

DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563

^{1,*}Борисюк Е.А.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: evgen1002@mail.ru

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ (ЧАСТЬ 2)

Аннотация. Способ выражения состава многокомпонентного материала через относительные – независимые и управляемые, характеристики и построение на их основе модели композиционного материала, рассмотренной в части 1 публикуемой статьи, позволил значительно сократить объём экспериментальных работ, при обеспечении глубокого и всестороннего исследования песчаного бетона. Исследования показали, что особенно эффективно использование предлагаемых относительных характеристик при планировании экспериментов математическими методами. Целью проведённого эксперимента явилось создание математической модели песчаного бетона на основе комплексной оценки его физико-механических и технико-экономических характеристик, а также определение оптимальных, для заданных условий, составов бетона с минимальным расходом цемента. Учитывая технологические особенности приготовления бетонных смесей на мелких песках, при планировании эксперимента были приняты независимые относительные характеристики: x_1 – отражающая долю цемента в молотой смеси цемента с песком; x_2 – отражающая долю молотой цементно-песчаной смеси в суммарном содержании всех твёрдых компонентов системы и x_3 – водо-твёрдое отношение. Совместная вариация независимых переменных позволяет получить все вероятные сочетания входящих в состав песчаного бетона ингредиентов, что обуславливает возможность широкого и обоснованного анализа их влияния на свойства бетона. В результате обработки опытных данных, используя методы математической статистики, были получены алгебраические уравнения, отражающие связь между исследуемыми свойствами бетона и исходными параметрами. Совместное графическое решение этих уравнений позволило установить оптимальные составы песчаного бетона заданных марок, которые показали высокую сходимость результатов при их проверке. Полученные результаты, в целом, дают возможность считать, что предложенный способ выражения состава через относительные характеристики может представлять значительный интерес для научных работников, занимающихся вопросами оптимизации сложных многокомпонентных систем в различных областях исследований.

Ключевые слова: многокомпонентные системы, композиционные материалы, бетоны, относительная взаимосвязь компонентов, оптимизация, планирование эксперимента.

Введение. К важным достоинствам предложенного способа количественной оценки состава многокомпонентной системы на основе установленной относительной взаимосвязи компонентов можно отнести также безусловную возможность использования его при исследованиях с помощью математических методов планирования экспериментов, по заранее выбранным планам с различным числом параметров, при решении задач оптимизации и компьютерной обработки результатов [13, 14]. Описанный в первой части принцип относительной взаимосвязи компонентов в многокомпонентной системе был использован при оптимизации составов песчаного бетона.

Основная часть. Подбор состава песчаного бетона состоял в определении соотношения – цемент: песок молотый: песок немолотый: вода, а также расхода материалов на 1 м³ бетона, при условии, что заданные прочность бетона, морозостойкость и подвижность (жесткость) бетонной смеси достигаются при наименьшем расходе це-

мента и минимальной усадке бетона. Целью проведённого эксперимента явилось создание математической модели песчаного бетона на основе комплексной оценки его физико-механических и технико-экономических характеристик, а также определение оптимальных для заданных условий составов бетона с минимальным расходом цемента.

Независимые переменные были определены после проведения предварительных опытов. Области их применения позволяют исследовать широкий диапазон составов песчаного бетона с расходом цемента 250–750 кг/м³ и воды 250–340 л/м³. Учитывая технологические особенности приготовления бетонных смесей на мелких песках, а именно, включение в технологию совместный домол цемента с частью песка, расход этих компонентов выражали относительной величиной, характеризующей долю цемента в молотой смеси цемента с песком:

$$x_1 = \frac{Ц}{Ц+ПМ} = \frac{Ц}{М} \quad (1)$$

где C – расход цемента, кг; P_M – расход молотого песка, кг; M – содержание молотой смеси цемента и песка, кг.

Этот параметр позволяет управлять активной составляющей молотой смеси, характеризует содержание цемента в общей смеси молотых компонентов и имеет предел изменения от 0 до 1.

Вторым параметром в эксперименте был принят:

$$x_2 = \frac{M}{M+P_H} = \frac{M}{T} \quad (2)$$

где P_H – расход немолотого песка, кг; T – суммарное содержание всех твёрдых компонентов, кг.

Этот параметр характеризует долю молотой цементно-песчаной смеси в суммарном содержании всех твёрдых компонентов системы, а также управляет гранулометрическим составом и плотностью системы в зависимости от соотношения – молотая цементно-песчаная смесь: немолотый песок. Область изменения этого параметра также от 0 до 1.

