

УДК 691.32

Учет влияния условий твердения бетона как фактор обеспечения требуемой надежности

Д. А. Черепанова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Черепанова Д. А. Учет влияния условий твердения бетона как фактор обеспечения требуемой надежности. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 4. С. 909–921. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-909-921

Аннотация

Цель: рассмотреть неучитываемые системой контроля качества бетона факторы, которые оказывают влияние на физико-механические характеристики бетона, напрямую связанные с уровнем надежности строительных конструкций, в первую очередь — влияние условий твердения бетона. Определить возможность обеспечения уровня надежности, заложенного при проектировании, при условии выполнения всех действующих требований; рассчитать степень корреляции прочности бетона с уровнем надежности и вероятностью отказа; обосновать необходимость обновления ряда подходов и принципов, заложенных в действующей нормативной документации по контролю качества бетона, а также предложить мероприятия для обеспечения соответствия фактического уровня надежности проектному. **Методы:** анализ структуры и требований действующей нормативной документации в области контроля качества бетона в целом и прочности при сжатии в частности; изготовление, испытание стандартных образцов-кубов бетона на сжатие и обработка результатов в соответствии с ГОСТ 10180, ГОСТ 18105. **Результаты:** указана необходимость изменения системы контроля качества бетона в сторону учета факторов, оказывающих влияние на обеспеченность фактической прочности бетона в конструкции вследствие ее высокой корреляции с уровнем надежности и вероятностью отказа. Рассчитаны поправочные коэффициенты для бетона с добавками и без, учитывающие условия твердения, а именно: твердение при температуре более 30 °С, при отрицательной температуре с использованием противоморозных добавок или с тепло/электропрогревом. Выявлена необходимость в создании системы поправочных коэффициентов влияния: условий твердения, выборки, стабильности, точности метода. **Практическая значимость:** использование предложенного поправочного коэффициента влияния условий среды позволит обеспечить фактическую прочность бетона в конструкции, требуемую для обеспечения проектного значения уровня надежности строительных объектов.

Ключевые слова: бетон, прочность при сжатии, класс бетона, надежность, коэффициент надежности, коэффициент запаса, коэффициент вариации прочности, вероятность отказа

Введение

Система действующей нормативной документации в области строительства [1, 2] ориентирована на обеспечение требуемого уровня надежности, который должен закладываться в процессе проектирования, обеспечиваться в процессе строительства и поддержи-

ваться в процессе эксплуатации. Надежность строительного объекта — это его способность выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации [3]. Фундаментальные принципы теории надежности, заложенные в работах М. Майера, Н. Ф. Хоциалова,

Н.С. Стрелецкого и А.Р. Ржаницына [4, 5], по-прежнему являются основой для расчета надежности. К невозможности обеспечить требуемый уровень надежности может привести отказ, то есть состояние строительного объекта, при котором не выполняется одно или несколько условий предельных состояний. Предельное состояние характеризуется превышением характерных параметров строительного объекта, что влечет невозможность, затруднение или нецелесообразность его эксплуатации.

На этапе проектирования надежность обеспечивается в первую очередь с помощью системы коэффициентов надежности, призванных учитывать изменчивость нагрузок и вариативность свойств строительных материалов, их деградацию с течением времени, условия эксплуатации зданий и сооружений, а также тяжесть негативных последствий в случае повреждений или разрушений строительного объекта (социальных, экономических, экологических) [3, 6]. Эти коэффициенты (надежности по нагрузке, ответственности, материалу, условиям работы) должны исключить влияние неблагоприятного стечения обстоятельств и не допустить отказа или аварии.

Надежность в процессе строительства связана с качеством используемых строительных материалов, что, в свою очередь, обеспечивается качеством контроля. Основные несущие конструктивные элементы строительного объекта изготавливаются из бетона (железобетона). Соответственно, ключевым фактором для обеспечения надежности бетонных изделий и конструкций является обеспеченность физико-механических характеристик бетона, из которого они изготавливаются [7]. Основным показателем качества бетона является его прочность при сжатии. Бетон — неоднородный по

своей структуре материал, на формирование структуры которого может оказать влияние значительное количество внешних и внутренних факторов, что в итоге приведет к вариативности его прочности. Бетон делится на классы по прочности — статистической характеристике, позволяющей учитывать фактическую однородность прочности бетона и требуемый уровень обеспеченности этого параметра.

Согласно большому объему накопленных испытательными лабораториями данных о вариативности прочности бетона, она в среднем составляет 13%, а достаточным принят уровень обеспеченности, равный 0,95. Это означает, что фактическое минимальное значение прочности бетона, численно (в МПа) соответствующее значению класса, будет обеспечено минимум в 95 случаях из 100. Именно эти значения коэффициента вариации прочности бетона и обеспеченности фигурируют в действующей нормативной документации [8].

