

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-8-16

¹Шахова Л.Д., ^{2,*}Черноситова Е.С., ²Щелокова Л.С., ²Денисова Ю.В.¹ООО «Полипласт Новомосковск»

Россия, 301661, Тульская обл., г. Новомосковск, Комсомольское шоссе, 72

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: ES-Helen@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕКУЧЕСТЬ ЦЕМЕНТОВ

Аннотация. Текучесть цементного порошка оказывает существенное влияние на продолжительность и трудозатраты в процессе транспортирования и отгрузки цемента. Это обуславливает актуальность задачи поиска механизмов управления этим параметром.

В процессе производства текучесть цементного порошка формируется в зависимости от свойств исходной цементной шихты, требований по тонкости помола к готовой продукции, аппаратного дизайна и условий проведения процесса. В свою очередь, текучесть цемента оказывает влияние на процесс измельчения, и, следовательно, на производительность мельницы. Реологические характеристики цементного вяжущего со временем изменяются в зависимости от физических свойств материала, условий окружающей среды и оборудования, используемого для его хранения. Причины ухудшения текучести цементного порошка до сих пор полностью не изучены.

Статья посвящена исследованию основных факторов, влияющих на текучесть цемента. Приведены результаты статистического анализа текучести цемента в зависимости от тонкости помола цемента (по остатку на сите №008 и удельной поверхности по Блейну), влажности, насыпного веса и веса в максимально уплотненном состоянии, а также рассмотрена детально взаимосвязь производственных факторов и текучести цемента. Корреляционно-регрессионным методом анализа установлено, что на текучесть влияет переменный фактор, который пока не оценивается количественно.

Ключевые слова: цемент, текучесть цементного порошка, подвижность, слеживаемость, корреляционно-регрессионный анализ.

Введение. Снижение текучести (подвижности) цемента при массовых отгрузках большими объемами автомобильным, железнодорожным транспортом «навалом» или в тарированном виде создают большие проблемы, увеличивая время и трудозатраты при погрузочно-разгрузочных работах. Эти задержки могут быть достаточно существенными.

Текучесть порошков является сочетанием физических свойств материала, условий окружающей среды и оборудования, используемого для переработки и хранения эти материалов [1]. Поведение потока порошкообразного материала носит многомерный характер и зависит от многих физических характеристик [2–5].

Причины ухудшения текучести цементного порошка до сих пор полностью не поняты. Основной причиной, к которой склоняются многие исследования, является сложные отношения между поверхностной энергией отдельных зерен цемента и потоком тех же частиц [6, 7]. Поверхностная энергия зависит от многих факторов в процессе производства цемента: тонкость помола, тип помольного оборудования, тип вращающихся печей и способ производства (мокрый или сухой), температуры обжига и охлаждения, скорости охлаждения и т.д. [8–10].

Перечисленные факторы играют важную роль при формировании других свойств цемента, таких как насыпная плотность, угол естественного откоса, слеживаемость при хранении в силосах, время погрузочно-разгрузочных работ из емкостей хранения и транспортирования. Даже небольшое изменение количественных значений указанных факторов может привести к значительным изменениям подвижности порошков: снижение размера частиц ведет к снижению текучести данного порошка [11–13]. Для эффективного управления и возможности прогнозирования текучести важно понимать ее роль в технологических процессах получения и хранения цемента, а также механизмы управления этим параметром.

Основываясь на наших многолетних результатах практики применения технологических добавок, была выдвинута гипотеза о влиянии текучести цементного порошка на процессы измельчения и транспортирования. Взаимосвязь факторов, определяющих производительность мельницы и эффективность работы сепарирующих аппаратов, а также изменение характеристик готовой продукции показана на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь производственных факторов и текучести цемента

Из приведенной схемы следует, что текучесть цемента зависит от свойств исходной цементной шихты, требований по тонкости помола к готовой продукции, аппаратного дизайна и условий проведения процесса. Кроме этого, имеется обратная связь – влияние текучести цемента на процесс измельчения, таким образом, на производительность мельницы.

