



УДК 691.328

Роль однородности материала в точности определения прочностных характеристик высокопрочных бетонов

Ю. А. Беленцов, Л. Ф. Казанская, Е. А. Докшина

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

Для цитирования: Беленцов Ю. А., Казанская Л. Ф., Докшина Е. А. Роль однородности материала в точности определения прочностных характеристик высокопрочных бетонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 2. — С. 499–508. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-499-508

Аннотация

Цель: Исследование требований к однородности бетона на точность определения его прочностных характеристик, а также выявление ограничений традиционных методов контроля прочности при работе с высокопрочными бетонами, с учетом особенностей европейских и российских нормативных подходов, влияния коэффициента вариации на достоверность классификации материала и способов повышения точности контроля. **Методы:** Использованы методы сравнительного анализа нормативных документов и научных публикаций в различных странах, методы математической статистики, прямые разрушающие методы испытания бетонных образцов на прочность. **Результаты:** Установлено, что увеличение класса бетона сопровождается ростом влияния коэффициента вариации на точность идентификации, что может привести к ошибкам в классификации высокопрочных бетонов. Проведен анализ существующих методов контроля прочности, выявлены их ограничения. Различия в нормативных подходах между европейскими и российскими стандартами требуют адаптации методик контроля к современным требованиям. Показано, что повышение однородности бетонной смеси способствует увеличению точности проектных расчетов и улучшению эксплуатационных характеристик строительных объектов. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования методов контроля прочности бетона, разработки новых нормативных требований и повышения надежности бетонных конструкций.

Ключевые слова: Высокопрочный бетон, однородность бетона, прочность на сжатие, контроль качества, коэффициент вариации, методы испытаний.

Введение

Современное состояние строительной индустрии предъявляет повышенные требования к качеству строительных материалов, которые определяют надежность строительной продукции. Повышение требований качества продук-

ции влияет не только с точки зрения повышения количественных параметров качества, но и с точки зрения стабильности и однородности показателей.

Например, если два образца бетона одной партии показывают значительное различие

при определении прочности, то это ставит под сомнение надежность всей конструкции. Высокопрочные бетоны особенно чувствительны к этому фактору, так как небольшие отклонения могут существенно повлиять на эксплуатационные характеристики зданий и сооружений, что обуславливает необходимость качества измерений и контроля по показателям сходимости и воспроизводимости. Требования европейских стандартов к точности контроля по показателю прочности бетона приведены в табл. 1 [1].

Примечание 1. Точные данные были определены в процессе эксперимента, проведенного в Великобритании в 1987 г., по результатам нескольких испытаний, рассмотренных в BS 1881. В эксперименте было задействовано 16 операторов. Бетонные смеси изготавливали с использованием обычного портландцемента, песка долины р. Темзы и крупного заполнителя размерами от 10 до 20 мм долины р. Темзы.

Примечание 2. Различие результатов двух испытаний одного образца, проводимых одним оператором, использующим одинаковое оборудование, в течение минимально допустимого промежутка времени превысит значение повторяемости r в среднем не более чем 1 раз в 20 случаях в процессе обычного и точного применения метода.

Примечание 3. Результаты испытаний одного образца, полученные в течение минимально допустимого промежутка времени двумя операторами, использующими разное оборудование, будут отличаться значением воспроизводимости R в среднем не более чем 1 раз в 20 случаях в процессе обычного и точного применения метода.

К исследованию высокопрочных бетонов обращаются ученые многих стран [2–8], однако в течение многих десятилетий нет единого подхода к вопросу контроля качества бетонов, включая высокопрочные.

Сравнительный анализ российских и европейских стандартов в области контроля качества бетона

В европейских стандартах контроль качества бетона основывается на статистических методах, где за стабильность материала отвечает производитель. Каждое измерение рассматривается как часть общей выборки, что позволяет минимизировать влияние отдельных отклонений.

