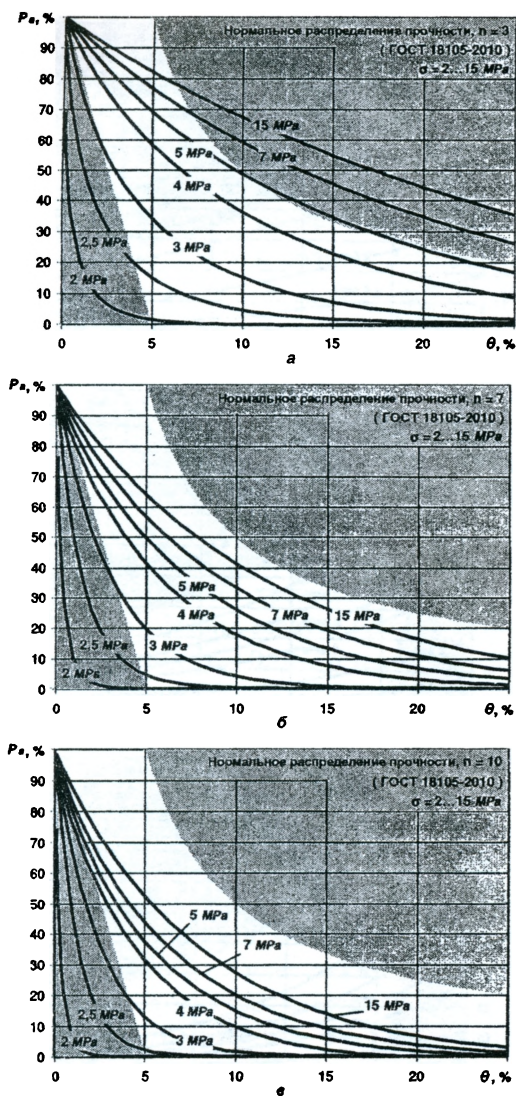


Рис. 7 – Фильтрационные кривые (ОС) критерия ГОСТ 18105-2010 для условий начального производства при изменении стандартного отклонения σ нормально распределенного параметра прочности для различного количества n единичных испытаний в группе (а, б, в)[36]

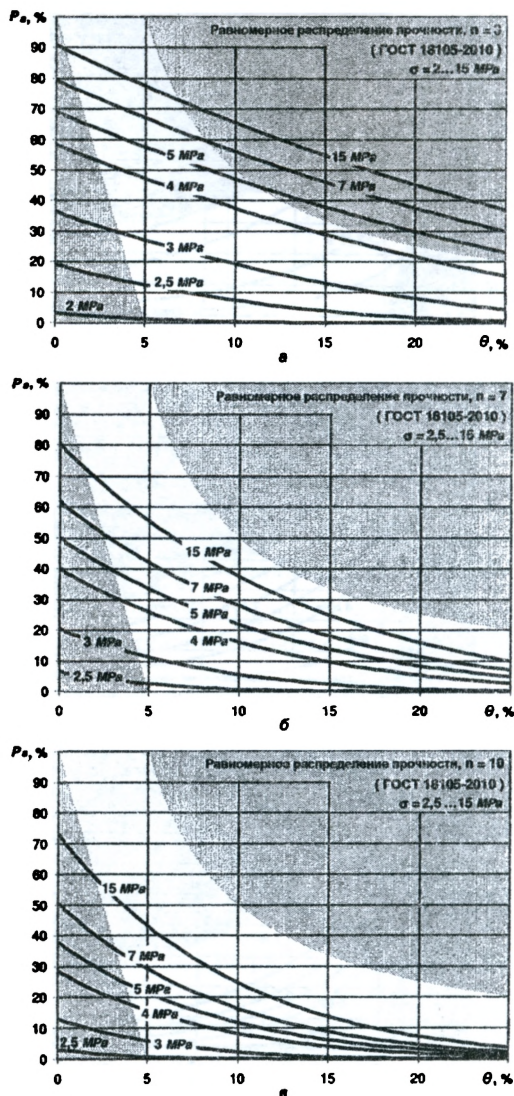


Рис. 8 – Фильтрационные кривые (ОС) критерия ГОСТ 18105-2010 для условий начального производства при изменении стандартного отклонения σ равномерно распределенного параметра прочности для различного количества n единичных испытаний в группе (а, б, в)[36]

Таким образом, по сравнению с критерием EN206-1, двойной критерий, включенный в новую редакцию ГОСТ 18105-2010, обладает большей дискриминационной способностью. Так, даже при довольно высоких значениях стандартного отклонения (7 МПа), кривая ОС не пересекает небезопасную область.

