

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГЛЕТТГЛИЦЕРИНОВЫХ КОМПОЗИТАХ

А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.Ю. Кирсанов, Е.М. Бородин

*Кафедра «Автоматизация и управление»,
ГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия»;
alexborr@pgta.ru*

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гапановой

Ключевые слова и фразы: композиционные материалы; математическое моделирование; оптимизация структуры и свойств; реология композитов; структурообразование; управление качеством.

Аннотация: Приведены результаты моделирования и исследования реологических характеристик композита на основе глеттглицеринового цемента. Обоснована динамическая модель реологических свойств глеттглицериновых композитов специального назначения. Исследовано влияние различных поверхностно-активных веществ на реологические и прочностные свойства композитов и влияние на реологические модели. Исследована модель реологических свойств. На основе анализа экспериментальных данных проверена адекватность предложенных моделей. Предложен новый метод структурно-параметрического синтеза моделей по видам преобразования координат, позволяющий производить автоматизированный выбор структуры нелинейной модели по совокупности экспериментальных данных. Созданные с применением указанных подходов новые материалы могут эффективно использоваться на различных объектах для защиты персонала и оборудования от проникающих излучений разной природы.

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема разработки новых технологий и материалов с повышенными радиационнозащитными свойствами как для ремонта действующих, так и для строительства новых сооружений атомной промышленности [1, 2].

Подобная задача не может быть решена без учета множества критериев окружающей среды, эксплуатационных характеристик материалов, показателей структуры и свойств, учета рецептуры и технологии, то есть композиционный материал необходимо рассматривать системно, как сложную техническую систему, испытывающую на себе комплекс воздействий и имеющую целый ряд управляемых параметров. Такой подход требует обобщения научных основ математического моделирования и многокритериального синтеза радиационнозащитных композиционных материалов (РЗКМ), а также разработки *математического аппарата анализа и синтеза РЗКМ, программных комплексов* и создания на их основе новых композиционных материалов со строго заданной структурой и свойствами.

По мнению авторов [9], исследование комплексного влияния различных факторов на реологические свойства композитов целесообразно проводить с исполь-

зованием методов теории управления и системного анализа – установление обобщенной зависимости изучаемого свойства от всего комплекса факторов, рассматривая *композит как сложную техническую систему*.

Анализ научно-технической литературы показывает, что эффективным сочетанием содержания тяжелых и легких элементов обладает глетглицериновое вяжущее, которое получают совмещением оксида свинца (глета) и водного раствора глицерина. Глетглицериновое вяжущее (ГГВ), которое также получило название глетглицериновый цемент (ГГЦ), является малоизученным быстротвердеющим органоминеральным вяжущим веществом, которое ранее предлагалось использовать [3] только для склеивания металлических и фарфоровых материалов, в качестве замазки, для футеровки различных аппаратов, работающих при повышенных температурах (до 250 °С) в условиях воздействия воды, соляной кислоты любой концентрации и разбавленной серной кислоты [3]. Авторами предлагается использовать глетглицериновое вяжущее для создания эффективных композиционных материалов для защиты от жесткого гамма-нейтронного ионизирующего излучения.

Важным требованием, предъявляемым практикой строительного производства к радиационнозащитным композиционным материалам, является *удобоукладываемость* смесей, зависящая от вязкости вяжущего, вида и дисперсности наполнителя, степени наполнения, интенсивности физико-химического взаимодействия на границе раздела фаз, условий приготовления и пр.

Для выяснения соотношения между жидкой (водный раствор глицерина) и твердой (оксид свинца) фазами (Ж/Т) при приготовлении ГГЦ был реализован двухфакторный девятиточечный композиционный план. Полученная зависимость прочности ГГЦ от жидкотвердого отношения X_1 и концентрации водного раствора глицерина X_2 имеет вид

$$R_{сж}(X_1, X_2) = 120 + 1,4X_1 + 13,018X_2 + 2,5X_1X_2 - 14,69X_1^2 - 20,94X_2^2,$$

а в нормализованных значениях представлена на рис. 1.

