

DOI: 10.12737/article_5bf7e35468cbe2.48782913

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

*E-mail: evgen1002@mail.ru

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ (ЧАСТЬ 1)

Аннотация. Вопросы проектирования многокомпонентных систем не потеряли в настоящее время своей актуальности. Изучение вопросов оптимизации все более усложняющихся композиционных материалов, смесей, растворов и пр., требует поисков новых подходов к выявлению закономерностей и характера влияния компонентов внутри системы. К таким решениям можно отнести преобразование модели многокомпонентной системы из линейно-связанной в систему с независимыми переменными на основе установленного принципа относительной взаимосвязи компонентов в многокомпонентных системах: для любой многокомпонентной системы (композиционного материала) существует однозначное соответствие её свойств последовательному ряду относительных независимых величин: $A_1; A_2; A_3; \dots; A_{n-1}$, характеризующих её состав и отражающих относительную взаимосвязь компонентов системы ($a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$), выраженную в виде: $A_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$. Предложенные универсальные, общие, независимые и управляемые переменные в полном объёме отражают количественные характеристики состава и могут быть использованы в математическом планировании экспериментов при оптимизации составов многокомпонентных систем. Принятая схема взаимодействия элементов системы и её графическая интерпретация, даёт возможность раскрыть сущность их относительной взаимосвязи и позволяет проследить механизм взаимодействия системы с последовательно увеличивающимся числом элементов, в результате чего она переходит от простой, с двумя элементами, к сложной, с тремя и более.

В рамках принятых относительных характеристик для бетонов, можно исследовать любые бетоны независимо от вида и качества входящих в их состав компонентов. Более того, возникает возможность проведения сравнительной оценки как любых компонентов бетона, так и любых видов бетона между собой, что представляется важным при создании банка данных для бетонов.

Представленная к опубликованию статья может иметь 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. Многокомпонентные системы представляют собой широкий спектр композиционных материалов, смесей, всевозможных соединений, растворов и т.п., имеющих специальные свойства и являющихся предметом изучения практически во всех областях науки и техники [1, 8, 9, 10, 11, 12]. Обычно под многокомпонентными системами понимают сложные по своему строению и свойствам комплексы, образовавшиеся в результате естественных процессов или полученные искусственно. К природным многокомпонентным системам можно отнести горные породы, биологические объекты, различные соединения и пр. В настоящее время большое распространение приобрели многокомпонентные системы искусственного происхождения, в том числе композиционные материалы, используемые в химии, биологии, медицине, металлургии, строительстве и в других направлениях. Композиционные материалы получили приоритетное развитие в строительной индустрии. Разработка

и создание многокомпонентных систем обусловило необходимость развития методик их исследования, достигших, с появлением вычислительной техники, очень высокого уровня. Многочисленные работы свидетельствуют о существовании различных подходов при исследовании многокомпонентных систем и решении задач их оптимизации, позволяющих, в определённой степени, количественно и качественно изучить материал [2, 3, 7, 8, 15]. Однако известные методики определения оптимальных составов или рецептов композиционных материалов не обеспечивают оценки взаимовлияния компонентов, входящих в их состав. Это обуславливает трудности и неточности при установлении оптимальных составов или технологических решений. Анализ литературы позволил выявить наиболее распространённые подходы при исследовании многокомпонентных систем [2, 7, 11], в которых элементы системы рассматриваются как линейно-связанные:

$$\frac{a_1}{\sum_{i=1}^n a_i} + \frac{a_2}{\sum_{i=1}^n a_i} + \frac{a_3}{\sum_{i=1}^n a_i} + \dots + \frac{a_n}{\sum_{i=1}^n a_i} = 1 \quad (1)$$

где a_i – количество i – го компонента многокомпонентной системы.

В линейно-связанной системе изменение доли i -го компонента влечёт за собой изменение доли хотя бы одного другого. Соотношение же компонентов внутри системы между собой изменяются практически неуправляемо.

Количественный состав таких систем обычно выражают в долях по отношению к одному из компонентов:

$$\frac{a_1}{a_1} : \frac{a_2}{a_1} : \frac{a_3}{a_1} : \dots : \frac{a_n}{a_1} \quad (2)$$

или в % от общего содержания.

