

УДК 691.32

Наследственность показателей качества бетона как фактор эффективного контроля

Д. А. Черепанова

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

Для цитирования: Черепанова Д. А. Наследственность показателей качества бетона как фактор эффективного контроля // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 4. — С. 1060–1072. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1060-1072

Аннотация

Цель: Определить факторы системы контроля качества бетона в контексте всего жизненного цикла зданий и сооружений, которые не позволяют гарантировать прочность бетона при сжатии при условии удовлетворительных результатов контроля; разработать предложения, способные гарантировать заложенный уровень обеспеченности прочности бетона. **Методы:** На основе сравнительного анализа данных, нормативных требований и научных публикаций с применением метода дерева отказов исследованы взаимосвязи между факторами системы контроля и отказами бетонных и железобетонных конструкций. Оценка состояния системы контроля (как сдерживающего фактора развития) базируется на результатах экспериментально-теоретических исследований автора. **Результаты:** Показаны основные этапы и уровни в системе контроля качества бетона в контексте всего жизненного цикла зданий и сооружений. Установлены взаимосвязи между отказом бетона в конструкции и допустимыми погрешностями методов и методик контроля прочности бетона при сжатии. Разработано «дерево отказов» для конструкции из бетона (железобетона) в контексте факторов системы контроля. Выявлено влияние количества варьируемых факторов системы контроля в обеспечении эффективной комбинации параметров контроля и достоверности получаемых результатов для гарантии заданного уровня обеспеченности прочности. Определены составляющие (инструментальная, методологическая, субъективная) суммарной погрешности стандартных методов контроля прочности (разрушающих и неразрушающих). **Практическая значимость:** Обоснована необходимость внедрения этапа проектирования контроля непосредственно под конкретный объект, что позволит без глобальных изменений в системе контроля снизить влияние неоднородности за счет устранения слабых мест в системе контроля (учета влияния рассмотренных факторов), которые не позволяют получать достоверную информацию о реальном значении прочности бетона в конструкции.

Ключевые слова: Контроль качества, прочность при сжатии, погрешность, дерево отказов, надежность, методы контроля прочности, форма и размер образцов.

Введение

Основной задачей контроля качества бетона является обеспечение возможности гарантировать уровень его неразрушимости в конструкции за счет установления его реальных характеристик в конструкции на протяжении всего жизненного цикла зданий и сооружений. Однако принципы действующей системы контроля не всегда

позволяют своевременно выявлять и устранять, насколько это возможно, причины, приводящие к отказам и авариям на строительных объектах, и приводят к конфликту интересов поставщика и потребителя [1]. Это происходит из-за неоднородности бетона и погрешностей методик и методов контроля [2–4].

В целях исключения влияния вариативности прочности бетона при сжатии определен ряд правил ее контроля [5–7]. Статистический подход на разных этапах контроля наряду со стандартизованностью подходов и методов является основой исключения влияния изменчивости свойств бетона на надежность возводимых конструкций [8]. Надежность должна обеспечиваться выполнением условия, что суммарный резерв прочности при стечении всех неблагоприятных факторов будет больше суммарного нагрузочного эффекта на протяжении всего срока его планируемой эксплуатации [9, 10].

На этапе проектирования реализация данного условия обеспечивается расчетом требуемого запаса прочности исходя из конкретных внешних и внутренних воздействий при строительстве конкретного объекта в конкретных условиях, с учетом условий и режимов будущей эксплуатации здания, возможности их изменчивости, а также с учетом вариативности и деградации со временем свойств строительных материалов [9, 11]. Однако для обеспечения надежности на заложенном при проектировании уровне необходимо знать действительные характеристики материала, которые, несмотря на большой объем экспериментальных данных и развитие программных средств прогнозирования, определить с достаточным уровнем точности по-прежнему затруднительно [12].

В связи с этим актуальной задачей является повышение качества контроля. Это возможно за счет обеспечения наследственности показателей качества бетона на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Для этого требуется снижение всех видов погрешностей в системе контроля, так как неэффективно создавать материал с требуемыми свойствами, если эти свойства невозможно однозначно оценить и, соответственно, применить материал (например, высокопрочные бетоны).

Методы

В рамках исследования произведен анализ основной нормативной документации в области контроля качества бетона [5–9, 13–22], выделены и проиллюстрированы основные этапы и направления в системе контроля в контексте жизненного цикла зданий и сооружений. На основе сравнительного исследования существующих данных, норм и научных публикаций с помощью метода «анализ дерева отказов» определены и проиллюстрированы взаимосвязи между отказом бетона в конструкции и допустимыми погрешностями методов и методик контроля прочности бетона при сжатии.

Результаты

Из-за недостаточного уровня достоверности получаемых результатов в связи с отсутствием наследственности показателей прочности бетона при сжатии на разных этапах жизненного цикла зданий и сооружений потенциал бетона используется неэффективно. При назначении расчетных сопротивлений прочность снижается дважды: при учете коэффициента вариации прочности с учетом требуемого уровня обеспеченности 0,95 (1) [23] и при введении коэффициента надежности (1,3 для тяжелого бетона), который учитывает возможные отклонения фактических свойств бетона от заданных в проекте значений, а также возможные погрешности при расчетах [20].

$$B = R_m (1 - 1,64 \cdot V_m), \quad (1)$$

где B — класс бетона по прочности;

R_m — среднее значение временного сопротивления бетона сжатию, установленное при испытании стандартных кубов;

V_m — коэффициент вариации прочности бетона в партии.