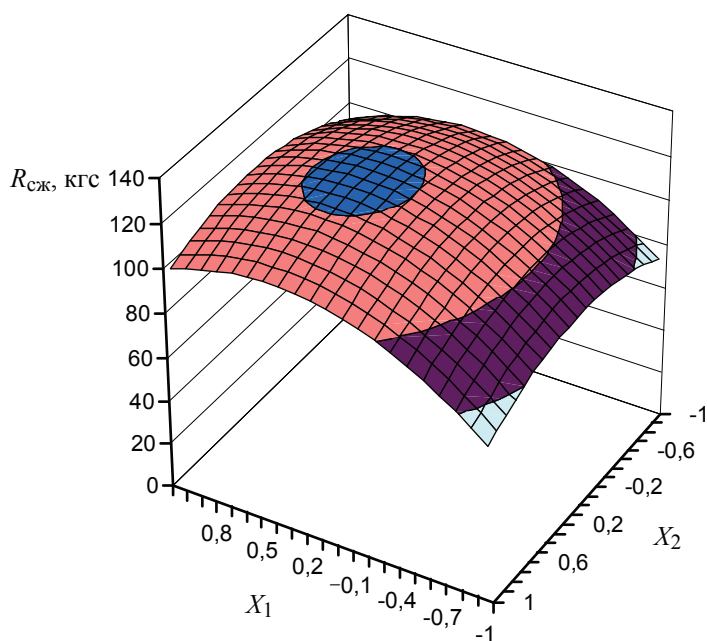


Рис. 1. Зависимость прочности ГГЦ от жидкотвердого отношения и концентрации водного раствора глицерина

Анализ проведенных экспериментов показывает, что разбавление глицерина водой позволяет значительно улучшить удобоукладываемость смесей и ускорить процессы схватывания и твердения. Уже через сутки после затворения прочность композиций достигает 75 % от максимальной прочности. Сроки схватывания ГГЦ связаны с вязкостью затворителя – глицерина, то есть с изменением условий, в которых происходит реакция твердения вяжущего. По-видимому, именно высокой вязкостью глицерина можно объяснить тот факт, что, будучи химически активным, 100%-й глицерин медленнее взаимодействует с PbO, а разбавленный водой – существенно быстрее. Максимальную прочность имеет ГГЦ с жидкотвердым соотношением 1:5 по массе и затворенный глицерином 85%-й концентрации (см. рис. 1). Водопоглощение такого цементного камня составляет 0,7–1,0 % по массе и 2,5–3,0 % по объему.

Первостепенным структурообразующим фактором, определяющим реологические характеристики ГГВ, является содержание оксида свинца (рис. 2).

Естественно, при наполнении глицерина оксидом свинца предельное напряжение сдвига композиции закономерно возрастает. Причем, при степенях наполнения от 1:2 до 1:10 по массе смесь классифицируется как литая и пластичная (изделия могут быть отформованы по вибролитьевой технологии), а при степенях наполнения от 1:10 до 1:12 по массе смесь жесткая, для укладки которой применима технология прессования.

На графике зависимости $\tau = f(\text{Ж/Т})$ (здесь Ж/Т – соотношение по массе 85%-го раствора глицерина (Ж) к оксиду свинца (Т)) можно выделить три (I, II, III) параметрические точки при Ж/Т = 1:5; 1:8; 1:10 по массе (см. рис. 2).

Эти точки соответствуют предельным концентрациям PbO, при которых наблюдаются структурные изменения ГГЦ. При Ж/Т < 1:5 поведение ГГВ мало отличается от реологических свойств механической смеси компонентов, подчиняющейся закону А. Эйнштейна

$$\tau = \tau_0(1 + \alpha \nu_f),$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига раствора глицерина; α – коэффициент; ν_f – объемная концентрация дисперсной фазы.

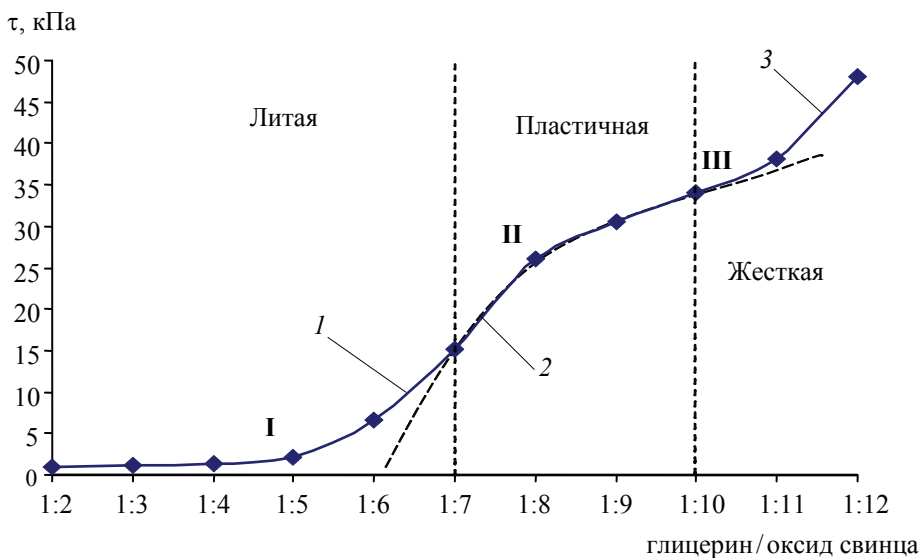
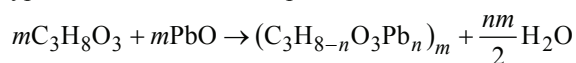