Третьим параметром, определяющим свойства песчаного бетона, был принят водо-твёрдое отношение:

$$x_3 = \frac{B}{T} \quad (3)$$

Это вызвано тем, что широко применяемый параметр – водоцементное отношение – является зависимым (расход цемента контролируется параметром x_1) и его использование в планировании эксперимента исключается. Схема взаимодействия параметров при планировании была принята из оснований рекомендаций [4].

Совместная вариация независимых переменных позволяет получить все вероятные сочетания входящих в состав бетона ингредиентов, что обуславливает возможность широкого и обоснованного анализа их влияния на свойства песчаного бетона. Выбранные параметры отвечают основным требованиям планирования эксперимента: совместимы, независимы, однозначны, управляемы, содержат полную информацию о соотношении компонентов бетона.

Выбор области исследования каждого параметра и интервала варьирования определяется областью изменения переменной, представляющей практический интерес с точки зрения конкретной задачи. Области изменения переменных и их кодированные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия кодирования переменных

№ П	Условия кодирования	Обозначения	Натуральные значения переменных		
			x_1	x_2	x_3
1	Основной уровень	0	0,5	0,6	0,16
2	Интервал варьирования	Δx	0,1	0,15	0,02
3	Верхний уровень	+1	0,6	0,65	0,18
4	Нижний уровень	-1	0,4	0,35	0,14

Задача исследования заключалась в создании математической модели исследуемого бетона, т.е. в установлении зависимостей, связывающих выбранные параметры y_i , прочность, усадка при высыхании, жёсткость, расход цемента и другие, с влияющими на них параметрами x_1 ; x_2 ; x_3 .

$$y_i = f(x_1; x_2; x_3 \dots x_n) \quad (4)$$

Эта функция выражается в виде алгебраического полинома:

$$y_i = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{33}x_3^2 + B_{12}x_1x_2 + B_{23}x_2x_3 + B_{13}x_1x_3 \quad (5)$$

где y_i – значение функции отклика, предсказанное уравнением, исследуемое свойство; $B_0, B_1, B_2, \dots B_n$ – коэффициенты уравнения регрессии; $x_1, x_2, x_3, \dots x_n$ – независимые переменные в кодированном выражении; n – число факторов.

В соответствии с рекомендациями [4], если вид искомой зависимости неизвестен, был применён трёхуровневый план второго порядка.

Для выявления искомых опытных значений функций отклика (y_i) zaproektirovannykh составов бетона был поставлен эксперимент, который включал перемешивание бетонной смеси в бегунах в течение 3–4 минут, уплотнение на лабораторной виброплощадке, твердение в нормальных условиях. zaproektirovannykh в эксперименте составы песчаного бетона значительно отличаются по консистенции, поэтому уплотнение осуществляли до появления на поверхности образца

цементного молока. Жёсткость определяли по методу И.М. Красного.

Испытание бетона на прочность при сжатии, определение деформаций усадки и набухания, а также кинетику водопоглощения осуществляли на образцах балочках размером 40×40×160 мм, по стандартным методикам.

В опытах использовали мелкий пылевидный (барханный) песок с Мкр. = 0,07, цемент М400, активность цемента 43,8 МПа. Помол цемента с песком осуществляли до удельной поверхности 3000...3500 см²/г. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сводная таблица результатов планирования эксперимента