Однако объем накопленных данных и развитие программных комплексов, которые позволили

совершенствовать подходы по подбору состава бетона и проектированию/прогнозированию его свойств, обеспечивать точное дозирование компонентов, по-прежнему не позволяют в достаточной степени влиять на изменчивость бетона внутри изделия. Сложность решения этой проблемы состоит в большом количестве факторов, которые

могут оказать влияние на формирование структуры бетона и деградацию его свойств во времени (параллельные процессы), а также в сложном прогнозировании их синергетического эффекта.

Основные этапы контроля в контексте жизненного цикла зданий и сооружений представлены на рис. 1. На разных этапах он включает:

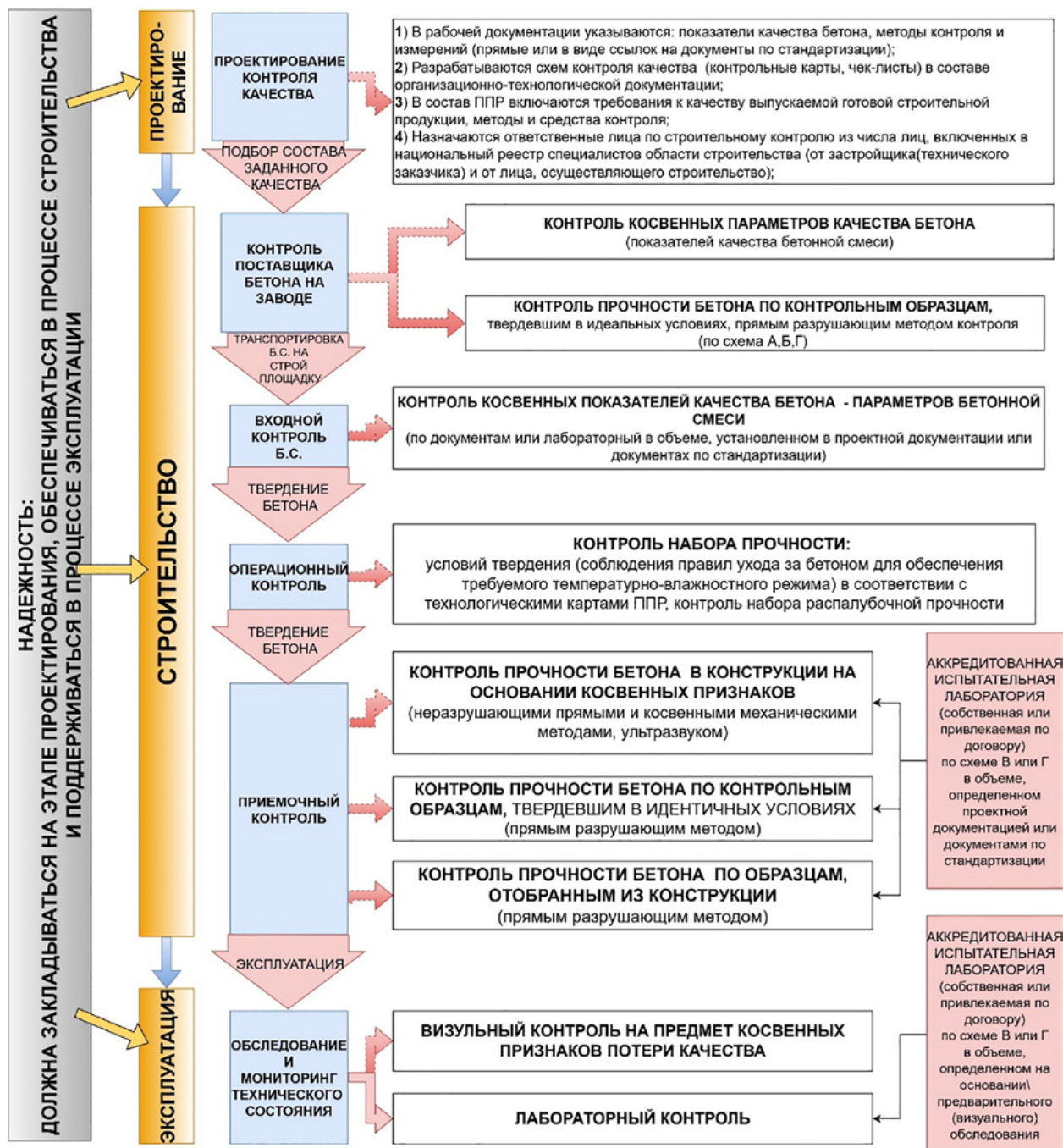


Рис. 1. Схема контроля качества бетона на всех этапах жизненного цикла

- контроль косвенных параметров — показателей качества бетонной смеси (водоцементного отношения, подвижности, плотности и др.);
- контроль прямых показателей (прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и др.) бетона в специально изготовленных образцах;
- контроль прямых показателей качества бетона, отобранного из конструкции, и косвенных показателей прочности бетона в конструкции.