Существует несколько эмпирических закономерностей: гидрофобные порошки текут лучше, чем гидрофильные; монодисперсные порошки текут лучше полидисперсных [14, 15]. Согласно этим эмпирическим закономерностям, цементы, изготовленные на мельницах замкнутого цикла с сепараторами при равной удельной поверхности, должны иметь выше текучесть, чем цементы, изготовленные по открытому циклу [16]. Как показывает практика, цемент, произведенный по открытому циклу, начинает агрегироваться раньше. Это связано с тем, что мелкие частицы не выводятся из зоны воздействия мелющих тел, частицы начинают налипать на мелющие тела и бронефутеровку, тем самым снижая эффективность удара. Подводящая энергия расходуется не только на измельчение, но и на разрушение образующихся агрегатов. По этой причине в мельнице открытого цикла невозможно получить цементы с удельной поверхностью выше $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ [17].

Трудности оценки влияния множества факторов на текучесть цемента заключается в невозможности количественного определения текучести в конкретных технологических условиях [18]. Поэтому в данных экспериментах текучесть готового продукта определялась в лаборатории

цементного предприятия с учетом параметров, которые могли быть оценены количество.

Методы, оборудование, материалы. При проведении эксперимента были отобраны 92 пробы цемента ЦЕМ II/A-III 32.5Б при отгрузке партий из силосов. Цементы были получены помолом в мельнице $3.2 \times 14 \text{ м}$ открытого цикла. В качестве исследуемых факторов рассматривались: тонкость помола цемента (по остатку на сите №008 и удельной поверхности по Блейну), влажность порошка, насыпной вес и вес в максимально уплотненном состоянии.

Насыпной вес определялся взвешиванием разрыхленного порошка в мерной емкости. Затем емкость с цементом устанавливалась на встряхивающий стол Хагерманна и производилось встряхивание 50 раз. В емкость добавлялся цемент, верхний излишек порошка удалялся и емкость опять встряхивалась 50 раз. Так продолжается до тех пор, пока порошок максимально не уплотнится. Степень слеживаемости определялся как отношение веса в рыхлом состоянии к весу в уплотненном состоянии. Степень слеживаемости косвенно отражает склонность порошка к уплотнению при механических воздействиях.

Влажность порошка, удельная поверхность по Блейну определялись по ГОСТ 30744.

Статистическая обработка результатов испытаний проводилась по классическим методам, рекомендуемым ГОСТ Р ИСО/ТО 10017 для использования в системах менеджмента качества по ИСО 9001, в пакете анализа данных STATISTICA [19].

Результаты испытаний, использованные для статистической обработки, проверялись на наличие грубой погрешности по критерию Райта с использованием программного продукта [20].

На начальном этапе статистического исследования методами описательной статистики и проверки гипотез были оценены параметры и вид

распределения исходных данных с целью их дальнейшего использования для корреляционно-регрессионного анализа.

Статистические показатели выходного параметра – текучести цемента и влияющих факторов, рассчитанные по экспериментальным данным, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Описательная статистика исходных данных

Значения	Выходной параметр Y1 – текучесть цемента, %	Факторные признаки						
		x1 – остаток на сите №008, мас. %;	x2 – удельная поровая поверхность цемента по Блейну, см ² /г	x3 – влажность цемента, %;	x4 – массовая доля шлака, %;	x5 – насыпной вес в рыхлом состоянии, г/л;	x6 – насыпной вес в максимально уплотненном состоянии, г/л;	x7 – отношение насыпного веса и в уплотненном состоянии (степень слеживаемости)
Среднее	25,70	8,420	292,080	0,028	10,658	1133,773	1591,955	0,714
Минимальное	19	5,5	267	0,01	2,1	1046	1327	0,63
Максимальное	31	13,3	324	0,05	19,7	1237	1788	0,85
Стандартное отклонение	2,55	1,647	13,165	0,008	3,554	49,503	91,776	0,038
Коэффициент вариации, %	9,94	19,56	4,51	28,54	33,34	4,37	5,77	5,28
Значение коэффициента парной корреляции между x _i и y		-0,097	-0,184	0,007	-0,084	-0,114	-0,008	-0,110

Коэффициент вариации значений массовой доли шлака превышает 33 %, что свидетельствует о неоднородности данных и распределении исследуемого параметра, отличным от нормального. Однако гистограмма распределения, представленная на рисунке 2, и результаты расчета D-статистики Колмогорова-Смирнова, вы-

полненные в программе STATISTICA, позволяют принять гипотезу о нормальности распределения. Следовательно, все факторные признаки могут быть использованы для проведения регрессионного анализа с целью изучения взаимосвязей текучести цемента от множества факторов, приведенных в табл. 1.