В российских нормах акцент делается на оценку качества отдельных партий [9–11]. Такой подход позволяет учитывать особенности производства, но может привести к расхождению в классификации высокопрочных бетонов.

Возникает вопрос: какой подход лучше? Европейский метод позволяет учитывать колебания в процессе производства, но может привести к принятию низкокачественного бетона. Российский метод жестче контролирует каждую партию, но требует дополнительного тестирования и отбора проб.

Результаты испытаний, представленные в табл. 1, подходят для традиционных бетонов нормальной прочности. При этом показатели сходимости и воспроизводимости в процентах составляют примерно 3 и 5 % соответственно. Это хорошо соответствует оценке погрешности прямых разрушающих методов контроля прочности бетона в 4–5 % [9, 10], что соответствует нормальному диапазону прочности традиционных бетонов.

Таблица 1. Точные данные для измерений прочности на сжатие бетона, выраженные в процентном отношении среднего значения прочностей двух кубов, различия которых сравнимы с помощью повторяемости r или воспроизводимости [1]

Метод испытаний куба с длиной ребра, мм	Условия повторяемости		Условия воспроизводимости	
	sr	r	sR	R
100	3,2	9	5,4	15,1
150	3,2	9	4,7	13,2

Таблица 2. Зависимость эффективности использования расчетной прочности по отношению к гарантированной с вероятностью 0,95 и требуемой при испытании серии или партии бетона

Вид	Расчетные сопротивления бетона R_b , МПа, для предельных состояний первой группы при классе бетона по прочности на сжатие. Класс В			
	10	30	60	100
Бетон тяжелый, мелкозернистый и напрягающий				
Сжатие осевое (призменная прочность) R_b	6	17	33	47,5
Требуемая прочность серии или партии бетона по результатам испытания R	12,7	38,1	76,3	127,1
Отношение гарантированной с вероятностью 0,95 прочности к требуемой по результатам испытания к B/R , %	79	79	79	79
Отношение расчетной прочности по 1 гр ПС к требуемой по результатам испытания к R_b/R , %	47	45	43	37
Разница в единицах измерения R , МПа	5,3	16,6	34	62,6

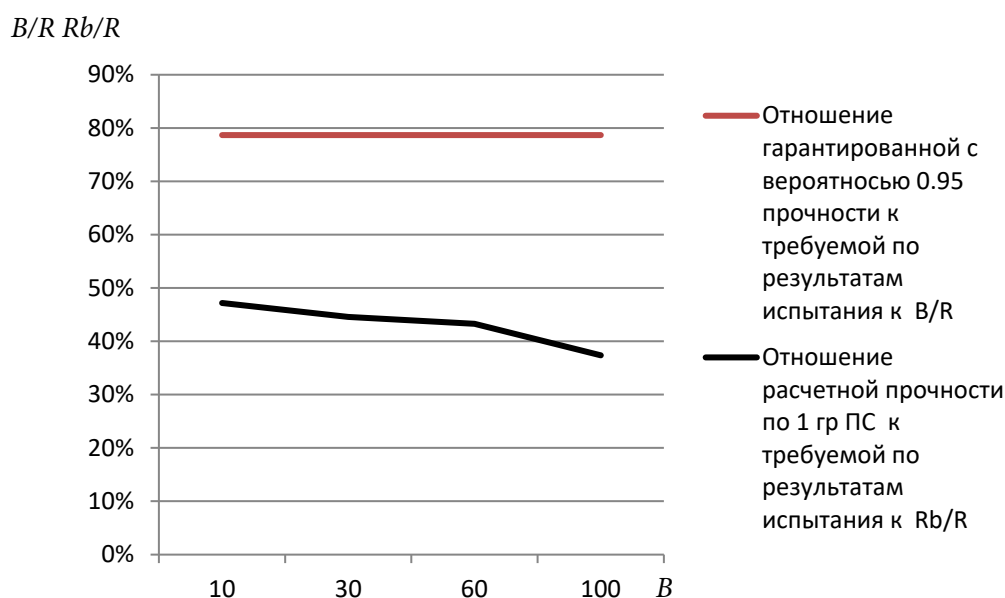


Рис. 1. Зависимость эффективности использования расчетной прочности по отношению к гарантированной с вероятностью 0,95 и требуемой при испытании серии или партии бетона

Переход на высокопрочные и особо высокопрочные бетоны, а затем на высококачественные и особо высококачественные, изменяет требования к контролю качества бетонов, поскольку применение традиционных методов контроля и предельных метрологических характеристик существенно снижет эффективность использования таких бетонов на практике расчетов [11].