Класс бетона по прочности, как и любой нормируемый показатель качества, должен определяться по стандартизированной методике [3]. Прочность при сжатии следует из результатов испытаний специально изготовленных или отобранных из конструкции контрольных образцов по ГОСТ 10180 [9], ГОСТ 28570 [10] либо методами неразрушающего контроля непосредственного в конструкции по ГОСТ 17624 [11], ГОСТ 22690 [12], а оценку прочности осуществляют по ГОСТ 18105 [13] с учетом фактической однородности бетона по этому показателю. При контроле прочности бетона неразрушающими методами однородность прочности бетона определяют с учетом погрешности применяемых неразрушающих методов. На этом же базируется концепция надежности зданий и сооружений [3], согласно которой нормативные характеристики материалов и грунтов, а также их изменчивость

следует определять на основе результатов испытаний соответствующих образцов или методами неразрушающего контроля в соответствии с требованиями, которые обозначены в технических регламентах, стандартах, сводах правил.

Несмотря на то что методы отличаются по точности и имеют ограничения по применению, нормативно не закреплено, какой из них и в какой ситуации должен применяться. При этом в зависимости от того, какой метод используется, варьирует суммарная погрешность оценки прочности бетона, что непосредственно влияет на уровень надежности, так как возрастает вероятность пропуска брака (бетона, прочность которого не соответствует требуемой) [14]. Весьма размыты требования и к квалификации работников / уровню компетентности испытательных лабораторий, реализующих строительный контроль [15].

Далее рассмотрены основные факторы, негативное влияние которых не позволяет отследить действующая система контроля основного показателя качества бетона — прочности при сжатии.

Методы

По результатам анализа структуры и требований действующей нормативной документации, регламентирующей порядок контроля качества бетона в целом и прочности в частности, а также по результатам проведенных экспериментов выявлены следующие факторы, определяющие достоверность результатов контроля прочности бетона, влияние которых не исключается соблюдением всех установленных требований и правил:

1. Применяемые методы и схемы контроля прочности бетона не всегда обеспечивают достаточную точность, несмотря на корреляцию нормативных документов с требованиями по

обеспечению надежности в части обеспечения нормативных характеристик материалов на основе испытаний соответствующих образцов в соответствии с требованиями технических регламентов, стандартов, сводов правил [16]. Это относится как к разрушающим, так и к неразрушающим методам [12]. Первые (по контрольным образцам, по образцам, отобранным из конструкций) [9, 10] по факту являются косвенными, так как прочность образца не определяется напрямую по шкале измерительного устройства, а рассчитывается на основании значения разрушающего усилия и геометрических размеров, для которых установлены требования по допустимой погрешности. При этом погрешность косвенного измерения не рассчитывается и не учитывается. А она, согласно проведенным расчетам, суммарно может достигать 7 %, то есть почти половину от допустимой или учитываемой вариации прочности бетона в 13 % [4, 16–18]. А вторые — условно неразрушающие прямые (отрыва со скалыванием, скалывания ребра) и косвенные (метод упругого отскока, отрыва, метод пластической деформации, метод ударного импульса, ультразвуковой метод) [11, 12] — кроме того, что тоже являются косвенными за счет косвенного измерения (характеристики определяются по градуировочной шкале, построенной на основании параллельных испытаний разрушающимися методами), согласно имеющимся экспериментальным данным, могут иметь инструментальную погрешность, сильно превышающую заявленную. Данная проблема выявлена по результатам параллельных испытаний образцов бетона разных составов, испытанных разными методами. При отходе от «классического состава» бетона и его твердении в условиях, отличных от нормальных, несколькими неразрушающими методами контроля получена прочность, отличающаяся от кубиковой

почти на 38 %. Более подробно результаты изложены в [19].

2. Существующая система не исключает возможный пропуск локальных дефектов прочности. Причин этого достаточно много:

- при контроле поставщиком выборка из всего объема бетонной смеси средней поставляемой партии объемом 50 м³ составляет максимум 0,02 м³ (шесть стандартных образцов-кубов размером 150 × 150 × 150 см), что составляет всего 0,04 %, то есть «проблемной» может оказаться та часть партии, которая не попала в выборку, и в дальнейшем именно она может попасть в наиболее опасный участок конструкции [17];

- контроль по образцам, отобраным из конструкции, не всегда информативен, так как образцы зачастую отбираются не из самых опасных для работы конструкции мест, а с точки зрения удобства и безопасности испытаний, к тому же качество выбуривания кернов и/или их обработка могут значительно повлиять на результат испытания;

- неразрушающие методы оценки прочности имеют ряд ограничений по их применению, то есть объем выборки для испытания ограничен частью конструкции, подходящей в качестве базы для испытаний (например, отсутствие дефектов поверхности, арматуры для ультразвукового контроля, контроль только поверхностного слоя при использовании метода отрыва со скалыванием и др.) [20];

- разрушающий контроль по образцам, твердевшим в идентичных условиях, учитывает не все факторы, оказавшие влияние на бетон конструкции, к тому же он возможен только для строящихся объектов.