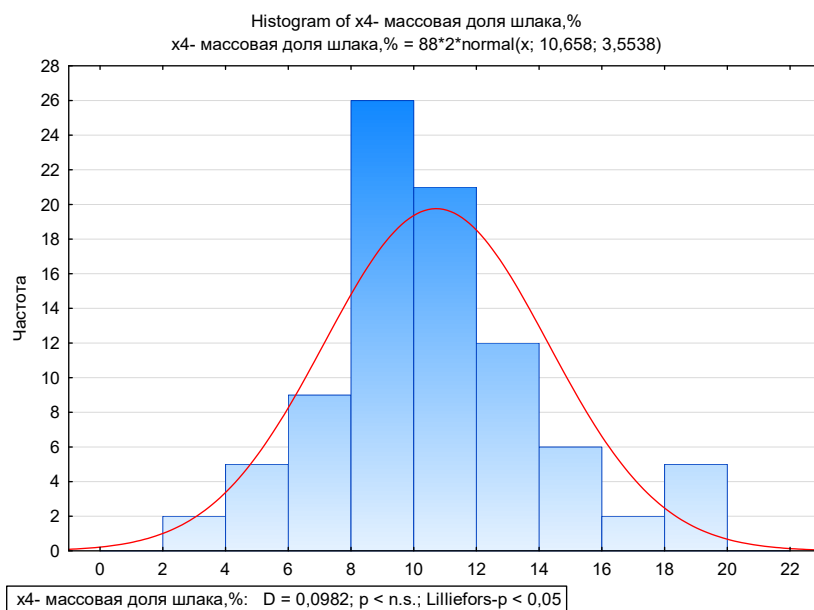


Рис. 2. Гистограмма распределения массовой доли шлака

Корреляционно-регрессионный анализ позволяет исследовать взаимосвязи показателей, когда зависимость между ними не является строго функциональной и искажена влиянием посторонних, случайных факторов. Для его реализации использовался модуль Descriptive statistics программы STATISTICA [19].

Программой рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии в кодированном и натуральном виде b^* и b соответственно, ошибки определения этих коэффициентов и значения критерия Стьюдента (t).

Уровень надежности (доверительная вероятность) задавался $\alpha=95\%$. Значимость коэффициентов множественной корреляции R в уравнении проверялась по F -критерию Фишера путем расчета его фактического значения и сравнения с табличными данными.

Для оценки добротности выполненного регрессионного анализа использовали величины:

– стандартной ошибки S_y , которая дает представление о приблизительной величине ошибки прогнозирования;

– коэффициентом детерминации R^2 , указывающим, какой процент вариации функции y объясняется воздействием факторов x_k .

Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивается с помощью табличных значений критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Рассчитанные в программе STATISTICA коэффициенты уравнения регрессии, полученные на основе экспериментальных данных, представлены на рис. 3.

Regression Summary for Dependent Variable: Y -текучесть (Spreadsheet1)						
R= ,40291284 R ² = ,16233875 Adjusted R ² = ,08904340						
F(7,80)=2,2149 p<,04143 Std. Error of estimate: 2,4382						
	b*	Std. Err. of b*	b	Std. Err. of b	t(80)	p-value
N=88						
Intercept			216,664	62,92862	3,44302	0,000918
x1 - остаток на сите №008, мас. %	-0,09858	0,125793	-0,153	0,19515	-0,78365	0,435558
x2 - удельная поверхность цемента по Блейну, см ² /г	-0,27963	0,108833	-0,054	0,02112	-2,56938	0,012045
x3 - влажность цемента, %	0,13037	0,114861	42,278	37,24830	1,13503	0,259753
x4- массовая доля шлака, %	-0,14502	0,120292	-0,104	0,08647	-1,20559	0,231528
x5 - насыпной вес в рыхлом состоянии, г/л	2,78708	1,098535	0,144	0,05669	2,53709	0,013121
x6 - насыпной вес в максимально уплотненном состоянии, г/л	-3,86397	1,459642	-0,108	0,04063	-2,64720	0,009772
x7 - степень слеживаемости	-3,42825	1,267774	-232,229	85,87883	-2,70415	0,008363

