

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.105678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОЦЕМЕНТНОЙ ДИСПЕРСИИ

Гузий С. Г.

1. Введение

В последние годы все большее распространение получают материалы на основе щелочь активированных вяжущих – геоцементов или щелочных гидроалюмосиликатов. В основном рассматриваются основные свойства самих вяжущих – процессы структурообразования, прочность, морозостойкость и др. [1–12]. Изредка можно встретить публикации, направленные на изучение специальных свойств (термостойкость, огнестойкость, коррозионная стойкость и др.) геоцементных материалов [13–23], в том числе и свойств, характерных для защитных покрытий – адгезия, технологическая вязкость и другие [24]. Однако в приведенных публикациях авторы совсем не касаются изучению коллоидно-химических свойств геоцементных вяжущих, как основы для получения высоконаполненных композитов. Поэтому исследования, рассмотренные в данной работе, являются актуальными и направлены на изучение влияния органоминеральных на коллоидно-химические свойства геоцементных дисперсий.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объект исследования – геоцементная дисперсия гейландитоклиноптилолитового состава структурной формулы $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, модифицированная органоминеральной добавкой. Данная добавка состоит из:

– редиспергируемого в воде дисперсионного порошка тройного сополимера этилена, виниллаурата и винилхлорида – Vinnapas RI-551Z (Vinnapas 8031 H, Wacker Polymer Systems, Германия);

– микрокальцита фракции 2 мкм (Nigtas, Турция);

– глиноземистого цемента Istra 40 (HeidelbergCement, Германия), взятых в определенных количественных отношениях. Положительным от применения органоминеральной добавки, помимо эластичности, гидрофобности и прочности, является улучшение коллоидно-химических свойств геоцементной дисперсии, а именно:

– краевого угла смачивания;

– поверхностного натяжения;

– работ адгезии, когезии и смачивания;

– коэффициентов смачивания и растекания.

Для исследований в данной работе использовали геоцементную дисперсию состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, полученную на основе метакаолина, микрокремнезема и натриевого растворимого стекла. Оптимизацию состава органоминеральной добавки, влияющей на коллоидно-химические свойства геоцементной дисперсии выполнили с помощью трехфакторного симплекс-центрального метода планирования эксперимента в математической среде Statistica 12.0.

В качестве варьируемых факторов выбрали количество добавок, %: RI-551Z (фактор X1), CaCO₃ (фактор X2) и AC (фактор X3), изменения которых приведены в табл. 1. В качестве выходных параметров выбраны: условная вязкость, плотность, угол смачивания, поверхностное натяжение, работа адгезии, когезии и смачивания, коэффициенты смачивания и растекаемости.

Результаты планирования эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 1

Факторы варьирования

Факторы, вид	Натуральный	Кодированный	Уровни варьирования		Интервал варьирования
			0	1	
RI-551Z	%	X1	2	6	4
CaCO ₃	%	X2	1.1	3.1	2
AC	%	X3	2.8	7.8	5

Примечание: RI-551Z (Vinnapas 8031 H) редиспергируемый в воде дисперсионный порошок тройного сополимера этилена, виниллаурата и винилхлорида; CaCO₃ – микрокальцит фр. 2 мкм; AC – глиноземистый цемент Istra 40

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ т/п	Матрица плана в кодированных единицах			Матрица плана в натуральных единицах		
	X1	X2	X3	RI-551Z, %	CaCO ₃ , %	AC, %
1	0.00	1.00	0.00	2.00	3.10	2.80
2	0.33	0.33	0.33	3.33	1.77	4.47
3	1.00	0.00	0.00	6.00	1.10	2.80
4	0.50	0.50	0.00	4.00	2.10	2.80
5	0.00	0.00	1.00	2.00	1.10	7.80
6	0.50	0.00	0.50	4.00	1.10	5.30
7	0.00	0.50	0.50	2.00	2.10	5.30

Отдельно изучены реокинетические свойства составляющих органоминеральной добавки. Но отсутствуют данные о комплексном или совместном органоминеральной добавки на коллоидно-химические свойства геоцементной дисперсии, как основы для получения защитных покрытий, клеев и других видов композиционных материалов.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – изучение коллоидно-химических свойств геоцементной дисперсии, модифицированной комплексной органоминеральной добавкой.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Произвести оптимизацию состава комплексной органоминеральной добавки.

2. Определить физические и коллоидно-химические свойства геоцементной дисперсии.

4. Исследование существующих решений проблемы

Среди основных направлений устранения пробела в изучении коллоидно-химических свойств геоцементных дисперсий, выявленных в ресурсах мировой научной периодики, могут быть выделены:

– качество связующего вещества, которое характеризуется вязкостью, поверхностным натяжением, наличием гелей и микрогелей, размером частиц, коллоидной стабильностью и адгезионной прочностью. От вида и состава этих показателей зависит консистенция как самого связующего, так и прочность, твердость и долговечность материалов на его основе [1–12];

– зависимость величины поверхностного натяжения неотвержденных минеральных связующих от природы растворителя. С увеличением концентрации растворителей поверхностное натяжение неотвержденных связующих снижается, причем тем значительно, чем меньше поверхностное натяжение взятых растворителей [25–27].