То же касается и пропуска локальных дефектов прочности. Статистический подход при контроле, который является основой на-

дежности, реализуется в недостаточном объеме. Например:

- по результатам испытаний среднее значение прочности при сжатии может «сгладиться» за счет отбрасывания одного (для серии из трех или четырех стандартных образцов) и двух (для серии из шести образцов) минимальных результатов испытаний, что предусмотрено методикой [9] (предполагается, что отклонение прочности вызвано не качеством бетона, а пониженным качеством изготовления и испытания образцов);

- минимальное значение единичных значений прочности образцов в испытываемой партии, которое по установленным требованиям должно быть численно не ниже значения класса, является «усредненным»: не учитывает стабильность производства, объем выборки (количество испытываемых образцов), то есть не отражает риск-ориентированный подход.

Подробное обоснование с использованием статистического метода приемочного контроля качества по количественному признаку для нормального закона распределения представлено в [21]. О неприменимости критериев соответствия прочности бетона, установленных в действующей нормативной документации, для малых производственных объемов говорится и в [22].

3. Влияние условий твердения. Это один из наиболее важных параметров, которые необходимо учитывать. И делать это необходимо заблаговременно, то есть еще на этапе проектирования, а также при планировании проведения работ. Экспериментально подтверждено, что соблюдение правил ухода за бетоном не гарантирует обеспечения проектного значения прочности. Результаты проведенного исследования подробно представлены далее.

Для оценки эффективности мероприятий по уходу за бетоном как фактора исключения

негативного влияния на прочность бетона условий твердения, отличающихся от нормальных, были изготовлены две партии бетона: первая – бетон «классического состава» проектного класса В30 (без добавок); вторая — бетон с добавками (микрокремнеземом, расход 29,25 кг/м³) и пластификатором (Sika Sikament BV-3V, расход в соответствии с указаниями производителя) проектного класса В40. Данные о составах представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Данные о составах бетона

Материал	Расход материалов	
	В30	В40
Цемент (М500 ЦЕМ1 42,5Н), кг/м ³	450,0	450
Песок, кг/м ³	760,0	930
Щебень, кг/м ³	1140,0	700
Вода, кг/м ³	233,0	247

Из каждой партии бетона изготовлены стандартные образцы-кубы по ГОСТ 10180, которые были разделены на группы и помещены в условия, имитирующие твердение при температуре более 30 °С — ГР2; твердение при отрицательных температурах с прогревом без введения противоморозной добавки — ГР3; твердение при отрицательных температурах с введением противоморозной добавки (Sika Antifreeze FS-1) — ГР7. Также из каждой партии была изготовлена контрольная группа образцов, которые твердели в нормальных условиях, — ГР1. При твердении образцов соблюдались все правила ухода за бетоном в соответствующих условиях [23].

Перед определением прочности при сжатии в возрасте 28 суток, которое осуществлялось с соблюдением всех правил, определенных в ГОСТ 10180, образцы были испытаны на водонепроницаемость (способность бетона сопротивляться прохождению через его струк-

туру воды под давлением, которая напрямую связана с плотностью и прочностью) ускоренным методом по воздухопроницаемости [24] с помощью устройства для определения водонепроницаемости бетона ВВ-2.

Результаты

Данные о полученных значениях прочности образцов партии классического бетона (без добавок) проектного класса В30 представлены на рис. 1, партии бетона с добавками проектного класса В40 — на рис. 2.

Несмотря на то что, судя по результатам полученной прочности в возрасте 28 суток, на бетон без добавок условия среды не оказали негативного влияния, данные о результатах испытания партии бетона с добавками наглядно демонстрируют, что уход за бетоном не всегда способен обеспечить требуемую (заложенную при проектировании) прочность бетона, что влечет риски как для организатора строительства, так и для непосредственных пользователей готового объекта.

Данные о водонепроницаемости образцов (о марке по водонепроницаемости и среднем времени) партии классического бетона (без добавок) проектного класса В30 представлены на рис. 3, партии бетона с добавками проектного класса В40 — на рис. 4.

Представленные экспериментальные данные наглядно демонстрируют, что даже при сохранении прочности в проектном возрасте (бетон партии № 1, рис. 1) может существенно снижаться водонепроницаемость, что, в свою очередь, свидетельствует о наличии дефектов структуры, которые в начальный момент времени могут и не оказать влияние на физико-механические характеристики бетона, но со временем окажут влияние на долговечность и надежность конструкции, так как в том числе карбонизация бетона