№ п/п	План эксперимента			Состав бетона в долях от цемента (по массе) Ц : П _М : П _Н : В	Расход материалов в кг/м ³				Средняя плотность кг/м ³
	X ₁	X ₂	X ₃		Ц	П _М	П _Н	В	
1	0,6	0,65	0,18	1:0,67:0,9:0,46	698	468	626	321	2115
2	0,4	0,65	0,18	1:1,5:1,35:0,69	458	689	620	317	2085
3	0,6	0,35	0,18	1:0,67:3,1:0,86	363	243	1125	312	2046
4	0,4	0,35	0,18	1:1,5:4,64:1:1,29	239	359	1109	308	2016
5	0,6	0,65	0,14	1:0,67:0,9:0,36	753	505	678	271	2205
6	0,4	0,65	0,14	1:1,5:1,35:0,54	490	735	662	265	2125
7	0,6	0,35	0,14	1:0,67:3,1:0,67	384	257	1190	257	2088
8	0,4	0,35	0,14	1:1,5:4,64:1,0	251	376	1165	251	2043
9	0,6	0,5	0,16	1:0,67:1,67:0,53	559	375	934	296	2165
10	0,4	0,5	0,16	1:1,5:2,5:0,8	357	536	893	286	2071
11	0,5	0,65	0,16	1:1:1,08:0,49	598	598	646	293	2135
12	0,5	0,35	0,16	1:1:3,71:0,91	314	314	1164	292	2077
13	0,5	0,5	0,18	1:1:2:0,72	436	436	872	314	2056
14	0,5	0,5	0,14	1:1:2:0,56	471	471	942	264	2148
15	0,5	0,5	0,16	1:1:2:0,64	458	458	916	293	2125
16	0,5	0,5	0,16	1:1:2:0,64	459	459	918	294	2131
17	0,5	0,5	0,18	1:1:2:0,64	458	458	916	293	2125

Таблицы 3

Контролируемые характеристики песчаного бетона в соответствии с планом эксперимента

№ п/п	Коэффициент уплотнения, К упл.	Воздуховление, ВЗ, %	Жёсткость, сек.	Деформативные характеристики		Коэффициент морозостойкости, через цикл		Предел прочности на сжатие, МПа	
				Усадка при высыхании, мм/м	Набухание, мм/м	100	300	Через 28 сут.	Через 300 сут.
1	0,95	5	10	2,56	2,62	0,92	0,65	52,4	63,8
2	0,954	4,5	7	2,42	2,20	0,99	0,62	32,2	46,9
3	0,936	6,4	6	2,12	2,65	0,89	0,73	18,5	26,0
4	0,924	7,6	4	2,61	1,89	0,69	0,52	10,1	15,1
5	0,952	4,8	175	1,99	1,80	0,89	0,96	65,2	80,6
6	0,942	5,8	216	1,80	1,68	0,96	0,92	45,8	64,8
7	0,918	8,2	97	1,64	1,66	0,96	0,81	23,5	35,6
8	0,905	9,5	128	2,20	1,56	0,91	0,62	15,8	22,7
9	0,963	3,7	12	1,95	2,12	0,88	0,84	38,9	50,1
10	0,932	6,8	34	2,13	1,89	0,80	0,68	24,6	34,6
11	0,948	5,2	51	2,08	2,22	0,99	0,86	52,4	61,4
12	0,936	6,4	10	2,36	1,83	0,78	0,64	15,8	22,9
13	0,938	6,1	2	2,16	2,28	0,98	0,72	22,8	32,7
14	0,94	6,0	153	1,75	1,92	0,99	0,88	38,5	56,9
15	0,95	5,0	20	1,96	1,98	0,96	0,82	29,0	43,8
16	0,953	4,7	23	1,89	2,10	0,93	0,80	29,6	44,7
17	0,951	4,9	18	1,99	2,06	0,94	0,81	30,2	44,4

В результате обработки опытных данных, используя методы математической статистики, получены алгебраические уравнения, отражающие связь между исследуемыми свойствами бетона и исходными параметрами.

$$R = 11,1 - 26,7\frac{Ц}{М} - 13,3\frac{М}{Т} + 68,4\frac{В}{Т} + 133,3(\frac{М}{Т})^2 + 193,3\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} - 666,7\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (6)$$

$$Ж = 3965 - 890\frac{Ц}{М} + 753\frac{М}{Т} + 45383\frac{В}{Т} + 400(\frac{М}{Т})^2 + 132500(\frac{В}{Т})^2 + 5000\frac{Ц}{М} \cdot \frac{В}{Т} - 6333\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (7)$$

$$\lambda = 6,48 - 8,2\frac{Ц}{М} - 18,56\frac{М}{Т} + 15,5\frac{В}{Т} + 11,56(\frac{М}{Т})^2 + 14\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} \quad (8)$$

$$Ц = -161 + 267\frac{Ц}{М} + 267\frac{М}{Т} + 1100\frac{В}{Т} + 2067\frac{Ц}{М} \cdot \frac{М}{Т} - 2000\frac{Ц}{М} \cdot \frac{В}{Т} - 2000\frac{М}{Т} \cdot \frac{В}{Т} \quad (9)$$

Получив функциональные зависимости основных технологических и экономических параметров от заданных факторов, можно решать задачу оптимизации, предварительно конкретизировав её цель.