В частности, работы [28–31] посвящены изучению явлений адгезии, смачиваемости и растекаемости на границе раздела конденсированных фаз. Работу адгезии W_a авторы рассчитывали на основании экспериментальных значений поверхностного натяжения на границе жидкость – газ (σ) и краевого угла смачивания (θ) по уравнению Дюпре-Юнга:

$$W_a = \sigma \times (1 + \cos \theta). \quad (1)$$

Работу когезии определяли по затратам энергии на обратимый изотермический разрыв сплошности связующего по сечению, равному единице площади. Так как при разрыве образуется поверхность в две единицы площади, то работа когезии равна удвоенному значению поверхностного натяжения на границе с газом:

$$W_k = 2\sigma. \quad (2)$$

Работу смачивания рассчитывали по формуле:

$$W_{cm} = \sigma \times \cos \theta. \quad (3)$$

Коэффициенты смачивания и растекаемости определяли по отношению работ адгезии к когезии и их разности:

$$S = W_a / W_k = (1 + \cos \theta) / 2, \quad (4)$$

$$f = W_a - W_k = \sigma \times (\cos \theta - 1). \quad (5)$$

Растекание жидкости по твердой подложке не может быть положительной величиной, так как $\cos \theta - 1 < 0$, что отмечено в работах [7, 16, 17, 30, 31].

Авторами [27] показано, что углубление знаний по коллоидным свойствам связующих в значительной мере упрощает протекание технологических процессов изготовления материалов, а также понимание степени их наполнения.

Альтернативный вариант решения проблемы, изложенный в [7, 16, 17, 29], не дает четкой картины по определению коллоидных характеристик связующих в широком диапазоне концентраций вводимых добавок, влияющих на эти свойства.

По мнению авторов работ [1, 7, 18, 25–27], получить более корректные коллоидные характеристики вяжущих возможно только с использованием современных приборов [32].

В работах [7, 24–29], посвященных изучению вязкости дисперсий, показан основной недостаток капиллярных вискозиметров, определяющих параметры структурирования суспензий.

Рассматривались в [25, 29] пути, направленные на совершенствование подходов к расчету коллоидных свойств суспензий.

Таким образом, результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что понимание характера проявления коллоидно-химических характеристик суспензий приведет к получению качественных и долговечных композиционных материалов, повысит степень их наполнения и, как следствие, область применения.

5. Методы исследований

Для определения поверхностного натяжения и краевого угла смачивания использовали традиционные методы коллоидной химии [25, 26, 29–31] – стагмометрический метод (метод счета капель) и метод лежащей капли. Предполагается, что в момент отрыва сила поверхностного натяжения равна:

$$F=2\pi \times R \times \sigma, \quad (6)$$

где R – радиус отверстия, из которого вытекают капли; σ – поверхностное натяжение жидкости.

В то же время сила поверхностного натяжения равна силе тяжести:

$$P=m \times g, \quad (7)$$

где m – масса одной капли.

То есть,

$$2\pi \times R \times \sigma = m \times g. \quad (8)$$

Измерить точно радиус отверстия капилляра практически невозможно, поэтому использовали сравнительный способ при известном поверхностном натяжении стандартной жидкости, например, воды:

$$\sigma_0/m_0 = \sigma_1/m_1 = g/(2\pi \times R) = \text{const}, \quad (9)$$

где σ_0 , σ_1 – поверхностное натяжение воды и исследуемой жидкости соответственно, m_1 и m_0 – масса одной капли воды и исследуемой жидкости соответственно.

Косинус краевого угла смачивания рассчитывали по формуле:

$$\cos\theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}. \quad (10)$$

Погрешность методов составляет 10 %. В качестве подложки выступала пластинка черного металла, очищенная от налета ржавчины.

6. Результаты исследований

В результате оптимизации получены математические модели, характеризующие влияние концентраций составляющих органоминеральной добавки на изменения:

– условной вязкости, η , сек (ВЗ-5):

$$v = 185x_1 + 93x_2 + 101x_3 - 56x_1x_2 - 80x_1x_3 - 36x_2x_3 + 345x_1x_2x_3 + 0;$$

– плотности геоцементной дисперсии, ρ , g/cm³:

$$v = 1.575x_1 + 1.571x_2 + 1.766x_3 + 0.06x_1x_2 - 0.274x_1x_3 - 0.09x_2x_3 - 0.123x_1x_2x_3 + 0;$$

– краевого угла смачивания, $\cos\theta$:

$$v = 0.3436x_1 + 0.6746x_2 + 0.509x_3 + 0.296x_1x_2 + 0.2904x_1x_3 - 0.2068x_2x_3 - 2.3934x_1x_2x_3 + 0;$$

– поверхностного натяжения σ , мН/м:

$$v = 114.5x_1 + 114.21x_2 + 128.39x_3 + 4.38x_1x_2 - 19.9x_1x_3 - 6.56x_2x_3 - 8.91x_1x_2x_3 + 0;$$

