

## Литература

1. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Стибунова Н.С., Алыпина И.С. Сырьевая смесь для изготовления стеновых керамических изделий: пат. 2399599 Рос. Федерация. № 2009105, 310/03; заявл. 16.02.09; опубл. 20.09.10, Бюл. № 26. 4 с.
2. Лохова, Н.С. Ермолина, А.С. Тарновская. Обжиговые строительные материалы повышенной долговечности с использованием техногенного сырья: моногр. Братск: изд-во Брат. ун-та, 2012. 80 с.
3. Лохова Н.А., Вихрева Н.Е. Сравнительный анализ фазообразования при обжиге золокерамики с минерализующими добавками // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Т. 2. Братск.: изд-во Брат. ун-та, 2004. С. 342-345.
4. Макарова И.А., Лохова Н.А., Гура З.И. К вопросу получения гидратированной керамики из дисперсного техногенного сырья // Труды Братского государственного технического университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Т. 2. Братск: изд-во Брат. ун-та, 2004. С. 370-372
5. Лохова Н. А., Макарова И. А., Патраманская С. В., Шихралов О. Г. Получение стеновой керамики на основе композиции «МК+зола унос» с добавками-минерализаторами // Труды Братского государственного технического университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Т. 2. Братск: изд-во Брат. ун-та, 2003. С.293-295
6. Лохова, Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья: монография. Братск: изд-во Брат. ун-та, 2009. 268 с.
7. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Соболев С.Ю., Аришин П.А., Черных И.В. Сырьевая смесь и способ изготовления стеновых керамических изделий: пат. 2358952 Рос. Федерация. № 2007142628/03; заявл. 19.11.07; опубл. 20.06.09, Бюл. № 17. 4 с.
8. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Черных И.В., Мугаев С.А., Топоров А.А. Сырьевая смесь для изготовления лицевой керамики: пат. 2317275 Рос. Федерация. № 20061255868/03; заявл. 17.07.06; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5. 4 с.
9. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Кучинский Д.А., Кучинская О.В., Н. В. Боева Н.В. Сырьевая смесь для получения ангоба светлых тонов для стеновой керамики: пат. 2378224 Рос. Феде-

рация. № 2008126922103/03; заявл. 01.07.08; опубл. 10.01.10, Бюл. № 1. 4 с.

## References

1. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Stibunova N.S., Alypova I.S. The raw material mixture for the wall ceramics production: pat. 2399599 Ros. Federatsiya. № 2009105, 310/03, zayavl. 16.02.2009; opubl. 20.09.2010. Byul. № 26. 4 s.
2. Lokhova N.A., Ermolina A.S., Tarnovskaya A.S. Fired building materials of high durability involving anthropogenic raw materials: monogr. Bratsk: Izd-vo Brat. Un-ta, 2012. 80 s.
3. Lokhova N.A., Vikhрева N.E. Comparative analysis of phase formation during the ash ceramics firing involving mineralizing additives // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: Izd-vo Brat. Un-ta, 2004. 380 s.
4. Lokhova N.A., Makarova I.A., Gura Z.I. On the issue of obtaining hydrated ceramics based on disperse man-made materials // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: Izd-vo Brat. Un-ta, 2004. 380 s.
5. Makarova I.A., Lokhova N.A., Patramanskaya S.V., Shikhralov O.G. Obtaining wall ceramics based on the "MK + fly ash" composition involving mineralizer additives // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: Izd-vo Brat. Un-ta, 2003, 341 s.
6. Lokhova N.A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on silica material: monogr. Bratsk, 2009. 268 s.
7. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.C., Borodin E.G., Soboлев S.V., Arishin P.A., Chernykh I.V. The raw material mixture and a method of wall ceramics manufacturing: pat. 2358952 Ros. Federatsiya. № 2007142628/03; zayavl. 19.11.2007; opubl. 20.06.2009. Byul. № 17. 4 s.
8. Lokhova N. A., Kondrat'yeva A. S., Stepanova M. V., Chernykh I.V., Mugaev S.A., Toporov A.A. The raw material mixture to produce facing ceramics: pat. 2317275 S04V 33/13 Ros. Federatsiya. № 20061255868/03; zayavl. 17.07.2006; opubl. 20.02.2008. Byul. № 5. 4 s.
9. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.C., Borodin E.G., Kuchinsky D.A., Kuchinskaya O.V., Boeva N.V. RF Patent number 2378224 S04V 35/16. The raw material mixture to obtain light color engobe for wall ceramics: pat. 2378224 S04V 35/16 Ros. Federatsiya. № 2008126922103/03, zayavl. 01.07.2008; opubl. 10.01.2010. Byul. № 1. 4 s.