Основная часть. Решение любой задачи оптимизации композиционного материала предусматривает исследование его в совокупности: состав – технология – свойства. Сложность такой оптимизации обусловлена, во-первых, трудностями в управлении составами композиционных материалов, во-вторых, необходимостью исследования их в сочетании с различными технологическими приёмами. Технология получения композиционных материалов в значительной мере влияет на его свойства, которые в каждом конкретном случае могут отличаться, при этом, чтобы судить о возможности применения технологии или замене её другой, необходимо охватить в исследованиях максимально возможное количество вариантов составов, поэтому на этом этапе предлагается исследовать систему в рамках зависимости: состав – свойства. Для всестороннего исследования композиционного материала нужны общие, универсальные, независимые и управляемые характеристики составов. В значительной мере решение поставленной задачи достигается применением предлагаемого способа изучения составов композиционных материалов.

Основным достоинством этого способа является возможность преобразования линейно-связанной системы, в систему с независимыми параметрами. Это стало возможным благодаря установлению относительной взаимосвязи компонентов в многокомпонентной системе и созданию на её основе модели композиционного материала [1,5]. Чтобы представить механизм взаимосвязи, композиционный материал предлагается рассматривать как смесь некоторого количества компонентов, обработанных определённым образом (технология получения). Исходный состав его складывается из суммы:

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i \quad (3)$$

где a_i – количественное содержание каждого исходного компонента качественно отличающегося от других; n – число компонентов.

При одинаковых способах получения композиционного материала, изменение содержания отдельных компонентов является основным фактором, влияющим на его свойства. Однако выявление истинной значимости любого компонента в системе весьма затруднительно, так как все они взаимосвязаны. Исходя из принятых обозначений, количественный состав многокомпонентной системы предлагается выражать через относительные характеристики:

$A_1 = \frac{a_1}{a_1+a_2}$ – относительное содержание a_1 -го компонента в сумме с a_2 -ым; $A_2 = \frac{a_1+a_2}{a_1+a_2+a_3}$ – относительное содержание сложного компонента (a_1+a_2) в сумме с a_3 -им; $A_3 = \frac{a_1+a_2+a_3}{a_1+a_2+a_3+a_4}$ – относительное содержание компонентов ($a_1+a_2+a_3$) в сумме с a_4 -ым;

и так далее, в зависимости от числа компонентов.

В общем виде это выражение можно записать следующим образом:

$$A_{n-1} = \frac{a_1+a_2+a_3+\dots+a_{n-1}}{a_1+a_2+a_3+\dots+a_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (4)$$

Полученный последовательный ряд относительных величин: $A_1; A_2; A_3; \dots; A_{n-1}$, отражает относительную взаимосвязь компонентов системы $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$, и характеризует её количественный состав. Эти относительные характеристики: общие, универсальные, независимые, управляемые и содержат полную количественную информацию об исходных материалах. Область изменения любого из членов ряда от 0 до 1. Варьируя относительными величинами – членами ряда, в указанных пределах, можно получить всевозможные сочетания компонентов, входящих в состав многокомпонентной системы и это даёт возможность последовательно и целенаправленно исследовать влияние компонентов на её свойства. Это положение является новым и позволяет сформулировать принцип относительной взаимосвязи компонентов в многокомпонентных системах: для любой многокомпонентной системы (композиционного материала) существует однозначное соответствие её свойств последовательному ряду относительных независимых величин: $A_1; A_2; A_3; \dots; A_{n-1}$, характеризующих её состав и отражающих относительную взаимосвязь компонентов системы ($a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$), выраженную в виде:

$$A_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (5)$$

Наглядное представление о полученной тематической зависимости даёт графическая интерпретация модели многокомпонентной си-

стемы. На рис. 1 представлено условное графическое выражение математической формулы 5, отображающее относительную взаимосвязь компонентов системы и последовательно раскрывающее механизм взаимодействия её элементов.

