

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-8-12

*Логанина В.И., Зайцева М.В.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*E-mail: loganin@mail.ru

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА БЕТОНА

Аннотация. В статье приведены сведения о результатах оценки качества бетона внутренних стеновых панелей. Рассмотрены требования различных нормативных документов к правилам приемки партии бетона. Описана процедура статистического выборочного контроля по количественному признаку. По статистическим данным заводской лаборатории ОАО «Завод ЖБК-1» (г. Пенза) о качестве бетона марки 300 при изготовлении внутренних стеновых панелей рассмотрено влияние вида цемента на вариабельность показателей прочности бетона. Установлено влияние вида цемента на решение о приемке партии бетона. Вследствие более высокого значения среднеквадратического отклонения показателей качества цемента Хальденберг по сравнению с Сенгилеевским цементом принятие партии бетона зависит от уровня дефектности продукции. Выявлено, что в зависимости от числа образцов при испытании решение о приемке партии, выполненное в соответствии с ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ Р ИСО 12491-2011, может быть различным. Предложено внести коррективы в ГОСТ 10180-2012 в пункт 4 в части количества образцов для испытаний с учетом требований ГОСТ Р ИСО 12491. Это будет способствовать более объективному решению о приемке партии. Показано влияние вида цемента на воспроизводимость процесса производства.

Ключевые слова: бетон, правила контроля, количество образцов, вероятность, прочность, стандартное отклонение, воспроизводимость.

Введение. Производственный контроль является одним из элементов управления качеством выпускаемой продукции. Он включает входной контроль сырья, операционный контроль и приемочный контроль качества изделий [1–3]. В процессе контроля осуществляется сопоставление результатов оценки качества с допуском, указанным в нормативной документации [4–6]. Система контроля позволяет в большинстве случаев предотвратить брак. Основными целями контроля качества являются обеспечение выпуска предприятием качественной продукции. Одной из актуальных проблем контроля является обеспечение достоверности. Достоверность контроля есть степень доверия к принимаемым решениям. В качестве показателя достоверности используется вероятность принятия правильного решения по результатам контроля.

Однако, учитывая вариабельность показателей качества продукции, решение о приемке партии может быть ложным. В настоящее время существуют несколько стандартов, регламентирующих правила проведения приемочного контроля строительных материалов и изделий. Основные положения по проведению испытаний и приемки продукции серийного производства устанавливает ГОСТ 15.309-98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Испытание и приемка выпускаемой продукции. Основные положения». Правила по организации,

проведению и оформлению результатов входного контроля устанавливает ГОСТ 24297-87.

ГОСТ 18105-2018 устанавливает правила проведения приемочного контроля партии бетона. Если прочность бетона в партии R не ниже требуемой прочности R_t , а минимальное единичное значение прочности R_{min} не менее нормируемого класса бетона по прочности B

$$R \geq R_t, \quad (1)$$

$$R_{min} \geq B, \quad (2)$$

то партия бетонной смеси подлежит приемке.

Число образцов для испытаний в зависимости от среднего внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона составляет от 2 до 6.

ГОСТ Р ИСО/ТО 8550-3-2008 «Статистические методы. Руководство по выбору и применению систем статистического приемочного контроля дискретных единиц продукции в партиях. Часть 3. Выборочный контроль по количественному признаку» регламентирует процедуру операционного контроля построением контрольных карт. Это позволяет привести технологический процесс производства в состояние статистической стабильности и воспроизводимости.

Для проведения приемочного контроля применяются нормативные документы Р 50-110-89 «Рекомендации. Приемочный контроль качества продукции. Основные положения», ГОСТ Р ИСО/ТО 8550-3-2008, ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534.2-93) «Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и

определения», ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения», ГОСТ Р 50779.50-95 «Статистические методы. Приемочный контроль качества по количественному признаку. Общие требования» и др.

В ГОСТ Р ИСО 12491-2011 «Материалы и изделия строительные. Статистические методы контроля качества» описана процедура проведения выборочного контроля с учетом вариабельности результатов измерений. Из партии отбирают выборку, состоящую из n единиц продукции, определяют среднее значение выборки \bar{x} и среднее квадратическое отклонение s . При заданной нижней границы поля допуска НД партию принимают, если

$$\bar{x} - k_s s > НД, \quad (3)$$

и не принимают, если данное неравенство не выполняется.

При заданной верхней границы поля допуска ВД партию принимают, если

$$\bar{x} + k_s s < ВД \quad (4)$$

и не принимают, если данное неравенство не выполняется.