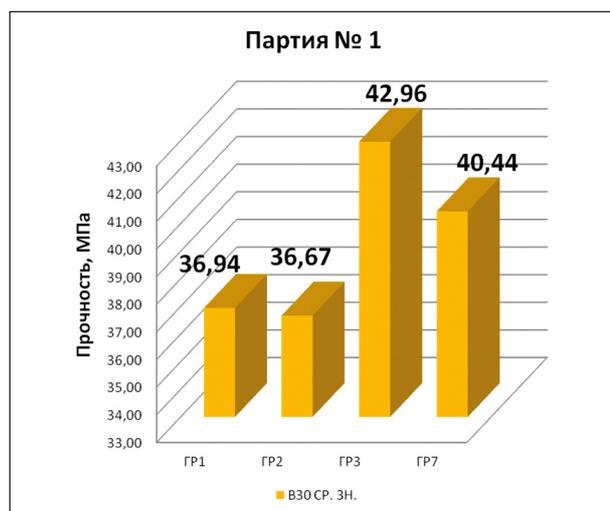


Рис. 1. Прочность образцов партии бетона без добавок

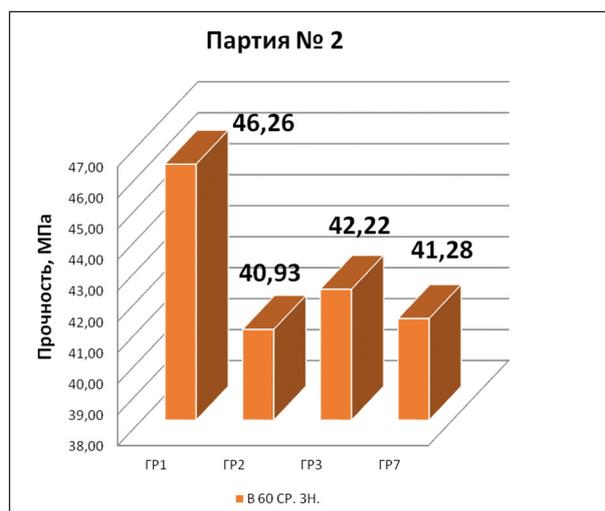


Рис. 2. Прочность образцов партии бетона с добавками

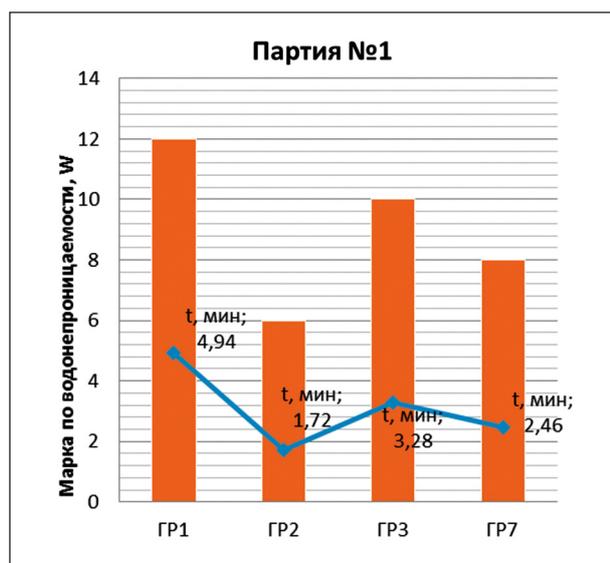


Рис. 3. Данные о водонепроницаемости партии бетона без добавок

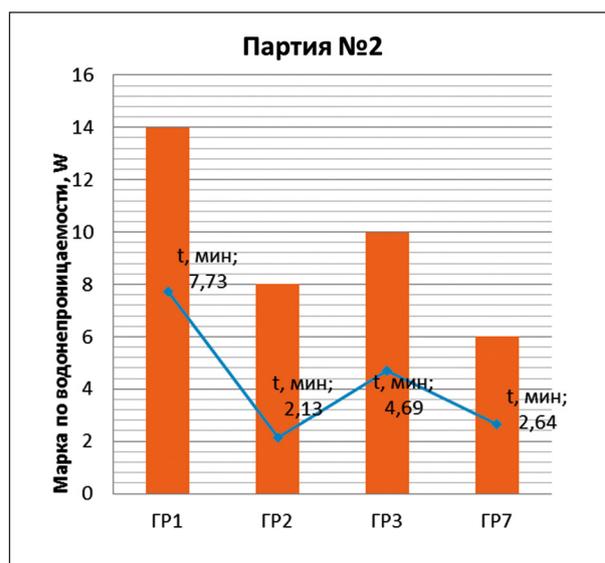


Рис. 4. Данные о водонепроницаемости партии бетона с добавками

и его последующее разрушение будут происходить значительно быстрее.

Все это приводит к тому, что значение минимальной прочности для класса смещается, появляется значение В'. Вероятность принятия брака из-за снижения фактического уровня обеспеченности прочности до уровня В' наглядно продемонстрирована на рис. 5.

Рассмотрим, как это в итоге повлияет на коэффициент запаса прочности $K_{зан}$ и напрямую связанный с ним уровень надежности.

Несущая способность и нагрузочный эффект будут определяться сложением случайных величин, участвующих в расчете и распределенных по нормальному закону (рис. 6).