На рис. 1(а) представлена схема самой простой многокомпонентной системы, включающей всего два элемента: a_1 и a_2 . Количественное содержание этих элементов взаимосвязано – чем больше a_1 , тем меньше a_2 и наоборот. Состав

двухкомпонентной системы контролируется относительной характеристикой:

$$A_1 = \frac{a_1}{a_1+a_2},$$

отражающей относительное содержание одного из компонентов в сумме с другим и изменяющейся от 0 до 1. Учитывая, что свойства многокомпонентной системы, при одинаковой технологии её приготовления в значительной мере определяются её составом, можно считать, что они являются функцией этой относительной характеристики: $\Phi = f(A_1)$.

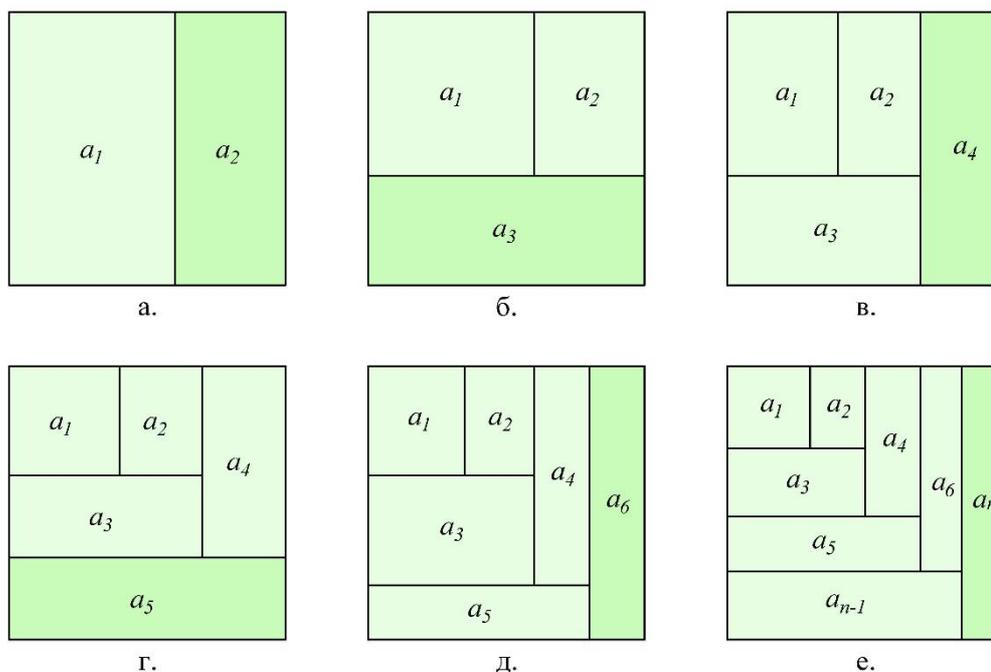


Рис. 1. Графическая интерпретация модели многокомпонентной системы

На рис. 1(б) представлена трёхкомпонентная система, включающая элементы: a_1, a_2, a_3 . По предложенной схеме такую систему рекомендуется рассматривать также как двухкомпонентную, включающую один сложный элемент: $(a_1 + a_2)$ и один простой a_3 . Сложный элемент: $(a_1 + a_2)$ – двухкомпонентная система, рассмотрен при описании рис. 1(а). Состав трёхкомпонентной системы контролируется по аналогии с двухкомпонентной, относительной характеристикой: $A_2 = \frac{a_1+a_2}{a_1+a_2+a_3}$, отражающей относительное содержание сложного элемента $(a_1 + a_2)$ в сумме с простым a_3 и изменяется также от 0 до 1.

