

*Поспелова Е.А., канд. техн. наук, доц.,
Черноситова Е.С., канд. техн. наук, доц.,
Лазарев Е.В., магистрант*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РОССИЙСКИХ ЦЕМЕНТОВ

Mks-06@mail.ru

Приведены результаты статистического анализа прочности портландцемента типа ЦЕМ I 42,5 Н, выпускаемого отечественными предприятиями. Рассчитаны индексы возможностей технологических процессов производства заводов, использующих разные способы производства цемента. Даны рекомендации по использованию индексов возможностей процессов в управлении качеством продукции.

Ключевые слова: *портландцемент, статистическая обработка данных о качестве, поле допуска, индексы возможностей процессов, уровень брака.*

Цементная промышленность по праву считается одним из ведущих направлений промышленности строительных материалов, поскольку производит вяжущие, применяемые в широком спектре материалов и изделий для жилищного и промышленного строительства, возведения объектов инфраструктуры [1–3]. Наряду с бетоном цемент является вторым после воды наиболее употребляемым ресурсом на земле: ежегодно его потребление на нашей планете составляет около 1 тонны на человека [1].

История промышленного производства цемента в России начинается в 19-ом в, когда были построены цементные заводы в Щурове (1870), Подольске (1874), Новороссийске (1882) и т.д. В настоящее время в России функционирует около 60 цементных заводов, использующих разные способы производства, в зависимости от особенностей сырьевой базы региона. Основные районы по производству цемента – Центральный, Уральский и Поволжский – работают на природном минерально-строительном сырье. На Урале цементная промышленность широко использует отходы черной металлургии. Ведущими компаниями в этом секторе являются: Евроцемент Групп, Холдинг HolcimGroup, Группа компаний ЛСР, ХайдельбергЦемент Рус и др.

Современные цементные заводы представляются собой высокомеханизированные и автоматизированные производства, однако большая часть отечественных цементных заводов строилась в 1950-1960-е годы и для того, чтобы в полной мере соответствовать современным стандартам качества нуждается в техническом перевооружении. Приводя слова Дж.Вэлча, известного американского предпринимателя, активно развивавшего технологии бережливого производства и концепцию «6 сигм»: «Клиенты замечают вариацию (разницу), а не среднее значение», можно резюмировать, что обеспечение стабильности основных показателей качества

цемента и снижение их вариаций является необходимым условием обеспечения конкурентоспособности отечественных цементов. Эффективным инструментом решения этой проблемы является разработка и внедрение на предприятии СМК на основе международных стандартов ИСО серии 9000 [4], однако этот инструмент управления не даст ожидаемого эффекта, если не уделять должного внимания совершенствованию технологии производства, грамотной организации и строгому выполнению процедур входного, пооперационного и приемосдаточного контроля, оценке стабильности качества выпускаемой продукции. Не случайно в 1997 году ГОСТ 30515 сделал обязательной процедуру оценки уровня качества цемента по каждому нормируемому показателю, в частности по показателям прочности и содержанию оксида серы (VI). Помимо этого, в действующей версии этого стандарта – ГОСТ 30515-2013 (п. 8.5) – с целью осуществления внутреннего производственного контроля и обеспечения качества продукции установлено требование к наличию системы менеджмента качества и необходимых для ее функционирования ресурсов, процессов и документов.

С 2016 года введена обязательная сертификация цементов с целью обеспечения гарантии качества этого материала, повышения его конкурентоспособности и защиты российского рынка от цементов низкого качества, в процедурах которой также предусмотрена оценка стабильности качества цемента [5]. Следует отметить, что стабильность качества отечественного цемента существенно ниже мирового. Как отмечает [6] диапазон колебания показателей качества цемента, например прочности при сжатии в 28-суточном возрасте, в среднем составляет ± 5 МПа, что недопустимо для европейских производителей цемента. Опыт западных стран показывает, что максимальное колебание качества

цемента не должно превышать 2 МПа. Так, например, на одном из крупных шведских заводов производительностью 2 млн. тонн цемента в год эта величина составляет не более 2 МПа. В случае ее превышения на предприятии объявляется аварийная ситуация с обязательным оповещением всех потребителей, принимаются меры по стабилизации производственного процесса. Что касается Германии, производители цемента, как правило, укладываются в 1,5 МПа [6].