Результаты сравнения эффективности использования расчетной прочности по отношению

к показателям класса по прочности и к требуемой фактической прочности по результатам испытания приведены в табл. 2. Расчеты проводились при использовании предельно допустимого коэффициента вариации $v = 0,13$.

Графическое представление зависимости эффективности использования расчетной прочности по отношению к гарантированной с вероятностью 0,95 и требуемой при испытании серии или партии бетона приведены на рис. 1.

При использовании высокопрочных бетонов доля используемой в конструктивных расчетах прочности существенно снижается по сравнению с традиционными. При использовании бетона В100 прочность расчетная снижается по сравнению с фактической на 62,6 МПа. Это повышает надежность конструкций, но снижает эффективность строительной продукции.

Обоснование необходимости идентификации высокопрочных бетонов

В процессе проектирования, создания, эксплуатации, ремонта и утилизации конструкций из бетонов высокой прочности должны одновременно повышаться качество и стабильность, однородность материалов. Это заложено в основе концепции теории надежности, которая предполагает количественную оценку уровня надежности проектируемых конструкций, перспективы развития проектирования конструкций с требуемым, численно оцениваемым уровнем надежности, как заложено, например, в европейских нормах. Принципиальное отличие контроля прочности бетона в соответствии с российскими и европейскими нормами заключается в различных подходах к оценке прочности. В европейских нормах используется принадлежность серии бетона как к бесконечному ряду измерений контролируемого параметра. Каждое значение контрольных показателей является лишь одним из множества стабильных результатов, это основывается на подходах Еврокомиссии, которая предполагает, что за качество бетона отвечает поставщик [12]. Особенности такого подхода определяют возможность принять плохой бетон и отбросить качественный [13–15]. Использование в российских нормативах подобного подхода приводит к тому, что в основе используется понятие «партия бетона», то есть набор материала в конструкциях, обладающих схожими свойствами за единицу времени. Использование схемы А и схемы В

из ГОСТ 18105 предполагает схожие с европейским подходом принципы. Однако использование ограниченной партии является более рациональным с точки зрения обеспечения требуемого уровня надежности.

Результатом развития строительного материаловедения является повышение не только интенсификационных параметров качества, например высокой прочности, морозостойкости, трещиностойкости, но и экстенсивных. Это обуславливает переход от понятия высокопрочного и особо высокопрочного к понятию особо качественного или высококачественного бетона. На примере такого показателя, как класс бетона по прочности, можно продемонстрировать, что недостаточное знание однородности материала снижает влияние показателя высокого класса. Это существенно затрудняет идентификацию высокопрочного бетона из-за невозможности точно идентифицировать, к какому классу относится тот или иной бетон, так как показатели контролируемой прочности бетона соответствующего класса определяются по средней величине, а разброс значений может быть достаточно значительным — в пределах класса.

Однородность определяется коэффициентом вариации прочностных свойств бетона, что влияет на обеспечение надежности проектируемых из бетона конструкций, а долговечность и эффективность строительной продукции зависит от требований однородности бетона в конструкциях. Тогда имеет смысл проводить оценку влияния однородности на правильность идентификации бетона по показателю «класс прочности», который по определению представляет собой гарантированную прочность бетона с вероятностью 95 %. Результаты испытаний зависят от предельного коэффициента вариации, значение которого для конкретного вида бетона будет определять качество идентификации материалов по показателю «класс прочности». Чем выше класс прочности, тем выше требования к однородности продукции.