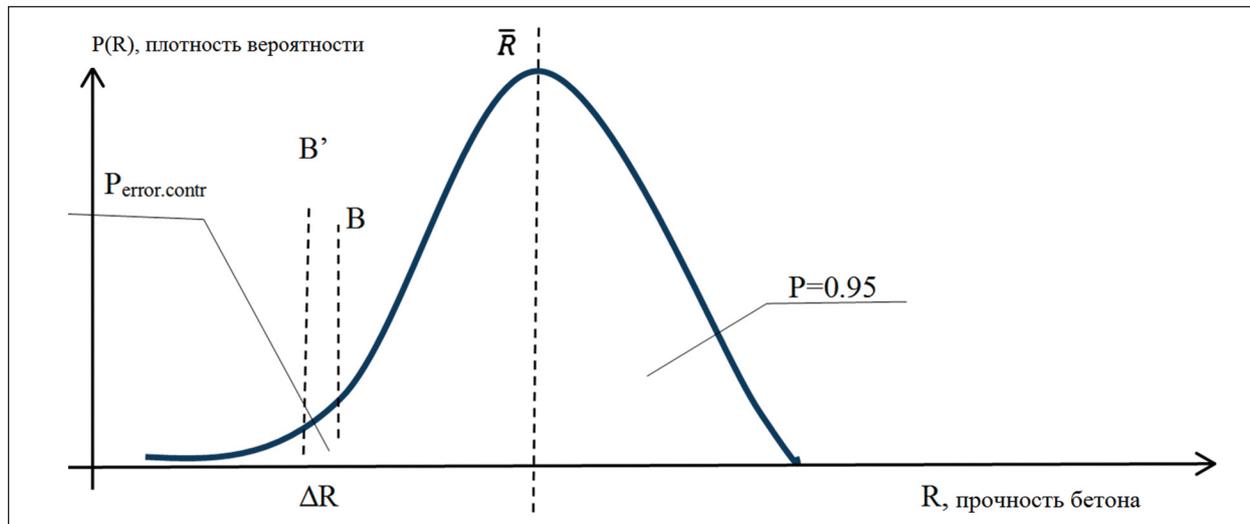


Рис. 5. Графическое представление вероятности ошибки при определении прочности из-за отсутствия наследственности показателя; ΔR — ошибка определения значения прочности; B' — предельная величина прочности, соответствующая классу бетона с учетом ошибок, пропущенных системой контроля

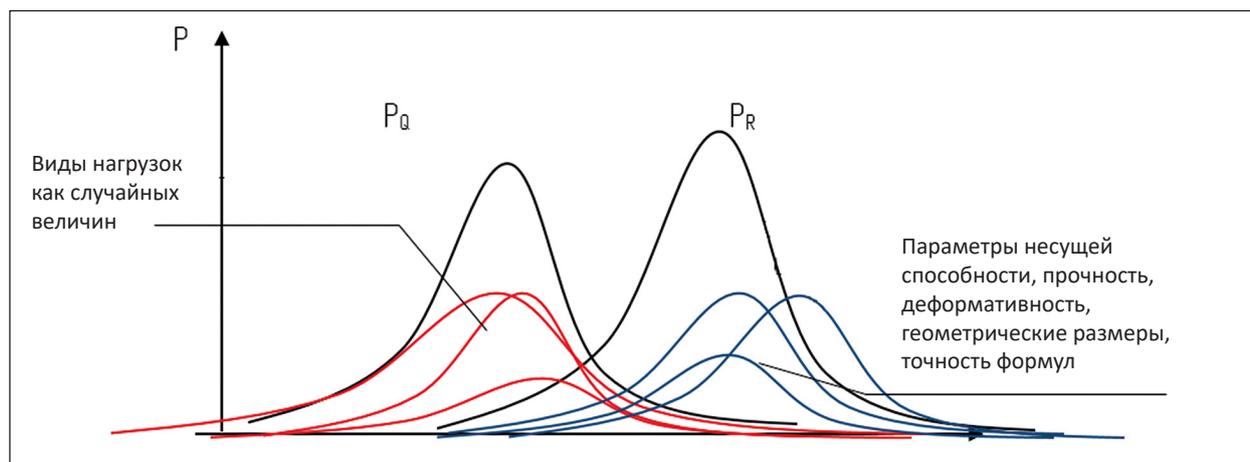


Рис. 6. Сравнение несущей способности и нагрузочного эффекта как суммирующего набора случайных факторов: нагрузок, прочности, геометрических размеров и др. ($P_Q = K_{занх} P_R$)

Принципиальные положения концепции безопасности сооружения [5] сформулированы как вероятностное решение проблемы « $G = R - E$ » в предположении, что обобщенные показатели сопротивления элемента R и нагрузки E есть случайные переменные, которые имеют нормальное распределение и взаимно не коррелируют:

$$P_f = P(R - E \leq 0) = P(G \leq 0) = \Phi \left[\frac{0 - \mu_G}{\sigma_G} \right], \quad (1)$$

где G — резерв прочности;
 P_f — вероятность отказа;
 μ_G и σ_G — первые моменты распределения (математическое ожидание и стандартное отклонение);
 Φ — нормальная функция распределения.

Вероятностным решением проблемы стала формула для определения β — характеристики безопасности (индекса надежности):

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G}. \quad (2)$$

Соответственно, вероятность отказа P_f является нормальной функцией распределения от $(-\beta)$:

$$P_f = \Phi(-\beta). \quad (3)$$

Тогда, исходя из (1) и (2), имеем:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}, \quad (4)$$

где: S_R, S_Q — среднеквадратическое отклонение прочностных свойств материала и нагрузок;

или:

$$\beta = \frac{K_{зан} - 1}{\sqrt{(v_R^2 K_{зан} + v_Q^2)}}, \quad (5)$$

где: v_R, v_Q — коэффициенты вариации прочностных свойств материала и нагрузок, рассчитываемые по формулам:

$$v_Q = \frac{S_Q}{\bar{Q}}, \quad (6)$$

$$v_R = \frac{S_R}{\bar{R}}. \quad (7)$$

Тогда вероятность отказа (разрушения материала) P_f можно сформулировать в виде:

$$P_f = \frac{1}{2} - \Phi(\beta) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (8)$$