Проблема заключается в том, что на разных этапах множество внешних факторов может оказывать влияние различной степени, в результате чего бетон надлежащего качества, поступивший с завода, может перестать соответствовать требованиям уже в конструкции. При этом множество варьируемых факторов системы контроля организовано не оптимальным образом: отсутствует эффективная комбинация параметров контроля, которая обеспечивала бы достаточную достоверность результатов на каждом этапе. Это не позволяет гарантировать сохранение заданного уровня обеспеченности прочности при переходе от одного этапа к другому.

Для повышения качества выходной информации в процессе контроля требуется анализ факторов, воздействующих на характеристики бетона с момента его выпуска на заводе до потенциального отказа в составе конструкции. Эти факторы следующие:

- **в процессе транспортировки бетонной смеси:** вибрация и тряска могут привести к расслоению бетонной смеси; неподвижность в сочетании с высокой температурой — к раннему началу схватывания и, как следствие, к неравномерному твердению; попадание атмосферных осадков может привести к изменению состава и, соответственно, свойств; кроме того, может иметь место быть задержка доставки;
- **на строительной площадке:** может быть простой смеси до заливки в опалубку и, как следствие, начало схватывания раньше, чем смесь окажется в опалубке; влияние технологии укладки на уплотнение смеси; ранняя распалубка; попытка вернуть

подвижность схватившемуся бетону путем добавления воды; влияние температуры и влажности на твердеющий бетон может нарушить нормальное протекание реакции гидратации при недостаточном соблюдении требований по уходу за бетоном; гравитационное расслоение бетона в конструкции; влияние на твердеющий бетон механических и вибрационных нагрузок;

- **в процессе эксплуатации:** выветривание и перепады температур в сочетании с воздействием влаги приводит к разрушению поверхностных слоев, что упрощает проникновение вглубь бетона агрессивных веществ и образование нежелательных соединений, а также появлению трещин, которые под воздействием эксплуатационных нагрузок постепенно увеличиваются, приводя к разрушению и отказам.

Перечисленные факторы описаны в научнотехнической литературе, однако система контроля развивается недостаточно эффективно и отстает от темпов прогресса в строительном материаловедении (в области бетонов) и в строительной отрасли в целом. Причина заключается в том, что указанные проблемы решаются изолированно на разных уровнях контроля. Развитие осуществляется на каждом уровне «пирамиды контроля» / в каждой цепочке (цепочке создания материала с заданными свойствами, конструкции с требуемыми характеристиками, здания с требуемым уровнем надежности) отдельно от других (рис. 2).

В рамках системы контроля много варьируемых параметров. Например, форма и размер образца для испытания существенно влияют на результат: прочность образцов-кубов выше прочности призматической за счет трения по опорам. При этом основным типом несущих конструкций являются колонны. Именно поэтому в расчетах их прочности не может быть непосредственно использована кубиковая прочность бетона, а основной характеристикой прочности бетона сжатых элементов, используемых при расчете, является призматическая прочность.

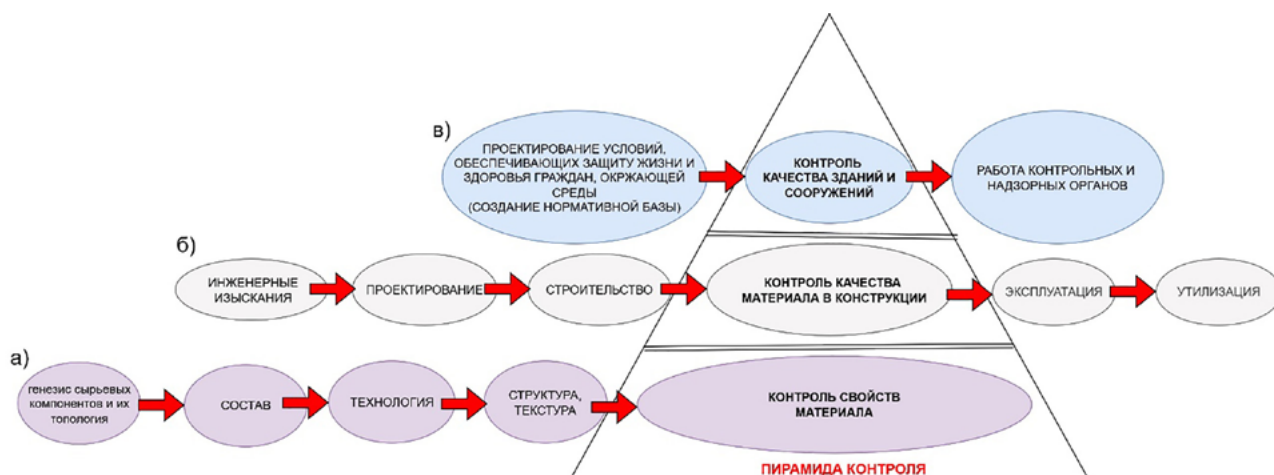


Рис. 2. Пирамида контроля:

а — цепочка создания материала с заданными свойствами; *б* — цепочка создания конструкции с требуемыми характеристиками; *в* — цепочка создания здания с требуемым уровнем надежности

Кубы могут отличаться по размеру, на результат контроля оказывает влияние эффект «столба» (обоймы): образец испытывает трех-осное напряженно-деформированное состояние, в нем отсутствует зона «чистых напряжений» — напряженно-деформированного состояния в том виде, в котором находится бетон в конструкции (в большей степени одноосное), при этом расчет проектировщиками осуществляется при условии одномерного нагружения. Призмы для контроля прочности на сжатие используются редко (они сложнее в изготовлении и испытании: склонны к изгибу, требуется повышенная точность при подготовке и проведении испытания и др.).