В новом стандарте на цементы (ГОСТ 31108–2016) для каждой марки по прочности приводится достаточно широкий диапазон возможных значений, например для широко применяемого для изготовления ЖБИ и в монолитном строительстве портландцемента типа ЦЕМ I 42,5 Н прочность при сжатии в 28-суточном возрасте нормируется в пределах от 42,5 до 62,5 МПа. Это не означает, что нормативное требование к показателю прочности цемента составляет $52,5 \pm 10$ МПа, а указывает на возможность того, что один завод может выпускать цемент с фактической марочной прочностью 42,5 МПа, а другой – 62,5 МПа, и оба цемента будут соответствовать нормативным требованиям. При этом вопрос выбора цемента будет решать сам потребитель – исходя из реального уровня качества продукции и его стабильности, поскольку невозможно выработать единые более жесткие нормативы для всех российских цементных заводов, применяющих разные способы производства, разное сырье и имеющих разный технический уровень оснащения.

Целью данного исследования является анализ уровня прочности цемента в 28-суточном возрасте, выпускаемого различными заводами, функционирующими на территории РФ, и оценка стабильности технологического процесса производства цемента по данному показателю.

В качестве объекта исследования был выбран портландцемент типа ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016. Этот цемент наиболее востребован на рынке благодаря оптимальному сочетанию цены и качества и широкой области его применения. Поэтому данный тип цемента входит в номенклатуру выпускаемой продукции большинства отечественных цементных заводов.

При проведении анализа использовались результаты испытаний партий цемента, представленные несколькими заводами-производителями цемента за период январь 2016 г – март 2017 г.

Статистическая обработка данных выполнялась методом анализа возможностей процесса. Его суть заключается в графическом представлении данных о процессе (показателе процесса) в виде гистограммы с указанием границ поля допуска и диапазона собственной изменчивости процесса в предположении, что распределение данных подчиняется нормальному закону. Для этого был использован программный продукт Statistica [7], реализующий широкий спектр методов статистического анализа данных, применяемых в управления качеством продукции [8–12]. Результаты представлены на рисунках 1–6.