Таблица 3. Допустимые результаты контроля прочности бетона при соседних классах бетона при коэффициенте вариации $v = 0,13$ и $0,05$

№	B	$R_{\min}^H$, МПа	$R_{cp} = B / (1 - tv)$, кгс/см ²	t	v	$S = vR_{cp}$, кгс/см ²	$R_{\min}$, кгс/см ²	$R_{\max}$, кгс/см ²
1	2,5	2,5	31,8	1,64	0,13	4,1	27,6	35,9
2	3,5	3,5	44,5	1,64	0,13	5,8	38,7	50,3
3	5	5	63,5	1,64	0,13	8,3	55,3	71,8
4	7,5	7,5	95,3	1,64	0,13	12,4	82,9	107,7
5	10	10	127,1	1,64	0,13	16,5	110,6	143,6
6	12,5	12,5	158,9	1,64	0,13	20,7	138,2	179,5
7	15	15	190,6	1,64	0,13	24,8	165,9	215,4
8	20	20	254,2	1,64	0,13	33,0	221,1	287,2
9	25	25	317,7	1,64	0,13	41,3	276,4	359,0
10	30	30	381,3	1,64	0,13	49,6	331,7	430,9
11	35	35	444,8	1,64	0,13	57,8	387,0	502,7
12	40	40	508,4	1,64	0,13	66,1	442,3	574,5
13	45	45	571,9	1,64	0,13	74,4	497,6	646,3
14	50	50	635,5	1,64	0,13	82,6	552,9	718,1
15	55	55	699,0	1,64	0,13	90,9	608,2	789,9
16	60	60	762,6	1,64	0,13	99,1	663,4	861,7
17	70	70	889,7	1,64	0,13	115,7	774,0	1005,3
18	80	80	1016,8	1,64	0,13	132,2	884,6	1149,0
19	90	90	1143,9	1,64	0,13	148,7	995,2	1292,6
20	100	100	1271,0	1,64	0,13	165,2	1105,7	1436,2
21	25	25	272,3	1,64	0,05	13,6	258,7	285,9
22	30	30	326,8	1,64	0,05	16,3	310,5	343,1
23	35	35	381,3	1,64	0,05	19,1	362,2	400,3
24	40	40	435,7	1,64	0,05	21,8	413,9	457,5
25	45	45	490,2	1,64	0,05	24,5	465,7	514,7
26	50	50	544,7	1,64	0,05	27,2	517,4	571,9
27	55	55	599,1	1,64	0,05	30,0	569,2	629,1
28	60	60	653,6	1,64	0,05	32,7	620,9	686,3
29	70	70	762,5	1,64	0,05	38,1	724,4	800,7
30	80	80	871,5	1,64	0,05	43,6	827,9	915,0
31	90	90	980,4	1,64	0,05	49,0	931,4	1029,4
32	100	100	1089,3	1,64	0,05	54,5	1034,9	1143,8

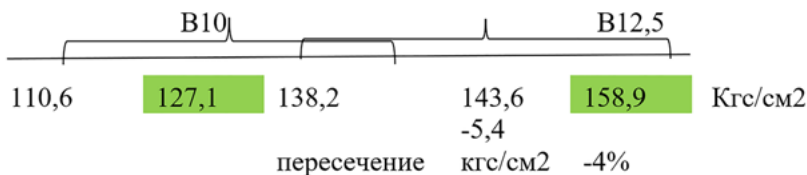
Влияние коэффициента вариации на точность идентификации класса бетона

Влияние коэффициента вариации на точность идентификации класса по прочности рассмотрено на примере бетона В90, при предельных коэффициентах вариации $v = 13$ и 5% . Получается, что строгий контроль однородности необходим не только для соблюдения нормативов, но

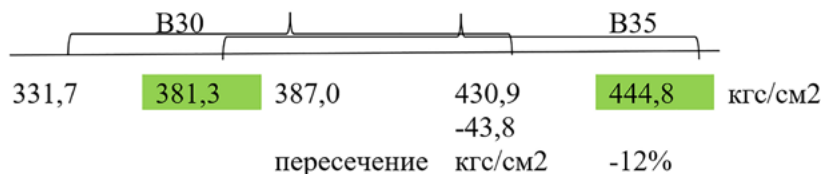
и для реального обеспечения безопасности конструкций. Можно ли говорить о необходимости введения жестких ограничений на коэффициент вариации для высокопрочных бетонов?