То есть складывается следующая ситуация. Проектировщики назначают класс бетона

по прочности исходя из призмной прочно-сти, а контроль осуществляется (чаще всего): **на заводе** — по кубиковой; **на строительной площадке** — по кубиковой, при этом условия твердения образца отличаются и от нормальных, и от реальной конструкции (в том числе на ее основании устанавливают градуировочную зависимость для неразрушающих методов); **в конструкции** (по образцам, отобранным из конструкции) — на цилиндрах с разным соотношением диаметр/высота (кубы допустимы, используются редко).

Это наглядно демонстрирует, как именно теряется достоверность вследствие отсутствия наследственности на разных этапах контроля (рис. 3). Факторы системы контроля, выявлен-

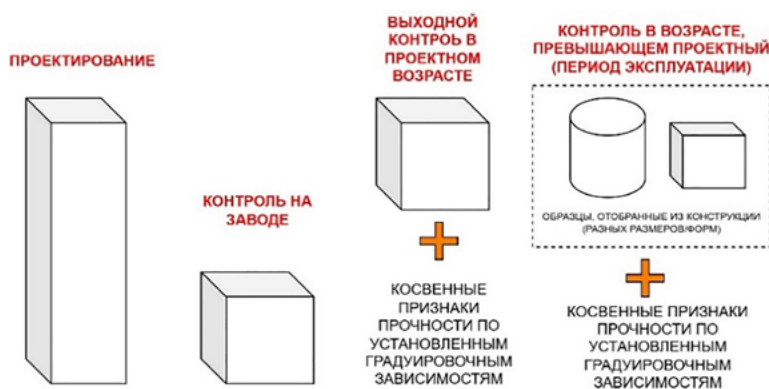


Рис. 3. Образцы, используемые для контроля на разных этапах

ные в ходе проведенного анализа и приводящие к отказам конструкций, представлены на рис. 4.

Исходя из дерева отказов, можно сформулировать три основных направления, в рамках которых возможно снизить влияние различных факторов системы контроля: метрологическая составляющая контроля, статистическая и квалиметрическая.

В спорных ситуациях арбитражным является **разрушающий метод** определения прочности по контрольным образцам или образцам, отобраным из конструкции, при этом по факту они являются косвенными.

При испытании **разрушающим методом по контрольным образцам** погрешность результата контроля прочности при сжатии складывается из:

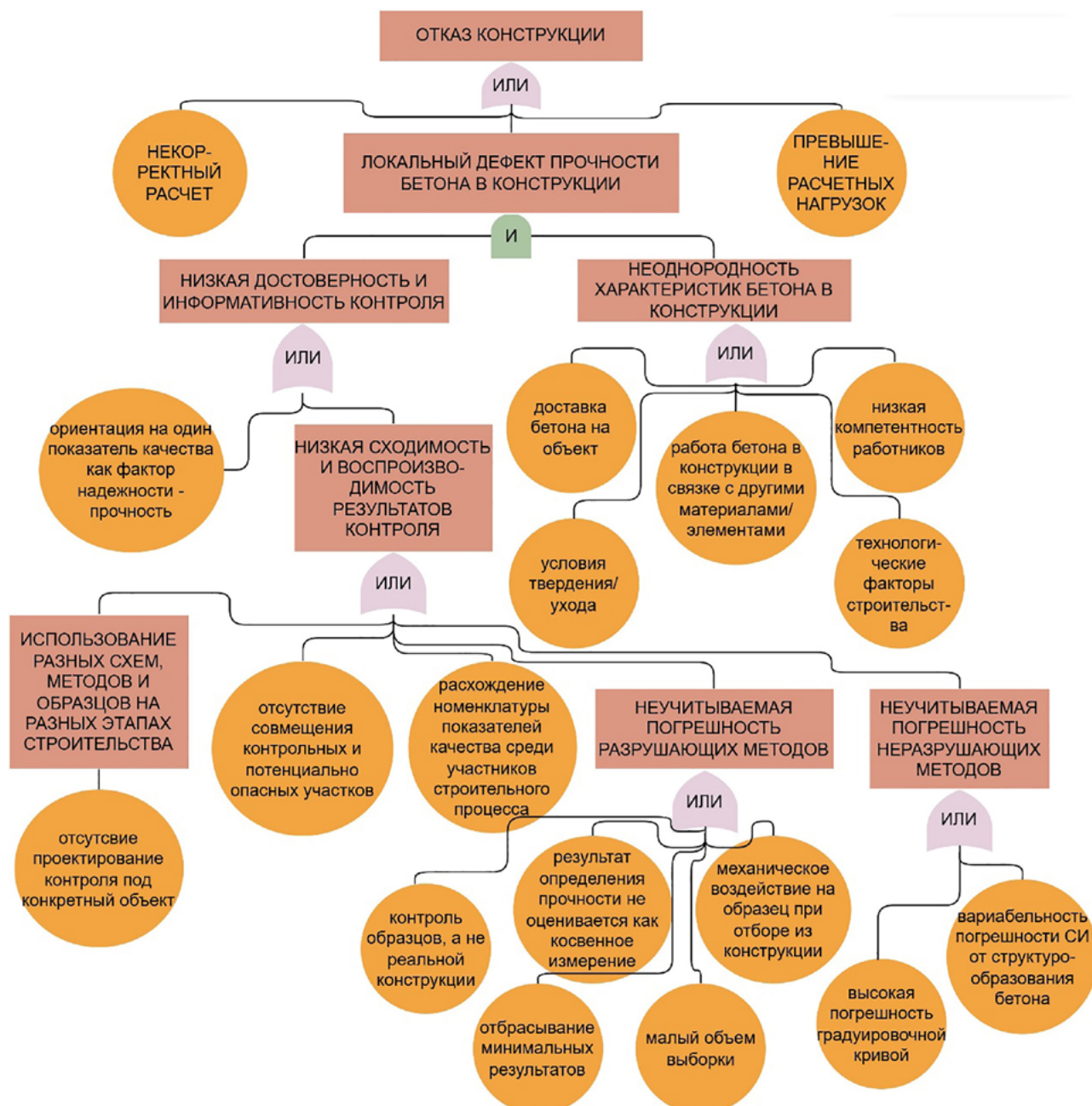


Рис. 4. Дерево отказов для конструкции из бетона (железобетона) в контексте факторов системы контроля

1) инструментальной погрешности измерения (геометрических размеров образца ($\pm 1\%$) и разрушающего усилия ($\pm 2\%$));

2) методологической погрешности, связанной с: различием допустимой формы и размера образца (кубы с ребром: 100, 150, 200, 250, 300 мм; цилиндры диаметром 100; 150; 200; 250; 300 и высотой $h > d$); допустимым отклонением геометрии образца (от плоскостности (0,1 мм на 100 мм длины), прямолинейности (0,1 мм на 100 мм длины или 0,1 % длины), перпендикулярности); возможным выравниванием поверхностей образца (шлифовкой, подмазыванием); отличием условий твердения контрольного образца и бетона в конструкции; объемом выборки; расчетом прочности образца (погрешность косвенного измерения);

3) субъективной погрешности, связанной с формированием образца (уплотнение/вибрирование), подготовкой образца к испытанию, соблюдением условий испытания, выбором режима нагружения.

При испытании **разрушающим методом контроля по образцам, отобранным из конструкции**, погрешность результата контроля прочности при сжатии складывается из:

1) инструментальной погрешности измерения (геометрических размеров образца ($\pm 1\%$) и разрушающего усилия ($\pm 2\%$));

2) методологической погрешности, связанной с:

- различием допустимой формы и размера образца (кубы с ребром: 150 (базовый), 100 (масштабный коэффициент 0,95), 200, 250, 300 мм; цилиндры диаметром 100; 150; 200; 250; 300 и высотой $h > d$ или нестандартные образцы с установлением масштабных коэффициентов), с погрешностью при определении масштабных и переходных коэффициентов, отклонением геометрии (от плоскостности, прямолинейности, перпендикулярности);

- механическим воздействием на образец в момент выбуривания из конструкции и его после-

дующей обработкой, а также связанной с возможным выравниванием поверхностей образца (шлифовкой, подмазыванием), учесть влияние которых на результат испытания затруднительно (действующей системой не предусмотрено);

- методологической погрешностью, связанной с тем, что контрольный участок не может быть любым и проба бетона для испытания выбирается не из самых опасных с точки зрения работы конструкции мест, а с точки зрения удобства и безопасности испытаний;

- расчетом прочности образца (погрешность косвенного измерения);

3) субъективной погрешности, связанной с соблюдением условий проведения испытания, выбором режима нагружения.

Неразрушающий контроль обладает рядом существенных достоинств:

- позволяет повысить полноту контроля и выявлять бракованные конструкции и элементы, которые невозможно определить при выборочном контроле разрушающими методами;

- упрощает установление причин появления брака и их устранение;

- сокращает время испытаний, трудоемкость и затраты на контроль.

Однако неразрушающие методы контроля имеют значительную погрешность, обусловленную следующими факторами:

1. Включают погрешности разрушающего метода, на основе которого строится градуировочная зависимость.

2. Являются косвенными: характеристики определяются по градуировочной шкале, построенной на основании параллельных испытаний разрушающими методами.

3. Согласно экспериментальным данным, могут иметь инструментальную погрешность, существенно превышающую заявленную при:

- отклонении от «классического состава» бетона;

– твердении в условиях, отличных от нормальных [24].

4. Сопровождаются рядом дополнительных погрешностей, которые подробно рассмотрены ниже.