Учитывая, что сложный элемент двухкомпонентный и его состав контролируется относительной характеристикой: $A_1 = \frac{a_1}{a_1+a_2}$, свойства трёхкомпонентной системы являются функцией относительных характеристик A_1 и A_2 :

$$\Phi = f(A_1; A_2) \tag{6}$$

Последовательное увеличение числа элементов системы приводит её к усложнению - рис. 1 (а, б, в, г, д, е), однако, принятая схема взаимодействия элементов между собой позволяет рассматривать постоянно усложняющуюся систему в упрощённом виде: в виде взаимодействия двух элементов, один из которых сложный, представленный суммой элементов, а другой простой. Контроль состава многокомпонентной системы при этом осуществляется последовательным рядом относительных характеристик: $A_1; A_2; A_3; \dots; A_{n-1}$, выраженных общей формулой (5), определяемых по аналогии с вышеописанными и изменяющимися также от 0 до 1. Свойства же многокомпонентной системы будут являться функцией её состава, в общем виде:

$$\Phi = f(A_1; A_2; A_3; \dots; A_{n-1}) \tag{7}$$

Таким образом, принятая схема взаимодействия элементов системы и её графическая интерпретация, дает возможность раскрыть сущность

их относительной взаимосвязи, позволяет проследить механизм взаимодействия системы с последовательно увеличивающимся числом элементов, в результате чего она переходит от простой, с двумя элементами, к сложной, с тремя и более. Включение в состав многокомпонентной системы каждого последующего элемента позволяет оценить его влияние на свойства, проследить как происходит усложнение системы (композиционного материала) и изменение её качества, за счёт последовательного и управляемого увеличения числа элементов, а также определить пути оптимизации.

Рассмотренная модель многокомпонентной системы (композиционного материала) хорошо вписывается в методики исследования известных материалов [5,6]. Характерным примером многокомпонентной системы искусственного происхождения является бетон - композиционный материал, включающий в своём составе четыре основных компонента: вяжущее, мелкий и крупный

заполнитель, воду, а также химические добавки, в том числе комплексные. Количественное и качественное изменение компонентов, входящих в состав бетонов, оказывает решающее влияние на их свойства – разным маркам бетона соответствуют определённые соотношения этих компонентов в зависимости от их вида и качества.

Механизм перевода линейно-связанной системы в систему с независимыми параметрами рассмотрим на примере тяжелого бетона. Предположим, что состав бетона будет иметь вид соотношения – цемент : песок : щебень : вода = 1 : 1,5 : 3 : 0,6, то есть на 1 массовую часть цемента приходится 1,5 частей песка, 3 части щебня и 0,6 части воды. Подобная запись состава бетона наиболее распространена в практике. После преобразований, в принятой нами модели многокомпонентной системы состав бетона выразится следующим образом:

$$A_1 = \frac{Ц}{Ц + В} = \frac{Ц}{Т} = \frac{1}{1 + 0,6} = 0,625$$

$$A_2 = \frac{Ц + В}{Ц + В + П} = \frac{Т}{Р} = \frac{1 + 0,6}{1 + 0,6 + 1,5} = 0,516$$

$$A_3 = \frac{Ц + В + П}{Ц + В + П + Щ} = \frac{Р}{Б} = \frac{1 + 0,6 + 1,5}{1 + 0,6 + 1,5 + 3} = 0,503$$

Физический смысл приведённой записи заключается в следующем:

$A_1 = \frac{Ц}{Т}$ – параметр, характеризующий цементное тесто (цемент + вода), отражает относительное содержание цемента в нем, другими словами - доля цемента в цементном тесте. Пределы изменения параметра – от 0 до 1. При $\frac{Ц}{Т} = 0$, цементное тесто представлено только водой, при $\frac{Ц}{Т} = 1$, только цементом, т.е. предельные точки значения параметра для цементного теста лишены физического смысла и поэтому границы его существования лежат в области значений $0 < \frac{Ц}{Т} < 1$. В приведённом примере: $\frac{Ц}{Т} = 0,625$.

$A_2 = \frac{Т}{Р}$ – параметр, характеризующий растворную часть бетонной смеси, отражает относительное содержание цементного теста в растворной части (цементное тесто + песок) или доля цементного теста в растворе. $\frac{Т}{Р}$ также изменяется в пределах от 0 до 1. При 0 твёрдая фаза представлена только песком, при 1 только цементным тестом, его область существования также $0 < \frac{Т}{Р} < 1$. В приведённом примере: $\frac{Т}{Р} = 0,516$.