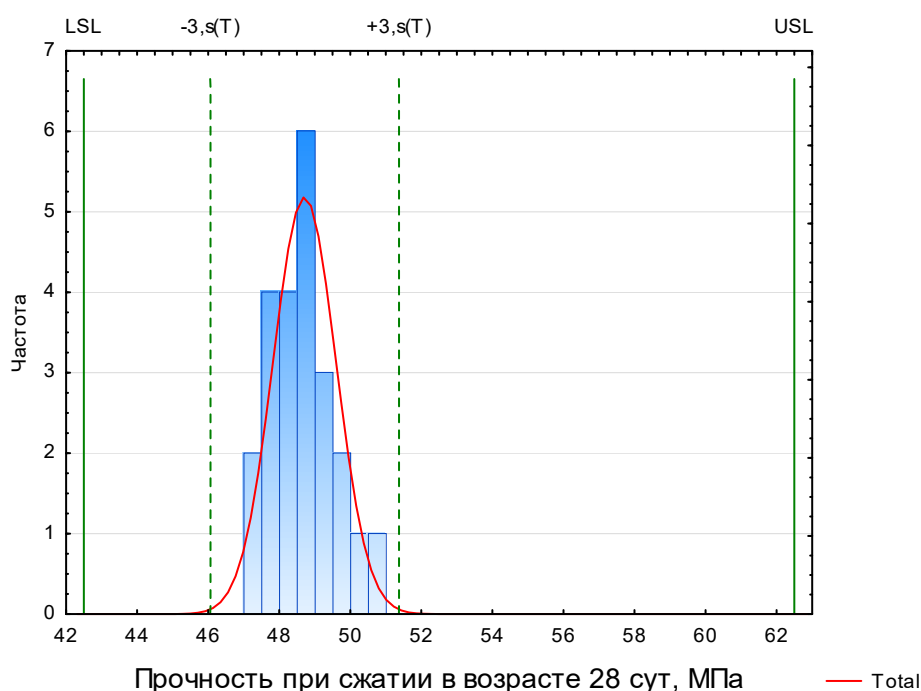


Рис. 1. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 1

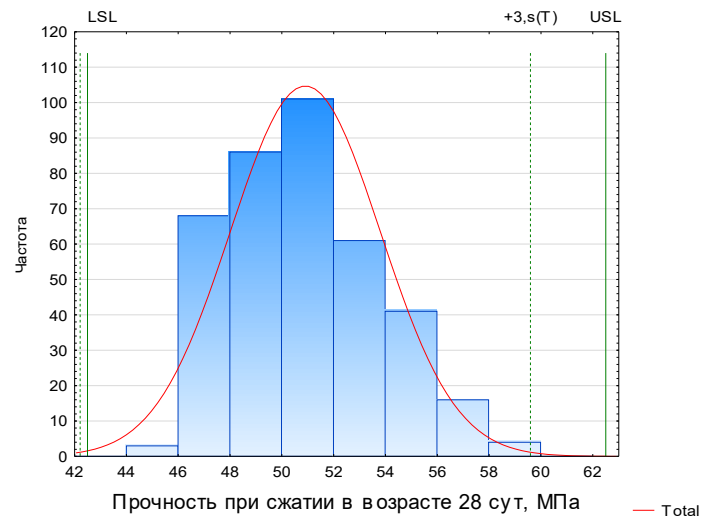


Рис. 2. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 2

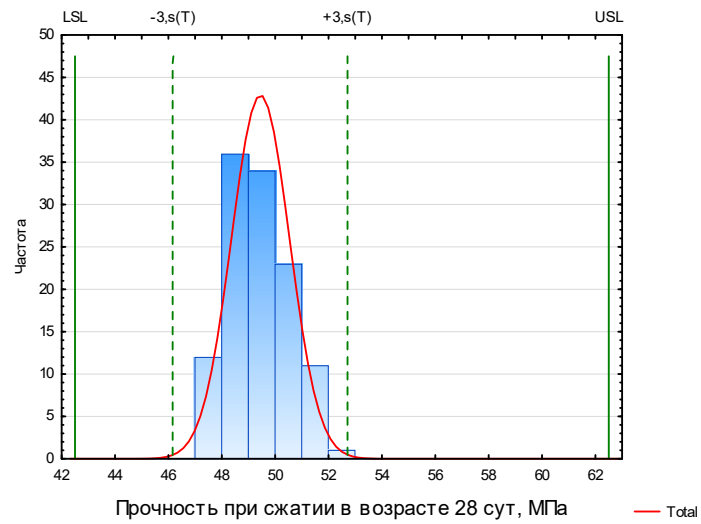


Рис. 3. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 3

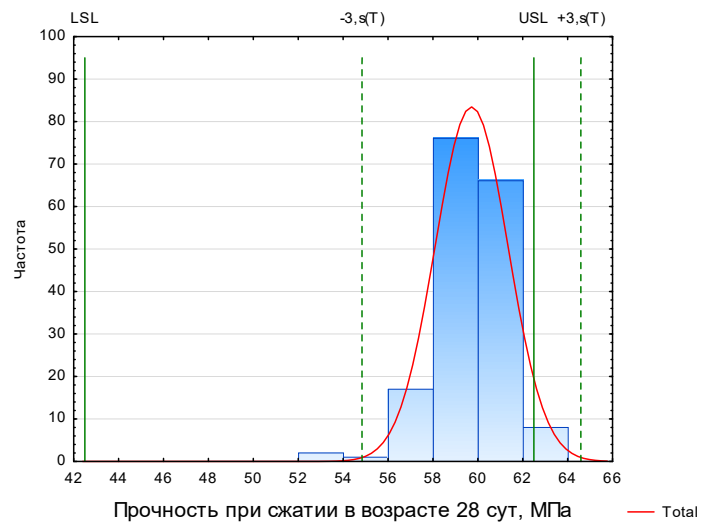


Рис. 4. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 4

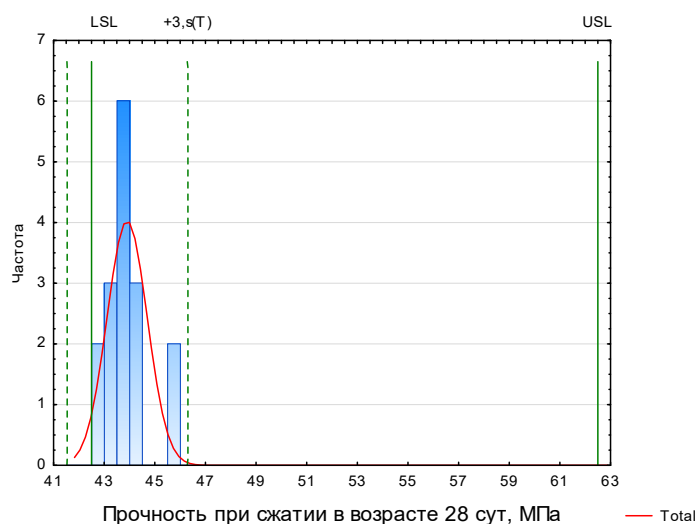


Рис. 5. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 5

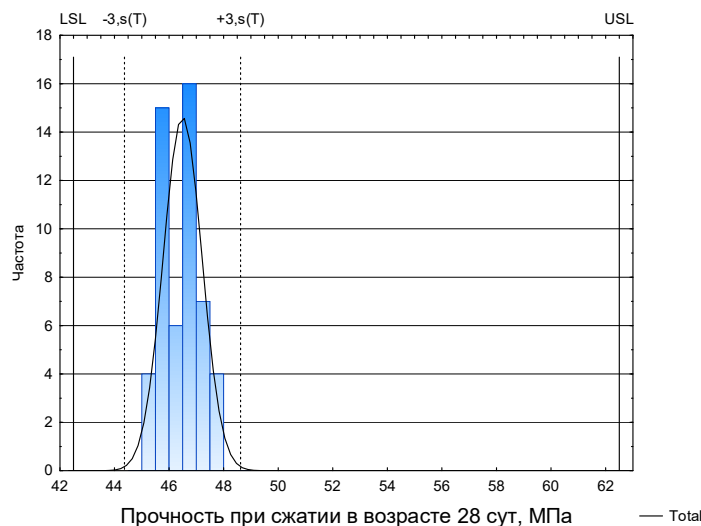


Рис. 6. Результаты анализа возможностей процесса производства портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н на Заводе 6

Из представленных графически распределений значений прочности цементов, выпускаемых шестью различными российскими заводами, можно сделать вывод о соответствии этого показателя установленным требованиям в течение рассматриваемого периода времени. При этом для заводов 1,3,5 и 6 характерно смещение распределение 28-суточной прочности к нижней нормативной границе. Для Завода 5 можно дополнительно отметить, что левая граница полной изменчивости процесса (интервал $\pm 3\sigma$) выходит за нижнюю границу поля допуска прочности, что может обусловить возникновение брака по этому показателю.

Очевидно, что прочность цемента и ее вариация зависит от грамотного подбора исходных сырьевых материалов, степени их гомогенизации, соблюдения технологических параметров помола и обжига и других факторов [13–15]. Цемент твердеет тем быстрее, чем

больше в нем алита (алитовые цементы) и трехкальциевого алюмината [15–16]. С течением времени процесс твердения резко замедляется. Цементы, содержащие много белита (белитовые цементы), в раннем возрасте твердеют медленно; нарастание прочности продолжается длительно и равномерно [15, 17–18]. Именно к белитовым относится цемент Завода 5, поэтому сравнительно низкие значения прочности на сжатие в марочном возрасте вовсе не являются показателем плохого качества данного цемента. Наоборот, иногда свойства белитовых цементов крайне полезны. Процессы их твердения и особенно схватывания сопровождаются выделением теплоты, которая тем интенсивнее, чем быстрее протекает процесс схватывания. Поэтому в массивных конструкциях, как правило, применяют именно белитовые цементы. Использование в таких конструкциях алитовых цементов может привести к интенсивному тепловыделе-

нию, разогреву до достаточно высокой температуры, появлению трещин и даже потере воды, что в итоге может привести к утрате цементным камнем своих качеств.