УДК 691.335

## Использование пакета прикладных программ «STATISTICA» для оптимизации технологии производства ячеистых бетонов с комплексной добавкой

А.В. Косых<sup>а</sup>, Е.В. Лужнова<sup>б</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>smit@brstu.ru

Статья поступила 20.12.2012, принята 06.05.2013

*В статье показана эффективность использования ячеистых бетонов в качестве теплоизоляционно-конструкционных для изготовления ограждающих конструкций. Их широко используют в Западной Европе и европейской части России. Ячеистый бетон является строительным материалом, имеющим потенциально очень большой рынок сбыта. Фактором, сужающим область его применения, является недостаточно высокий уровень показателей физико-механических и теплотехнических средств серийно выпускаемых ныне материалов. Их повышение, при обеспечении достаточной экономичности, позволит укрепить позиции ячеистого бетона как современного эффективного стенового материала. Важным аспектом в производстве строительных материалов является рациональное использование сырьевой базы. Как показывает опыт, использование отходов промышленности позволяет покрыть потребность в сырьевых ресурсах, сократить затраты на изготовление материалов и снизить техногенные нагрузки на окружающую среду. Отходы промышленных предприятий г. Братска наделены такими физическими свойствами и химическим составом, которые позволяют использовать их в качестве сырьевых компонентов. Значительный объем вторичного сырья, который задействован при изготовлении этого вида ячеистых бетонов, не всегда позволяет получить линейную зависимость между основными варьируемыми факторами и контролируемыми характеристиками. В статье рассмотрена возможность оптимизации составов ячеистых бетонов с помощью программы STATISTICA. Приведены результаты исследований по математическому моделированию основных свойств ячеистых бетонов с комплексной добавкой.*

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, добавки, зависимость, математическое моделирование.

## Use of application software package «STATISTICA» to optimize technology of cellular concrete production involving complex additive

A.V. Kosykh<sup>a</sup>, E.V. Luzhnova<sup>b</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>smit@brstu.ru

Received 20.12.2012, accepted 06.05.2013

*The article shows the efficiency of the use of cellular concrete as heat insulating-structural material to produce enclosure structures. They are widely used in Western Europe and in the European part of Russia. Nowadays, cellular concrete is the construction material having a potentially large sales market. The factor that narrows its uses is the insufficiently high level of physical-mechanical and thermotechnical characteristics of the series-produced materials. Their increase, while ensuring sufficient economy, will strengthen the position of cellular concrete as an effective modern wall material. An important aspect in the construction materials production is the rational use of the raw material resources base. As experience shows, the use of industrial wastes allows supplying a want in raw material resources, reducing the costs of materials production and anthropogenic loads on the environment. The wastes of Bratsk industrial enterprises possess such physical properties and chemical composition which allow you to use them as input products. A significant volume of the recycled raw materials used in the manufacture of this type of cellular concrete does not always permit to obtain a linear dependence between the main variable factors controlled by the characteristics. The article considers the possibility to optimize the cellular concrete composition with the help of the program STATISTICA. The research results on mathematical modeling of the main properties of cellular concrete involving the complex additive have been outlined.*

**Keywords:** cellular concrete, additives, dependence, mathematical modeling.

**Введение.** В настоящее время ячеистые бетоны широко применяют не только в нашей стране, но и во многих других странах с различными климатическими условиями. Их активно используют в Швеции, Германии, Финляндии, Норвегии, Польше и т. д. Благодаря эффективности использования в строительстве данных материалов их производство постоянно расширяется. Наряду с этим идет непрерывный научно-технический поиск в направлении совершенствования технологии, возможности замены чистых кварцевых песков более дешевыми рядовыми, полного или частичного исключения из технологии помола кремнеземистой составляющей за счет использования вторичного сырья промышленности.