Цель оптимизации: определение составов песчаного бетона с марочной прочностью 10,0; 20,0; 30,0 МПа при жёсткости бетонной смеси не более 60 с, с минимальными деформациями усадки и минимальным расходом цемента.

Математически цель оптимизации выражается следующим образом:

$$R = f(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}) = 10,0; 20,0; 30,0 \text{ МПа};$$

$$Ж = f(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}) = 60 \text{ сек};$$

$$\lambda = f(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}) \rightarrow \min;$$

$$Ц = f(\frac{Ц}{М}; \frac{М}{Т}; \frac{В}{Т}) \rightarrow \min.$$

Существует два основных способа решения задачи оптимизации: графический (номограммы) и аналитический. Наглядную картину оптимизации даёт графический способ (рис. 2 а, б, в, г). Однако, он недостаточно точен, хотя и пользуется широким применением. Номограммы позволяют выявить наиболее общие закономерности изменения свойств песчаных бетонов на мелких песках изготовленных по предложенной технологии с использованием совместного домола цемента и части песка. Из графиков на приведен-

В натуральном масштабе:

ных рисунках видно, что свойства песчаных бетонов в значительной мере зависят от соотношения цемента и песка, от содержания молотого песка и воды.

С увеличением $\frac{Ц}{М}$ и $\frac{М}{Т}$ прочность возрастает. В пределах эксперимента прочность на сжатие изменялась от 10,0 до 70,0 МПа. Области изменения переменных обеспечивают получение бетонных смесей с жёсткостью от 0 до 200 сек и более, т.е. от смесей пластичных до особо жёстких.

Как видно из номограмм получить бетоны заданных марок можно при расходе цемента в широком диапазоне. При выборе состава бетона следует руководствоваться не только маркой и расходом цемента, но и учитывать его свойства в зависимости от условий изготовления и эксплуатации.

Например: бетон М200 можно получить при расходе цемента от 320 кг/м³ при $\frac{В}{Т} = 0,14$ (рис. 2а) до 430 кг/м³ при $\frac{В}{Т} = 0,18$ (рис. 2в), с жёсткостью бетонной смеси от Ж = 0 (при В/Т = 0,18) до жесткости Ж = 150 сек. (при В/Т = 14). Полная усадка при этом изменяется от 1,9 мм/м при $\frac{В}{Т} = 0,14$ до 2,9 мм/м при $\frac{В}{Т} = 0,18$, в зависимости от содержания молотого песка.

В результате проведённой обработки результатов исследований были установлены оптимальные составы песчаного бетона заданных марок (таблица №3).

Таблица 3

Оптимальные составы песчаного бетона, выраженные через факторы варьирования и в долях от цемента по массе

№ ПП	Марка бетона	Состав бетона, выраженный через фокторы варьирования			Состав бетона, в долях от цемента по масс			
		Ц/М	М/Т	В/Т	Цемент	Песок мол.	Песок немол.	Вода
1	100	0,41	0,28	0,152	1,0	1,44	6,16	1,32
2	200	0,5	0,395	0,143	1,0	1,0	3,04	0,723
3	300	0,53	0,46	0,151	1,0	0,89	2,22	0,62

