

УДК 691

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.65.994

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИФІКАТОРІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН СИСТЕМИ CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.,  
ГРИШКО Г. М.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ДУБОВ Т. М.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: [viktorderevianko2017@gmail.com](mailto:viktorderevianko2017@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

<sup>2\*</sup> Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: [hryshko.h.m@dsau.dp.ua](mailto:hryshko.h.m@dsau.dp.ua), ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

<sup>3</sup> Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: [dubov.t.m@dsau.dp.ua](mailto:dubov.t.m@dsau.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

**Анотація. Постановка проблеми.** До складу сучасних бетонів і розчинів входять поверхнево-активні речовини, які регулюють процеси гідратації, структуроутворення і, відповідно, властивості штучного каменю. Один із видів поверхнево-активних речовин – це пластифікатори, основне призначенням яких – зменшення водопотреби. Розглядаючи їх вплив, можна відмітити більш широкий спектр зміни властивостей розчинів і бетонів. Особливо слід звернути увагу в цьому плані на алюмінатні, сульфатні і сульфоалюмінатні в'язучі речовини. Тому розроблення композиційних в'язучих речовин системи CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O на основі глиноземистого цементу і гіпсу з використанням пластифікаторів потребує досліджень у цьому напрямку. **Мета статті** – дослідити вплив пластифікаторів на технологічні та основні фізико-механічні властивості глиноземистого цементу, композитів на його основі. **Висновки.** Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей наномодифікованих композицій на основі глиноземистого цементу та гіпсу, що дають можливість визначення впливу вхідних факторів на зростання основних фізико-механічних властивостей. Дослідженнями встановлено співвідношення базових компонентів композиту на основі 70 % глиноземистого цементу, 30 % гіпсу і пластифікатора Sika VG Sika = 0,10 ÷ 0,40; глиноземистий цемент = 69,72 ÷ 69,93; гіпс = 29,88 ÷ 29,97. Згідно з технологією виготовлення зменшено кількість компонентів до мінімуму й отримано систему в'язуче – заповнювач – пластифікатор. З економічної сторони залежно від вимог замовника можна регулювати витрату глиноземистого цементу та гіпсової в'язучої речовини в межах приблизно 10 %.

**Ключові слова:** пластифікатор; композиційне в'язуче; модифікація; еtringіт; стабілізація еtringітової фази; алюмінатні цементи; сульфоалюмінатні цементи

## RESEARCHING THE INFLUENCE OF PLASTICIZERS ON THE TECHNOLOGICAL AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE BINDING SUBSTANCES OF THE CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O SYSTEM

DEREVIANKO V.M.<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
HRYSHKO H.M.<sup>2\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
DUBOV T.M.<sup>3</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

<sup>1</sup> Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: [viktorderevianko2017@gmail.com](mailto:viktorderevianko2017@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

<sup>2\*</sup> Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: [hryshko.h.m@dsau.dp.ua](mailto:hryshko.h.m@dsau.dp.ua), ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: [dubov.t.m@dsau.dp.ua](mailto:dubov.t.m@dsau.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

**Abstract. Problem statement.** Composition of modern concretes and mortars includes surface-active substances that regulate processes of hydration, structure formation and, accordingly, properties of artificial stone. One of the types of surface-active substances are plasticizers, their main purpose is to reduce water consumption. When considering their influence, a wider range of changes in the properties of solutions and concretes can be noted. In this regard a particular attention should be paid to aluminate, sulfate and sulfo-aluminate binders. Therefore, the development of composite binders of the  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  system based on alumina cement and gypsum with the use of plasticizers requires research in this direction. **The purpose of the article** – to investigate the effect of plasticizers on the technological and basic physical and mechanical properties of alumina cement and composites based on it. **Conclusions.** A complex of experimental and statistical models of nanomodified compositions based on alumina cement and gypsum was obtained, and these models make it possible to determine influence of input factors on the growth of the main physical and mechanical properties. Research has established the ratio of the basic components of the composite based on 70 % alumina cement, 30 % gypsum and Sika VG Sika plasticizer =  $0.10 \div 0.40$ ; alumina cement =  $69.72 \div 69.93$ ; Gypsum =  $29.88 \div 29.97$ . According to the manufacturing technology, the number of components was reduced to a minimum and a binder-filler-plasticizer system was obtained. From the economic point of view, depending on the customer's requirements, it is possible to regulate the consumption of alumina cement and gypsum binder within the limits of approximately 10 %.