$A_3 = \frac{Р}{Б}$ – параметр, характеризующий бетонную смесь, отражает относительное содержание раствора в бетонной смеси (раствор + щебень) или долю растворной части в общей массе компонентов бетонной смеси. И этот параметр также изменяется в пределах от 0 до 1. При $\frac{Р}{Б} = 0$, бетонная смесь представлена только крупным заполнителем (щебнем), а при $\frac{Р}{Б} = 1$ только цементно-песчаным раствором - (цемент + песок + вода). Область существования также: $0 < \frac{Р}{Б} < 1$.

В приведённом примере: $\frac{Р}{Б} = 0,503$.

Если изменить содержание одного из компонентов, например песка, увеличив его до 2 частей, соотношение компонентов примет вид – цемент : песок : щебень : вода = 1 : 2 : 3 : 0,6, что на первый взгляд незначительно изменяет систему. На самом деле, структурно, система оказывается изменённой практически полностью - без изменений остался только первый параметр - доля цемента в цементном тесте:

$$A_1 = \frac{Ц}{Ц + В} = \frac{Ц}{Т} = \frac{1}{1 + 0,6} = 0,625$$

$$A_2 = \frac{Ц + В}{Ц + В + П} = \frac{T}{P} = \frac{1 + 0,6}{1 + 0,6 + 2} = 0,444$$

$$A_3 = \frac{Ц + В + П}{Ц + В + П + Щ} = \frac{P}{B} = \frac{1 + 0,6 + 2}{1 + 0,6 + 2 + 3} = 0,545$$

Приведённый пример показывает, что изменение лишь одного компонента в бетоне, а именно, песка, повлекло за собой изменение доли цементного теста в растворе, которая уменьшилась, а также доли растворной части в бетонной смеси – увеличилась. Это естественным образом отражается на структуре и свойствах бетона.

С помощью параметров $\frac{Ц}{T}$; $\frac{T}{P}$; $\frac{P}{B}$, можно управлять составом бетона, независимо изменяя содержание одного из компонентов, при абсолютном постоянстве соотношения остальных между собой.

Если продолжить анализ составов и представить, что: $A_1 = 0,625$; $A_2 = 0,444$; $A_3 = 0,508$, т.е. доля цемента в цементном тесте осталась без изменения, а доля цементного теста в растворе изменилась и стала меньше, то, в отличие от предыдущего состава, в этом доля растворной части в бетонной смеси также осталась постоянной (как в первом примере). Варьируя содержанием цементного теста в растворной части (параметр $A_2 = \frac{T}{P}$), мы изменяем и содержание песка. Исследование бетонной смеси с переменным, но контролируемым содержанием песка даёт возможность выявления его истинного влияния на свойства бетонной смеси, оставляя при этом соотношение остальных компонентов между собой без изменения. Аналогично можно установить истинное влияние на свойства бетонной смеси и других компонентов посредством изменения па-

раметров A_1 и A_3 . Одновременное и целенаправленное изменение всех трёх параметров позволяет управлять составом, получая любые соотношения компонентов в бетоне.

Необходимо отметить, что, хотя относительные характеристики, отражающие состав бетона, изменяются от 0 до 1, области допустимых значений у них имеют более узкие пределы и зависят от вида и качества исходных материалов. Наиболее вероятными областями изменения параметров для бетонов будут следующие:

$$A_1 = \frac{Ц}{T} = 0,35 \dots 0,8;$$

$$A_2 = \frac{T}{P} = 0,3 \dots 0,9;$$

$$A_3 = \frac{P}{B} = 0,2 \dots 1,0.$$

Пользуясь принятыми относительными характеристиками состава бетона, можно получить зависимости, позволяющие определить теоретические значения средней плотности бетонной смеси, расходы цемента, песка, щебня и воды, в одном 1 м^3 бетонной смеси.

Формула для определения средней плотности бетонной смеси получается путём преобразования известной зависимости:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

где ρ – средняя плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; m – масса, кг ; V – объем материала, м^3 .