Критериальная кривая при стандартном отклонении 3 МПа пересекает границу неэкономичной области в точке, соответствующей вероятности приемки $P_a = 38\%$ и доле w дефектов, близкой к 3%. Обращает на себя внимание тот факт, что подобные эффекты наблюдаются и для операционной кривой по EN 206-1, но при стандартном отклонении 2 МПа. При стандартном отклонении 7 МПа и дефектности $\theta = 5\%$ вероятность приемки составляет немногим более 70%. Однако, если дефектность бетона в произведенной партии бетона составит $\theta = 10\%$, риск потребителя достигнет 50%, что создаст опасность применения бетонов с пониженным качеством.

Таким образом, как и в случае двойного критерия EN 206-1, при малых значениях стандартных отклонений для реального производства (например, 3 МПа) расчет требуемой средней прочности при проектировании состава бетона следует производить для более низких квантилей, чем уровень $p = 0,05$, установленный стандартом.

При этом, как и в случае с евростандартом, следует оговаривать диапазон стандартных отклонений, для которых может быть применен данный критерий.

Проблема дополнительно усугубляется еще и тем, что критерий в представленном виде как для схемы Г существенно реагирует на величину нормируемой характеристики прочности. Поскольку параметр требуемой прочности пропорционален характеристической прочности ($R_T = k_T f_{ck}$), с увеличением последней дискриминационная способность критерия будет также возрастать, перемещая кривые (ОС) для бетонов высоких классов (более C_{30/37}) к неэкономичной области (влево) при любых, в т.ч. и достаточно больших, значениях стандартных отклонений. Подобный эффект наблюдается и при увеличении числа единичных результатов в группе (см. рис. 8). В связи с этим можно было бы рекомендовать: при количестве единичных результатов в группе $n > 3$ выполнять анализ, опираясь на группы $n = 3$ перекрывающихся или неперекрывающихся результатов, как это установлено в EN 206-1:2000.

В целом можно сделать вывод о том, что предложенный в новой редакции ГОСТ 18105 двойной (тройной?) критерий является нерациональным и сконструирован с существенными недостатками.

Еще менее благоприятный результат имеет место при использовании двойного (тройного?) критерия ГОСТ 18105-2010 при выполнении контроля прочности бетона по схеме (Б). Соответствующие операционные кривые, полученные расчетным путем в предположении, соответственно, двух различных вероятностных законов распределения параметра прочности бетона класса C^{20}_{25} , для стандартного отклонения в диапазоне 1,5...7 МПа при количестве единичных испытаний в группе $n = 15$, приведены на рисунке 9.

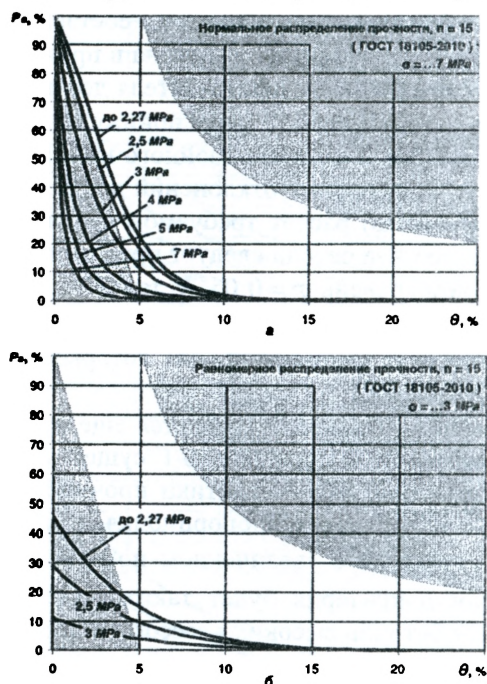


Рис. 9 – Фильтрационные кривые (ОС) критерия ГОСТ 18105-2010 для условий установившегося производства ($n = 15$) и различных стандартных отклонений σ нормально (а) и равномерно (б) распределенного параметра прочности [36]

Как видно из графиков, при нормальном распределении параметра прочности ни одна из кривых ОС (за исключением стандарт-

ных отклонений менее 2,27 МПа) не располагается в рабочей области, а целиком попадет в неэкономичную область. Кривые ОС для случая равномерного распределения только при весьма малых стандартных отклонениях попадают в рабочую область, но с крайне низкими (до 20%) вероятностями приемки.