Требования сформулированы на основании наиболее точных прямых разрушающих методов контроля. Результаты расчетов сведены в табл. 3 и показаны на рис. 2 и 3.

— Класс В10 и 12,5



— Класс В30 и 35



— Класс В90 и 100

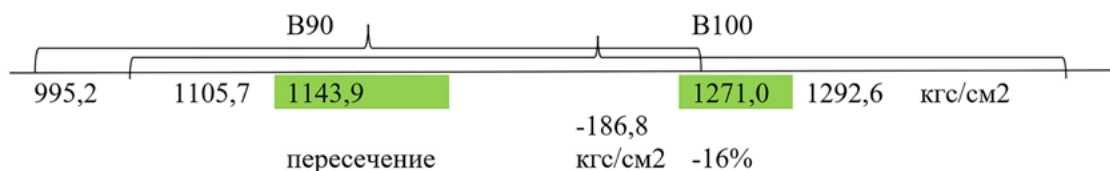
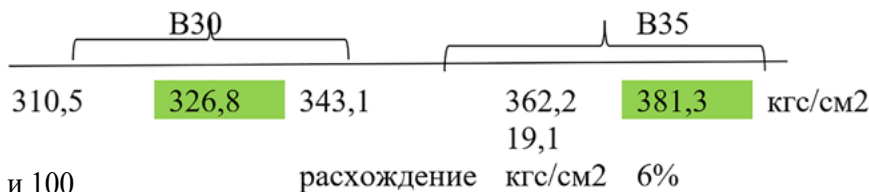


Рис. 2. Пересечение допустимых результатов контроля прочности бетона при соседних классах бетона при коэффициенте вариации $v = 0,13$

— Класс В30 и 35



— Класс В90 и 100

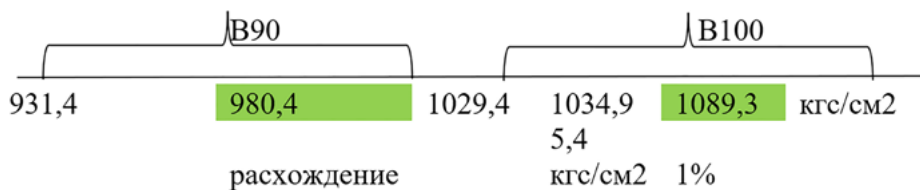


Рис. 3. Отклонение допустимых результатов контроля прочности бетона при соседних классах бетона при коэффициенте вариации $v = 0,05$

Из представленных результатов видно, что использование идентификации бетона высоких классов при допустимом коэффициенте вариации $v = 0,13$, пересечение зон допустимых результатов прочности по классу составляет 12–16 %. В абсолютных величинах пересечение показателя прочности для классов В90–В100

составляет 18,6 МПа. Идентификация может осуществляться по средней величине, но это существенно отразится на надежности возводимых конструкций.

При коэффициенте вариации $v = 0,05$ идентификация осуществляется достаточно эффективно, отклонение составляет 4–5 %, что находится в пре-

делах погрешности измерения прочности [16]. Значит, существующий подход соответствует требованиям однородности бетона в пределах 5 %. При допустимом коэффициенте вариации бетона $v = 0,13$ отличие классов бетона не будет позволять точно определить класс бетона.