– работа адгезии, W_a , мН/м:

$$v = 153.84x_1 + 191.26x_2 + 204.14x_3 + 40.88x_1x_2 - 17.64x_1x_3 - 53.64x_2x_3 - 261.15x_1x_2x_3 + 0;$$

– работа когезии W_k , мН/м:

$$v = 229x_1 + 228.42x_2 + 256.78x_3 + 8.76x_1x_2 - 39.8x_1x_3 - 13.12x_2x_3 - 17.82x_1x_2x_3 + 0;$$

– работа смачивания W_w , мН/м:

$$v = 39.34x_1 + 77.05x_2 + 65.35x_3 + 36.5x_1x_2 + 23.06x_1x_3 - 26.28x_2x_3 - 283.44x_1x_2x_3 + 0.$$

Коэффициентов:

– смачивания s :

$$v = -0.67x_1 - 0.84x_2 - 0.79x_3 - 0.14x_1x_2 - 0.08x_1x_3 + 0.18x_2x_3 + 1.11x_1x_2x_3 + 0;$$

– растекаемости f , мН/м:

$$v = -75.16x_1 - 37.16x_2 - 52.64x_3 + 32.12x_1x_2 + 22.16x_1x_3 - 40.52x_2x_3 - 243.33x_1x_2x_3 + 0.$$

Анализ математических моделей показал, что на изменения значений выходных параметров, отображенных в табл. 3, а именно:

– условной вязкости;

– плотности;

– угла смачивания;

– поверхностного натяжения;

– работ адгезии, когезии и смачивания геоцементных дисперсий,

влияют факторы $X_1 \dots X_3$, которые являются значимыми. Также существенное влияние имеет совместное действие факторов, соответственно, $x_1x_2x_3$, x_1x_2 , x_1x_3 и x_2x_3 .

На коэффициенты смачивания и растекаемости геоцементных дисперсий значительное влияние оказывает только совместное действие факторов $x_1x_2x_3$.

Графическая интерпретация моделей приведена на рис. 1.

Таблица 3

Коллоидно-химические свойства неотвержденных геоцементных дисперсий

№ т/п	η , сек	ρ , г/см ³	$\cos\theta$	σ , мН/м	W_a , мН/м	W_k , мН/м	W_w , мН/м	s	f , мН/м
1	93	1.571	0.6746	114.21	191.26	228.42	77.05	-0.84	-37.16
2	120	1.599	0.4626	116.25	170.03	232.50	53.78	-0.73	-62.47
3	185	1.575	0.3436	114.50	153.84	229.00	39.34	-0.67	-75.16
4	125	1.588	0.5831	115.45	182.77	230.90	67.32	-0.79	-48.13
5	101	1.766	0.5090	128.39	204.14	256.78	65.35	-0.79	-52.64
6	123	1.602	0.4989	116.47	174.58	232.94	58.11	-0.75	-58.36
7	88	1.646	0.5401	119.66	184.29	239.32	64.63	-0.77	-55.03
К	72	1.564	0.6894	113.70	192.08	227.40	78.38	-0.85	-34.60

Примечание: η – условная вязкость;

ρ – средняя плотность;

$\cos\theta$ – косинус краевого угла смачивания;

σ – поверхностное натяжение;

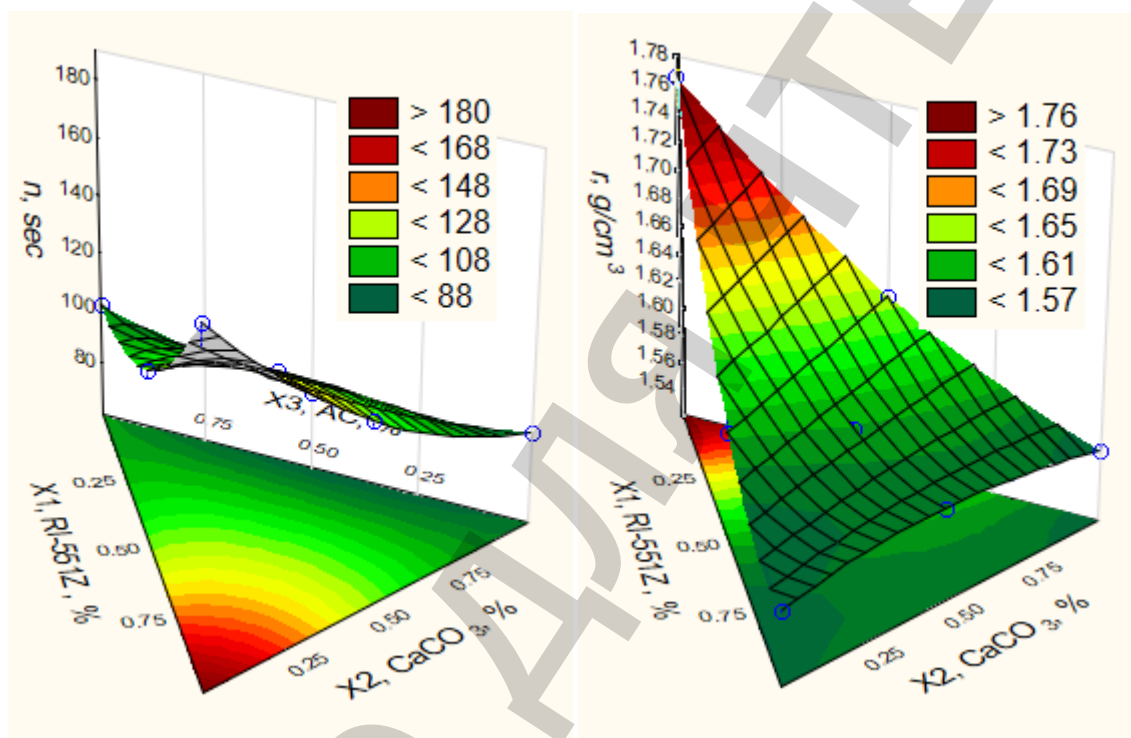
W_a – работа адгезии;