В соответствии с требованиями к конструированию критериев, предложенный в ГОСТ 18105-2010 двойной критерий не может быть рекомендован к применению в связи с тем, что он имеет целый ряд недостатков. Основным из них, однако, является то, что применение данного критерия ведет к необоснованно высоким экономическим затратам, которые ложатся на производителя при практически нулевых рисках потребителя.

Обращает на себя внимание также и следующий эффект: фильтрационные кривые не только существенно зависят от стандартного отклонения и вида закона распределения параметра прочности, но их дискриминационная способность дополнительно возрастает при увеличении характеристической прочности бетона.

Указанные негативные эффекты объясняются, главным образом, внесением в критерий ГОСТ 18105-2010, наряду с условием $f_{ci,min} > f_{ck}$, дополнительных ограничений вида $f_{ci,min} \geq 1,28 f_{ck} - 4$ и $f_{ci,min} \geq f_{ck} + 1,76s - 4$, которые, с ростом параметров f_{ck} или s (точнее, если $0,28 f_{ck}$ или $1,76s$ превысят величину 4 МПа), закономерно ужесточают требования к каждому единичному результату испытаний прочности (*попытки авторов найти логичное обоснование внесенным ограничениям, к сожалению, успехом не увенчались*).

Следовательно, при выполнении контроля прочности бетона с использованием данного критерия, в особенности по схеме (Б), должны производиться сверхнадежные, но совершенно неэкономичные конструкции из бетона. Несложно заметить, что для обеспечения приемлемой вероятности приемки (например, $P_a = 75\%$) следует проектировать состав бетона по требуемой средней прочности, которая вытекает из обеспеченности квантилей порядка 0,01...0,02. Другими словами, для того, чтобы декларировать соответствие бетона по прочности на сжатие, например, класса $C^{20}/_{25}$ (B25) следует фактически производить бетон более высокого класса. Это, с определенным допущением, может быть оправдано толь-

ко для начального периода производства, но при оценивании групп $n = 15$ такой подход является недопустимым.

Таким образом, критерии ГОСТ 18105-2010 являются нерациональными и ведут к значительным экономическим затратам производителя при очень низком, близком к нулевому, риску потребителя.

Заключение

По результатам анализа, выполненного в рамках исследования критериев EN 206-1 и ГОСТ 18105-2010, могут быть сделаны следующие выводы:

Критерий соответствия EN 206-1:2000 для условий начального производства (при оценивании групп $n = 3$) является нерациональным, нелогичным и ведет к неоправданным экономическим затратам, ложащимся на производителя. При этом остается достаточно высокой вероятность приемки партий бетона со сниженным качеством. Вместе с тем, для условий установившегося (непрерывного) производства (при оценивании групп $n = 15$) предложенный критерий выглядит вполне приемлемым.

Критерий нового ГОСТ 18105-2010 (EN 206-1:2000, NEQ) является зависимым не только от величины стандартного отклонения измеряемого параметра, типа функции распределения, количества результатов, но и, что недопустимо, от характеристической прочности бетона на сжатие. Пользуясь этим критерием, который не очень удачно модифицирован по отношению к ГОСТ 18105-86, при довольно низких (менее 5%) рисках потребителя, требуемую вероятность приемки можно обеспечить только в неэкономичной области, что может приводить к существенным экономическим затратам для производителя.

Предложенные критерии лишь ограниченно могут быть использованы в практической деятельности, они требуют пересмотра с применением новых подходов, базирующихся, например, на элементах теории нечетких множеств и порядковых статистиках [4, 25].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бруссер М.И., Дорф В.А., Малиновский А.Г. и др. Новая система стандартов на правила контроля прочности бетонов// Бетон и железобетон, № 4, 1984.– с. 32–33.
2. ГОСТ 18105–2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности (EN 206–1:2000; NEQ).– Госстандарт РБ, 2010.– 11 с.
3. Тур В.В., Дереченник С.С., Дереченник А.С. О применении критериев соответствия прочности бетона согласно СТБ EN 206–1: 2000// Проблемы современного бетона и железобетона. Сб. научн. трудов БелНИИС, 2012.– с. 152–177.
4. Skrzypczak I. Analiza kryteriów oceny jakości betonu oraz ich wpływu na ryzyko producenta i odbiorcy.– Oficyna Wydawnicza Politechniki Przeszowskiej.–Przeshow, 2013.– 165 p.
5. Brunarski L. Podstawy matematyczne kszytłowania kryteriów zgodności wytrzymałości materiałów.– ITB, Warszawa, 2009.
6. Brown B.V., Gibb I. Appraisal of the EN 206-strength conformity proposals for initial and acceptance testing.– CEN TC/104/SC1/TG3.– 1994.
7. Gibb I., Hariison T. Use of control charts in the production of concrete.– ERMCO, October, 2010.
8. Taerwe L. Evaluation of compound compliance criteria for concrete strength.– RILEM, Materials and Structures, vol. 20, 1978.– pp. 13–20.
9. Beal A.N. Concrete strength testing – are the code writers getting it right?– The Structural Engineer, N 87(10), 2009.– p. 73.
10. Caspee R., Sykora M., Taerwe L. Influence of equality control of concrete on structural reliability: assessment using a Bayesian approach. Materials and Structures: RILEM 2013.– p. 1–12.
11. Brunarski L. Kriateria zgodności wytrzymałości charakterystycznej materiałów budowlanych w narmach PN–WN–ISO// Prace instytutu techniki budowlanej – kwartalnik, N 4)124=, 2002.– p. 15–41.
12. Holicki M., Vorliček M. Fractile estimation and sampling inspection in building.– Acta Politechnika, CVUT, Praha, vol. 32, nr. 1, 1992.– 87–96.

13. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990&2004, Еврокод.– Введ. 01.01.2012.– Минск, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012 – 140 с.
14. ACI 214R–02: Evaluation of strength test results of concrete.– Reported by ACI Committee 214 ACI 214R–1.
15. CEB–FIP: Model Code 1978 CEN Bulletin d'information CEB N 124–125(E), 1978.
16. ISO 2394:1998: General principles on reliability for structures (СТБ ISO 2394:1998 Общие принципы обеспечения надежности конструкций: IDT).
17. ISO 12491: Statistical methods for quality control of building materials and components (СТБ ISO 1249:1997 Статистические методы контроля качества строительных материалов и изделий).
18. ISO 3893:1997 Concrete – Classification by compressive strength.
19. EN 206–1:2000. Concrete – performance, production and conformity.– CEN, 2000 (СТБ EN 206–1:2000. Бетон. Часть 1: Требования, свойства, производства и соответствие; IDT).
20. CEB/CIB/FIP/RILEM: Recommended principles for the control of quality and the judgement of acceptability of concrete. Materials and structures, vol. 8, N 47, 1975.– p. 387–403.
21. Rackwitz R. Predictive distribution of strength under control. Materials and Structures, N 16(94), 1983.– p.p. 259–287.
22. JCSS. Probabilistic Model Code. Part 3. Resistance models, 10, October, 2000.
23. Gulvanessian H., Calgaro J.-A., Holicki M. Designer's Guide to EN 1990/ Tomas Telford Publishing, London E14SD, 2002.– 182 p.
24. Crompton S., Conformity to EN 206–1. Annual Convention Symposium: papers presented 2001, The Institute of Concrete Technology, Yearbook 2001–2002.– p. 35–53.
25. Szczygielska E., Tur V. Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie/ Budownictwo i Architectura, vol. 12(3), 2013.– s. 223–230.
26. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: Технологический регламент Республики Беларусь, ТР 2009/013/BY.

27. Бетонные и железобетонные конструкции/ Министерство архитектуры и строительства РБ: СНБ 5.03.01–02.– Введ. 1.07.03.– Минск, РУП "Минсктиппроект", 2003.– 140 с.

28. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992–1–1: 2009 Еврокод 2.– Введ. 01.01.10.– Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010.– 207 с.

29. ISO 3534–2:2002. Statistics. Terminology and symbols. Part 1: General terms in assessment of the probability and statistics.

30. Harrison T.A., Cropton S., Eastwood, ect. Guidance on the application of the EN 206–1 conformity rules. Quarry Products Association, April, 2001 – 89 p.

31. British Standard Institution. Concrete – complementary British Standard to BS EN 206–1:2000. Part 2. BS 8500–2, March 2001, p.p. 35.

32. Blaty H. (1973) Sampling inspection plan and operating characteristics for concrete (1977). Deutscher ausschuss für stahlbeton (233): 1973.

33. Caspee 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.p.

34. Caspee 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.

35. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников/ А.И. Кобзарь.– М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2006.– 816 с.

36. Тур В.В., Дереченник С.С., Щигельска Э., Дереченник А.С.

37. Статистический контроль прочности бетона на сжатие в соответствии с требованиями СТБ EN 206-1:2000и ГОСТ 18105-2010.//

38. Вестник БрГТУ.Строительство и архитектура.-№1(76)-2014, с.136.