Рис. 3. Результаты регрессионного анализа в программе Statistica

Статистически значимые коэффициенты уравнения регрессии (выделены красным): удельная поверхность и показатели, характеризующие плотность цемента в разных состояниях. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,16$, что свидетельствует о том, что достаточно небольшая доля вариации зависимой переменной обусловлена вариацией рассмотренных факторных признаков.

Для дальнейшего анализа были приняты факторы X2 – показатель качества готового цемента, насыпной вес X5 и степень слеживаемости, характеризующая степень уплотнения материала в процессе хранения, X7.

Графически зависимость текучести цемента от выявленных значимых факторов X2-X7, X2-X5, полученная с помощью метода наименьших квадратов (МНК), представлена на рисунке 4. Очевидно, что поверхности, полученные в качестве прогнозируемой поверхности отклика, и реальные данные, полученные в результате испытаний, существенно отличаются.

Коэффициент детерминации R^2 для выбранной в программе модели составляет всего 0,071, что можно проиллюстрировать графически в виде зависимости между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями параметра (рис. 5).

Для автоматизации процесса выбора модели регрессии, наиболее информативной с точки зрения объясненной дисперсии, была применена опция «Пошаговая или гребневая регрессия». Результаты ее использования приведены ниже.

Выбранная с его помощью модель регрессии как наиболее информативная с точки зрения доли объясненной дисперсии включает всего один факторный признак – X2 (удельная поверхность цементного порошка:

$$Y = 47,69 - 0,045X_2$$

Прогнозируемые с использованием этой модели значения текучести цемента в зависимости от его удельной поверхности приведены на рис 6.