W_k – работа когезии;

W_w – работа смачивания;

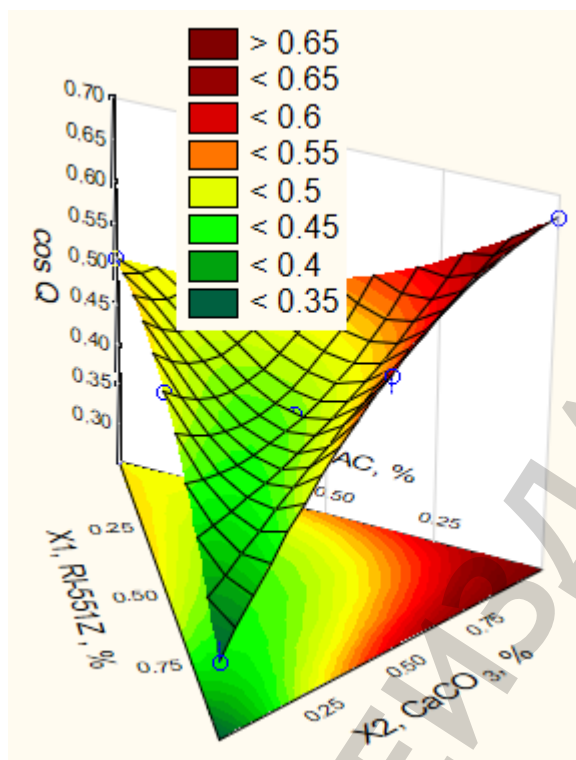
S – коэффициент смачивания;
f – коэффициент растекания;
K – контрольный состав.

При анализе тернарных поверхностей влияния концентраций составляющих комплексной органоминеральной добавки на свойства выходных параметров (рис. 1, 2) прослеживается связь между условной вязкостью и коэффициентом смачивания. А также между углом смачивания, работами адгезии, смачивания и коэффициентом растекаемости и между плотностью, поверхностным натяжением и работой когезии.