Рис. 2. Зависимость предельного напряжения сдвига ГГВ от количества оксида свинца

При $J/T > 1:5$ вследствие влияния граничных и объемных факторов наблюдается отклонение от закона А. Эйнштейна и избыточное количество оксида свинца выступает в качестве наполнителя.

Расчеты по уравнению химической реакции



показывают, что для образования глеттглицеринового цемента на одну массовую часть водного раствора глицерина необходимо около двух массовых частей оксида свинца. Остальное количество оксида свинца выступает в качестве дисперсного наполнителя. Отношение глицерин/оксид свинца, равное 1:5 по массе, соответствует глеттглицериновой композиции с хорошими реологическими характеристиками и высокими физико-механическими свойствами и рекомендуется авторами для получения особо тяжелых композитов для защиты от радиации с заданными структурой и свойствами с использованием вибролитьевой технологии.

Использование литых смесей в радиационной технике имеет естественные технические и экономические ограничения, устранение которых достигается введением наполнителей, имеющих эффективный химический состав. В работах школы А.П. Прошина [4–9] доказана целесообразность применения в качестве дисперсной фазы полиминерального отхода стекольной промышленности, содержащего до 71 % PbO и средней плотность 5100 кг/м³.

При проведении экспериментов использовались ранее полученные авторами результаты [4, 6]. Для наполнения ГГВ использовалась двухфракционная смесь отхода стекольной промышленности при массовом соотношении фракций с размерами частиц 1,25...2,5 мм : 0,05...0,14 мм = 3 : 2. Такая смесь имеет наибольшую насыпную плотность, наименьшие пустотность и энергозатраты на получение однородной смеси.

Влияние степени наполнения ГГЦ композитов наполнителем серии ТФ на пластическую прочность представлена на рис. 3.

Анализ результатов эксперимента позволяет отнести ГГЦ к так называемым структурированным системам (характеризующимся некоторой начальной прочностью системы) и применить к ним многие положения классической реологической и полиструктурной теорий.

Общий вид зависимости пластической прочности от степени наполнения (см. рис. 2, 3) говорит о том, что в ГГЦ композитах создается пространственная структура за счет действия сил молекулярного взаимодействия между слоями связующего, покрывающего частицы наполнителя. Пленки жидкой фазы создают непрерывную пространственную сетку в структуре ГГЦ, придавая ему свойства пластичности и способствуя течению при приложении внешних силовых воздействий.

При увеличении степени наполнения происходит увеличение структурной вязкости системы, как бы разрыхление структуры, ослабляются связи между ее отдельными элементами, а в результате уменьшается количество сплошной среды и происходит утончение проскальзывающих слоев в полимерной матрице, что приводит к значительному повышению сопротивления сдвигу. В системе не только повышается вязкое трение, но и возникает сухое трение между зёрнами наполнителя.

Объемное наполнение $v_f \geq 0,3$ на рис. 3 соответствует состоянию вязкого вещества в виде тонких ориентированных сплошных пленок, полностью обволакивающих частицы наполнителей при минимальном содержании объемного связующего. Исследуемые композиции относятся к высоконаполненным (далеко за пределами порога перколяции). В этом случае практически всё связующее находится в пленочной фазе, а структурный каркас плотно упакован и близок к жесткой решеточной структуре. Именно такие композиции являются «оптимально наполненными» и рекомендуются авторами для создания эффективных радиационнозащитных мастик и пресс-композитов.