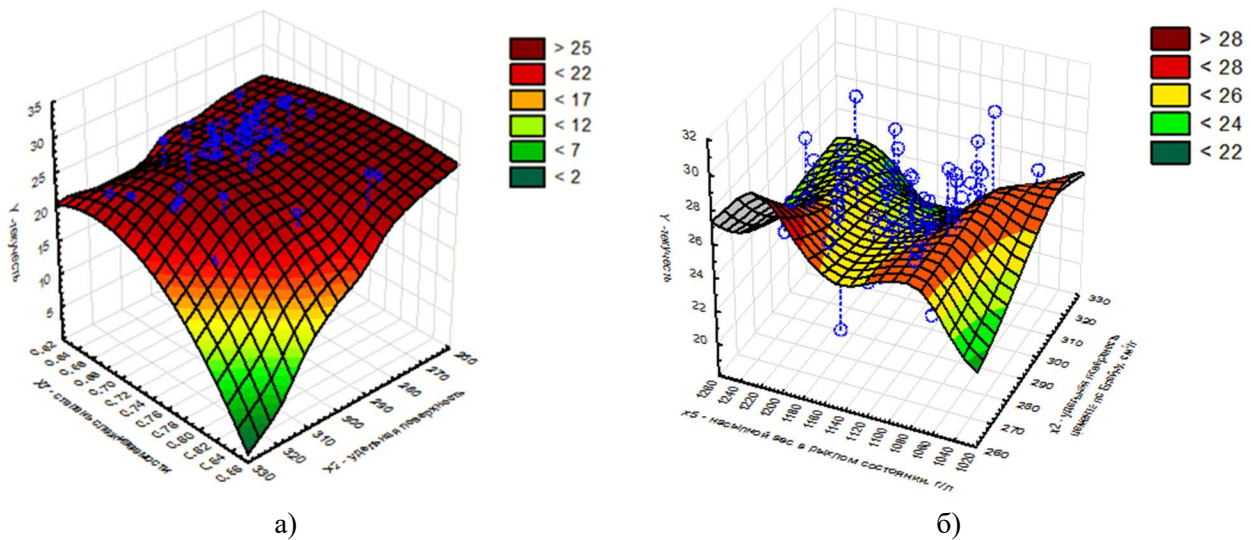


Рис. 3. Результаты построения поверхностей отклика в программе STATISTICA: а) зависимость текучести цемента от удельной поверхности и степени слеживаемости; б) зависимость текучести цемента от удельной поверхности и насыпного веса

		Regression Summary for Dependent Variable: Y -текучесть					
		R= 0,26682461 R2= 0,07119537 Adjusted R2= ,03802378					
		F(3,84)=2,1463 p<,10048 Std.Error of estimate: 2,5056					
		b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(84)	p-value
N=88							
Intercept				47,69116	9,210279	5,17804	0,000002
x2 - удельная поверхность цемента по Блейну, см ² /г		-0,231968	0,109541	-0,04501	0,021256	-2,11764	0,037162
x1 - остаток на сите №008, мас. %		-0,156852	0,109564	-0,24333	0,169969	-1,43159	0,155970
x5 - насыпной вес в рыхлом состоянии, г/л		-0,116155	0,105269	-0,00599	0,005432	-1,10342	0,272997

Рис. 4. Результаты выбора регрессионной модели с помощью пошаговой или гребневой регрессии в программе STATISTICA

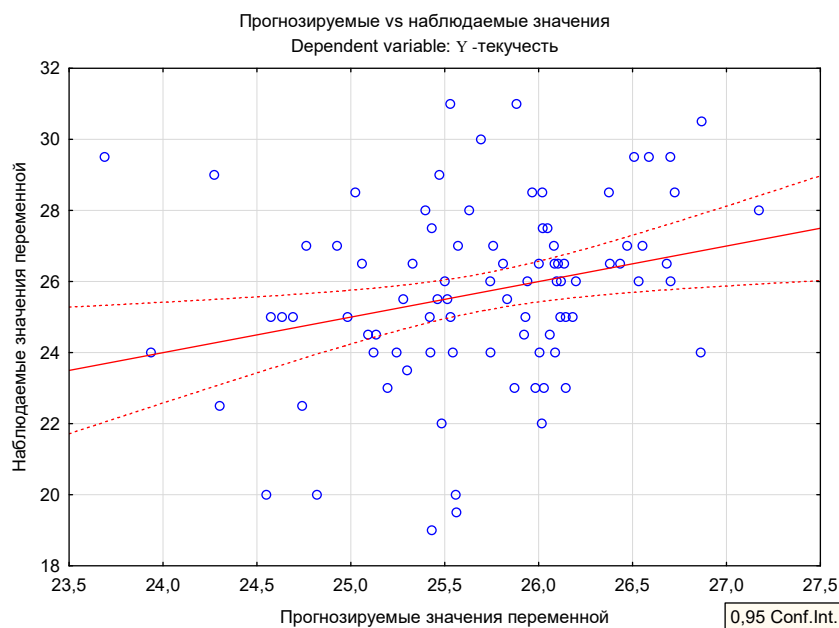


Рис. 5. Соотношение прогнозируемых по регрессионной модели и наблюдаемых значений текучести