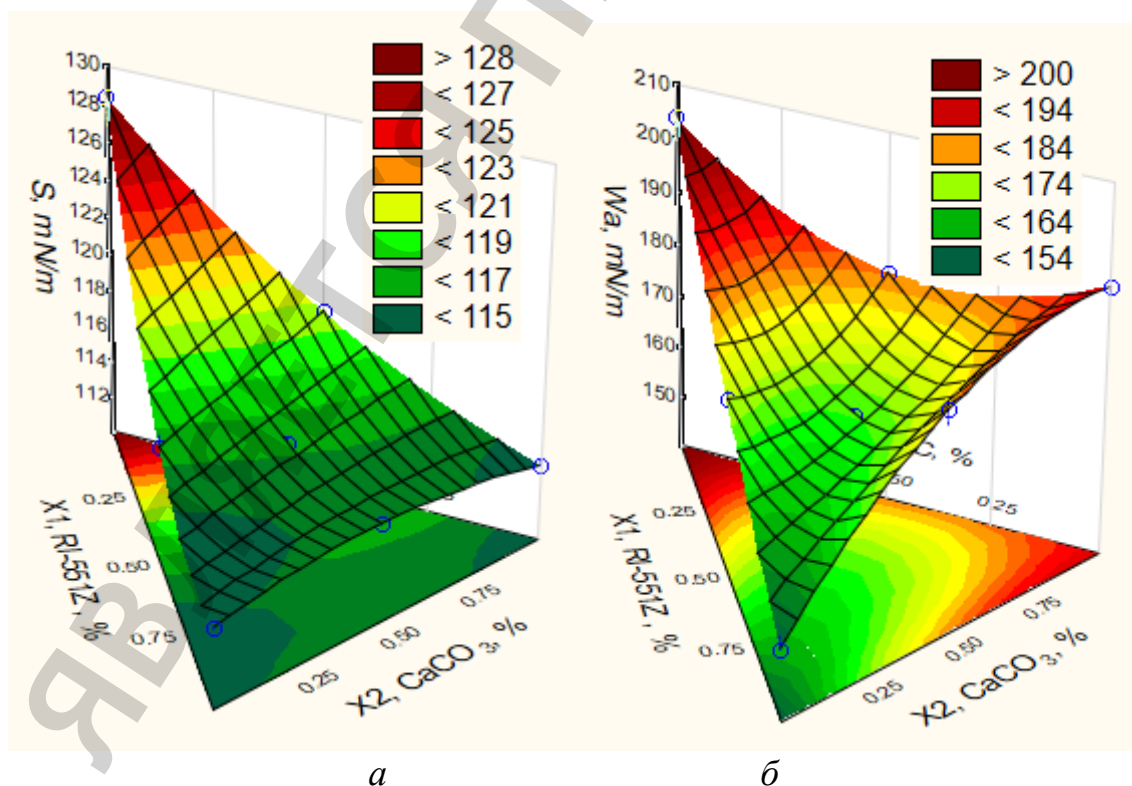
а

б



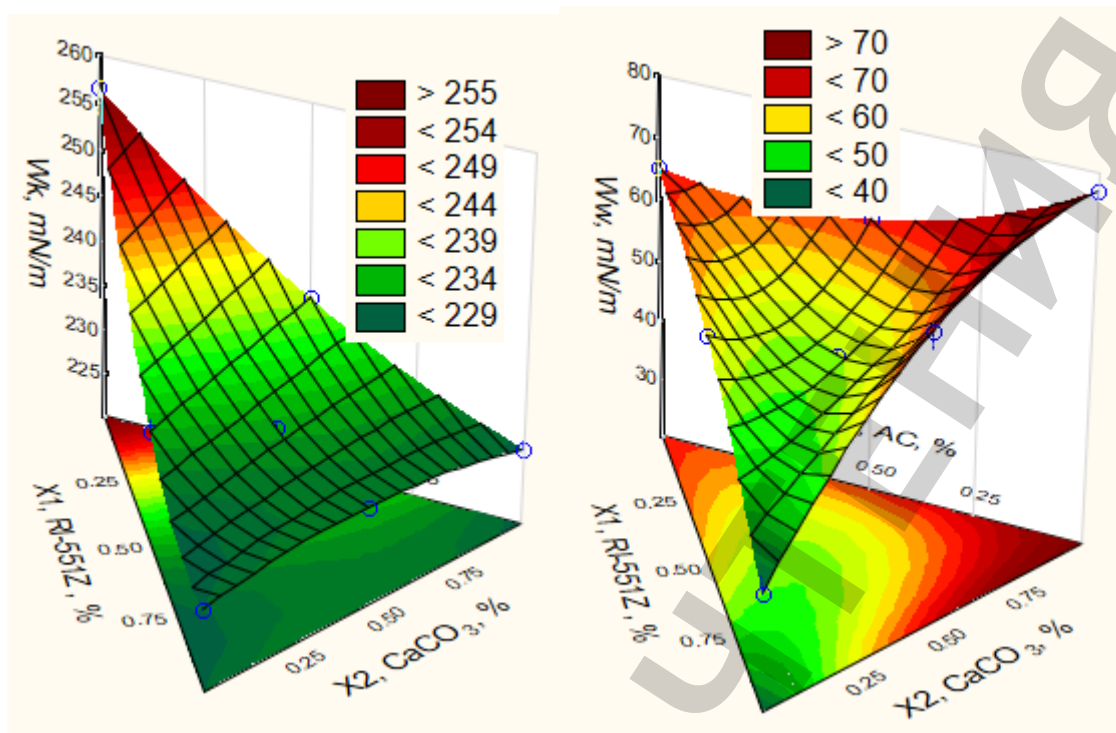
в

Рис. 1. Тернарные поверхности изменений: а – условной вязкости, б – плотности, в – угла смачивания щелочной алюмосиликатной дисперсии в зависимости от изменений концентраций варьируемых факторов