Сравнительно большой запас прочности цемента Завода 4 помимо особенностей химического состава можно также объяснить высоким качеством и однородностью сырья, обусловленные применяемым на данном предприятии сухим способом производства [17]. Кроме того, данное предприятие отличает высокий уровень

автоматизации технологических процессов, что также облегчает борьбу за качество.

В таблице 1 приведены результаты оценки возможностей технологических процессов заводов №1-№6 обеспечивать выпуск цемента ЦЕМ I 42,5 Н на уровне нормативных требований к прочности в 28-суточном возрасте. Расчет приведенных в таблице показателей и оценка прогнозируемой доли дефектной продукции по показателю прочности выполнялся в соответствии с ГОСТ 50779.46-2012 [19].

Таблица 1

Результаты оценки возможностей процессов

№п/п	Обозначение предприятия	R_{cp_28} , МПа	S_{pk1}	S_{pku}	S_{pk}	S_p	Уровень брака ожидаемый, %
1	Завод 1	48,7	2,34	5,19	2,34	3,77	0
2	Завод 2	50,9	1,28	1,77	1,28	1,53	0,01
3	Завод 3	49,6	3,31	6,22	3,31	4,76	0
4	Завод 4	59,7	5,88	0,95	0,95	3,41	0,22
5	Завод 5	43,9	1,49	19,97	1,49	10,65	$3,9 \cdot 10^{-4}$
6	Завод 6	46,5	1,87	7,52	1,87	4,7	0

Приведенные в таблице индексы S_{pk1} и S_{pku} количественно характеризуют близость распределения параметров качества продукции к нижней и верхней нормативным границам соответственно, установленным в нормативной документации. Значения этих показателей используются для оценки ожидаемого уровня несоответствий, возникающих при выходе значений исследуемого показателя за нижнюю или верхнюю нормативную границу. Индексы S_p и S_{pk} характеризуют возможности процесса производить качественную продукцию с учетом и без учета настройки процесса на центр поля допуска. Как следует из рис. 1–6 и данных таблицы 1 из 6 рассмотренных производителей только технологический процесс Завода 2 настроен на центр поля допуска. Для остальных заводов характерно смещение распределения параметров в сторону одной из установленных нормативных границ. При этом достаточный запас качества, полученный в результате расчетов для всех заводов кроме Завода 4 позволяет прогнозировать низкую вероятность появления брака цемента по показателю прочности. Для Завода 4 один из индексов ($S_{pku}=0,95 < 1$) свидетельствует о вероятности выхода процесса из управляемого состояния и появлении дефектной продукции, но поскольку речь идет о верхней нормативной границе, эта ситуация лишь свидетельствует о перерасходе некоторых видов ресурсов, что

привело к получению цемента с более высокими прочностными показателями. Цемент с такими характеристиками может быть переклассифицирован в случае необходимости и при соответствии других показателей установленным требованиям в класс по прочности при сжатии 52,5.

Таким образом, из данных табл. 1 следует, что для технологических процессов шести рассмотренных цементных заводов характерен практически нулевой прогнозируемый уровень брака цемента ЦЕМ I 42,5 Н, несмотря на отсутствие настройки процесса на центр поля допуска и смещение распределения значений прочности в проектном возрасте в сторону одной из нормативных границ (рис. 1–6).

Результаты проведенного статистического анализа могут быть использованы наряду с методами, установленными ГОСТ 30515-2013, в системе управления качеством продукции цементных заводов, предоставивших результаты испытаний для данного исследования, для повышения качества и обеспечения его стабильности [10, 11]. Использование индексов воспроизводимости позволяет сравнивать возможности технологических процессов производства, реализованных на разных предприятиях, выпускающих аналогичную продукцию, осуществлять управление процессами, а также обосновывать применяемый инструментальный анализ стабиль-

ности технологического процесса производства при сертификации продукции.