Пластическая прочность, кПа

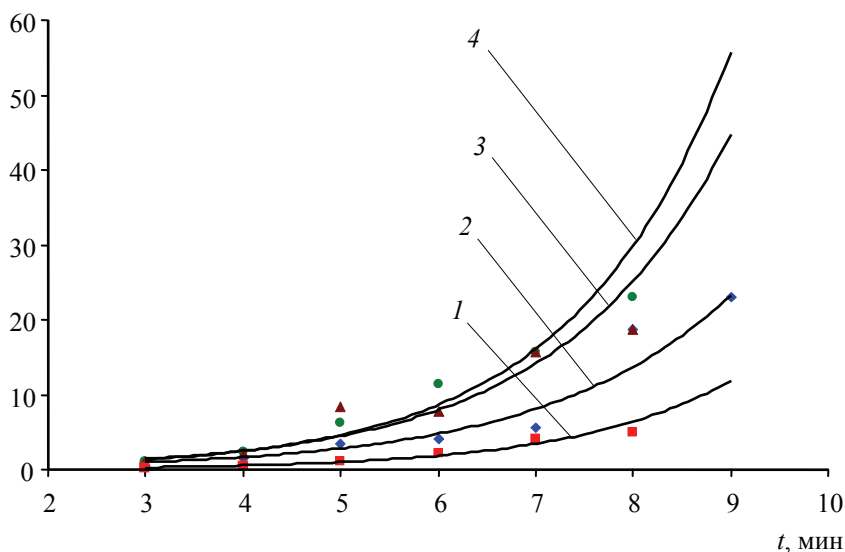


Рис. 3. Зависимость пластической прочности от степени наполнения ГГЦ композитов наполнителем серии ТФ:

- 1 – ненаполненная композиция ($y = 0,0457e^{0,6179x}$, $R^2 = 0,9769$);
 2 – объемная степень наполнения $v_f = 0,1$ ($y = 0,2003e^{0,5284x}$, $R^2 = 0,9613$);
 3 – $v_f = 0,2$ ($y = 0,2499e^{0,5765x}$, $R^2 = 0,9077$); 4 – $v_f = 0,3$ ($y = 0,2072e^{0,6215x}$, $R^2 = 0,9565$)

Дальнейшее увеличение степени наполнения приводит к дефициту связующего и росту пористости материала. При этом часть связующего переходит в дискретное состояние, что приводит к дефициту вяжущего и появлению не смоченных частиц наполнителя. По аналогии с цементными смесями такую смесь можно назвать «жесткой». При использовании «жестких» смесей для получения ГГЦ композитов с высокими физико-механическими свойствами в процессе формирования структуры необходимо прикладывать достаточно большие внешние силовые воздействия (прессование и т.д.).

Согласно [6] факторами, на 80 % определяющими качество композиционных материалов, являются удельная поверхность наполнителя $S_{уд}$ и объемная степень наполнения v_f . Важен также временной фактор t , характеризующий жизнеспособность смеси. При $S_{уд} = \text{const}$ основными структурообразующими факторами являются v_f и t . По методике [4, 5], аппроксимацию $\tau = \tau(v_f, t)$ проводят в виде

$$\tau = Ae^{k_1(v_f)(v_f - v_{f \min}) + k_2(t)(t - t_{\min})},$$

где $v_{f \min} < v_f < v_{f \max}$; $t_{\min} < t < t_{\max}$; $A = \sum_{i=1}^n a_1 \sum_{j=1}^m a_2$;

$$\sum_{i=1}^n a_1 \text{ из } \tau(v_f, t = \text{const}) = \sum_{i=1}^n a_1 e^{\sum_{j=1}^n b_1 v_f};$$

$$\sum_{j=1}^m a_2 \text{ из } \tau(t, v_f = \text{const}) = \sum_{i=1}^m a_2 e^{\sum_{i=1}^m b_2 t};$$

$$k_1(v_f) = \sum_{i=1}^n a v_f + \sum_{i=1}^n b, \quad k_2(t) = \sum_{i=1}^m at + \sum_{i=1}^m b.$$

Для ГГВ композитов при $n = 3$, $m = 6$, $0,1 < v_f < 0,3$ и $3 < t < 8$, $\tau = \tau(v_f, t)$ принимает вид

$$\tau = 16,65e^{(0,43v_f + 0,48)(v_f - 0,1) + (3,34t - 13,94)(t - 3)}$$

(рис. 4).

С применением диаграммы реологических свойств композиционных материалов можно проводить обоснованный выбор рецептурно-технологических параметров с учетом **синергетического эффекта** от комплексного влияния выбранных факторов на процессы структурообразования композиционных материалов [6].

Анализ данных (см. рис. 4) показывает, что введение наполнителя приводит к закономерному снижению подвижности и интенсификации процесса структурообразования. Так, при содержании наполнителя в количестве $v_f = 0,1$ скорость изменения предельного напряжения сдвига во времени, характеризуемая величиной коэффициента b уравнения $\tau = A \exp(bt)$, имеет значение $0,49$, а при $v_f = 0,3 - b = 0,61$, что свидетельствует о том, что наполнитель оказывает структурообразующую функцию.