Использование же косвенных методов значительно исказит точность измерений, поскольку точность построения кодировочных кривых составляет среднее квадратическое отклонение 12 % [17] и затруднит идентификацию высокопрочных бетонов из-за погрешностей градуировки.

Прямые методы контроля, в свою очередь, имеют собственную погрешность: нормативы предполагают, что погрешность прямых разрушающих методов составляет 2 %, а для прямых неразрушающих методов контроля прочности бетона — 4–7 % [17].

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что использование высокопрочных бетонов требует пересмотра принципов оценки качества и более высоких требований однородности показателей бетона. Применение высокопрочных бетонов подразумевает необходимость проектировать и выпускать бетоны с высокой степенью однородности, с минимальным коэффициентом вариации, близким $v = 0,05$.

Таким образом, можно сделать выводы:

1) повышение требований к однородности бетона позволяет точнее идентифицировать его класс прочности, что особенно важно для высокопрочных материалов;

2) европейские и российские нормативные подходы имеют принципиальные различия, что требует адаптации методик контроля;

3) контроль коэффициента вариации до уровня 5 % позволяет значительно повысить точность классификации.

Вопросы однородности бетона играют ключевую роль в обеспечении качества и надежности бетонных конструкций. Результаты исследования показывают, что традиционные методы контроля могут быть недостаточно точными для высокопрочных бетонов, и необходимо внедрение более строгих нормативов в части допустимого коэффициента вариации.

Дальнейшие исследования должны быть нацелены на развитие гибридных методов контроля, объединяющих статистические подходы европейских стандартов и детализированный анализ партий, используемый в российских нормативах. Такой подход позволит одновременно учитывать вариативность производства и обеспечивать стабильность характеристик бетона, что повысит надежность и эффективность строительных конструкций.

Список источников

1. EN 12390-3. Методы испытаний бетона. Часть 3. Определение прочности на сжатие испытываемых образцов. EN 12390-3:2009+AC:2011.
2. Wu L. L. Exploring the compositional effect of eco-friendly ultra-high performance concrete on dynamic strength based on stacking algorithm and explainable artificial intelligence / L. L. Wu, D. L. Zou, Y. F. Hao // *Developments in the Built Environment*. — 2024. — 20. — 100574. — DOI: 10.1016/j.dibe.2024.100574.
3. Farooq F. Predictive modeling for sustainable high-performance concrete from industrial wastes: a comparison and optimization of models using ensemble learners / F. Farooq, W. Ahmed, A. Akbar, F. Aslam // *J. Clean. Prod.* — 2021. — 292. — 126032. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126032.
4. Li Q. Prediction of compressive strength of rice husk ash concrete based on stacking ensemble learning model / Q. Li, Z. Song // *J. Clean. Prod.* — 2022. — 382. — 135279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135279.
5. Li P. P. Synergistic effect of steel fibres and coarse aggregates on impact properties of ultra-high performance

fibre reinforced concrete / P. P. Li, Y. Y. Y. Cao, M. J. C. Sluijsmans, H. J. H. Brouwers et al. // *Cem. Concr. Compos.* — 2021. — 115. — 103866. — DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103866.

6. Yu Q. Research progress on the dynamic compressive properties of ultra-high performance concrete under high strain rates / Q. Yu, W. Zhuang, C. Shi // *Cem. Concr. Compos.* — 2021. — 124. — 104258. — DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104258.

7. Zhuang W. The effect of supplementary cementitious material systems on dynamic compressive properties of ultra-high performance concrete paste / W. Zhuang, S. Li, Q. Yu // *Construct. Build. Mater.* — 2022. — 321. — 126361. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126361.

8. Беленцов Ю. А. Влияние точности контроля на качество возводимых конструкций / Ю. А. Беленцов, М. С. Абу-Хасан / *БСТ: Бюллетень Строительной Техники.* — 2021. — № 10. — С. 20–23.

9. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

10. ГОСТ 18105—2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

11. ГОСТ 31914—2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества.