**Keywords:** *plasticizer; composite binder; modification; ettringite; ettringite phase stabilization; aluminate cements; sulfoaluminate cements*

**Актуальність проблеми.** До складу сучасних бетонів і розчинів входять поверхнево-активні речовини, які регулюють процеси гідратації, структуроутворення і, відповідно, – властивості штучного каменю. Один із видів поверхнево-активних речовин – це пластифікатори, основне призначення яких – зменшення водопотреби [1; 2; 4–6].

Розглядаючи їх вплив, можна відмітити більш широкий спектр зміни властивостей розчинів і бетонів [7–11].

Особливо слід звернути увагу в цьому плані на алюмінати, сульфати і сульфоалюмінатні в'язучі речовини.

Тому розроблення композиційних в'язучих речовин системи  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  на основі глиноземистого цементу, гіпсу і з використанням пластифікаторів потребує проведення досліджень в цьому напрямку.

**Аналіз літератури.** У роботах В. М. Дерев'янка, Н. В. Кондратьєвої, Л. В. Мороз, В. Ю. Мороз, О. І. Бегуна проводилися дослідження впливу пластифікаторів на технологічні та фізико-механічні властивості гіпсових в'язучих [3]. Автори визначили найбільш ефективні добавки, які сприяють поліпшенню технологічних та фізико-механічних властивостей гіпсових в'язучих: Sika

Viscocrete G (ТОВ «Сіка Україна»), MC-Power Flow 2695 (ТОВ «МЦ Баухемі») та СТАНЕPLAST 156 (ТОВ «СТАХЕМА ЛЬВІВ-СЕРВІС») [3].

Поліпшення основних властивостей глиноземистого цементу і композиту, що складається з  $30 \div 70$  % глиноземистого цементу і  $30 \div 70$  % гіпсу та містить оптимальну кількість еtringіту, постає актуальною проблемою, що потребує вирішення.

**Мета статті** – дослідити вплив пластифікаторів на технологічні та основні фізико-механічні властивості глиноземистого цементу, композитів на його основі.

**Результати досліджень.** З метою зменшення водотвердого відношення, підвищення щільності структури та міцних показників проводили модифікацію пластифікаторами уже розроблених складів системи  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  (глиноземистий цемент – гіпс): а)  $70 \div 30$ ; б)  $50 \div 50$ ; в)  $30 \div 70$  з підвищеним умістом стабільної форми еtringітової складової.

Для досліджень процесів гідратації та структуроутворення мінералогічних систем за присутності поверхнево-активних речовин використано такі добавки-пластифікатори, оптимальні відсотковий вміст та ефективність яких були визначені в попередніх роботах на гіпсовому в'язучому

марки Г5 Н – II згідно ДСТУ Б В.2.7-82, виробництва ПАТ «Гіпсовик», м. Кам'янець-Подільський [1]:

а) ТОВ «МЦ Баухемі» – MC-Power Flow 2695;

б) ТОВ «Сіка Україна» – Sika Viscocrete G;

в) ТОВ «СТАХЕМА ЛЬВІВ-СЕРБІС» – СТАНЕPLAST 156.

В роботі визначено вплив пластифікаторів на технологічні та фізико-механічні властивості глиноземистого цементу (табл. 1, 2) і композиту оптимального складу: 70 % глиноземистого цементу і 30 % гіпсу, модифікованих пластифікаторами (рис. 1).

Таблиця 1

Вплив добавок на властивості глиноземистого цементу

	Глиноземистий цемент	Сіка, Viscocrete G	МЦ Баухемі, 2695	Стахема, STP 156
Призначення добавки		суперпластифікатор для гіпсових сумішей	суперпластифікатор для бетонних сумішей	гіперпластифікатор для бетонних сумішей
Максимальна рекомендована к-ть добавки, %	0	0,4	2	1,5
В/Ц	0,33	0,25	0,24	0,24
$\tau_{\text{поч}}$ , ГОД.-ХВ.-СЕК.	60 хв. 56 сек.	1 год. 50 хв.	15 хв. 40 сек.	18 хв. 30 сек.
$\tau_{\text{кін}}$ , ГОД.-ХВ.-СЕК.	12 год. 5 хв. 10 сек.	1 доба 5 год. 10 хв.	2 год. 26 хв.	2 год. 43 хв.
$R_{\text{ср}}$ , МПа	7,92	12,72	11,1	10,15
$R_{\text{ср}}$ , МПа	36,41	38,62	28,17	27,5