Композиции с объемным наполнением $v_f \approx 0,3$ обладают приемлемыми реологическими свойствами и наилучшими физико-механическими характеристиками и рекомендуются авторами для создания эффективных радиационнозащитных мастик на основе глетглицеринового вяжущего.

Как известно, рациональным способом управления технологическими свойствами композитов является введение модифицирующих добавок. Для выявления влияния ПАВ использовали нитрат свинца $Pb(NO_3)_2$, гидрофобизирующую жидкость ГЖ 136-41, водный раствор щелочного стока производства капролактама ЩСПК, суперпластификатор С-3 и ПАВ анионоактивного типа.

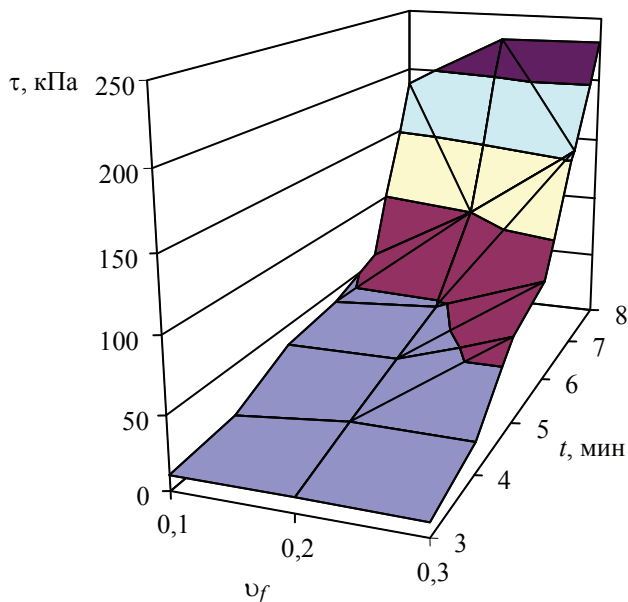


Рис. 4. Диаграмма реологических свойств ГГЦ композитов, наполненных полиминеральным отходом

Для определения вида модифицирующей добавки и ее концентрации использовали критериальный подход [11], в соответствии с которым качество материала оценивали по обобщенному критерию качества

$$k_D = \sqrt[4]{k_{\Pi} k_{\text{тр}} k_{\rho} k_{\text{нс}}} = \sqrt[4]{\frac{\Pi_{\min}}{\Pi_i} \frac{k_{\text{тр}i}}{k_{\text{тр} \max}} \frac{\rho_{mi}}{\rho_{m \max}} \frac{t_{\text{нс}}}{t_{30}}},$$

где $k_{\text{тр}}$ – критерий, учитывающий влияние трещиностойкости $k_{\text{тр}}(C_D)$, $k_{\text{тр}} = R_{\text{изг}}/R_{\text{сж}}$; $R_{\text{изг}}$ – предел прочности при изгибе; $R_{\text{сж}}$ – предел прочности при сжатию; k_{Π} – критерий, учитывающий влияние концентрации добавки C_D на пористость материала $\Pi(C_D)$; k_{ρ} – то же, на среднюю плотность $\rho_m(C_D)$; $k_{\text{нс}}$ – то же, на начало схватывания смеси; t_{30} – граничное значение показателя $t_{\text{нс}}$, равное 30 мин.

На рис. 5 показано влияние добавки С-3, замедляющей процесс структурообразования.

Все пластограммы, иллюстрирующие влияние модифицирующих добавок, описываются уравнением вида

$$\tau = Ae^{bt},$$

где τ – предельное напряжение сдвига; t – время, с; A и b – постоянные коэффициенты.

Коэффициент A характеризует влияние добавок на подвижность ГГВ при $t = t_{\min}$, а коэффициент b – на интенсивность изменения пластической прочности, то есть на интенсивность процесса структурообразования ГГВ.

Значения коэффициентов A и b для всех видов модификаторов приведены в табл. 1.