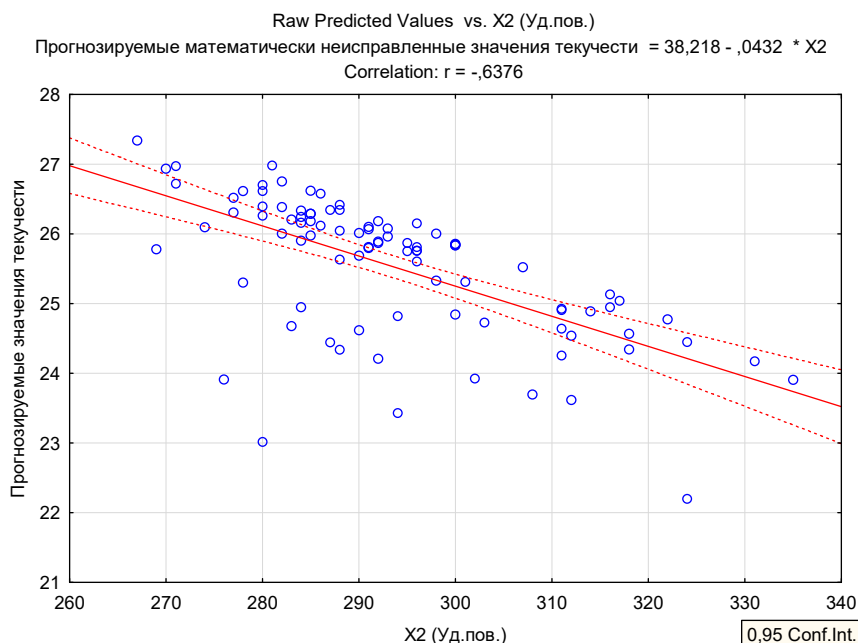


Рис. 6. Прогнозируемые математически неисправленные значения текучести

Выводы. Полученная при реализации метода регрессионного анализа оценка коэффициента детерминации R^2 (0,071), свидетельствует о том, что изменение текучести цементного порошка полностью обусловлено воздействием пока неучтенных в модели факторов и требует проведения дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Prescott J.K., Barnum R.A. On Powder Flowability // Pharm. Technology. 2000. Pp. 60–84.
2. Shahova L.D., Chernositova E.S., Denisova J.V. Flowability and durability of cement containing technological additives during grinding process // 2017 AIME. AER-Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 162–167.
3. Shahova L.D., Chernositova E.S., Denisova J.V. Flowability of cement powder // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 032049.
4. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Денисова Ю.В. Исследование влияния технологических добавок на реологические свойства цементного порошка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 123–128.
5. Флейшер А.Ю. Оценка эффективности активаторов помола на физико-механические характеристики цемента // Сб. тр. Междунар. конф. CemEnergy. 2013. С. 61–65.
6. Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T.J. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values // Food Engineering. 2004. Vol. 61(3). Pp. 399–405.
7. Fitzpatrick J.J., Ahrne L. Food powder

handling and processing Industry problems, knowledge barriers and research opportunities // Chem. Engineering Proc. 2005. Vol. 44(2). Pp. 209–214.

8. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Березина Н.М., Данилин А.А. Композиционные разжижители сырьевых шламов цементного производства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. №10. С. 191–196.
9. Poluektova V.A., Shapovalov N.A. Fundamental patterns of influence of the structure and composition of the oxyphenol oligomers on the plastification of cement mixtures // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. Issue 4. Pp. 22716–22725.
10. Marinelli J., Carson J.W. Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders // Chem. Engineering Proc. 1992. Vol. 88(5). Pp 22–28.
11. Sprung C. Effect of storage conditions on the properties of cement // ZKG INTERNATIONAL. 1978. Vol. 6. Pp 305–309.
12. Dubina E., Wadsö L., Plank J. A sorption balance study of water vapour sorption on anhydrous cement minerals and cement constituents // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Issue 11. Pp. 1196–1204.
13. Kamath S., Puri V., Manbeck H., Hogg R. Flow properties of powders using four testers-measurement, comparison and assesemen // Powder Technol. 1993. Vol. 76. Pp. 277–289.
14. Черноситова Е.С., Куприянов А.Н. К вопросу о снижении потерь и повышении производительности при изготовлении блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: 7-я

Международная научно-техническая конф. / Юго-Западный государственный университет (Курск, 30-31 мая 2019 г.), Курск. Том 1, Изд-во Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 411–414.

15. Lebedev M.S., Chulkova I.L. Study of structure formation in bitumen-mineral compositions based on fly ash under water saturation // *Advances in Engineering Research (Actual Issues of Mechanical Engineering AIME 2017)*. 2017. Vol. 133. Pp. 403–408.