Если заданы обе границы поля допуска НД и ВД, то для приемки партии должны выполняться оба вышеуказанных неравенства: если одно или оба неравенства не выполняются, партию не принимают. Для предварительной оценки может быть использована упрощенная процедура. По таблице 6 ГОСТ Р ИСО 12491-2011 для вероятности $p = 0,95$ и выбранной доверительной вероятности $\gamma = 0,75$ определяют значение k_s , и затем проверяют выполнение условия (3) и (4).

Известно, что сырью, любому технологическому процессу присуще определенная доля вариабельности. Полная изменчивость процесса зависит от влияния как случайных (обычных), так и неслучайных (особых) причин вариаций. Это, несомненно, оказывает влияние на показатели качества конечной продукции и решение о приемке партии.

Учитывая вышеизложенное, актуальным является сопоставление решения о приемке партии бетона в соответствии с различными нормативными документами, а также оценка влияния вида цемента на это решение.

Материалы и методы. Было проверено решение о качестве бетона марки 300 при изготовлении внутренних стеновых панелей по данным заводской лаборатории ОАО «Завод ЖБК-1» (г. Пенза). При изготовлении бетона применялся кварцевый песок Чадаевского месторождения с

модулем крупности $M=1,83$, карбонатный щебень фракции 5–20 мм плотностью 1445 кг/м^3 , маркой по дробимости 1000. В качестве цемента применялся Сенгилеевский ЦЕМ I 42,5Б (Евроцементгрупп), Хальденберг ЦЕМ I 42,5Н компании «ХайдельбергЦемент Волга».

Число образцов бетона в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» составляло $n=3$, т.к. коэффициент вариации прочности бетона менее 5 %.

Значение коэффициента k_s при выбранной доверительной вероятности $\gamma=0,75$ и установленной вероятности $p=0,95$ при $n=3$ составляло 3,15 (таблица 6 ГОСТ Р ИСО 12491-2011).

Образцы бетона были испытаны на сжатии в возрасте 28 суток твердения.

При применении Сенгилеевского цемента ЦЕМ I 42,5Б прочность при сжатии стандартных образцов бетона в возрасте 28 суток составляла $312,66 \text{ кгс/см}^2$, значение коэффициента вариации 1 %, среднее квадратическое отклонение $s=3,12 \text{ кгс/см}^2$ [7–9].

При применении цемента Хальденберг ЦЕМ I 42,5Н прочность при сжатии стандартных образцов бетона в возрасте 28 суток составляла $333,66 \text{ кгс/см}^2$, значение коэффициента вариации 4,2 %, среднее квадратическое отклонение $s=14,15 \text{ кгс/см}^2$.

Основная часть. Значения прочности бетона, указанные выше, в соответствии с требованиями ГОСТ 18105-2018 показывают, что партия должна быть принята. Условия формул (1), (2) выполняются.

Однако, расчет по формулам (3), (4) свидетельствует, что при применении Сенгилеевского цемента ЦЕМ I 42,5Б при $n=3$ (ГОСТ Р ИСО 12491-2011) условие принятия партии (3) и (4) выполняются, а при применении цемента Хальденберг ЦЕМ I 42,5Н условие принятие партии (3) не выполняется. И только, увеличивая количество образцов для испытания, можно получить положительное решение и приемке партии. Так, при $n=6$ или 10 значение k_s составляет соответственно 2,34 и 2,10 и тогда условие приемки (3) при применении цемента Хальденберг выполняется (табл. 1).

ГОСТ Р ИСО/ТО 8550-3-2008 «Статистические методы. Руководство по выбору и применению систем статистического приемочного контроля дискретных единиц продукции в партиях. Часть 3. Выборочный контроль по количественному признаку» описывает процедуру приемочного контроля. Критерии приемлемости имеют вид

$$Q_B = \frac{ВД - \bar{x}}{s} \quad (5)$$

и (или)

$$Q_n = \frac{\bar{x} - \text{НД}}{s} \quad (6) \quad \text{где } Q - \text{ статистика качества; } \bar{x} - \text{ среднее арифметическое значение показателя качества.}$$

Таблица 1

Выполнение условий приемки партии бетона

Формулы расчета	Сенгилеевский цемент			Цемент Хальденберг		
	n=3, $k_s=3,15$	n=6, $k_s=2,34$	n=10, $k_s=2,10$	n=3, $k_s=3,15$	n=6, $k_s=2,34$	n=10, $k_s=2,10$
$\bar{x} - k_s \sigma$	302,832	305,36	306,108	289,08	300,549	303,945
$\bar{x} + k_s \sigma$	322,488	319,96	319,212	378,23	366,771	363,375

Если соответствующая статистика больше или равна контрольному нормативу k, то партия принимается, в противном случае она отклоняется.