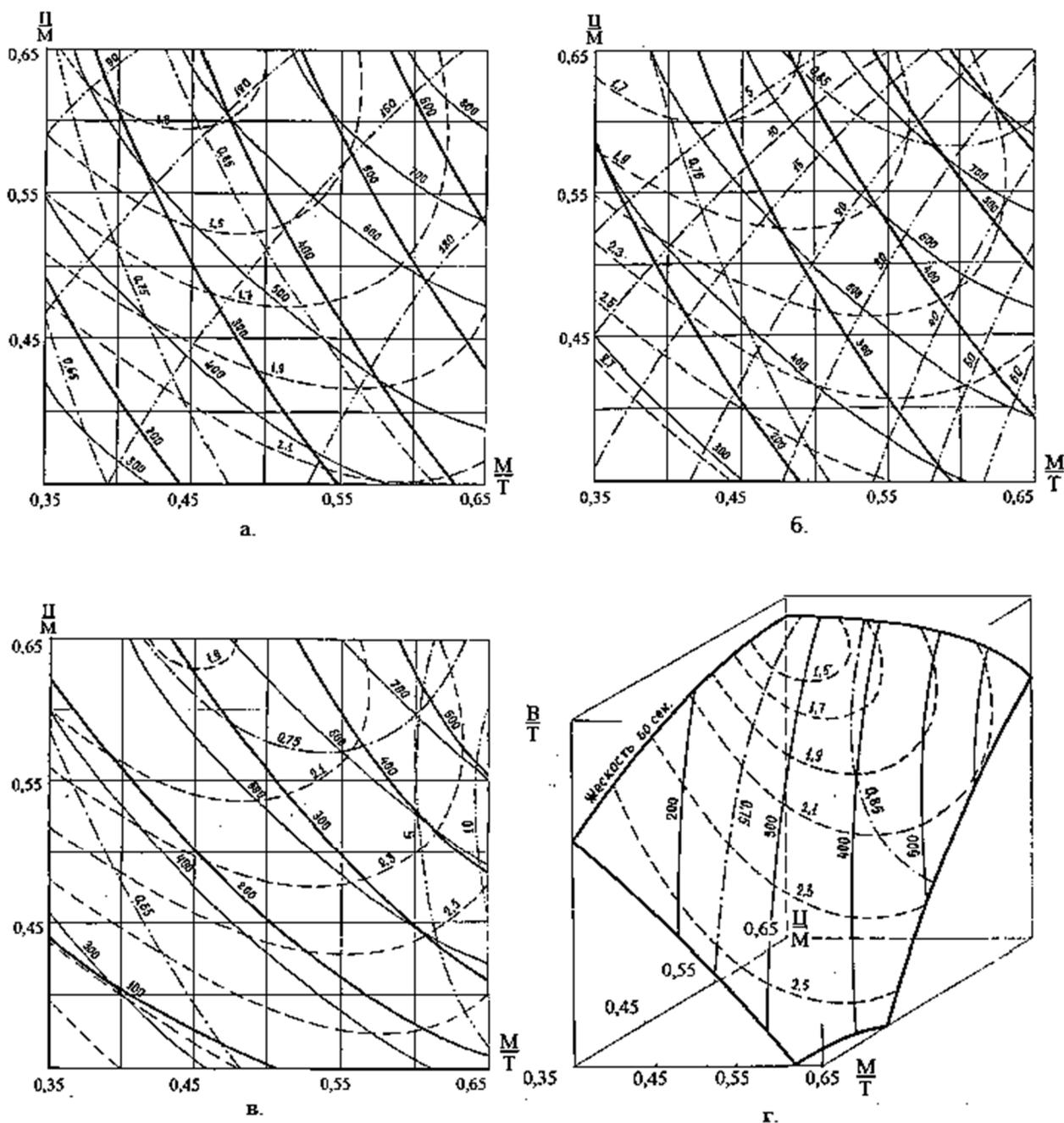


Рис. 2. Графическое отображение оптимизации свойств песчаного бетона на номограммах
 а – номограмма свойств песчаного бетона при $V/T = 0,14$;
 б – номограмма свойств песчаного бетона при $V/T = 0,16$;
 в – номограмма свойств песчаного бетона при $V/T = 0,18$;
 г – оптимизация составов песчаного бетона графическим способом в пространственных координатах $C/M, M/T, V/T$

Условные обозначения к рис. 2.

- — предел прочности на сжатие
- — расход цемента
- — жёсткость бетонной смеси
- — усадка при высыхании
- — морозостойкость

Проверочные данные выбранных составов приведённые в таблице №4 показывают высокую сходимость результатов. Подобранные составы

бетона отвечают требованиям задачи, поставленной в эксперименте.

Таблица 4

Физико-механические и физико-химические свойства песчаных бетонов оптимальных составов

№ пп	Состав бетона цемент:песок.мол.: песок немол.:вода	Средняя плотность, кг/м ³	Расход цемента, кг/м ³	Жёст- кость, сек	Предел прочно- сти, МПа 28сут.	Усадка при вы- сыхании, мм	Щелочность водной вы- тяжки рН, через	
							28 сут.	180 сут.
1	1:1,44:6,16:1,32	2090	213	26	9,4	2,36	11,8	9,5
2	1:1:3,04:0,723	2125	368	55	22,5	1,95	11,36	10,1
3	1:0,89:2,22:0,62	2135	452	62	31,0	1,57	11,4	10,4