Сначала была получена формула для определения средней плотности цементного теста:

$$\rho_{ц.т.}^T = \frac{m_T}{V_{ц.т.}} = \frac{T}{\frac{Ц}{\rho_Ц} + \frac{В}{\rho_В}} = \frac{T}{\frac{Ц}{\rho_Ц} + \frac{T-Ц}{\rho_В}} = \frac{1}{\frac{Ц}{T} \cdot \frac{1}{\rho_Ц} + \frac{T-Ц}{T} \cdot \frac{1}{\rho_В}} = \left[\frac{Ц}{T} \left(\frac{1}{\rho_Ц} - \frac{1}{\rho_В} \right) + \frac{1}{\rho_В} \right]^{-1} \quad (9)$$

где $T = Ц + В$ – масса цементного теста, равная сумме масс цемента и воды, кг .

Аналогично получаем формулу для определения средней плотности раствора, где

$$\rho_P^T = \frac{m_P}{V_P} = \frac{P}{\frac{T}{\rho_T} + \frac{П}{\rho_П}} = \frac{P}{\frac{T}{\rho_T} + \frac{P-T}{\rho_П}} = \frac{1}{\frac{T}{P} \cdot \frac{1}{\rho_T} + \frac{P-T}{P} \cdot \frac{1}{\rho_П}} = \left[\frac{T}{P} \left(\frac{1}{\rho_T} - \frac{1}{\rho_П} \right) + \frac{1}{\rho_П} \right]^{-1} \quad (10)$$

Подставляя значение $\rho_{ц.т.}^T$ формулу 8, получаем:

$$\rho_P^T = \left[\frac{T}{P} \left(\frac{Ц}{T} \left(\frac{1}{\rho_Ц} - \frac{1}{\rho_В} \right) + \frac{1}{\rho_В} - \frac{1}{\rho_П} \right) + \frac{1}{\rho_П} \right]^{-1} = \left[\frac{Ц}{P} \cdot \frac{T}{P} \left(\frac{1}{\rho_Ц} - \frac{1}{\rho_В} \right) + \frac{T}{P} \left(\frac{1}{\rho_В} - \frac{1}{\rho_П} \right) + \frac{1}{\rho_П} \right]^{-1} \quad (11)$$

Пользуясь полученными формулами определяем среднюю плотность бетонной смеси:

$$\rho_{б.см.}^T = \frac{m_{б.см.}}{V_{б.см.}} = \frac{B}{\frac{P}{\rho_P} + \frac{Щ}{\rho_Щ}} = \frac{B}{\frac{P}{\rho_P} + \frac{B-P}{\rho_Щ}} = \frac{1}{\frac{P}{B} \cdot \frac{1}{\rho_P} + \frac{B-P}{B} \cdot \frac{1}{\rho_Щ}} = \left[\frac{P}{B} \left(\frac{1}{\rho_P} - \frac{1}{\rho_Щ} \right) + \frac{1}{\rho_Щ} \right]^{-1} \quad (12)$$

После подстановки значения, формула 10 примет вид:

$$\rho_{\text{б.см.}}^T = \left[\frac{\text{Ц}}{\text{Т}} \cdot \frac{\text{Т}}{\text{Р}} \cdot \frac{\text{Р}}{\text{Б}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ц}}} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right) + \frac{\text{Т}}{\text{Р}} \cdot \frac{\text{Р}}{\text{Б}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}} + \frac{1}{\rho_{\text{п}}} \right) + \frac{\text{Р}}{\text{Б}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{п}}} - \frac{1}{\rho_{\text{ш}}} \right) + \frac{1}{\rho_{\text{ш}}} \right]^{-1} \quad (13)$$

Несмотря на то, что формула 11 выглядит очень сложной, на самом деле она решается очень просто. Задаваясь определёнными параметрами A_i состава бетона и зная истинную плотность его компонентов, не представляет никакого труда, путём элементарных арифметических действий определить теоретическую среднюю плотность бетонной смеси.

Определив среднюю плотность бетонной смеси и пользуясь относительными характеристиками состава можно легко определить теоретический расход материалов на 1 м^3 .