Ранее в работах [1, 2, 3, 4] была показана возможность получения теплоизоляционно-конструкционных строительных материалов – газозолобетонов с комплексной добавкой на основе золы-унос, проведены рентгенофазовый и дериватографический анализы данных материалов.

**Целью исследования** является выявление основных закономерностей, описывающих изменение свойств газозолобетона в зависимости от принятой рецептуры и задаваемых параметров.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1) изучить влияние рецептуры газозолобетона с комплексной добавкой на физико-механические характеристики бетона;

2) проанализировать возможность использования построенных моделей в программе STATISTICA для получения ячеистых материалов с заданными характеристиками.

Таблица 1

№ п/п	2**(3) центральный композиционный план		
	Комплексная добавка, %	В/Т	Время перемешивания, мин.
1	2,4	0,45	0,50
2	2,4	0,45	1,50
3	2,4	0,65	0,50
4	2,4	0,65	1,50
5	4,8	0,45	0,50
6	4,8	0,45	1,50
7	4,8	0,65	0,50
8	4,8	0,65	1,50
9	1,6	0,55	1,00
10	5,6	0,55	1,00
11	3,6	0,38	1,00
12	3,6	0,72	1,00
13	3,6	0,55	0,16
14	3,6	0,55	1,84
15	3,6	0,55	1,00
16	3,6	0,55	1,00

**Методы и результаты исследований.** Для решения поставленных задач был проведен эксперимент, в ходе которого изучалась зависимость физико-механических характеристик от варьируемых факторов. В качестве данных факторов использовались: расход комплексной добавки (% от массы Ц+3) ( $x_1$ ), В/Т ( $x_2$ ), время переме-

шивания (мин.) ( $x_3$ ). В качестве откликов рассматривались основные свойства ячеистых бетонов: средняя плотность ( $y_1$ ), прочность на сжатие ( $y_2$ ) и коэффициент конструктивного качества ( $y_3$ ).

Поскольку простого линейного соотношения между этими факторами и окончательным выходом реакции не ожидается, использовали план поверхности отклика.

Оптимизация состава и технологических параметров получения газозолобетона производилась по стандартному трехфакторному плану с 16 опытами. План эксперимента представлен в таблице 1.

На основании данных таблицы 1 был проведен физический эксперимент, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Зависимость физико-механических характеристик газозолобетона от варьируемых факторов*

№ n/n	План эксперимента			Составляющие бетонной смеси в долях от (Ц+З) и натуральных значениях, кг/м <sup>3</sup>					Результаты наблюдений		
	КД, % от мас- сы Ц+З	В/Г	Время пере- мешивания, мин.	Це- мент	Зола- унос	Гипс	Вода	КД	$R_{сж}^{сух}$ кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	К.К.
	$X_1$	$X_2$	$X_3$								
1	2,4	0,45	0,50	0,5	0,5	0,03	0,45	0,024	760	3,40	58,9
				300,7	300,7	18,03	270,5	14,4			
2	2,4	0,45	1,50	0,5	0,5	0,03	0,45	0,024	730	3,30	61,9
				288,8	288,8	17,33	259,9	13,86			
3	2,4	0,65	0,50	0,5	0,5	0,03	0,65	0,024	590	1,90	54,6
				206,0	206,0	12,36	267,8	9,89			
4	2,4	0,65	1,50	0,5	0,5	0,03	0,65	0,024	605	2,80	76,5
				211,3	211,3	12,68	274,7	10,14			
5	4,8	0,45	0,50	0,5	0,5	0,03	0,45	0,048	690	3,10	65,1
				268,7	268,7	16,12	241,8	25,8			
6	4,8	0,45	1,50	0,5	0,5	0,03	0,45	0,048	705	3,20	64,4
				274,5	274,5	16,47	247,1	26,35			
7	4,8	0,65	0,50	0,5	0,5	0,03	0,65	0,048	610	2,80	75,2
				210,0	210,0	12,6	273,0	20,16			
8	4,8	0,65	1,50	0,5	0,5	0,03	0,65	0,048	615	2,90	76,7
				211,8	211,8	12,71	275,3	20,3			
9	1,6	0,55	1,00	0,5	0,5	0,03	0,55	0,016	670	3,10	69,1
				249,8	249,8	15,0	274,8	7,99			
10	5,6	0,55	1,00	0,5	0,5	0,03	0,55	0,056	630	3,10	78,1
				229,1	229,1	13,75	252,0	25,66			
11	3,6	0,38	1,00	0,5	0,5	0,03	0,382	0,036	790	3,50	56,0
				324,6	324,6	19,48	212,9	23,37			
12	3,6	0,72	1,00	0,5	0,5	0,03	0,718	0,036	620	2,90	75,4
				206,8	206,8	12,41	297,0	14,89			
13	3,6	0,55	0,16	0,5	0,5	0,03	0,55	0,036	720	3,40	65,6
				265,1	265,1	15,91	291,6	19,09			
14	3,6	0,55	1,84	0,5	0,5	0,03	0,55	0,036	590	2,40	68,9
				217,2	217,2	13,03	238,9	15,64			
15	3,6	0,55	1,00	0,5	0,5	0,03	0,55	0,036	525	2,10	77,7
				193,3	193,3	11,6	212,7	13,9			
16	3,6	0,55	1,00	0,5	0,5	0,03	0,55	0,036	510	2,00	76,9
				187,8	187,8	11,3	206,6	13,5			

