

КОМПЛЕКСНАЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРБОЛИТА С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доцент, Ягубкин А.Н. (ПГУ)

Аннотация. Предложена комплексная структурно-механическая модель для арболита с направленной укладкой заполнителя. Данная модель впервые позволяет прогнозировать получение комплекса характеристик у арболитовых изделий. По методологии нечетких множеств с использованием комплексных структурно-механических моделей показана возможность определения интегрального показателя качества. Определен интегральный показатель качества для традиционного арболита и для арболита с направленной укладкой заполнителя.

Создание искусственных конгломератов с заданными свойствами возможно с формированием комплексной методологии, позволяющей спроектировать оптимальный состав искусственного конгломерата и технологию его производства на основании теоретических предпосылок, эмпирических данных, экспертных оценок и аналитических зависимостей [1-4]. Данная методология разработана и успешно апробирована на большом количестве искусственных конгломератов доктором технических наук В.С. Лесовиком. Основные положения методологии приведены ниже [4].

На основе методологии квалиметрии система комплексной оценки качества создаваемого искусственного конгломерата может быть представлена как совокупность его свойств, обуславливающих способ удовлетворять определенным требованиям согласно назначению. При этом необходимо создать самонастраивающуюся систему с минимальным вмешательством человека в ее работу и осуществлять создание искусственного конгломерата с учетом последних научных достижений. Основой такой системы должен стать алгоритм управления процессами структурообразования, разработанный в процессе ее функционирования.

Свойства и характеристики искусственного конгломерата могут быть определены по следующей функциональной зависимости с учетом ряда факторов

$$I = f\{[(M_1, M_2, \dots, M_m)F]T\}P\}, \quad (1)$$

где M_1, M_2, \dots, M_m - материалы, необходимые для изготовления искусственного конгломерата, m - количество материалов, F - условия формования, T - условия твердения, P - прочие параметры.

Функция (1) является сложной, т.к. каждый ее аргумент является функцией от других аргументов. Стоит также отметить, что система не ограничена из-

вестным количеством факторов, определяющих свойства и характеристики искусственного конгломерата. Существующие функциональные зависимости могут дополняться новыми аргументами по мере развития науки и проведения новых исследований.

Совокупность свойств и характеристик искусственного конгломерата (дифференциальных качеств), в свою очередь, формирует интегральный показатель качества (K) создаваемого искусственного конгломерата, который в общем виде представляется функциональной зависимостью

$$K = \sigma(k_1, k_2, \dots, k_n), \quad (2)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n являются характеристиками искусственного конгломерата (прочность, морозостойкость, экологическая безопасность, экономическая эффективность производства и др.).

Возможно также использование лингвистических характеристик, например, отзывов потребителей (на основе лингвистической переменной).

Требования к свойствам и характеристикам искусственных конгломератов определяются множеством разнородных критериев и дифференциальных показателей качества, которые зависят от области применения конечного продукта и приведены в соответствующих нормативных документах.

В соответствии с нечетким подходом интегральный показатель качества искусственного конгломерата (2) и совокупность нормируемых критериев качества (ТКП, СТБ, ГОСТ и т.п.) отражают цель функционирования системы. Применяя каждый из критериев качества к оцениваемому искусственному конгломерату, получаем частную оценку по данному критерию

$$S_i = (i \in [1, n]). \quad (3)$$

При нечетком подходе данная оценка характеризует принадлежность рассматриваемого бетона множеству объектов, совместимых с указанной частной целью и удовлетворяющих рассматриваемому критерию

$$S_i = \mu_i(k_i) \in \Omega, \quad (4)$$

где Ω - общее множество объектов.

Далее на основании совокупности $\mu_i(k_i)$, получают степень выполнения обобщенного критерия [4]:

$$S_0 = \mu_0(K) = h(\mu_1(k_1), \dots, \mu_n(k_n)). \quad (5)$$

Описанная задача в этом случае разделяется на два этапа: получение оценок степени выполнения частных критериев и получение обобщенной оценки объекта. Первый этап реализуется за счет систем нечеткого продукционного вывода [5]. Второй этап обладает рядом специфических особенностей.

К оценочным моделям сложных систем предъявляют следующие требования:

- возможность формирования общего критерия на основе изменяющихся наборов частных критериев;
- простая перенастройка модели при добавлении нового критерия;
- учет согласованности частных критериев;
- учет различной значимости частных критериев в обобщенной оценке и обеспечение ее перенастройки.