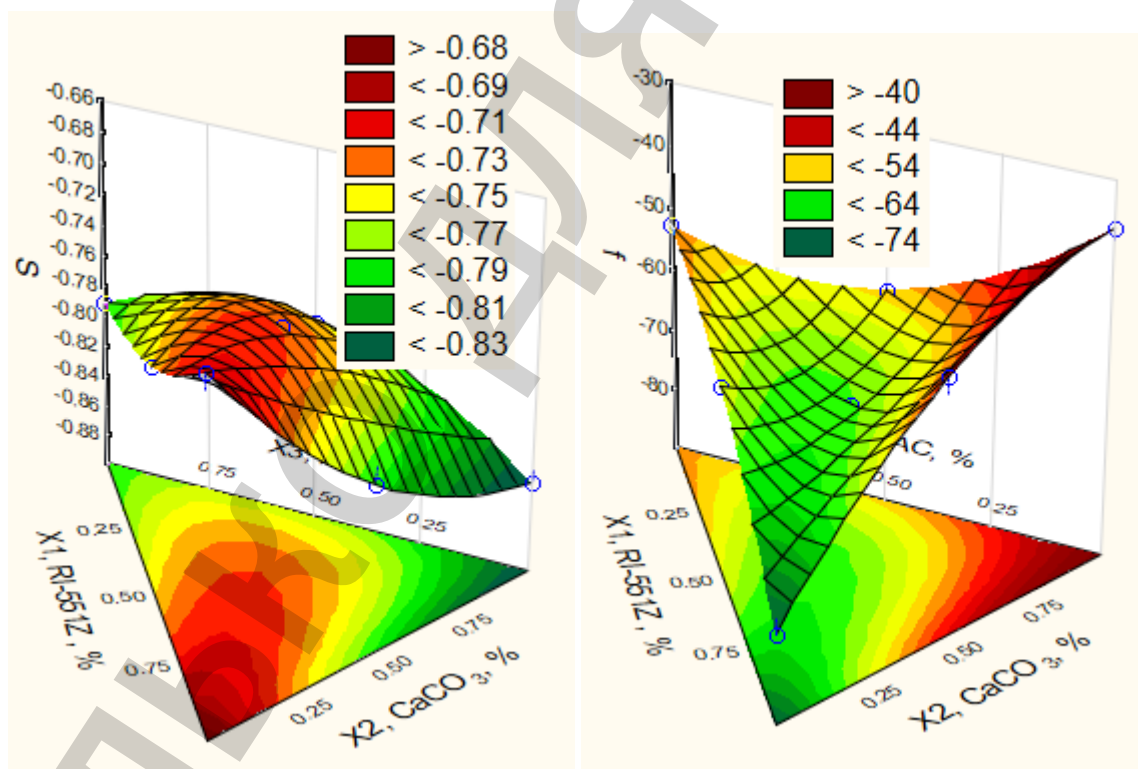
а

б



а

б



в

г

Рис. 2. Тернарные поверхности изменений: а – поверхностного натяжения, б – работы адгезии, в – работы когезии, г – работы смачивания, д – коэффициента смачивания, е – коэффициента растекаемости щелочной й алюмосиликатной дисперсии в зависимости от изменений концентраций варьируемых факторов

Определяющим ориентиром для оценки коллоидно-химических свойств не отвержденной геоцементной дисперсии служит показатель условной вязкости, который не должен превышать значение больше 100 с.

На изменение условной вязкости (рис. 1, а) в больше степени влияет концентрация полимера RI-551Z, оптимальное количество которого находится в пределах от 2 до 2,31 %. Естественно, что изменения величин остальных выходных параметров будут привязаны к изменению:

– условной вязкости и их значения находятся в следующих пределах $\rho=1,571-1,766 \text{ г/см}^3$, $\cos\Theta=0,50-0,67$;

– поверхностное натяжение $\sigma=114-128 \text{ мН/м}$;

– работы адгезии, смачивания и когезии, соответственно, 184-204 мН/м;

– коэффициенты смачивания и растекаемости $-0,77-(-)0,84$, $-37-(-)55 \text{ мН/м}$ (рис. 1, б, в и рис. 2, а–е).

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Введение комплексной органоминеральной добавки, включающей от 2 до 2,3 % полимера RI-551Z, микрокальцита от 2,1 до 2,5 % и глиноземистого цемента от 4,5 до 6,5 %, способствует стабилизации условной вязкости, снижению поверхностного натяжения, повышению работы адгезии и увеличению коэффициента смачиваемости. Также появляется возможность регулировать как коллоидно-химические, так и технологические свойства геоцементной дисперсии, а также степень ее наполнения функциональными наполнителями. Это даст реальную возможность в получении еще большей номенклатуры материалов на основе геоцементов.

Weaknesses. Отрицательное действие объекта исследования на свои внутренние факторы проявляется в постоянной скорости прохождения химической реакции между компонентами дисперсии и минеральными составляющими органоминеральной добавки. Это приводит к изменению коллоидно-химических свойств во времени, а именно, к загустеванию и твердению композиции.

Opportunities. Перспективы дальнейших исследований будут направлены на поиск стабилизаторов и замедлителей прохождения скорости химической реакции между компонентами геоцементной дисперсии и минеральными составляющими органоминеральной добавки.

Threats. На объект исследования могут оказывать отрицательное действие временной фактор и внешние факторы: перепад температур, механическая встряска, что будет объектом дальнейших исследований.

8. Выводы

1. Произведена оптимизация состава органоминеральной добавки и определена область существования оптимальных концентраций составляющих органоминеральной добавки, а именно:

– по оси X1 – 2–2,3 % полимера RI-551Z;

– по оси X2 – 2,1–2,5 %;

– по оси X3 – 4,5–6,5% глиноземистого цемента, позволяющая при ее введении в геоцементную дисперсию состава $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Введение в

состав геоцементированной дисперсии органоминеральной добавки оптимальных концентраций позволит во времени стабилизировать значения ее вязкости (не выше 100 с), уменьшать угол смачивания, снизить поверхностное натяжение, повысить работу адгезии и уменьшать коэффициент смачиваемости.