При испытании **неразрушающими механическими методами определения прочности бетона** погрешность результата контроля прочности при сжатии складывается из погрешности метода, используемого для установления градуировочной зависимости, а также:

1) инструментальной погрешности измерения нагрузки приборов для механических испытаний (5 %);

2) методологической погрешности построения градуировочной кривой (вызванной, например, допустимостью использования для установления зависимостей контрольных образцов — образцов-кубов, твердевших в условиях, аналогичных оцениваемой конструкции) и погрешности, обусловленной допустимостью применения стандартной зависимости при использовании прямых неразрушающих методов / допустимостью применения косвенных неразрушающих методов с использованием градуировочных зависимостей, установленных для бетона, отличающегося от испытываемого по составу, возрасту, условиям твердения, влажности;

3) методической погрешности, связанной с:

– выборкой: при испытании методом отрыва со скалыванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры; при испытании методом скалывания ребра на участке испытания не должно быть трещин, сколов бетона, наплывов или раковин высотой (глубиной) более 5 мм. Участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры;

– тем, что контрольные и основные образцы при построении градуировочной зависимости для методов упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации, отрыва и скалывания ребра на основании контрольных образцов имеют разные размеры;

– тем, что при определении косвенных характеристик прочности испытания проводят на боковых (по направлению бетонирования) гранях образцов-кубов, а испытание разрушающим методом — в перпендикулярном, при этом у бетона наблюдается анизотропия прочности в направлении укладки и перпендикулярном к нему направлении;

– отбрасыванием результатов измерений на каждом участке, отклонение которых от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка превышает 10 %;

– влиянием погрешности расчета поправочного коэффициента для усилия вырыва анкерного устройства, зависящей от рабочей глубины заделки анкерного устройства и величины проскальзывания анкера;

– тем, что результаты испытаний образцов увеличивают на 5 % для образцов, испытанных методом отрыва;

– оценкой класса бетона по схеме «Г» (с коэффициентом 1,28) при использовании ранее установленных зависимостей (то есть предполагается максимальный коэффициент вариации 13 % и фактически не определяется);

4) субъективной погрешности, связанной с соблюдением условий применения средств измерения и испытательного оборудования для неразрушающего контроля, качеством подготовки поверхности для испытания, обжимкой образца в прессе при испытаниях методом упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации.

При определении прочности **ультразвуковым методом** погрешность результата скла-

дывается из погрешности метода, используемого для установления градуировочной зависимости, а также:

1) инструментальной погрешности, связанной с измерением времени прохождения ультразвука через бетон (не более 0,5 %) и измерением базы просвечивания (не более 0,5 %);

2) методической погрешности, связанной с:

- выборкой (влияние поверхности (погрешность обеспечения акустического контакта прибора и поверхности); возможность контроля только участков без арматуры или контроль только поверхностных слоев (поверхностное прозвучивание));

- отбрасыванием отдельного результата измерения скорости ультразвука в каждом образце, отличающегося от среднего арифметического значения результатов измерений более чем на 2 %;

- расчетом скорости ультразвука (погрешность косвенного измерения);

- погрешностью построения градуировочной кривой;

- возможностью оценки класса бетона по схеме «Г» при использовании ранее установленных зависимостей (то есть мы предполагаем максимальный коэффициент вариации 13 % и фактический не определяем) [8];

3) субъективной, связанной с выбором поверхности для прозвучивания, к которой предъявляются ряд требований.

Кроме того, какой именно участок контролировать, определяет заказчик испытания, а лаборатория в случае чего не несет за это ответственность, так как точки контроля заранее не определены. Также весьма размыты требования и к квалификации работников / уровню компетентности испытательных лабораторий, реализующих строительный контроль. И несмотря на то, что методы отличаются по точности и имеют ограничения по применению, нормативно не закреплено, какой из методов в какой ситуации

должен применяться, а от этого сильно варьируется суммарная погрешность оценки прочности бетона, что непосредственно влияет на уровень надежности, так как возрастает вероятность пропуска брака (бетона, прочность которого не соответствует требуемой).

В сочетании с различными схемами контроля все это приводит к конфликту интересов поставщика и потребителя, так как достоверность результатов, полученных на разных участках конструкции разными методами или по разным схемам, значительно отличается.

Также в настоящий момент ни один из методов контроля не позволяет оценить работу бетона в конструкции совместно с арматурой, что также снижает информативность полученных результатов.

Таким образом, проблема системы контроля заключается в том, что допустимо использование разных схем контроля, методов контроля разной точности. В сочетании с тем, что не реализуется проектирование контроля под конкретный объект строительства (контроль в рабочей документации чаще всего закладывается в виде ссылок на стандартные правила и методы, закрепленные в нормативной документации), а также с учетом ограниченности применения методов и проведения испытания на возможных участках, а не наиболее информативных, это приводит к отсутствию наследственности результатов контроля прочности при переходе от одного этапа строительства к другому, что снижает достоверность получаемой выходной информации о прочности бетона при сжатии в конструкции, в связи с чем не всегда возможно своевременно обнаружить синергетический эффект негативного влияния рассмотренных ранее факторов. Невозможность оценить реальный уровень вариативности прочности бетона в конструкции является причиной отказов, а также ведет к излишнему запасу прочности из-за перестраховки.

Выводы

Неоднородность является препятствием для развития высокоэффективных бетонов. Чтобы снизить ее влияние, необходимо устранить слабые места в системе контроля, которые не позволяют получать достоверную информацию о реальном значении прочности бетона в конструкции. Это возможно без глобальных изменений в системе контроля за счет проектирования контроля: система контроля должна проектироваться под конкретный объект и учитывать влияние рассмотренных факторов испытания.