16. Bulanov P.E., Vdovin E.A., Mavliev L.F., Kuznetsov D.A. Development of road soil cement compositions modified with complex additive based on polycarboxylic ether // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol.327. 032014.

17. Poluektova V.A., Shapovalov N.A.,

Evtushenko E.I. Nano-modified polymer solution for additive technologies // *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. Issue 4. Pp. 24930–24937.

18. Schwedes J. Flow Properties of Bulk Solids // *Granular Matter Review on Testers for Measuring*. 2003. Vol. 5. Pp 1–43.

19. Боровиков В.П. СТАТИСТИКА. Искусство анализа данных на компьютере. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 688 с.

20. Программа отбраковки результатов эксперимента, содержащих грубую погрешность: Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ / Денисова Ю.В., Черноситова Е.С., Куприянов А.Н. №2018616041: дата регистрации 21.05.2018 г.

Информация об авторах

Шахова Любовь Дмитриевна, доктор технических наук, профессор, директор научно-технического центра небетонного направления. E-mail: shahova_ld@polyplast-nm.ru. ООО «Полипласт Новомосковск». Россия, 301661, Тульская обл., г. Новомосковск, Комсомольское шоссе, 72.

Черноситова Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: ES-Helen@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Щелокова Лариса Станиславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: shelkova-larisa@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Денисова Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций. E-mail: jdenisowa@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2019 г.

© Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Щелокова Л.С., Денисова Ю.В., 2019

¹*Shakhova L.D.*, ^{2,*}*Chernositova E.S.*, ²*Schelokova L.S.*, ²*Denisova J.V.*

¹*LLC «Polyplast Novomoskovsk»*

Russia, 301661, Tulskaaya obl., Novomoskovsk, Komsomolskaya highway 72.

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhova*

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukov, 46

**E-mail: ES-Helen@yandex.ru*

A STUDY OF FACTORS AFFECTING THE FLUIDITY OF CEMENT

Abstract. *The fluidity of cement powder has a significant impact on the duration and labor costs in the process of transportation and shipment of cement. This determines the relevance of the task of finding mechanisms to control this parameter.*

During the production process, the fluidity of the cement powder is formed depending on the properties of the initial cement charge, the requirements for the thinness of the grinding to the finished product, the hardware design and the conditions of the process. In turn, the fluidity of cement affects the grinding process and the productivity of the mill. The rheological characteristics of the cement binder change over time depending on the physical properties of the material, environmental conditions and the equipment used for its storage. The reasons for the deterioration of the flow of cement powder is still not fully studied.

The article is devoted to the study of the main factors affecting the fluidity of cement. The results of the statistical analysis of cement fluidity depending on the thinness of cement grinding (on the residue on the sieve №008 and the specific surface area by Blaine method) humidity, bulk weight and weight in the most compacted

state. In addition, the relationship of production factors and cement fluidity is considered. Correlation and regression analysis shows that the fluidity is affected by a variable factor, which is not yet quantified.

Keywords: cement, cement powder fluidity, mobility, caking, correlation and regression analysis.