или

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\beta^2 - 1}{\beta^3} \exp\left(\frac{-\beta^2}{2}\right), \quad (9)$$

а коэффициент запаса может быть представлен формулой:

$$K_{зан} = \frac{(2 + \beta^2 v_R^2) + \sqrt{(2 + \beta^2 v_R^2)^2 - 4(1 - \beta^2 v_Q^2)}}{2}. \quad (10)$$

Наглядно численное изменение уровня надежности β и соответствующее увеличение вероятности отказа P_f при изменении коэффициента запаса прочности с шагом в 1 % в сторону уменьшения от нормального значения до уровня 0,9 от исходного значения (то есть изменения на 10 % в сторону уменьшения) и всех связанных величин, рассчитанных по формулам (1)–(10), представлены в табл. 2.

Полученные данные подтверждают высокую корреляцию между коэффициентом запаса, уровнем надежности и вероятностью отказа соответственно: при уменьшении коэффициента запаса прочности на 10 %, индекс надежности уменьшается на 12 %, что соответствует увеличению вероятности отказа в 1,64 раза.

Используя полученные экспериментальные данные об уровне прочности в разных условиях твердения, предлагается ввести поправочный коэффициент условий твердения для нивелирования влияния негативных факторов среды, в которых бетон набирает прочность (табл. 3). Этот коэффициент необходимо учитывать при расчете требуемой прочности с учетом графика проведения работ.

Перспективным направлением развития исследования является создание системы поправочных коэффициентов для учета влияния всех факторов, рассмотренных в данной работе, с целью нивелирования влияния изменчивости прочности бетона. Предлагается ввести следующие коэффициенты:

- коэффициент условий твердения, подробно описанный ранее;
- коэффициент выборки, позволяющий учитывать объем выборки, который рассчитывается

ТАБЛИЦА 2. Изменение уровня надежности β и соответствующее увеличение вероятности отказа P_f при изменении коэффициента запаса $K_{зап}$ прочности бетона

ν_R	ν_Q	$K_{зап}$	β	P_f	Увеличение P_f , %
0,13	0,47	2,23	2,419	0,00734	–
		2,21	2,381	0,00811	9
		2,19	2,343	0,00895	18
		2,17	2,305	0,00986	26
		2,15	2,267	0,01084	32
		2,13	2,229	0,01191	38
		2,11	2,191	0,01306	44
		2,09	2,153	0,01431	49
		2,07	2,115	0,01564	53
		2,05	2,077	0,01707	57
		2,03	2,039	0,01860	61
		2,01	2,001	0,02022	64

ТАБЛИЦА 3. Коэффициент условий твердения

	Условия твердения		
	При температуре выше 30°C	При температуре ниже 0°C	При температуре ниже 0°C
Поправочный коэффициент	1,13	1,10	1,12

в том числе на базе плана выборочного контроля по количественному признаку;

- коэффициент стабильности (ответственности), позволяющий учитывать степень доверия к поставщику (стабильность производства, включая частоту отбора проб);

- коэффициент точности метода, заключающий в себе поправку, которая связана как с точностью средства измерения, так и с точностью метода в целом, и учитывающий ограниченность применения того или иного метода, уровень квалификации исполнителя испытания (испытательной лаборатории).

Выводы

Выполнения всех требований и правил, закрепленных в действующей нормативной

документации в области контроля качества бетона в целом и прочности при сжатии в частности, не всегда достаточно для обеспечения требуемого уровня надежности зданий и сооружений. Для устранения обозначенных проблем возможно действовать в двух направлениях. Первое — совершенствовать методы и методики, повышать точность испытания. Второе направление связано с проблемой отрывности испытываемых образцов от реальной конструкции. Контроль по образцам, по сути, характеризует качество компонентов, состав и качество перемешивания смеси, так как после изготовления на качество бетона могут оказать влияние такие факторы, как условия его транспортировки, технология укладки, условия твердения и др. Следовательно,

необходимо развивать методы, которые позволят контролировать бетон непосредственно в конструкции, на любом ее участке, например, альтернативным методом контроля по модулю упругости [25].

Кроме того, необходимо, чтобы система контроля закладывалась на этапе проектирования строительного объекта, включая:

- определение контрольных участков;
- определение методов, применение которых рационально на данных участках;
- разделение всех элементов конструкции по уровню ответственности по аналогии со зданиями;
- установление единых требований к квалификации работников, осуществляющих контроль, и к испытательным лабораториям.