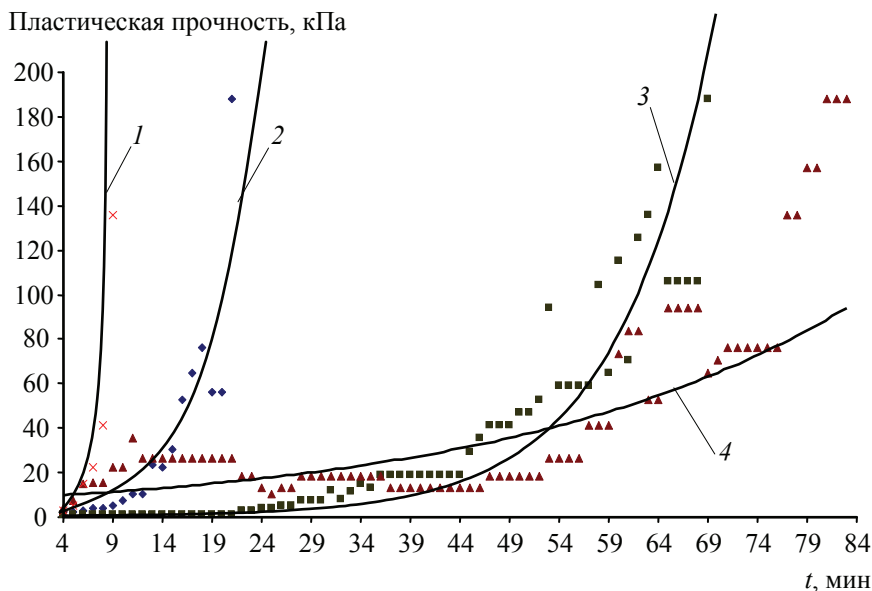


Рис. 5. Зависимость пластической прочности от концентрации С-3:

1 – композиция без модификатора; 2 – 0,5 % от массы глицирина;

3 – 1 % от массы глицирина; 4 – 5 % от массы глицирина

Таблица 1

Влияние модификаторов на пластическую прочность ГГВ

Вид модификатора	Концентрация, % от массы глицерина	Коэффициенты	
		<i>A</i>	<i>b</i>
Без модификатора	0	0,136	0,457
ЩСПК	0,1	1,007	0,256
	0,2	1,502	0,238
	0,5	0,008	0,657
	1	0,720	0,156
	2,5	0,234	0,180
	5	0,033	0,281
С-3	0,25	0,022	0,232
	0,5	0,554	0,090
	1	0,092	0,152
	5	0,002	0,221
ПАВ анионного типа	0,5	0,140	0,289
	1	0,116	0,075
	5	1,535	0,029

Анионные ПАВ значительно снижают величину пластической прочности. Это происходит, во всей видимости, из-за экранирующего действия ПАВ, располагающихся на поверхности частиц оксида свинца, что препятствует химической реакции твердения глетглицеринового вяжущего, отодвигая начало срока схватывания и увеличивая удобоукладываемость глицериновых композиций. Помимо этого, продукты диссоциации анионного ПАВ реагируют с глицерином, снижая его химическую активность, что препятствует химической реакции твердения глетглицеринового вяжущего, отодвигая начало срока схватывания и увеличивая удобоукладываемость глицериновых композиций.

Использование модификации ГГВ анионными ПАВ позволяет получать удобоукладываемые смеси на протяжении 50...70 мин. Такое время является достаточным для применения практически любой технологии укладки растворных смесей.

Кроме этого, модификация ГГЦ позволяет снизить расход дорогого связующего и увеличить степень наполнения композитов. Использование более радиационноустойчивых компонентов совместно с вышеперечисленными факторами создает благоприятные условия для получения композитов с повышенными защитными свойствами от действия ионизирующих излучений.

Одним из наиболее трудоемких и нерешенных до настоящего времени в материаловедении этапов обработки экспериментально-статистической информации является синтез математических моделей (ММ) и выбор вида функциональных зависимостей. Общие формализованные методы такого выбора до настоящего времени не разработаны. Аппроксимация полиномиальными моделями не отражает физической сущности протекающих в композитах процессов и не является адекватной при математическом описании структур строительных материалов. Поэтому в данной работе на основе полученных данных о реологических характеристиках ГГВ предпринята попытка решения задачи систематизации функциональных зависимостей, синтеза функционально полных и линейно независимых

наборов функций, нахождения эффективных оценок, а также разработки методик построения и выбора вида ММ для РЗКМ [10].

Построение нелинейных ММ микроуровня РЗКМ на основе экспериментально-статистической информации включает этап выбора модели, то есть определение ее структуры. В работе ставится задача создания системы автоматизированного выбора структуры нелинейной модели, что определяет необходимость автоматического подбора нужной функциональной зависимости по совокупности экспериментальных данных. Для этого предлагается выбор моделей проводить на базе системы функций с заданным набором преобразования координат.