12. Тур В. В. О применении критериев соответствия прочности бетона согласно СТБ EN 206-1-2000 / В. В. Тур, С. С. Дереченник, А. С. Дереченник // *Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т*

БелНИИС; редкол.: М. Ф. Марковский и др. — Минск, 2012. — Вып. 4. — С. 152–176.

13. Beal A. N. Concrete strength testing — are the code writers getting it right? / A. N. Beal // *The Structural Engineer.* — 19 May 2009. — Vol. 87(10). — P. 73.

14. Beal A. N. Concrete Cube Strength — what use are Statistics? / A. N. Beal // *ICE Proc.* — December, 1981. — Part 2. — Pp. 1037–1048.

15. Neville A. M. Core Tests: Easy to Perform, not Easy to Interpret / *Concrete International.* — November 2001. — Pp. 57–68.

16. Беленцов Ю. А. Метрологическое обеспечение контроля качества бетонов для обеспечения расчетного уровня надежности строительной продукции / Ю. А. Беленцов, М. С. Абу-Хасан, В. В. Егоров, Л. Р. Куправа // *БСТ: Бюллетень Строительной Техники.* — 2021. — № 4. — С. 34–36.

17. ГОСТ Р 53231—2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

Дата поступления: 31.03.2025

Решение о публикации: 16.04.2025

Контактная информация:

БЕЛЕНЦОВ Юрий Алексеевич — д-р техн. наук, проф.; belents@mail.ru

КАЗАНСКАЯ Лилия Фаатовна — д-р техн. наук, проф.; yalifa@inbox.ru

ДОКШИНА Елизавета Аркадьевна — студент; dokshinalisa15@gmail.com

Influence of Material Homogeneity on the Accuracy of Strength Definition for High Performance Concretes

Yu. A. Belentsov, L. F. Kazanskaya, E. A. Dokshina

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

For citation: Belentsov Yu. A., Kazanskaya L. F., Dokshina E. A. Influence of Material Homogeneity on the Accuracy of Strength Definition for High Performance Concretes // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 2, pp. 499–508. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-499-508

Summary

Purpose: To investigate the effect of concrete uniformity requirements on the accuracy of its strength characteristics; to identify the limitations of traditional strength control methods when working with high performance concretes. The particularities of the European and Russian regulatory approaches, the influence of the coefficient of variation on the reliability of the material classification and possible ways to improve the accuracy of control are considered. **Methods:** Methods of comparative analysis of regulatory documents and scientific publications in different countries, methods of mathematical statistics, and direct destructive tests of concrete samples for strength were used. **Results:** It has been found that as the concrete class increases, the influence of the coefficient of variation on the accuracy of classification, which can lead to errors in the classification of high strength concretes. The analysis of existing strength control methods has been carried out and their limitations have been identified. Differences in regulatory approaches between the European and Russian standards require the adaptation of control methods to modern requirements. It has been demonstrated that increasing the uniformity of concrete mixtures helps to increase the accuracy of design calculations and improve the operational characteristics of construction facilities. **Practical significance:** The results obtained can be used to improve concrete strength control methods, develop new regulatory requirements, and improve the reliability of concrete structures.

Keywords: High-strength concrete, concrete homogeneity, compressive strength, quality control, coefficient of variation, test methods.