Библиографический список

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Доступ из СПС «Гарант».
2. Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утв. постановлением Правительства РФ от 28.05.2021 № 815.
3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
4. Беленцов Ю.А., Харитонов А.М., Тихонов Ю.М. Оценка методов контроля прочности бетона по критерию надежности возводимых конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65). С. 147–151.
5. Лантух-Лященко А.И. Концепция надежности в Еврокоде // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2014. № 6. С. 79–88.
6. СП 20.13330.2016 (СНиП 2.01.07-85). Нагрузки и воздействия.
7. О надежности определения механических характеристик прочности бетона на сжатие при стандартных испытаниях / Л. М. Абрамов [и др.] // Евразийский союз ученых. 2016. № 31-1. С. 44–49.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
9. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
10. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.
11. ГОСТ 17624-2021. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
12. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
13. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
14. Влияние точности расчетных моделей и формул на результаты определения несущей способности конструкций / Ю. А. Беленцов [и др.] // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2022. № 5(1053). С. 50–53.
15. Аналитическая справка по вопросу об обязанности лиц, осуществляющих строительный контроль, быть членами саморегулируемых организаций, об определении уровня ответственности таких лиц по обязательствам, а также о субсидиарной ответственности саморегулируемой организации за неисполнение или ненадлежащее исполнение членом саморегулируемой организации обязательств по договорам строительного контроля, утв. Научно-консультативной комиссией (протокол от 14.05.2021 № 12) Ассоциации «Национальное объединение строителей» (НОСТРОЙ). URL: <https://nostroy.ru/dokumenty>
16. Возможность пропустить бракованные изделия из бетона с учетом точности контроля / Ю. А. Беленцов [и др.] // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 5.
17. Комов В.М., Беленцов Ю.А., Черепанова Д.А. Статистический контроль качества бетонов

для предотвращения «локальных выбросов» прочности в объеме материала // Актуальные проблемы естественных и технических наук: сб. ст. межвуз. науч.-практ. конф. СПб., 2023. С. 234–244.

18. Черепанова Д. А. Влияние метода испытания на достоверность оценки прочности бетона при сжатии // XVII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всерос. научн. конф. Вологда, 2023. С. 130–134.

19. Черепанова Д. А., Беленцов Ю. А. Влияние условий твердения на прочность и водонепроницаемость бетона // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. тр. LXXXIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2023. С. 282–288.

20. Черепанова Д. А. Сравнительный анализ существующих методов контроля прочности бетона // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: сб. науч. ст. по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2022. С. 249–257.

21. Черепанова Д. А. Статистический подход к установлению минимальной величины прочности

на сжатие при определении класса бетона // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 4(99). С. 90–99.

22. 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. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: М. Ф. Марковский [и др.]. Минск, 2012. Вып. 4. С. 152–176.

23. СП 435.1325800.2018 Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ.

24. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.

25. Способ контроля прочности бетона: патент на изобретение RU 2815345 C1, 13.03.2024 / Ю. А. Беленцов, Д. А. Черепанова; заявл. 21.11.2023.

Дата поступления: 05.08.2024

Решение о публикации: 20.09.2024

Контактная информация:

ЧЕРЕПАНОВА Дария Алексеевна — старший преподаватель, начальник отдела качества; cherepanova@pgups.ru

Taking into account the influence of concrete hardening conditions as a factor in ensuring the required reliability

D. A. Cherepanova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Cherepanova D. A. Taking into account the influence of concrete hardening conditions as a factor in ensuring the required reliability. Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 4. P. 909–921. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-909-921

Abstract

Purpose: to consider factors not taken into account by the concrete quality control system that influence the physical and mechanical characteristics of concrete, directly related to the level of reliability of building structures, primarily the influence of concrete hardening conditions. Determine the possibility of ensuring

the level of reliability assumed during the design, provided that all current requirements are met; calculate the degree of correlation between the strength of concrete and the level of reliability and probability of failure; justify the need to update a number of approaches and principles laid down in the current regulatory documentation for concrete quality control, and also propose measures to ensure that the actual level of reliability corresponds to the design level. **Methods:** analysis of the structure and requirements of current regulatory documentation in the field of quality control of concrete in general and compressive strength in particular; production, testing of standard concrete cube samples for compression and processing of results in accordance with GOST 10180, GOST 18105. **Results:** the need to change the concrete quality control system towards taking into account factors influencing the actual strength of concrete in a structure due to its high correlation with the level of reliability and probability of failure is indicated. Correction factors have been calculated for concrete with and without additives, taking into account hardening conditions, namely: hardening at temperatures above 30°C, at negative temperatures using anti-freeze additives or with heat/electric heating. The need has been identified to create a system of influence correction factors: hardening conditions coefficient, sampling coefficient, stability coefficient, method accuracy coefficient. **Practical importance:** the use of the proposed correction factor for the influence of environmental conditions will ensure the actual strength of concrete in the structure required to ensure the design value of the level of reliability of construction projects.