1. Расход цемента определяется по формуле:

$$\text{Ц} = \frac{\text{Ц}}{\text{Т}} \cdot \frac{\text{Т}}{\text{Р}} \cdot \frac{\text{Р}}{\text{Б}} \cdot \rho_{\text{б.см.}}^T \quad (14)$$

где Ц – расход цемента, в кг/м^3 ; $\frac{\text{Ц}}{\text{Т}}$ – относительное содержание цемента в цементном тесте, по массе; $\frac{\text{Т}}{\text{Р}}$ – относительное содержание цементного теста в цементно-песчаном растворе, по массе; $\frac{\text{Р}}{\text{Б}}$ – относительное содержание растворной части в бетонной смеси, по массе; $\rho_{\text{б.см.}}^T$ – средняя плотность бетонной смеси, по массе.

2. Расход воды определяется следующим образом:

$$\frac{\text{Ц}}{\text{Т}} = \frac{\text{Ц}}{\text{Ц+В}}, \text{ тогда: } \text{Ц+В} = \frac{\text{Ц}}{\frac{\text{Ц}}{\text{Т}}}, \text{ а } \text{В} = \frac{\text{Ц}}{\frac{\text{Ц}}{\text{Т}}} - \text{Ц}$$

или

$$\text{В} = \text{Ц} \left(\frac{1 - \frac{\text{Ц}}{\text{Т}}}{\frac{\text{Ц}}{\text{Т}}} \right), \text{ кг/м}^3 \quad (15)$$

3. Подобным же способом определяем расход песка:

$$\frac{\text{Т}}{\text{Р}} = \frac{\text{Т}}{\text{Т+П}}, \text{ тогда: } \text{Т+П} = \frac{\text{Т}}{\frac{\text{Т}}{\text{Р}}}, \text{ П} = \frac{\text{Т}}{\frac{\text{Т}}{\text{Р}}} - \text{Т},$$

или

$$\text{П} = \text{Т} \left(\frac{1 - \frac{\text{Т}}{\text{Р}}}{\frac{\text{Т}}{\text{Р}}} \right), \text{ кг/м}^3 \quad (16)$$

4. Расход щебня определяется аналогично:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Р}}{\text{Б}} &= \frac{\text{Р}}{\text{Р+Щ}}, \\ \text{Р+Щ} &= \frac{\text{Р}}{\frac{\text{Р}}{\text{Б}}}; \quad \text{Щ} = \frac{\text{Р}}{\frac{\text{Р}}{\text{Б}}} - \text{Р}, \\ \text{или } \text{Щ} &= \text{Р} \left(\frac{1 - \frac{\text{Р}}{\text{Б}}}{\frac{\text{Р}}{\text{Б}}} \right), \text{ кг/м}^3 \end{aligned} \quad (17)$$

Таким образом, в расчётах с использованием относительных характеристик $\frac{\text{Ц}}{\text{Т}}$, $\frac{\text{Т}}{\text{Р}}$, $\frac{\text{Р}}{\text{Б}}$, можно получить математические зависимости, отражающие их связь с составом бетона и его средней плотностью.

Важным достоинством предложенного метода оценки состава бетона, как и вообще любого композиционного материала или многокомпонентной системы, является возможность использования его для создания банка данных, опираясь на полученную модель композиционного материала. Пользуясь принятыми относительными характеристиками при исследовании бетонов, нетрудно установить, что они будут иметь вполне определённые пределы существования, которые всякий раз будут изменяться при изменении свойств, входящих в состав бетона материалов, но никогда не выйдут за пределы 0 и 1. А это значит, что, в рамках принятых относительных характеристик бетонов, можно исследовать любые бетоны независимо от вида и качества входящих в их состав материалов. Более того, возникает возможность проведения сравнительной оценки как любых компонентов бетона, так и любых видов бетона между собой, а также различных технологических приёмов. Это положение представляется особо важным при создании банка данных для бетонов.

В пределах пространства, ограниченного принятыми относительными характеристиками можно получить любые соотношения компонентов бетона и изучить его свойства в зависимости от свойств исходных материалов и технологии его получения. Систематические и целенаправленные исследования бетонов на основе принятых относительных характеристик обеспечат постоянное наполнение банка данных информацией, будут способствовать уточнению зависимостей свойств бетонов от состава и качества входящих компонентов и повышению достоверности получаемых данных.