REFERENCES

1. Prescott J.K., Barnum R.A. On Powder Flowability. Pharm. Technology. 2000. Pp. 60–84.
2. Shahova L.D., Chernositova E.S., Denisova J.V. Flowability and durability of cement containing technological additives during grinding process. 2017 AIME. AER-Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 162–167.
3. Shahova L.D., Chernositova E.S., Denisova J.V. Flowability of cement powder. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 032049.
4. Shakhova L.D., Chernositova E.S., Denisova J.V. Research of influence of technological additives on the rheological properties of cement powder [Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh dobavok na reologicheskie svoystva cementnogo poroshka]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 123–128. (rus)
5. Fleischer A.J. Evaluation of the effectiveness of activators of grinding on physico-mechanical characteristics of cement [Ocenka effektivnosti aktivatorov pomola na fiziko-mekhanicheskie karakteristiki cementa]. Proceedings of the international conference CemEnergy. 2013. Pp. 61–65. (rus)
6. Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T.J. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. Food Engineering. 2004. Vol. 61(3). Pp. 399–405.
7. Fitzpatrick J.J., Ahrne L. Food powder handling and processing Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. Chem. Engineering Proc. 2005. Vol. 44(2). Pp. 209–214.
8. Shahova L.D., Chernositova E.S., Berezin N.M., Danilin A.A. Composite thinners raw sludge in cement production [Kompozicionnye razhizhiteli syr'evykh shlamov cementnogo proizvodstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. No.10. Pp. 191-196. (rus)
9. Poluektova V.A., Shapovalov N.A. Fundamental patterns of influence of the structure and composition of the oxyphenol oligomers on the plastification of cement mixtures. International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. Issue No. 4. Pp. 22716–22725.
10. Marinelli J., Carson J.W. Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders. Chem. Engineering Proc. 1992. Vol. 88(5). Pp 22–28.
11. Sprung C. Effect of storage conditions on the properties of cement. ZKG INTERNATIONAL. 1978. Vol. 6. Pp 305–309.
12. Dubina E., Wadsö L., Plank J. A sorption balance study of water vapour sorption on anhydrous cement minerals and cement constituents. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Issue No. 11. Pp. 1196–1204.
13. Kamath S., Puri V., Manbeck H., Hogg R. Flow properties of powders using four testers-measurement, comparison and assesmen. PowderTechnol. 1993. Vol. 76. Pp. 277–289.
14. Chernositova E.S., Kupriyanov A.N. The issue of reducing losses and increasing productivity in the manufacture of cellular concrete blocks of autoclaved hardening [K voprosu o snizhenii poter' i povyshenii proizvoditel'nosti pri izgotovlenii blokov iz yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya]. Upravlenie kachestvom na etapah zhiznennogo cikla tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh sistem: 7-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konf. Sbornik dokladov v 2-h tomah. Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet (Kursk, 30-31 may, 2019). 2019. Vol. 1. Pp. 411–414. (rus)
15. Lebedev M.S., Chulkova I.L. Study of structure formation in bitumen-mineral compositions based on fly ash under water saturation. Advances in Engineering Reeseach (Actual Issues of Mechanical Engineering AIME 2017). 2017. Vol. 133. Pp. 403–408.
16. Bulanov P.E., Vdovin E.A., Mavliev L.F., Kuznetsov D.A. Development of road soil cement compositions modified with complex additive based on polycarboxylic ether. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 032014.
17. Poluektova V.A., Shapovalov N.A., Evtushenko E.I. Nano-modified polymer solution for additive technologies. International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. Issue 4. Pp. 24930–24937.
18. Schwedes J. Flow Properties of Bulk Solids. Granular Matter Review on Testers for Measuring. 2003. Vol. 5. Pp 1–43.
19. Borovikov V.P. STATISTICA. The art of data analysis on the computer [STATISTICA. Iskustvo analiza dannyh na komp'yutere]. Saint-Petersburg: Peter, 2003. 688 p. (rus)
20. The program rejection of the results of the experiment, containing a gross error [Programma otrakovki rezul'tatov eksperimenta, soderzhashchih grubuyu pogreshnost']: The certificate of state registration of program for computer / Denisova, J.V., Chernositov E.S., Kupriyanov A.N. – №2018616041: date of registration 21.05.2018. (rus)

Information about the authors

Shakhova, Lyubov D. DSc, Professor. E-mail: shahova_ld@polyplast-nm.ru. Director of the scientific-technical center of not a concrete direction. LLC «Polyplast Novomoskovsk», Russia, 301609, Tula region, Novomoskovsk, Komsomolskoye Rte., 72.

Chernositova, Elena S. PhD, Assistant professor. E-mail: ES-Helen@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Schelokova, Larisa S. PhD, Assistant professor. E-mail: shelokova-larisa@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Denisova, Julia V. PhD, Assistant professor. E-mail: jdenisowa@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in September 2019

Для цитирования:

Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Щелокова Л.С., Денисова Ю.В. Исследование факторов, влияющих на текучесть цементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 8–16. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-8-16

For citation:

Shakhova L.D., Chernositova E.S., Schelokova L.S., Denisova J.V. A study of factors affecting the fluidity of cement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. Pp. 8–16. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-8-16