Примечание: оптимальный состав бетона М100 лежит за пределами эксперимента

Выводы. Предложенный способ выражения состава многокомпонентного материала через относительные – независимые и управляемые, характеристики и построение на их основе модели композиционного материала, позволяет значительно сократить объёмы экспериментальных работ, дает возможность глубокого и всестороннего исследования композиционного материала. Представленные результаты только в минимальной мере позволяют судить о возможностях разработанного метода исследования композиционного материала. Широкое применение этого метода с привлечением математического обеспечения и вычислительной техники, обеспечит многократное снижение экспериментальной работы при исследовании многокомпонентных систем, давая при этом более точную и более полную оценку их свойств, что несомненно должно облегчить труд экспериментатора и повысить его эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисюк Е.А. Разработка составов и технологии песчаного (мелкозернистого) бетона из барханных песков Туркменской ССР для жилищного строительства: дис.... канд. техн. наук. М...1988. 209 с.
2. Вознесенский В.А., Лященко Г.В. Особенности планирования эксперимента и решение интегральных задач в системах «смесь I смесь II – технология – свойства» // Заводская лаборатория. 1986. №12. С. 55–56.
3. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Корш В.Я. Современные методы оптимизации композиционных материалов. Киев: Будивельник, 1983. 143 с.
4. Руководство по подбору состава тяжёлого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 103 с.
5. Борисюк Е.А., Ларгина О.И. Применение новых независимых переменных для совершенствования методов оптимизации многокомпонентных и структурированных систем /Сб. докладов участников круглого стола «Наносистемы

в строительстве и производстве строительных материалов». М.: Изд. АСВ, 2007. С.38–43.

6. Чистов Ю.Д., Борисюк Е.А., Левшунов Р.Т. К вопросу выбора портландцемента для изготовления высоковольтных изоляторов // Вестник электроэнергетики. 1996. №1. С. 53–60.

7. Харитонов А.М. Развитие методов оптимизации составов многокомпонентных строительных композитов. // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-3. С. 520–523.

8. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии М.: Изд. В.Ш., 1985. 327 с.

9. Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2009. № 5. С. 76–77.

10. Кошелева Е.А., Нестеренко А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном упрочнении инструментальных сталей / Труды VI Международной научной школы-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение» // Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. С. 179–183.

11. Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Иванов С.Г. Оптимизация состава многокомпонентной насыщающей смеси на основе бора и хрома для поверхностного легирования сталей // Ползуновский альманах. №1. Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. С. 131–135.

12. Нугманов А.Х-Х., Титова Л.М., Александрия И.Ю., Фоменко Е.В. Оптимизация рецептур многокомпонентных продуктов методами теории подобия и ее практической реализации // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 39. №4. С. 63–70.

13. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М. Математическое моделирование и оптимизация «состав-свойство» многокомпонентных смесей // Известия казанского ГАСУ. 2012. №2. С. 289–297.

14. Яковис Л.М. Математическое моделирование и оптимизации управляемых процессов приготовления многокомпонентных смесей: дис.... докт. техн. наук. С.-П. 2002. 333 с.

15. Bonvalet M., Philippe T., Sauvage X., Blavette D. Modeling of precipitation kinetics in multi-component systems: Application to model superalloys // Acta Materialia. 2015. Vol. 100. Pp. 169–177.

Информация об авторах

Борисюк Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры технологии, организации и управления строительством, кандидат технических наук. E-mail: evgen1002@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Борисюк Е.А., 2018

^{1,*}**Borisyuk E.A.**

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

*E-mail: evgen1002@mail.ru.

RELATIVE INTERCONNECTION OF COMPONENTS IN MULTICOMPONENT SYSTEMS (PART 2)

Abstract. Discussed in the first part of an article, the method of expression the composition of multi-component material through relative independent and controlled characteristics and the building models of composite material have significantly reduced volume of practical work, while providing an in-depth and comprehensive study of sand concrete. Researches show the use of proposed relative characteristics are effective when planning experiments through mathematical methods. The goal of an experiment is to create a mathematical model of sand concrete based on comprehensive evaluation of its physical, mechanical, technical and economic characteristics, as well as the determination of the optimal conditions and minimal cement consumption for the given concrete compositions. Taking into account the technological features of concrete mixtures with small sand, two independent relative characteristics are adopted during the planning of experiment: x_1 -reflecting the proportion of cement in the ground mixture of cement with sand; x_2 -reflecting the proportion of the ground cement-sand mixture in the total solid content of all components of the system and x_3 -water-solid ratio. The joint variation of the independent variables allows to obtain all possible combinations of the ingredients included in the composition of sand concrete. This makes possible to analyze its influence on the concrete properties. Algebraic equations are obtained, in the result of processing the experimental data with the methods of mathematical statistics. They reflect the relationship between properties of concrete and the initial parameters. The joint graphical solution of these equations allows to determine the optimal compositions for sand concrete of given marks, which showed high convergence of the results during verification. In general, results provide an opportunity to consider the proposed way of expressing the composition through relative characteristics and may be of considerable interest to researchers involved in the optimization of complex multicomponent systems in various fields of research.