На практике одновременное достижение двух и более целей не всегда возможно ввиду их противоречивости. Тогда необходимо определить экстремальные варианты. Экстремальными вариантами в n -местном случае являются: одновременное достижение целей (соответствует операция $h(S_1, S_2, \dots, S_n) = \min(S_1, S_2, \dots, S_n)$) и достижение одной цели (соответствует операция $h(S_1, S_2, \dots, S_n) = \max(S_1, S_2, \dots, S_n)$).

Значимость критериев может многократно меняться с течением времени, ее учет осуществляется путем настройки весов критериев и введения их в отображения h , определенное для критериев на этапе функционирования модели [6]. Процедуры определения весовых коэффициентов известны [7].

Весь процесс формализации предметной области можно разделить на следующие основные этапы [4]:

1. Построение максимально полного списка всех возможных частных целей и выделение, в случае необходимости, наиболее значимых из них.
2. Определение согласованности целей из списка между собой. Выявление аналитических или определенных экспертами зависимостей.

С учетом критериев оценки качества искусственного конгломерата по его характеристикам получим

$$K = h_k(S_o). \quad (6)$$

Для вычисления итоговой оценки качества искусственного конгломерата характерно определение принадлежности аргументов заданным интервалам, либо соответствие экстремальным характеристикам. Если из рассмотрения некоторые критерии качества, то соответствующие им вершины не включаются в граф. Показатель качества может иметь любое значение. Стандартным диапазон выбирается следующим $[0;1]$, где 1 – эталонный состав искусственного конгломерата, соответствующий определенным критериям, 0 – величина абсолютная, соответствующая абсолютно некачественному искусственному конгломерату (данная величина недостижима в системе). Показатель качества может быть больше 1 в случае, когда используются достижения научно-технического прогресса. Разработанная система позволяет учесть все параметры, влияющие на качество искусственного конгломерата: достижения материаловедения, кристаллографии, петрологии, физики, химии, наноматериаловедения, компьютерного и численного моделирования, а также других областей научного и практического исследования. Дальнейшее развитие методологии

позволит объединить исследования научных коллективов на базе единой автоматизированной информационной структуры, а также значительно увеличить темпы роста инновационных технологий.

Выполненный анализ свидетельствует об отсутствии эффективных способов уплотнения бетонной смеси, обеспечивающих направленную укладку древесного заполнителя для получения материала с заданными свойствами. Эффект повышения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя можно объяснить используя положения механики композиционных материалов и он может достигать 70 % [8].

Кроме того, при направленной укладке, благодаря анизотропным свойствам древесины, вертикальное расположение древесного заполнителя позволит снизить теплопроводность арболита.

Теоретически это можно обосновать, основываясь на электротепловой аналогии по теории Максвелла-Бургена и вытекающей из нее формулы Рэлея-Оделевского [9]

$$\lambda = K_1 \lambda_1 \frac{2\lambda_1 + \lambda_2 - 2\varphi(\lambda_1 - \lambda_2)}{2\lambda_1 + \lambda_2 + \varphi(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (7)$$

где λ , λ_1 , λ_2 – соответственно коэффициенты теплопроводности дисперсной системы, дисперсной среды и дисперсной фазы ($\lambda_1 = 0,87$ Вт/м $^{\circ}$ С – теплопроводность цементного камня с учетом открытых и закрытых пор [9]; $\lambda_2 = 0,18$ Вт/м $^{\circ}$ С – древесный заполнитель при горизонтальной ориентации [10], $\lambda_1 = 0,09$ Вт/м $^{\circ}$ С – древесный заполнитель при вертикальной ориентации [10]); $\varphi = 0,7$ – объемная концентрация заполнителя, определена в п.3.3.1; K_1 - поправочный коэффициент, позволяющий рассчитать теплопроводность системы с взаимопроницающими компонентами, к которым относится в частности цементный камень, в зависимости от отношения λ_2 / λ_1 и объемной концентрации заполнителя φ [9] ($K_1 = 0,41$ - при горизонтальной ориентации древесного заполнителя, $K_1 = 0,35$ - при вертикальной ориентации древесного заполнителя).

Подставив все значения в формулу 7, получим коэффициент теплопроводности для арболита с горизонтальной ориентацией заполнителя

$$\lambda = 0,41 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,18 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)}{2 \cdot 0,87 + 0,18 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)} = 0,14 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}. \quad (8)$$

Для арболита с вертикальной ориентацией заполнителя:

$$\lambda = 0,35 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,09 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)}{2 \cdot 0,87 + 0,09 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)} = 0,09 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}. \quad (9)$$

Нормативное значение коэффициента теплопроводности для арболита с беспорядочной ориентацией заполнителя составляет 0,12 Вт/м $^{\circ}$ С [10]. Следовательно при вертикальной ориентации древесного заполнителя возможно добиться снижения коэффициента теплопроводности на 25 %.