Таблиця 2

Межа міцності на стиск та згинання глиноземистого цементу з ПАР

№ п/п	Склад	Розмір зразків, см			m, г	$\rho, \text{кг/м}^3$	$R_{\text{ст1}}$ , МПа	$R_{\text{ст2}}$ , МПа	$R_{\text{сж заг}}$ , МПа	$R_{\text{ст заг}}$ , МПа	$R_{\text{виг}}$ , МПа	$R_{\text{виг}}$ , МПа	
		16,0	3,9	3,9									
1	Глиноземистий + 0% добавки	16,0	3,9	3,9	499	2050	32,55	32,55	32,55	36,41	7,43	7,92	
		16,1	3,9	3,9	499	2038	38,52	40,00	39,26				9,71
		16,1	4,0	4,0	527	2046	37,48	37,33	37,41				6,63
2	100 % Глиноземистий цемент+0,4%СікаVG	16	4	3,9	504	2019	35,48	40,00	37,74	38,62	14,00	12,73	
		16	4	4	514	2008	36,24	40,00	38,12				10,89
		16	4	4	485	1895	40,00	40,00	40,00				13,31
3	100 % Глиноземистий цемент+2%MC Баухемі, 2695	16	4	3,9	513	2055	35,48	23,88	29,68	28,17	11,45	11,10	
		16	4	4	511	1996	21,38	30,32	25,85				10,89
		16,1	4	4	512	1988	35,48	30,32	32,90				10,96
4	100 % Глиноземистий цемент+1,5%Стахема, STP 156	15,9	4	3,9	523	2109	22,00	34,84	28,42	27,49	10,12	10,15	
		16	4	3,9	513	2055	26,71	27,36	27,03				10,18
		16	4	3,9	515	2063	26,71	27,36	27,03				10,18

Нормальна густина (НГ) гіпсового становить 0,52, початок тужавлення гіпсового тіста – 7 хв. 45 сек., кінець тужавлення – 14 хв. 5 сек.

Додавання всіх пластифікаторів викликає зменшення водотвердого

співвідношення. Оптимальний вміст добавки Sika Viscocrete G для глиноземистого цементу – 0,4 %. При цьому водотверде співвідношення становить 0,24, для композиції глиноземистий цемент + гіпс водотверде збільшується до 0,27.