Keywords: concrete, compressive strength, concrete class, reliability, safety factor, safety factor, strength variation coefficient, probability of failure

References

1. Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij: feder. zakon ot 30.12.2009 No. 384-FZ // Dostup iz SPS «Garant».
2. Perechen' nacional'nyh standartov i svodov pravil (chastej takih standartov i svodov pravil), v rezul'tate primeneniya kotoryh na obyazatel'noj osnove obespechivaetsya soblyudenie trebovanij Federal'nogo zakona «Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij», utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 28.05.2021 No. 815.
3. GOST 27751-2014. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozheniya.
4. Belenczov Yu.A., Haritonov A.M., Tihonov Yu.M. Ocenka metodov kontrolya prochnosti betona po kriteriyu nadezhnosti vozvodimyh konstrukcij // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. No. 6(65). S. 147–151.
5. Lantuh-Lyashhenko A.I. Koncepciya nadezhnosti v Evrokode // Mosti ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika. 2014. No. 6. S. 79–88.
6. SP 20.13330.2016 (SNiP 2.01.07-85). Nagruzki i vozdejstviya.
7. O nadezhnosti opredeleniya mehanicheskikh harakteristik prochnosti betona na szhatie pri standartnyh ispytaniyah / L. M. Abramov [i dr.] // Evrazijskij soyuz uchenyh. 2016. No. 31-1. S. 44–49.
8. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya.
9. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazczam.
10. GOST 28570-2019. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po obrazczam, otobranym iz konstrukcij.
11. GOST 17624-2021. Betony. Ul'trazvukovoj metod opredeleniya prochnosti.
12. GOST 22690-2015. Betony. Opredelenie prochnosti mehanicheskimi metodami nerazrushayushhego kontrolya.
13. GOST 18105-2018. Betony. Pravila kontrolya i ocenki prochnosti.
14. Vliyanie tochnosti raschetnyh modelej i formul na rezul'taty opredeleniya nesushhej sposobnosti konstrukcij / Yu. A. Belenczov [i dr.] // BST: Byulleten' stroitel'noj tehniki. 2022. No. 5(1053). S. 50–53.
15. Analiticheskaya spravka po voprosu ob obyazannosti licz, osushhestvlyayushhih stroitel'nyj kontrol', byt' chlenami samoreguliruemym organizacij, ob opredelenii urovnya otvetstvennosti takih licz po

obyazatel'stvam, a takzhe o subsidiarnoj otvetstvennosti samoreguliruemoj organizacii za neispolnenie ili nenadlezhashhee ispolnenie chlenom samoreguliruemoj organizacii obyazatel'stv po dogovoram stroitel'nogo kontrolya, utv. Nauchno-konsul'tativnoj komissiej (protokol ot 14.05.2021 No. 12) Associacii "Nacional'noe obyedinenie stroitelej" (NOSTROJ). URL: <https://nostroy.ru/dokumenty>

16. Vozmozhnost' propustit' brakovannye izdeliya iz betona s uchetom tochnosti kontrolya / Yu. A. Belenczov [i dr.] // Vestnik evrazijskoj nauki. 2023. T. 15, No. 5.

17. Komov V. M., Belenczov Yu. A., Cherepanova D.A. Statisticheskij kontrol' kachestva betonov dlya predotvrashheniya "lokal'nyh vybrosov" prochnosti v obyeme materiala // Aktual'nye problemy estestvennyh i tehniceskikh nauk: sb. st. mezhvuz. nauch.-prakt. konf. SPb., 2023. S. 234–244.

18. Cherepanova D.A. Vliyanie metoda ispytaniya na dostovernost' ocenki prochnosti betona pri szhatii // XVII Ezhegodnaya nauchnaya sessiya aspirantov i molodyh uchenyh: materialy Vseros. nauchn. konf. Vologda, 2023. S. 130–134.

19. Cherepanova D. A., Belenczov Yu. A. Vliyanie uslovij tverdeniya na prochnost' i vodonepronitsaemost' betona // Transport: problemy, idei, perspektivy: sb. tr. LXXXIII Vseros. nauch.-texn. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh: v 2 t. SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya Imperatora Aleksandra I, 2023. S. 282–288.

20. Cherepanova D.A. Sravnitel'nyj analiz su-shhestvuyushhih metodov kontrolya prochnosti betona // Perspektivnye nauchnye issledovaniya: opyt, problemy i perspektivy razvitiya: sb. nauch. st. po materialam VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ufa, 2022. S. 249–257.

21. Cherepanova D.A. Statisticheskij podhod k ustanovleniyu minimal'noj velichiny prochnosti na szhatie pri opredelenii klassa betona // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2023. No. 4(99). S. 90–99.

22. Tur V.V., Derechennik S.S., Derechennik A.S. O primenenii kriteriev sootvetstviya prochnosti betona soglasno STB EN 206-1-2000 // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: sb. nauch. tr. / In-t BelNIIS; redkol.: M. F. Markovskij [i dr.]. Minsk, 2012. Vyp. 4. S. 152–176.

23. SP 435.1325800.2018 Konstrukcii betonnye i zhelezobetonnye monolitnye. Pravila proizvodstva i priemki rabot.

24. GOST 12730.5-2018. Betony. Metody opredeleniya vodonepronitsaemosti.

25. Sposob kontrolya prochnosti betona: patent na izobretenie RU 2815345 C1, 13.03.2024 / Yu. A. Belenczov, D. A. Cherepanova; zayavl. 21.11.2023.

Received: 05.08.2024

Accepted: 20.09.2024

Author's information:

Dariya Al. CHEREPANOVA — senior lecturer, head of quality department; cherepanova@pgups.ru