Были проведены расчеты статистики качества Q, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение статистики качества Q в зависимости от вида цемента и уровня дефектности

Вид цемента	Уровень дефектности		
	0,1 %, k=2,42	1 %, k=1,45	2,5 %, k=1,12
Хальденберг	1,15 < 2,42 2,37 < 2,42	1,15 < 1,45 2,37 > 1,45	1,15 > 1,12 2,37 > 1,12
Сенгилеевский	11,96 > 2,42 4,02 > 2,42	1,96 > 1,45 4,02 > 1,45	1,96 > 1,12 4,02 > 1,12

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что партия бетона на основе Сенгилеевского цемента принимается независимо от уровня дефектности продукции. Значение статистики качества Q больше контрольного норматива k

Партия бетона на основе цемента Хальденберг не может быть принята при уровне дефектности AQL, равном 0,1 % и 1 %, так как статистика качества Qv < k. Партия может быть принята только при уровне дефектности AQL, равном 2,5 %.

Такое состояние качества бетона на основе цемента Хальденберг и спорное решение о приемке партии определяется значением среднеквадратического отклонения, равным $\sigma=14,15$ кгс/см², что значительно больше по сравнению со значением среднеквадратического отклонения $\sigma=3,12$ кгс/см² (на основе Сенгилеевского цемента) [10, 11].

Таким образом, имеется некоторое несоответствие при решении о принятии партии между требованиями, указанными в ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 18105-2018, ГОСТ Р ИСО 12491-2011 и ГОСТ Р ИСО/ТО 8550-3-2008. На наш взгляд, требуется внести коррективы в ГОСТ 10180-2012 в пункт 4 в части количества образцов для испытаний с учетом требований ГОСТ Р ИСО 12491. Это будет способствовать более объективному решению о приемке или отклонению партии продукции.

Были рассчитаны индексы воспроизводимости и оценка стабильности процесса производства бетона для внутренних стеновых панелей по формулам

$$C_{pk} = \frac{\text{ВД} - \bar{x}}{3\sigma} \quad (7)$$

или

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - \text{НД}}{3\sigma}, \quad (8)$$

где \bar{x} – среднее арифметическое значение прочности; C_{pk} – индекс воспроизводимости, НД, ВД – соответственно нижний и верхний допуски на показатели качества продукции.

Для бетона марки 300 значения НД и ВД составляют соответственно 300 и 350 кгс/см².

Результаты расчета показывают, что значение индекса воспроизводимости для процесса производства бетона с применением цемента Хальденберг составляет $C_{pk} = 0,38$, что характеризует процесс как невоспроизводимый. При применении Сенгилеевского цемента значение индекса воспроизводимости составляет $C_{pk} = 1,35$, процессе является воспроизводимым.

Были рассчитаны вероятности появления дефектной продукции при применении различных цементов с учетом функции Лапласа

$$\Phi\left(\frac{a - \bar{x}}{\sigma}\right) \pm \Phi\left(\frac{\bar{x} - a}{\sigma}\right), \quad (9)$$

где a – середина поля допуска; \bar{x} – среднее значение показателя качества.

Установлено, что в случае изготовления бетона на Сенгилеевском цементе вероятность появления дефектной продукции составляет P=0,004 %, а на цементе Хальденберг – 12,5 %.

Безусловно, на воспроизводимость процесса оказывает влияние режим тепловой обработки, качество крупного и мелкого заполнителя, однако приведенные выше данные убедительно свидетельствуют о влиянии вида цемента на состояние технологического процесса. Проведенные статистические расчеты с применением карт Шухарта показали, что технологический процесс производства бетона с применением цемента Хальденберг является статистически не управляемым и не воспроизводимым, что требует его корректировки со стороны высшего руководства и инженерно-технического персонала.

Выводы.

1. Показано влияние вида цемента на воспроизводимость и стабильность технологического процесса производства бетона и уровень дефектности продукции. Установлено, что при применении Сенгилеевского цемента процесс производства бетона является воспроизводимым, а при применении цемента Хальденберг – не воспроизводимым и не стабильным. Требуется корректировка со стороны высшего руководства и инженерно-технического персонала.

2. Выявлено, что имеется некоторое несоответствие при решении о принятии партии между данными, заложенными в ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 18105-2018, ГОСТ Р ИСО 12491-2011 и ГОСТ Р ИСО/ТО 8550-3-2008. Установлена необходимость внесения коррективов в ГОСТ 10180-2012 в пункт 4 в части количества образцов для испытаний с учетом требований ГОСТ Р ИСО 12491.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логанина В.И., Учаева Т.В. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и технологии строительного производства. E-mail: loganin@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Г.Титова, д. 28.