По результатам физического эксперимента была произведена математическая обработка данных с помощью программы STATISTICA [5]. Уравнения регрессии, представленные ниже, характеризуют отклики системы.

Средняя плотность:

$$Y_1 = 3672,9 - 302,4 \times x_1 - 7984,9 \times x_2 - 464,5 \times x_3 + 29,9 \times x_1^2 + 6253,5 \times x_2^2 + 179,4 \times x_3^2 + 130,2 \times x_1 \times x_2 + 7,29 \times x_1 \times x_3 + 87,5 \times x_2 \times x_3$$

Прочность на сжатие:

$$Y_2 = 22,1 - 2,26 \times x_1 - 49,9 \times x_2 - 3,05 \times x_3 + 0,22 \times x_1^2 + 35,9 \times x_2^2 + 1,01 \times x_3^2 + 1,46 \times x_1 \times x_2 + 0,12 \times x_1 \times x_3 + 2,5 \times x_2 \times x_3$$

Коэффициент качества:

$$Y_3 = -94,26 + 9,3 \times x_1 + 443,7 \times x_2 + 25,18 \times x_3 - 1,18 \times x_1^2 - 449,1 \times x_2^2 - 15,77 \times x_3^2 + 12,6 \times x_1 \times x_2 - 5,02 \times x_1 \times x_3 + 52,78 \times x_2 \times x_3$$

Данные модели были проверены на пригодность. Проверка адекватности дает возможность ответить на вопрос, будет ли построенная модель предсказывать значения выходной величины с той же точностью, что и результаты эксперимента.

Для оценки адекватности моделей второго порядка был выполнен дисперсионный анализ построенных моделей, по результатам которого можно сделать следующий вывод: модели зависимостей средней плотности, прочности, коэффициента конструктивного качества от расхода комплексной добавки, В/Т, и времени перемешивания адекватны экспериментальным данным, так как коэффициенты детерминации ( $R_1$ -квадрат = 0,93,  $R_2$ -квадрат = 0,76 и  $R_3$ -квадрат = 0,93) достаточно близки к единице. Кроме того, на карте Парето (рис. 1, 2, 3) колонки В/Т (L, Q), расход комплексной добавки (L, Q), время перемешивания (Q) пересекают вертикальную линию, которая представляет 95-процентную доверительную вероятность, то есть на среднюю плотность, прочность и коэффициент качества газозолобетона оказывают воздействие все три варьируемых фактора.

С целью изучения влияния факторов на свойства газозолобетона с комплексной добавкой использовали подогнанные поверхности отклика (рис.4, 5).