В настоящее время, согласно данным статистики [1, 3] продолжается спад объемов производства цемента в России, что связано с большим притоком более дешевых импортных цемента. Поэтому в сложившейся рыночной ситуации, в условиях обострения конкуренции, отечественным предприятиям-изготовителям особенно актуально уделять пристальное внимание проблемам обеспечения качества цемента и стабильности его характеристик, снижению непроизводительных затрат и оптимизации технологических процессов производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев В.Б. Мировая цементная промышленность: книга / Кондратьев В. Б. Фонд исторической перспективы. Центр исследования и аналитики. Москва. 2015. С. 185-202.
2. Шахова Л.Д., Рахимбаев Ш.М., Черноситова Е.С., Самборский С.А. Роль цемента в технологии пенобетона // Строительные материалы. 2005. №1. С.42–44.
3. Туахри Я. Начало новой эры в мировой цементной промышленности. Сценарий на 2016 год // Цемент и его применение. 2016. №2. С 24–31.
4. Черноситова Е.С. К вопросу о разработке систем менеджмента качества // Материалы Международ. научно-практ. интернет-конф. «Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации»: Сборник докладов. - Белгород: БГТУ, 2006. С.95–97.
5. Пучка О.В., Левицкая К.М. К вопросу об особенностях сертификации цементов по ГОСТ 56836-2016 // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, 1 - 20 мая 2016 г.: сб. докладов.
6. Шнайдер М. Текущая ситуация и перспективы цементной промышленности Германии // Цемент и его применение. 2012. №1. С 120–125.
7. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер. 2003. 688 с.
8. Юракова Т.Г., Черноситова Е.С. Прогнозирование показателей качества искусственных пигментов на основе регрессионного анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С.84–87.
9. Денисова Ю.В., Черноситова Е.С., Косухин М.М. Оценка стабильности качества камней бетонных стеновых // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2010. №1. С.93–96.
10. Жулинский С.Ф., Новиков Е.С., Поспелов В.Я. Статистические методы в современном менеджменте качества. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2001. 207 с.
11. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С. Статистические методы в системах менеджмента качества предприятий стройиндустрии // Качество и жизнь. 2005. № 5. С. 42.
12. Веретенников Д.В. Применение информационных технологий для повышения эффективности производственных испытаний/ Молодежь и научно-технический прогресс: материалы X междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. докладов: Изд-во БГТУ, 2017. Т.3. С. 57–59.
13. Флейшер, А.Ю. Оценка эффективности активаторов помола на физико-механические характеристики цемента. Сб. тр. Междунар. конф. CemEnergy. 2013. С. 61–65.
14. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. Белгород.: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 307 с.
15. Бут Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В., Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1980. 472 с.
16. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. 463 с.
17. Зозуля, П.В., Ю.В. Никифоров, Проектирование цементных заводов. СПб: Синтез, 1995. 445 с.
18. Шахова Л.Д., Нестерова Л.Л. Черноситова Е.С. Фазовый состав и микро-структура цементного поризованного камня // Цемент и его применение. 2005. №1. С. 60–62.
19. ГОСТ Р 50779.46 – 2012/ISO/TR 22514-4:2007 Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процессов. – М.: Стандартиформ, 2012. 43 с.

Pospelova E.A., Chernositova E.S., Lazarev E.V. STATISTICAL QUALITY ANALYSIS OF THE RUSSIAN CEMENT

The results of a statistical analysis of strength of Portland cement type CEM I 42.5 N produced by domestic enterprises. The calculated process capability indexes for plants using different methods of cement production. Recommendations on the use of process capability indexes in the quality control of cement.

Key words: *Portland cement, statistical processing of quality data, specified tolerance, process capability index, fraction nonconforming.*

Поспелова Елена Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: Mks-06@mail.ru

Черноситова Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ES-Helen@ya.ru.

Лазарев Евгений Викторович, студент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: e.lazarew@yandex.ru