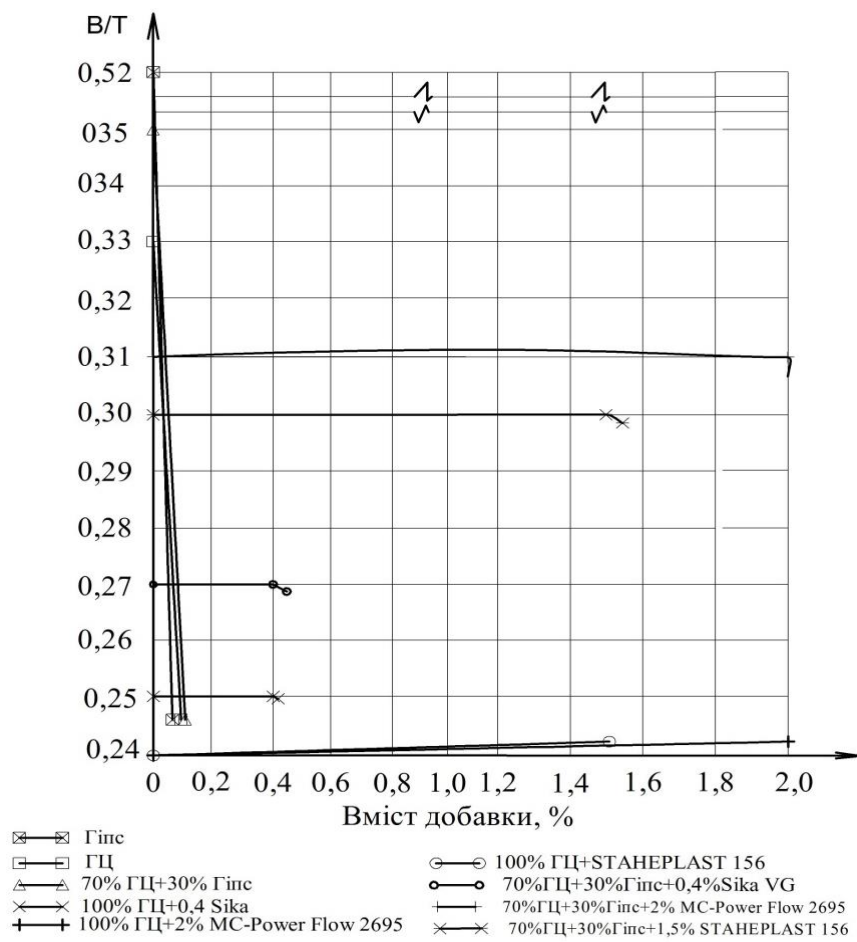


Рис. 1. Графіки залежності водотвердого відношення, композицій, в'язучих гіпсового і глиноземистих цементів від вмісту пластифікаторів

Також проведено дослідження в'язучих речовин відповідно до ДСТУ механічних властивостей зразків гіпсових (табл. 3).

Таблиця 3

Межа міцності на стиск гіпсового в'язучого без добавки

№ п/п	Розмір зразків, см						m, г	ρ, кг/м <sup>3</sup>	R <sub>ст1</sub> , МПа	R <sub>ст2</sub> , МПа	R <sub>ст заг.</sub> , МПа	R <sub>виг</sub> , МПа
	Верхньої грані		Нижньої грані									
1	16,0	4,0	4,0	16,0	4,0	4,0	444	1756	4,0	4,1	4,1	3,5
2	16,0	4,0	4,0	16,0	4,0	4,0	462	1805	3,7	3,6	3,7	4,0
3	16,0	4,0	3,9	16,0	4,0	3,9	447	1791	3,6	3,5	3,5	3,9
4	15,9	4,0	4,1	15,9	4,0	4,1	456	1749			R <sub>ст ср</sub>	R <sub>виг ср</sub>
5	15,9	4,0	4,1	15,9	4,0	4,1	456	1749			3,8	3,8
6	16,1	4,0	4,0	16,1	4,0	4,0	452	1755				

У попередніх дослідженнях визначено склад композицій в'язучих речовин (глиноземистий цемент + гіпс), що дорівнює 70 : 30 %, в якому формується максимальна кількість еtringіту.

Як відомо, еtringітова фаза не стабільна у процесі експлуатації. Згідно з нашою

гіпотезою, стабілізації структури еtringіту можна досягти шляхом уведення наномодифікаторів.

На основі попередніх досліджень і аналізу літературних даних з'ясовано що вміст нанодобавок перебуває в межах сотих, а іноді і тисячних часток відсотків. Це

викликає значні проблеми при диспергації нанодобавок у такій кількості. Варіантом вирішення проблеми стає використання пластифікаторів.

Сутність технології полягає в попередній диспергації нанодобавки в концентрованому розчині вода–пластифікатор.

У подальшому – приготування розчину заданої концентрації і затворювання суміші композиції.

Із цією метою проведено дослідження щодо визначення впливу пластифікаторів на композицію ГЦ : Г (70 : 30 %) (табл. 4, 5).

У таблиці 4, 5 показано вплив добавок на властивості композиту, що складається з 70 % ГЦ та 30 % Гіпсу.

Таблиця 4

**Вплив добавок на властивості композитів, що складаються з 70 % ГЦ та 30 % Гіпсу з ПАР**

	70 % ГЦ та 30 % гіпсу	Сіка, Viscocrete G	Сіка, Viscocrete G	МЦ Баухемі, 2695	Стахема, STP 156
Призначення добавки		суперпластифікатор для гіпсових сумішей	суперпластифікатор для гіпсових сумішей	суперпластифікатор для бетонних сумішей	гіперпластифікатор для бетонних сумішей
Максимальна рекомендована кількість добавки, %	0	0,4	0,8	2	1,5
В/Ц	0,35	0,27	0,28	0,31	0,30
τ <sub>поч</sub> , ГОД.-ХВ.-СЕК.	4 хв. 56 сек.	44 хв. 20 сек.	42 хв. 57 сек.	12 хв. 20 сек.	37 хв. 31 сек.
τ <sub>кін</sub> , ГОД.-ХВ.-СЕК.	6 хв. 39 сек.	1 доба 1 год. 2 хв.	1 доба 3 год. 2 хв.	25 хв. 45 сек.	1 год. 8 хв. 25 сек.
R <sub>ср</sub> , МПа	8,74	14,15	10,88	8,29	11,74
R <sub>ср</sub> , МПа	14,37	19,30	18,17	19,88	17,61