При проектировании необходимо создать условия контроля, которые позволят с требуемой достоверностью определять уровень неоднородности прочности бетона в конструкции (коэффициент вариации). Тем самым будет обеспечена возможность:

- гарантировать уровень неразрушимости материала в конструкции, что, в свою очередь, позволит снизить коэффициент запаса прочности по материалу при сохранении уровня его обеспеченности;

- получать объективную информацию о свойствах материала в конструкции по уровню надежности в любой момент жизненного цикла строительного объекта на основании проектных данных и данных, полученных по результатам испытаний и оценки прочности бетона. Это, в свою очередь, обеспечит эффективное использование потенциала бетона.

Основных направлений совершенствования — три: совершенствование метрологической и калитметрической составляющих, а также интеграция риск-ориентированного подхода при проектировании контроля. По всем направлениям нужно работать системно, а не изолированно. Изменение подхода к контролю качества может исключить необходимость использования искусственных барьеров и обеспечить эффективное использование потенциала бетона в конструкции.

Список источников

1. Статистика по авариям/обрушениям / Нострой. — URL: https://nostroy.ru/news_files/2020/01/15/Statystika.pdf (дата обращения: 25.07.2025).
2. Беленцов Ю. А. Возможность пропустить бракованные изделия из бетона с учетом точности контроля / Ю. А. Беленцов, Ш. М. Мамедов, Н. С. Воронцова, П. Н. Пачулия // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5.
3. 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(1040). — С. 34–36.
4. Беленцов Ю. А. Влияние точности контроля прочности на качество возводимых конструкций / Ю. А. Беленцов, М. С. Абу-Хасан // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2021. — № 10. — С. 20–23.
5. ГОСТ 18105—2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
6. ГОСТ 31914—2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества.
7. ГОСТ 31937—2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
8. ГОСТ 27751—2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
9. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. — М.: Стройиздат, 1978. — 239 с.
10. Лантух-Лященко А. И. Концепция надежности в Еврокоде / А. И. Лантух-Лященко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. — 2014. — № 6. — С. 79–88.
11. СП 20.13330.2016 (СНиП 2.01.07—85). Нагрузки и воздействия.
12. Казанская Л. Ф. Взаимосвязь факторов, определяющих долговечность бетонов / Л. Ф. Казанская, В. А. Майер, Э. С. Сибгатуллин // Известия Петербургского универси-

тета путей сообщения. — 2024. — Т. 21. — № 4. — С. 931–943.

13. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ / Российская Федерация. — М., 2004.

14. ГОСТ 4.212—80. Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей.

15. ГОСТ 10180—2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

16. ГОСТ 28570—2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.

17. ГОСТ 22690—2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

18. ГОСТ 17624—2021. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

19. СП 48.13330.2019. Организация строительства.

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

21. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции.

22. Постановление Правительства РФ от 21.06.2010 № 468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства». — М., 2010.

23. Байков В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс: учебник для вузов / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. — М.: Стройиздат, 1991. — 5-е изд., перераб. и доп. — 67 с.

24. Черепанова Д. А. Учет влияния условий твердения бетона как фактор обеспечения требуемой надежности / Д. А. Черепанова // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2024. — Т. 21. — № 4. — С. 909–921.

Дата поступления: 05.09.2025

Решение о публикации: 15.10.2025

Контактная информация:

ЧЕРЕПАНОВА Дария Алексеевна —

ст. преподаватель, начальник отдела качества;

cherepanova@pgups.ru

The Heredity of Concrete Quality Indicators As an Effective Control Factor

D. A. Cherepanova

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

For citation: Cherepanova D. A. The Heredity of Concrete Quality Indicators As an Effective Control Factor // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 4, pp. 1060–1072. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1060-1072

Summary

Purpose: To identify the factors within the concrete quality control system that affect the assurance of concrete compressive strength throughout the entire life cycle of buildings and structures, from design to disposal. Additionally, the research seeks to develop recommendations that ensure the desired level of concrete compressive strength. **Methods:** A comparative analysis of existing data, standards and scientific literature has demonstrated the effectiveness of fault tree analysis in exploring the relationships between control system factors and the failure of concrete and reinforced concrete structures. The assessment of the control system's status, viewed as a barrier to development, is based on the findings from the author's empirical and theoretical

research. **Results:** The study outlines the key stages and levels of a concrete quality control system within the framework of the complete life cycle of buildings and structures. The connections between concrete failure in structures and the allowable discrepancies in methods and techniques for assessing concrete compressive strength have been established. A “fault tree” analysis for concrete (and reinforced concrete) structures has been created within the framework of the quality control system factors. The impact of various factors within the quality control system on ensuring an effective integration of quality control parameters and the reliability of the results obtained to achieve a predetermined level of strength assurance has been identified. The components contributing to the overall error in standard strength testing methods, both destructive and non-destructive, have been identified, including instrumental, methodological, and subjective ones. **Practical significance:** The practical significance of this work lies in the justification for implementing a tailored control design stage to an individual project, which will mitigate the effects of material heterogeneity without necessitating extensive modifications to the control system.

Keywords: Quality control, compressive strength, error, fault tree analysis, reliability, strength control methods, shape and size of samples.