Для обеспечения автоматического выбора структуры ММ совокупность моделей должна удовлетворять двум противоречивым требованиям: содержать все возможные ММ с использованием заданных функциональных преобразований и не иметь моделей с одинаковыми типами функциональных преобразований.

Совокупность моделей на заданном наборе нелинейных преобразований координат, удовлетворяющих сформулированным требованиям, назовем **функционально полным набором моделей**.

Таким образом, под функционально полным набором математических моделей будем понимать *совокупность моделей, объединяющих все возможные математические модели, которые могут быть синтезированы на заданном наборе нелинейных преобразований координат и одновременно среди которых нет хотя бы одной пары функций, получаемой с использованием одних и тех же преобразований координат*.

Предложенный **метод структурно-параметрического синтеза моделей** по видам преобразования координат состоит в формировании функционально полного набора пакетов ММ по заданным видам функциональных преобразований $\Psi(x)$ и $\varphi(y)$ определенного x и результирующего y признаков

$$\left. \begin{array}{l} \varphi(y) \\ \Psi(x) \end{array} \right\} \Rightarrow y = \varphi^{-1}(a_0 + a_1\Psi(x))$$

и в организации для каждого пакета множества линейно зависимых ММ

$$\varphi^{-1}(a_0 + a_1\Psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1x)\},$$

наиболее полно отражающих физические закономерности исследуемого объекта.

Таким образом, предлагаемый метод синтеза ММ может быть представлен следующими преобразованиями

$$\left. \begin{array}{l} \varphi(y) \\ \Psi(x) \end{array} \right\} \Rightarrow y = \varphi^{-1}(a_0 + a_1\Psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1x)\}.$$

При автоматизированном синтезе функционально полного набора линейно независимых ММ с использованием n видов преобразования координат возможно построение n^2 однофакторных моделей макроуровня РЗКМ.

С целью расширения набора функций и возможностей учета различных нелинейностей в моделях предлагается проводить синтез моделей с многократным использованием одних и тех же видов преобразования координат

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_n(\varphi_{n-1}(\dots\varphi_2(\varphi_1(y)))) \\ \Psi_m(\Psi_{m-1}(\dots\Psi_2(\Psi_1(x)))) \end{array} \right\} \Rightarrow y = \varphi_n^{-1}(\dots\varphi_2^{-1}(\varphi_1^{-1}(a_0 + a_1\bar{\Psi}(x))))),$$

где n и m – количество уровней преобразований результирующего и определенного признаков соответственно.

Заключение

Проведенные исследования позволили сформировать гипотезу о механизме влияния ПАВ на структурообразование глетглицериновых цементов, построить динамическую модель реологических параметров композитов, определить оптимальные концентрации модификаторов.

Предложен новый метод многокритериального структурно-параметрического синтеза моделей по видам преобразования координат. Данный подход позволяет решить одну из основных проблем построения моделей с использованием известных методов определения параметров моделей в преобразованных координатах – неэффективность получаемых оценок ММ, и разработать метод расчета параметров преобразованных нелинейных ММ, обеспечивающий эффективность, состоятельность и несмещенность оценок моделей в непреобразованных координатах.

Изложенные теоретико-экспериментальные исследования позволили разработать составы глетглицериновых композитов со строго заданными параметрами структуры и свойств и высокими защитными свойствами.

Работа выполнена при поддержке гранта АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» на тему «Математическое моделирование и многокритериальный синтез строительных материалов специального назначения», рег. № 2.1.2/5688.

Список литературы

1. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / под ред. Н.Г. Гусева. – М. : Энергоатомиздат, 1969. – 367 с.
2. Защита от радиоактивных излучений / под ред. А.В. Николаева. – М. : Металлургиздат, 1961. – 404 с.
3. Вяжущие материалы / под общ. ред. А.А. Пашенко. – Киев : Вища школа, 1975. – 444 с.
4. Бормотов, А.Н. Исследование реологических свойств композиционных материалов специального назначения методами системного анализа / А.Н. Бормотов, Е.В. Королев, А.П. Прошин // Вестн. Отд-ния строит. наук Рос. акад. архитектуры и строит. наук. – 2004. – № 8. – С. 327–335.
5. Бормотов, А.Н. Исследование реологических свойств композиционных материалов методами системного анализа / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 916–925.
6. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов / А.П. Прошин [и др.] // Изв. вузов. Стр-во. – 2004. – № 10. – С. 15–20.
7. Теоретические основы выбора вида заполнителя для каркасных бетонов / Ю.М. Баженов [и др.] // Изв. вузов. Стр-во. – 2005. – № 5. – С. 38–42.
8. Строительные растворы и бетоны для защиты от радиации / А.П. Прошин [и др.]. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та архитектуры и строительства, 2005. – 288 с.
9. Разработка и управление качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами для защиты от радиации / А.П. Прошин [и др.] // Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03, Москва, 29–31 янв. 2003 г. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН. – М., 2003. – С. 2437–2460.