2. В результате эксперимента установлена связь между условной вязкостью и коэффициентом смачивания, между углом смачивания, работами адгезии, смачивания и коэффициентом растекаемости и между плотностью, поверхностным натяжением и работой когезии. Определено, что изменения величин остальных выходных параметров привязаны к изменению:

– условной вязкости, их количественное выражение находится в пределах $\rho=1,571-1,766 \text{ г/см}^3$, $\cos\Theta=0,50-0,67$;

– поверхностное натяжение $\sigma=114-128 \text{ мН/м}$;

– работы адгезии, смачивания и когезии, соответственно, 184–204 мН/м;

– коэффициенты смачивания и растекаемости -0,77–(-)0,84, -37–(-)55 мН/м.

Благодарность

Автор выражает благодарность за финансовую поддержку работы, которая выполнялась в рамках бюджетного финансирования соответственно к приказу МОН Украины № 1243 от 31.10.2014, темы № 1ГБ-2015 (реестр. № 0115U000332).

Литература

1. Boxley, C. Practical Applications of Geopolymers [Text] / C. Boxley, B. Nair, P. Balaguru // Developments in Porous, Biological and Geopolymer Ceramics. – 2008. – P. 321–336. doi: [10.1002/9780470339749.ch29](https://doi.org/10.1002/9780470339749.ch29)

2. Korneev, V. I. Perspektivy razvitiia obshchestroitel'nyh viazhushchih veshchestv. Geopolimery i ih otlichitel'nye osobennosti [Text] / V. I. Korneev, A. S. Brykov // Tsement i ego primeneniye. – 2010. – P. 51–55.

3. Shi, C. Classification and characteristics of alkali-activated cement [Text] / C. Shi, F. He, A. Fernández-Jiménez, P. Krivenko, V. Palomo // Journal of The Chinese Ceramic Society. – 2012. – Vol. 1, № 40. – P. 69–75.

4. Fernández-Jiménez, A. Hybrid alkaline cements. Part III. Durability and industrial applications [Text] / A. Fernández-Jiménez, E. Flores, O. Maltseva, I. García-Lodeiro, A. Palomo // Revista Română de Materiale // Romanian Journal of Materials. – 2013. – Vol. 43, № 2. – P. 195–200.

5. Palomo, A. A review on alkaline activation: New analytical perspectives [Text] / A. Palomo, P. Krivenko, I. Garcia-Lodeiro, O. Maltseva, A. Fernández-Jiménez // Materiales de Construcción. – 2014. – Vol. 64, № 315. – P. e022. doi:[10.3989/mc.2014.00314](https://doi.org/10.3989/mc.2014.00314)

6. Bernal, S. A. (2014) Durability of alkali-activated materials: progress and perspectives' [Text] / S. A. Bernal, J. L. Provis // Journal of the American Ceramic Society. – 2014. – Vol. 97, № 4. – P. 997–1008. doi:[10.1111/jace.12831](https://doi.org/10.1111/jace.12831)

7. Pacheco-Torgal, F. Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes [Text] / F. Pacheco-Torgal, J. Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo, P. Chindaprasit. – N.Y.: Springer, 2014. – 852 p. doi:[10.1016/c2013-0-16511-7](https://doi.org/10.1016/c2013-0-16511-7)