Reference

1. EN 12390-3. *Metody ispytaniy betona. Chast' 3. Opredelenie prochnosti na szhatie ispytyvaemykh obraztsov*. EN 12390-3:2009+AC:2011 [EN 12390-3. Test methods for concrete. Part 3. Determination of compressive strength of test specimens. EN 12390-3:2009+AC:2011]. (In Russian)
2. Wu L. L., Zou D. L., Hao Y. F. Exploring the compositional effect of eco-friendly ultra-high performance concrete on dynamic strength based on stacking algorithm and explainable artificial intelligence. *Developments in the Built Environment*, 2024, 20, 100574. DOI: 10.1016/j.dibe.2024.100574.
3. Farooq F., Ahmed W., Akbar A., Aslam F. Predictive modeling for sustainable high-performance concrete from industrial wastes: a comparison and optimization of models using ensemble learners. *J. Clean. Prod.*, 2021, 292, 126032. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126032.
4. Li Q., Song Z. Prediction of compressive strength of rice husk ash concrete based on stacking ensemble learning model. *J. Clean. Prod.*, 2022, 382, 135279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135279.
5. Li P. P., Cao Y. Y. Y., Sluijsmans M. J. C., Brouwers H. J. H. et al. Synergistic effect of steel fibres and coarse aggregates on impact properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete. *Cem. Concr. Compos.*, 2021, 115, 103866. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103866.
6. Yu Q., Zhuang W., Shi C. Research progress on the dynamic compressive properties of ultra-high performance concrete under high strain rates. *Cem. Concr. Compos.*, 2021, 124, 104258. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104258.
7. Zhuang W., Li S., Yu Q. The effect of supplementary cementitious material systems on dynamic compressive properties of ultra-high performance concrete paste. *Construct. Build. Mater.*, 2022, 321, 126361. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126361.
8. Belentsov Yu. A., Abu-Khasan M. S. Vliyanie tochnosti kontrolya na kachestvo vozvodimyykh konstruksiy [Influence of control accuracy on the quality of erected structures]. *BST: Byulleten' Stroitel'noy Tekhniki* [BST: Bulletin of Construction Equipment]. 2021, Iss. 10, pp. 20–23. (In Russian)
9. SP 63.13330.2018. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozeniya* [SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions]. (In Russian)
10. GOST 18105—2018. *Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [GOST 18105—2018. Concretes. Rules for control and strength assessment]. (In Russian)

11. *GOST 31914—2012. Betony vysokoprochnye tyazhelye i melkozernistyye dlya monolitnykh konstruktsiy. Pravila kontrolya i otsenki kachestva* [GOST 31914—2012. High-strength heavy and fine-grained concrete for monolithic structures. Rules for control and quality assessment]. (In Russian)
 12. Tur V. V., Derechennik S. S., Derechennik A. S. O primeneni kriteriev sootvetstviya prochnosti betona soglasno STB EN 206-1-2000 [On the application of criteria for compliance of concrete strength according to STB EN 206-1-2000]. *Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: sb. nauch. tr.* [Problems of modern concrete and reinforced concrete: collection of scientific papers]. Minsk, 2012, Iss. 4, pp. 152–176. (In Russian)
 13. Beal A. N. Concrete strength testing — are the code writers getting it right? *The Structural Engineer*, 19 May 2009, vol. 87(10), p. 73.
 14. Beal A. N. Concrete Cube Strength — what use are Statistics? *Proc.*, December, 1981, part 2, pp. 1037–1048.
 15. Neville A. M. *Core Tests: Easy to Perform, not Easy to Interpret* Concrete International, November 2001, pp. 57–68.
 16. Belentsov Yu. A., Abu-Khasan M. S., Egorov V. V., Kuprava L. R. Metrologicheskoe obespechenie kontrolya kachestva betonov dlya obespecheniya raschetnogo urovnya nadezhnosti stroitel'noy produktsii [Metrological support of concrete quality control to ensure the estimated level of reliability of construction products]. *BST: Byulleten' Stroitel'noy Tekhniki* [BST: Bulletin of Construction Equipment]. 2021, Iss. 4, pp. 34–36. (In Russian)
 17. *GOST R 53231—2008. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [GOST R 53231—2008. Concretes. Rules for control and strength assessment]. (In Russian)
- Received: March 31, 2025
Accepted: April 16, 2025
- Author's information:**
Yuri A. BELENTSOV — Dr. Sci. in Engineering,
Professor; belents@mail.ru
Liliya F. KAZANSKAYA — Dr. Sci. in Engineering,
Professor; yalifa@inbox.ru
ELIZAVETA A. DOKSHINA — Student;
dokshinalisa15@gmail.com