На основании методики изложенной выше, а также теоретических и экспериментальных данных [8], определим эффективность комплексной структурно-механической модели для получения арболита с заданными свойствами.

На первом этапе определяются с входными параметрами, а также с выходными параметрами. Входные и выходные параметры представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Входные параметры для применения теории нечетких множеств

Структурно-механическая модель	Номер состава	Входные параметры						
		Расход компонентов на 1 м ³ арболита				Условия формования (F)	Условия твердения (T)	Стоимость ресурсов (E), руб.
		Цемент (V), кг	Древесный наполнитель (Z), кг	Химическая добавка (D), % от массы цемента	Расход воды (J), л			
1	2	3	4	5	6	7		
Традиционный арболит	1	330	180	CaCl ₂ 2,00	363	вибрирование с пригрузом	термовлажностная обработка по [2]	432 257
Авторская разработка	2	330	180	K ₂ SO ₄ 2,00	363	колебательное уплотнение	термовлажностная обработка по [2]	447 210

Таблица 2 – Выходные параметры для применения теории нечетких множеств

Структурно-механическая модель	Номер состава	Выходные параметры					Интегральный показатель качества (K)	
		Прочность (R), МПа	Плотность (ρ), кг/м ³	Марка по морозостойкости, (F)	Коэф. теплопроводности (τ), Вт/м·°C	Отпускная влажность через (OV), дн.		Стоимость 1 м ³ арболита (SE), руб.
Традиционный арболит	1	2,5	556	F25	0,12	7	629 317	1,000
Авторская разработка	2	4,2	550	F35	0,095	5	602 439	1,011

На втором этапе производится символьное описание нечеткого множества интегрального показателя качества K

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_K(x_i)}{x_i}, \quad (10)$$

где K – нечеткое множество; x_i – параметр структурно-механической модели; n – количество параметров структурно-механической модели; $\mu_K(x_i)$ - степень принадлежности параметра x_i к нечеткому множеству K.

Для структурно-механической модели традиционного арболита:

$$K = \frac{\mu_K(R)}{R} + \frac{\mu_K(\rho)}{\rho} + \frac{\mu_K(M)}{M} + \frac{\mu_K(\tau)}{\tau} + \frac{\mu_K(OV)}{OV} + \frac{\mu_K(SE)}{SE} =$$

$$= \frac{1,000}{2,500} + \frac{1,000}{556,000} + \frac{1,000}{25,000} + \frac{1,000}{0,120} + \frac{1,000}{7,000} + \frac{1,000}{629317,000}.$$
(11)

Для структурно-механической модели арболита (авторская разработка):

$$K = \frac{\mu_K(R)}{R} + \frac{\mu_K(\rho)}{\rho} + \frac{\mu_K(M)}{M} + \frac{\mu_K(\tau)}{\tau} + \frac{\mu_K(OV)}{OV} + \frac{\mu_K(SE)}{SE} =$$

$$= \frac{1,680}{4,200} + \frac{1,011}{550,000} + \frac{1,400}{35,000} + \frac{1,263}{0,095} + \frac{1,400}{5,000} + \frac{1,045}{602439,000}.$$
(12)

В соответствии со стратегией оценки, изложенной в [4], принимаем интегральный показатель качества равным $K=1,011$ (одновременное достижение целей).

Предложенная комплексная структурно-механическая модель модифицированного арболита с направленной укладкой заполнителя, позволяет получать стеновой материал с заданными свойствами и оценивать его качество.

Литература. 1. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с. ил. 2. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил. 3. Кауфман, Б.Н. Цементный фибролит / Б.Н. Кауфман [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Кауфмана. – М.: ГСИ, 1961. – 159 с. 4. Лесовик, В.С. Методология проектирования состава искусственных конгломератов / В.С. Лесовик // Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С. 4–7. 5. Конышева, Л.К. Основы теории нечетких множеств: учебное пособие / Л.К. Конышева, Д.М. Назаров. – СПб.: Питер, 2011. – 192 с.: ил. 6. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский. – М.: Г.л., 2006. – 452 с. 7. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.: ил. 8. Ягубкин, А.Н. Обоснование механизма повышения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Вестн. ПГУ. Сер. Ф. Пр. науки. Стр-во. – 2012. – № 8. – С. 63–67. 9. Довжик В.Г. Учет эксплуатационной влажности бетонов при расчете и нормировании их теплопроводности / В.Г. Довжик // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 6–10. 10. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. - Введ. 01.07.2007. - Минск.: Минстройарх, 2007. – 35 с.