Анализ графических зависимостей показал, что при средних значениях варьируемых факторов прочность на сжатие минимальна. Это обусловлено прямой зависимостью от средней плотности, поэтому выбор оптимальных дозировок и технологических параметров необходимо определять по коэффициенту конструктивного качества.



Рис. 1. Карта Парето средней плотности газозолобетона с комплексной добавкой

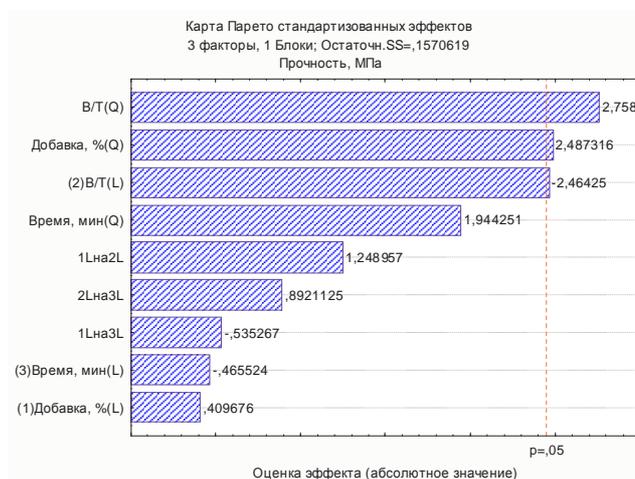


Рис. 2. Карта Парето прочности газозолобетона с комплексной добавкой

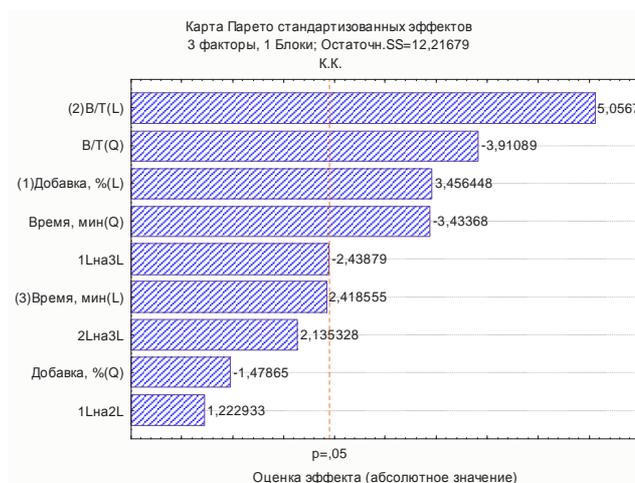


Рис. 3. Карта Парето К.К. газозолобетона с комплексной добавкой

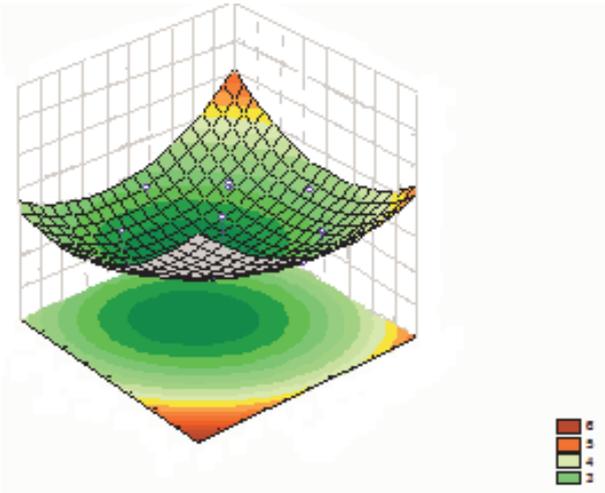


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие газозолобетона от расхода комплексной добавки и В/Т