Зайцева Мария Владимировна, аспирант кафедры управления качеством и технологии строительного производства. E-mail: zajc@yandex.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Г.Титова, д. 28.

Поступила 29.01.2021 г.

© Логанина В.И., Зайцева М.В., 2021

**Loganina V.I., Zaytceva M.V.*

Penza State University of Architecture and Construction

**E-mail: loganin@mail.ru*

TO THE QUESTION OF CONCRETE QUALITY CONTROL

Abstract. The article provides information on the results of assessing the quality of concrete internal wall panels. The requirements of various regulatory documents for the rules for accepting a batch of concrete are considered. The procedure of statistical sampling control on a quantitative basis is described. According to the statistical data of the factory laboratory of Open Joint Stock Company "ZhBK-1" (Penza) on the quality

of grade 300 concrete in the manufacture of internal wall panels, the influence of the type of cement on the variability of concrete strength indicators is considered. The influence of the type of cement on the decision to accept a batch of concrete is established. Due to the higher value of the standard deviation of the quality indicators of Haldenberg cement in comparison with Sengileevsky cement, the acceptance of a batch of concrete depends on the level of product defectiveness. It is revealed that, depending on the number of samples during testing, the decision on batch acceptance, made in accordance with GOST 10180-2012 and GOST R ISO 12491-2011, may be different. It is proposed to amend GOST 10180-2012 in paragraph 4 regarding the number of samples for testing, taking into account the requirements of GOST R ISO 12491. This will contribute to a more objective decision on the acceptance of the batch. The effect of the type of cement on the reproducibility of the production process is shown.

Keywords: concrete, control rules, number of samples, probability, strength, standard deviation, reproducibility

REFERENCES

1. Loganina V.I., Uchaeva T.V. On the question of the quality control system at the enterprises of the construction industry [K voprosu o sisteme kontrolya kachestva na predpriyatiyah stroiindustrii]. Regional architecture and construction. 2010. No. 1. Pp. 31–33. (rus)
2. Loganina V.I., Kruglova A.N. Reliability of quality control of building materials and products [Dostovernost kontrolya kachestva stroitelnykh materialov i izdelii]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. No. 2. Pp. 16–18. (rus)
3. Loganina V.I. Organization of statistical acceptance control of the quality of building products and structures [Organizatsiya statisticheskogo priemnochnogo kontrolya kachestva stroitelnykh izdelii i konstruktsii]. Stroitelnye materialy. 2008. No. 8. Pp. 98–99. (rus)
4. Serykh V.I., Porvatov S.P., Sedinin V.I. Multiparameter control of products: reliability and costs [Mnogoparametricheskii kontrol produktsii_ dostovernost i zatraty]. Methods of quality management. 2010. No. 5. Pp. 48–52. (rus)
5. Rubichev N.A., Frumkin V.D. Reliability of tolerance quality control [Dostovernost dopuskovogo kontrolya kachestva]. M.: Publishing house of standards, 1990. 172 p. (rus)
6. Omair A. Sample size estimation and sampling techniques for selecting a representative sample. J. Health Spec. 2014. 2. Pp. 142–147.
7. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: textbook for universities [Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika _ uchebnik dlya vuzov]. Moscow: Yurayt Publishing House, 2020. 479 p. (rus)
8. Mosteller F. Representative sampling. Int. Stat. Rev. 1979. 47. Pp. 13–24.
9. Song P.S., Wu J.C., Hwang S., Sheu B.C. Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete. Cement and Concrete Research, 2005. 35 (2). Pp. 393–399.
10. Shindlovsky E., Shchurts O. Statistical methods of quality management [Statisticheskie metody upravleniya kachestvom]. M.: Mir, 1976. 598 p. (rus)
11. Adler Yu.P., Rozovsky B.L. Operational statistical quality management [Operativnoe statisticheskoe upravlenie kachestvom]. Moscow: Knowledge, 1984. 102 p. (rus)

Information about the authors

Loganina, Valentina I. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Quality Management and Construction Production Technology. E-mail: loganin@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, 28.

Zaytceva, Maria V. Postgraduate student of the Department of Quality Management and Construction Production Technology. E-mail: zajc@yandex.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, 28.

Received 29.01.2021

Для цитирования:

Логанина В.И., Зайцева М.В. К вопросу о контроле качества бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 4. С. 8–12. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-8-12

For citation:

Loganina V.I., Zaytceva M.V. To the question of concrete quality control. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 4. Pp. 8–12. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-8-12