8. Funke, H. L. An Alkali Activated Binder for High Chemical Resistant Self-Leveling Mortar [Text] / H. L. Funke, S. Gelbrich, L. Kroll // Open Journal of Composite Materials. – 2016. – Vol. 6, № 4. – P. 132–142. doi:[10.4236/ojcm.2016.64013](https://doi.org/10.4236/ojcm.2016.64013)
9. Krivenko, P. Mechanizm of preventing the alkali-aggregate reaction in the alkali activated cement concretes [Text] / P. Krivenko, R. Drochytka, A. Gelevera, E. Kavalerova // Cement and Concrete Composites. – 2014. – №45. – P. 157–165. doi:[10.1016/j.cemconcomp.2013.10.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.10.003)
10. Krivenko, P. Mineralogical aspects of durable geocement matrix formation-role of alkali [Text] / P. Krivenko, H. L. Cao, L. Q. Weng, E. Kavalerova // Advanced Materials Research. – 2014. – № 1004-1005. – P. 1523–1530. doi:[10.4028/www.scientific.net/amr.1004-1005.1523](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1004-1005.1523)
11. Kryvenko, P. Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates [Text] / P. Kryvenko, K. Volodymyr, S. Guzii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 5/5(83). – P. 40–48. doi:[10.15587/1729-4061.2016.79605](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79605)
12. Petránek, V. Perlite Concrete Based on Alkali Activated Cements [Text] / V. Petránek, P. Krivenko, O. Petropavlovskiy, S. Guzii // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 897. – P. 280–283. doi:[10.4028/www.scientific.net/amr.897.280](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.897.280)
13. Funke, H. L. An Alkali Activated Binder for High Chemical Resistant Self-Leveling Mortar [Text] / H. L. Funke, S. Gelbrich, L. Kroll // Open Journal of Composite Materials. – 2016. – Vol. 06, № 04. – P. 132–142. doi:[10.4236/ojcm.2016.64013](https://doi.org/10.4236/ojcm.2016.64013)
14. Hewayde, E. Effect of geopolymer cement on microstructure, compressive strength and sulphuric acid resistance of concrete [Text] / E. Hewayde, M. Nehdi, E. Allouche, G. Nakhla // Magazine of Concrete Research. – 2006. – Vol. 58, № 5. – P. 321–331. doi:[10.1680/mac.2006.58.5.321](https://doi.org/10.1680/mac.2006.58.5.321)
15. Kriven, W. M. Corrosion Protection Assessment of Concrete Reinforcing Bars with a Geopolymer Coating [Text] / W. M. Kriven, M. Gordon, B. L. Ervin, H. Reis // Developments in Porous, Biological and Geopolymer Ceramics. – 2008. – P. 373–381. doi:[10.1002/9780470339749.ch33](https://doi.org/10.1002/9780470339749.ch33)
16. Gupta, A. Durability of geopolymer coated recycled aggregate concrete exposed to Sulphuric acid [Text] / A. Gupta, S. Mandal, S. Ghosh // International Journal of Applied Engineering Research. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 91–103.
17. Siti Salwa, M. S. Review on Current Geopolymer as a Coating Material [Text] / M. S. Siti Salwa, A. M. Mustafa Al Bakri // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2013. – Vol. 7, № 5. – P. 246–257.
18. Shaikh, F. U. A. Effects of alkali solutions on corrosion durability of geopolymer concrete [Text] / F. U. A. Shaikh // Advances in Concrete Construction. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 109–123. doi:[10.12989/acc.2014.2.2.109](https://doi.org/10.12989/acc.2014.2.2.109)
19. Kryvenko, P. Sulfate Resistance of Alkali Activated Cements [Text] / P. Kryvenko, S. Guzii, O. Kovalchuk, V. Kyrychok // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 865. – P. 95–106. doi:[10.4028/www.scientific.net/msf.865.95](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.865.95)

20. Krivenko, P. V. Geocement-Based Coatings for Repair and Protection of Concrete Subjected to Exposure to Ammonium Sulfate [Text] / P. V. Krivenko, S. G. Guziy, V. I. Kyrychok // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – P. 121–124. doi:[10.4028/www.scientific.net/amr.923.121](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.923.121)
21. Krivenko, P. V. Aluminosilicate coatings with enhanced heat- and corrosion resistance [Text] / P. V. Krivenko, S. G. Guziy // *Applied Clay Science*. – 2013. – Vol. 73. – P. 65–70. doi:[10.1016/j.clay.2012.10.010](https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.10.010)
22. Krivenko, P. Atmospheric Corrosion Protection of Metallic Structures Using Geocements-Based Coatings [Text] / P. Krivenko, S. Guziy, H. A. J. Al-Musaedi // *Solid State Phenomena*. – 2015. – Vol. 227. – P. 239–242. doi:[10.4028/www.scientific.net/ssp.227.239](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.227.239)
23. Guzii, S. Investigation of adhesive properties of barrier-type geocement-based coatings [Text] / S. Guzii, J. H. A. Al Moussa // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2016. – № 4/4 (30). – P. 13–17. doi:[10.15587/2312-8372.2016.76515](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.76515)
24. Glad, E. Porosity control of alkali-activated aluminosilicates via functional alkoxy silane additives [Text]: Dissertation / E. Glad. – Urbana: College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2013. – 156 p.
25. Musil, S. Novel, Inorganic Composites using Porous, Alkali-activated, Aluminosilicate Binders [Text]: Dissertation / S. Musil. – Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2014. – 188 p.
26. Yuan, Y. Contact Angle and Wetting Properties [Text] / Y. Yuan, T. R. Lee // *Springer Series in Surface Sciences*. – 2013. – P. 3–34. doi:[10.1007/978-3-642-34243-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1)
27. Antonova, N. M. Otsenka adgezionnoi prochnosti zashchitnykh kompozitsionnykh pokrytii po rabote adgezii k tverdomu telu ishodnoi suspenszii [Text] / N. M. Antonova // *Korroziia: materialy, zashchita*. – 2011. – № 9. – P. 36–42.
28. Bogdanov, V. N. Kolloidno-himicheskie svoistva neotverzhdennoi kompozitsii zashchitno-dekorativnogo pokrytiia [Text] / V. N. Bogdanov, O. A. Vorontsova, A. I. Vezentsev // *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie*. – 2013. – № 1-2. – P. 62–65.
29. Fridrihsberg, D. A. Kurs kolloidnoi himii [Text]: Handbook / D. A. Fridrihsberg. – Leningrad: Himiia, 1984. – 368 p.
30. Frolov, Yu. G. Laboratornye raboty i zadachi po kolloidnoi himii [Text] / ed. by Yu. G. Frolov, A. S. Grodskoy. – Moscow: Himiia, 1986. – 216 p.
31. Katalog oborudovaniia CZL [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <https://www.czl.ru/applications/contact-angle-measurement-technology/>
- 32.