Keywords: multicomponent systems, composite materials, concretes, relative interconnection of components, optimization, experiment planning.

REFERENCES

1. Borisyuk E.A. Development of compositions and technologies of sandy (fine-grained) concrete from sand sands of the Turkmen SSR for housing: DIS. ... Cand. Tech. Sciences. M. 1988, 209 p.
2. Voznesensky V.A., Lyashchenko G.V. Features of experiment planning and solving of integral is defined in systems "mixture I mix II-technology-properties. Factory laboratory, 1986, no.12, pp. 55–56.
3. Voznesensky V.A., Vyrovoy V.N., Korsch V.Y. Modern methods of optimization of composite materials. Kiev: Dnipro, 1983, 143 p.

4. Sizing guide the composition of heavy concrete. M.: Stroiizdat, 1979, 103 p.
5. Borisyuk E.A., Largina O.I. Application of new independent variables to improve the methods of optimization of multidimensional and structured systems. Sat. participants of the round table "Nanosystems in construction and production of construction materials. M.: Izd. ACB, 2007, pp. 38–43.
6. Chistov Y.D., Borisyuk E.A., Levshunov, R.T. Choose Portland for the manufacture of high-voltage insulators. Herald of the electric power industry, 1996, no. 1, pp. 53–60.
7. Kharitonov A.M. Development methods to optimize formulations of multicomponent composite

construction. Basic research, 2015, no. 11-3, pp. 520–523.

8. Ahnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimization techniques in chemical technology experiment, m.: IZD. Pollycarpus served Munir, 1985, 327 p.

9. Kosheleva E.A., Guryev A.M. Optimization of chemical composition of saturating at mixtures while the diffusive boronizing of tool steels. International Journal of applied and fundamental research, 2009, pp. 76–77.

10. Kosheleva E.A., Nesterenko A.G., Ivanov S.G., Guryev A.M. Optimization of chemical composition of saturating at mixtures while the diffusive hardening tool steels. Proceedings of the 6th International Scientific Conference "School of fundamental and applied materials science ". Alt. GOS. Tech. University of them. I., Jsc. Barnaul: IZD-vo AltGTU, 2009, pp. 179–183.

11. Guryev M.A., Kosheleva E.A., Ivanov S.G. Optimizing the composition of multi-component mixtures of boron-based satiety and chrome for surface alloying of steels. Polzunovskij Almanac. №1.

ALT. GOS. Tech. University of them. I., Jsc. Barnaul: AltGTU, 2010, pp. 131–135.

12. Nugmanov A.K., Titov L.M., Alexanyan I.Y., Fomenko E.V. Optimization of formulations of multi-component products methods of the theory of similarity and its practical implementation. Technique and technology of food production, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 63–70.

13. Akhmadiev F.G., Gilfanov R.M. Mathematical simulation and optimization "composition-property of multicomponent mixtures. J. Izvestia Kazan GUSU, 2012, no. 2, pp. 289–297.

14. Jakovis L.M. Mathematical modelling and optimization of managed processes of preparation of multi-component mixtures: DIS. ... Dott. Tech. Sciences. S.P. 2002, 333 p.

15. Bonvalet M., Philippe T., Sauvage X., Blavette D. Modeling of precipitation kinetics in multi-component systems: Application to model superalloys. Acta Materialia, 2015, vol. 100, pp. 169–177.

Information about the author

Borisyuk, Evgeny A. PhD, Senior lecturer. E-mail: evgen1002@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in September 2018

Для цитирования:

Борисюк Е.А. Относительная взаимосвязь компонентов в многокомпонентных системах (Часть 2) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563

For citation:

Borisyuk E.A. Relative interconnection of components in multicomponent systems (Part 2). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563