10. Прошин, И.А. Структурно-параметрический синтез математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Н.Н. Прошина – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2007. – 178 с.

11. Глетглицериновые композиты для защиты от радиации / Е.В. Королев [и др.] // Строит. материалы. – 2009. – № 12. – С. 69–71.

Modelling of Rheological Processes in Litharge Glycerol Composites

A.N. Bormotov, I.A. Proshin, A.Yu. Kirsanov, E.M. Borodin

Department of Automation and Control, PSTA, alexborr@pgta.ru

Key words and phrases: composite materials; mathematical modelling; optimization of structure and properties; quality management; rheological composites; structuring.

Abstract: The results of modelling and research on rheological characteristics of a composite on the basis litharge glycerol cement are presented. The dynamic model of rheological properties of litharge glycerol composites of special purpose is justified. The influence of surfactant admixtures on rheological and strength properties of composites and the influence on rheological models are investigated. The model of rheological properties is investigated. On the basis of the analysis of experimental data the adequacy of the proposed models is checked. The authors offer a new method of structural-parametrical synthesis of models by kinds of transformation of the coordinates, enabling to make the automated choice of structure of nonlinear model on a set of experimental data. The new materials produced through the application of the specified approaches can be used effectively on various objects for the personnel and the equipment protection from penetrating radiations of a different nature.

Modellierung der reologischen Prozesse in den glättglyzerinischen Kompositen

Zusammenfassung: Es werden die Ergebnisse der Modellierung und der Untersuchung der rheologischen Charakteristiken des Komposites auf Grund des glättglyzerinischen Zementes angeführt. Es wird das dynamische Modell der rheologischen Eigenschaften der glättglyzerinischen Kompositen der speziellen Zweckbestimmung erhärtet. Es wird die Einwirkung der verschiedenen PAW auf die rheologischen und festigen Eigenschaften der Kompositen und die Einwirkung auf die rheologischen Modelle untersucht. Es wird das Modell der rheologischen Eigenschaften untersucht. Auf Grund der Analyse der experimentellen Angaben wird die Adequatheit der vorgeschlagenen Modelle geprüft. Die Autoren schlagen die neue Methode der strukturell-parametrischen Synthese der Modelle nach den Arten der Koordinatentransformation vor. Diese Methode erlaubt es, die automatisierten Auswahl der Struktur des nichtlinearen Modells insgesamt der experimentellen Angaben durchzuführen. Die mit Benutzung der angegebenen Herangehen geschaffenen neuen Stoffe können an den verschiedenen Objekten zum Schutz des Personals und der Ausrüstung von den durchdringenden Strahlungen effektiv benutzt werden.

Modélage des processus rhéologiques dans les composites de litharge-glycérine

Résumé: Sont cités les résultats du modélage et de l'étude des caractéristiques du composite à la base du ciment de litharge-glycérine. Est argumenté le modèle dynamique des propriétés rhéologiques des composites de litharge-glycérine de la destination spéciale. Est étudiée l'influence de différentes substances actives superficielles sur les propriétés rhéologiques et celles de résistance ainsi que l'influence sur les modèles rhéologiques. Est étudié le modèle des propriétés rhéologiques. A la base de l'analyse des données expérimentales est vérifiée l'adéquation des modèles proposés. La nouvelle méthode est proposée par les auteurs, celle de la synthèse structurelle et paramétrique des modèles selon les types de la transformation des coordonnées permettant d'effectuer le choix automatisé de la structure du modèle non linéaire d'après l'ensemble des données expérimentales. De nouveaux matériaux créés avec l'emploi des approches indiquées peuvent être effectivement utilisés aux différentes unités pour la protection du personnel et de l'équipement des émissions pénétrantes de la nature différente.

Авторы: *Бормотов Алексей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление»; *Прошин Иван Александрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление»; *Кирсанов Александр Юрьевич* – аспирант кафедры «Автоматизация и управление»; *Бородин Евгений Михайлович* – аспирант кафедры «Автоматизация и управление», ГОУ ВПО «ПГТА».

Рецензент: *Мачнев Валентин Андреевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика и высшая математика», ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».