Следует отметить, что по желанию экспериментаторов относительные характеристики можно принимать и другими:

$$A'_1 = \frac{\text{Ц}}{\text{Ц+П}}; \quad A'_2 = \frac{\text{Ц+П}}{\text{Ц+П+Щ}}; \quad A'_3 = \frac{\text{Ц+П+Щ}}{\text{Ц+П+Щ+В}},$$

или

$$A''_1 = \frac{\text{П}}{\text{П+Щ}}; \quad A''_2 = \frac{\text{П+Щ}}{\text{П+Щ+Ц}}; \quad A''_3 = \frac{\text{П+Щ+Ц}}{\text{П+Щ+Ц+В}}, \text{ и}$$

так далее.

Принципиально это не имеет значения, однако даёт возможность по-другому оценить материал, выявить другие его особенности.

Выводы. Таким образом, принятая схема взаимодействия элементов системы и ее графическая интерпретация, даёт возможность раскрыть сущность их относительной взаимосвязи, позво-

ляет проследить механизм взаимодействия системы с последовательно увеличивающимся числом элементов, в результате чего она переходит от простой, с двумя элементами, к сложной, с тремя и более. Включение в состав многокомпонентной системы каждого последующего элемента позволяет оценить его влияние на свойства, проследить как происходит усложнение системы (композиционного материала) и изменение её качества, за счёт последовательного и управляемого увеличения числа элементов, а также определить пути оптимизации.

С помощью принятых относительных характеристик содержания компонентов в бетоне можно не только управлять составами, но они могут быть использованы также при определении средней плотности и расчета расходов компонентов на 1 м³ бетона.

Применение относительных характеристик дает возможность создания банка данных для бетонов и на его основе совершенствовать составы и свойства бетонов.

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. 143с.
4. Руководство по подбору состава тяжёлого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 103с.
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, ст. преподаватель кафедры технологии, организации и управления строительством, кандидат технических наук. E-mail: evgen1002@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Борисюк Е.А., 2018

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

¹*Federal state budget educational institution of higher education
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26
E-mail: evgen1002@mail.ru

THE RELATIVE INTERCONNECTION OF COMPONENTS IN MULTICOMPONENT SYSTEMS (PART 1)

Abstract. *The design considerations for multicomponent systems are still relevant nowadays. Researching of simplification processes of increasingly complex composite materials, mixtures, solutions, etc., requires brand new ways to identify patterns and characters of component's effects inside the system. Such solutions could include converting models of multicomponent systems from linearly-linked into a system with independent variables based on established principle of relative interconnection of components in multicomponent systems: for any multicomponent systems (composite material) there is one-to-one correspondence of its properties to sequential range of relative independent values: $A_1; A_2; A_3; \dots; A_{(n-1)}$, describing its structure and reflecting the relative relationship of system components ($a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$) expressed as: $A_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$.*

The proposed universal, general, independent and controlled variables fully reflect the quantitative characteristics of structure and can be used in a mathematical planning of experiments to optimize the compositions of multicomponent systems. The accepted scheme of element's interactions of the system and its graphical interpretation gives the opportunity to reveal the essence of their relative interconnection and allows tracking mechanism of system interaction with consistently increasing number of elements, in a result leading that scheme from simple with two elements to complex with three or more. Within the bounds of accepted relative specifications for concrete, one can examine any concrete, regardless of the type and quality of its components. Moreover, it is possible to provide a comparative assessment of any component of concrete or any type of it, which is important when creating a data bank of concrete. The article presented may be a point of interest to researchers concerned with optimizing complex multicomponent systems in various areas 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.: Stroizdat. 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. ALT. GOS. Tech. University of them. I., Jsc. Barnaul: AltGTU, 2010, no. 1, 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 1) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №11. С. 32–40. DOI: 10.12737/article_5bf7e35468cbe2.48782913

For citation:

Borisyuk E.A. The relative interconnection of components in multicomponent systems (Part 1). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 11, pp. 32–40. DOI: 10.12737/article_5bf7e35468cbe2.48782913