References

1. *Statistika po avariyam/obrusheniyam. Nostroy* [Accident/Collapse Statistics. Nostroy]. Available at: https://nostroy.ru/news_files/2020/01/15/Statystika.pdf (accessed: July 25, 2025). (In Russian)
2. Belentsov Yu. A., Mamedov Sh. M., Vorontsova N. S., Pachuliya P. N. Vozmozhnost' propustit' brakovannyye izdeliya iz betona s uchetom tochnosti kontrolya [Possibility of Skipping Defective Concrete Products Taking into Account Inspection Accuracy]. *Vestnik evraziyskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science]. 2023, vol. 15, Iss. 5. (In Russian)
3. 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 for Concrete Quality Control to Ensure the Estimated Reliability Level of Construction Products]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Bulletin of Construction Equipment]. 2021, Iss. 4(1040), pp. 34–36. (In Russian)
4. Belentsov Yu. A., Abu-Khasan M. S. Vliyaniye tochnosti kontrolya prochnosti na kachestvo vozvodimyykh konstruktsey [Influence of Strength 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)
5. *GOST 18105—2018. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [Concretes. Rules for Strength Control and Assessment]. (In Russian)
6. *GOST 31914—2012. Betony vysokoprochnyye tyazhe-lye i melkozernistyye dlya monolitnykh konstruktsey. Pravila kontrolya i otsenki kachestva* [High-Strength Heavy and Fine-Grained Concretes for Monolithic Structures. Rules for Quality Control and Assessment]. (In Russian)
7. *GOST 31937—2024. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [Buildings and Structures. Rules for Inspection and Monitoring of Technical Condition]. (In Russian)
8. *GOST 27751—2014. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktsey i osnovaniy. Osnovnyye polozheniya* [Reliability of Building Structures and Foundations. Basic Provisions]. (In Russian)
9. Rzhantsyn A. R. *Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsey na nadezhnost'* [Theory of Reliability Analysis of Building Structures]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1978, 239 p. (In Russian)
10. Lantukh-Lyashchenko A. I. Kontseptsiya nadezhnosti v Evrokode [Reliability Concept in Eurocode]. *Mosti ta tuneli: teoriya, doslidszhennya, praktika* [Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice]. 2014, Iss. 6, pp. 79–88. (In Russian)
11. *SP 20.13330.2016 (SNiP 2.01.07—85). Nagruzki i vozdeystviya* [Loads and Impacts]. (In Russian)
12. Kazanskaya L. F., Mayer V. A., Sibgatullin E. S. Vzaimosvyaz' faktorov, opredelyayushchikh dolgov-echnost' betonov [Interrelationship between Factors Determining the Durability of Concrete]. *Izvestiya*

Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2024, vol. 21, Iss. 4, pp. 931–943. (In Russian)

13. *Gradostroitel'nyy kodeks Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon ot 29.12.2004 № 190-FZ. Rossiyskaya Federatsiya* [Urban Development Code of the Russian Federation: Federal Law № 190-FZ of 29.12.2004. Russian Federation]. Moscow, 2004. (In Russian)

14. *GOST 4.212—80. Sistema pokazateley kachestva produktsii. Stroitel'stvo. Betony. Nomenklatura pokazateley* [GOST 4.212—80. System of Product Quality Indicators. Construction. Concrete. Nomenclature of Indicators]. (In Russian)

15. *GOST 10180—2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam* [Concrete. Methods for Determining Strength Using Control Samples]. (In Russian)

16. *GOST 28570—2019. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po obraztsam, otobrannym iz konstruktsiy* [Concrete. Methods for Determining Strength Using Samples Taken from Structures]. (In Russian)

17. *GOST 22690—2015. Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya* [Concrete. Determining Strength Using Mechanical Nondestructive Testing Methods]. (In Russian)

18. *GOST 17624—2021. Betony. Ul'trazvukovoy metod opredeleniya prochnosti* [Concrete. Ultrasonic Method for Determining Strength]. (In Russian)

19. *SP 48.13330.2019. Organizatsiya stroitel'stva* [Organization of Construction]. (In Russian)

20. *SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii. Osnovnye polozeniya* [Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions]. (In Russian)

21. *SP 70.13330.2012. Nesushchie i ograzhdayushchie konstruktsii* [Load-Bearing and Enclosing Structures]. (In Russian)

22. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.06.2010 № 468 “O poryadke provedeniya stroitel'nogo kontrolya pri osushchestvlenii stroitel'stva, rekonstruktsii i kapital'nogo remonta ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva”* [RF Government Resolution No. 468 of June 21, 2010 “On the Procedure for Conducting Construction Supervision During the Construction, Reconstruction, and Major Repairs of Capital Construction Projects”]. Moscow, 2010. (In Russian)

23. Baykov V. N., Sigalov E. E. *Zhelezobetonnye konstruktsii. Obshchiy kurs: uchebnik dlya vuzov* [Reinforced Concrete Structures. General Course: Textbook for Universities]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1991, 67 p. (In Russian)

24. Cherepanova D. A. *Uchet vliyaniya usloviy tverdeniya betona kak faktor obespecheniya trebuemoy nadezhnosti* [Accounting for the Influence of Concrete Hardening Conditions as a Factor in Ensuring the Required Reliability]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2024, vol. 21, Iss. 4, pp. 909–921. (In Russian)

Received: September 05, 2025

Accepted: October 15, 2025

Author's information:

Dariya A. CHEREPANOVA — Senior Lecturer,
Head of Quality Department; cherepanova@pgups.ru