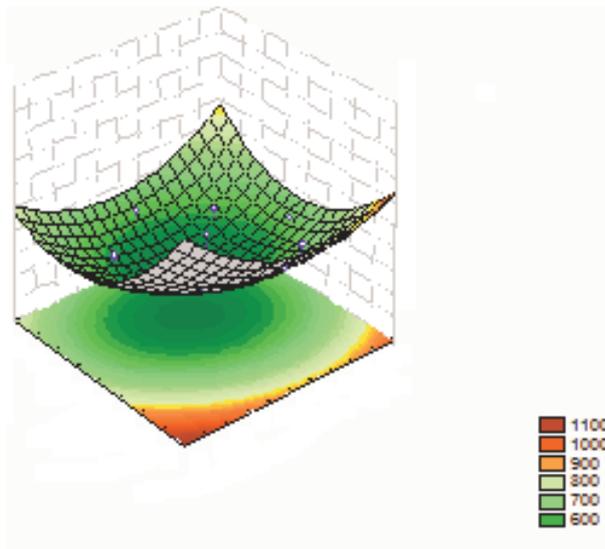


Рис. 5. Зависимость средней плотности газозолобетона от расхода комплексной добавки и В/Т

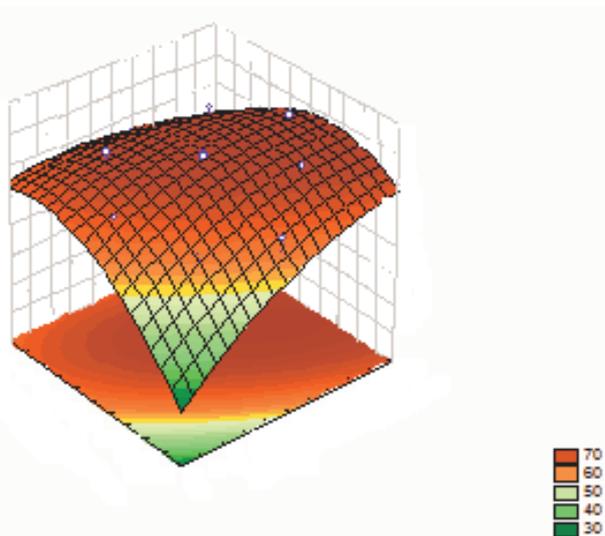


Рис. 6. Зависимость К.К. газозолобетона от расхода комплексной добавки и времени перемешивания

**Вывод.** На основании представленных в статье материалов можно сделать следующий вывод: использование построенных моделей в программе STATISTICA позволит находить оптимальное соотношение компонентов, которое обеспечивает проектную прочность и необходимый коэффициент конструктивного качества газозолобетона с комплексной добавкой.

### Литература

1. Косых А.В., Лужнова Е.В. Изучение взаимосвязи структуры и свойств газозолобетона // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2008. Т. 2. С. 200-203.
2. Косых А.В., Лужнова Е.В. Модификация газозолобетона с целью получения улучшенных физико-механических характеристик // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2007. Т. 2. С. 311-315.
3. Косых А.В., Лужнова Е.В., Черномаз Д.Г. Сырьевая смесь для изготовления газобетона с повышенными прочностными характеристиками: пат. 2326097 Рос. Федерация. № 2006135169/03; заявл. 04.10.06; опубл. 10.06.08.
4. Косых А.В., Лужнова Е.В., Черномаз Д.Г. Сырьевая смесь для изготовления газобетона с пониженной средней плотностью: пат. 2326096 Рос. Федерация. № 2006135158/03; заявл. 04.10.06; опубл. 10.06.08.
5. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

### References

1. Kosykh A.V., Luzhnova E.V. Studying the relationship of cell concrete structure and properties // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri: T. 2. 2008. S. 200-203.
2. Kosykh A.V., Luzhnova E.V. Cell concrete modification to obtain improved physical and mechanical properties // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. T. 2. 2007. S. 311-315.
3. Kosykh A.V., Luzhnova E.V., Chernomaz D.G. Raw mix to produce cell concrete with increased strength characteristics: pat. 2326097 Ros. Federatsiya. № 2006135169/03; zayavl. 04/10/2006, opubl. 10.06.2008.
4. Kosykh A.V., Luzhnova E.V., Chernomaz D.G. Raw mix to produce cell concrete with lower average density: pat. 2326096 Ros. Federatsiya. № 2006135158/03; zayavl. 04.10.2006, opubl. 10.06.2008.
5. Borovikov V. STATISTICA. The art of computer-based data analysis: for professionals. SPb.: Piter, 2003. 688 s.