Таблиця 5

**Межа міцності на стиск та згинання композитів, що складаються з 70 % ГЦ та 30 % гіпсу з ПАР**

№ п/п	Склад	Розмір зразка, см			m, г	ρ, кг/м³	R <sub>ст1</sub> , МПа	R <sub>ст2</sub> , МПа	R <sub>сж заг</sub> , МПа	R <sub>ст заг</sub> , МПа	R <sub>виг</sub> , МПа	R <sub>виг</sub> , МПа
		16,0	3,9	3,9								
1	Глиноземистий + 0% добавки	16,0	3,9	3,9	499	2050	32,55	32,55	32,55	36,41	7,43	7,28
		16,1	3,9	3,9	499	2038	38,52	40,00	39,26			
		16,1	4,0	4,0	527	2046	37,48	37,33	37,41			
2	70 % Глиноземистий цемент+30% Гіпс	16,1	4,0	4,0	487	1891	16,00	13,55	14,77	14,80	6,93	7,33
		16,1	4	3,9	487	1939	16,13	14,71	15,42			
		16,3	4	3,8	495	1998	13,55	14,84	14,19			
3	70 % Глиноземистий цемент+30% Гіпс+0,4%СікаVG	16	4	3,9	543	2175	20,37	20,37	20,37	19,86	6,89	7,00
		16	4	4	524	2047	20,50	17,16	18,83			
		16	4	4	545	2129	20,37	20,37	20,37			
4	70 % Глиноземистий цемент+30% Гіпс+0,8%СікаVG	16	3,9	3,9	529	2174	16,26	22,13	19,19	17,37	7,43	7,43
		16	3,9	3,9	519	2133	16,26	16,26	16,26			
		16	3,9	3,9	490	2013	17,20	16,13	16,67			
5	70 % Глиноземистий цемент+30% Гіпс+2%МС Баухемі, 2695	16	4	3,9	513	2055	17,81	22,13	19,97	19,91	7,24	7,26
		16	4	3,9	501	2007	21,00	21,00	21,00			
		16,1	4	3,9	496	1975	21,00	16,52	18,76			
6	70 % Глиноземистий цемент+30% Гіпс+1,5%Стахема, STP 156	15,9	4	3,9	523	2109	17,73	17,20	17,47	17,60	7,24	7,22
		16	4	3,9	513	2055	19,21	16,13	17,67			
		16	4	3,9	515	2063	19,21	16,13	17,67			

Таблиця 6

## Інтервал вар'ювання компонентів

Фактор впливу	Од. вимір.	Позн.	Рівні	
			нижній (-1)	верхній (+1)
Вміст глиноземистого цементу	%	X <sub>1</sub>	99,9	99,6
Вміст Sika	%	X <sub>2</sub>	0,1	0,4

Таблиця 7

## Матриця планування

№ п/п	Рівні варіювання		Витрати матеріалу	
	Фактор впливу		Фактор впливу	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	1	-1	99,6	0,1
2	-1	1	99,9	0,4
3	-1	-1	99,9	0,1
4	1	1	99,6	0,4

На підставі матриці планування проведено експерименти щодо визначення основних властивостей розчинних сумішей: В/Ц відношення, міцність при згинанні, міцність при стисканні у віці 3 діб (табл. 8).

Таблиця 8

## Результати досліджень

№ п/п	Рівень варіювання		Витрата матеріалу, %		В/Т	R <sub>згин</sub> 3 доби, МПа	R <sub>стисн</sub> 3 доби, МПа
	Фактор впливу		Фактор впливу				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
			Глиноземистий цемент	Sika VG			
1	1	-1	99,6	0,1	0,31	9,13	37,02
2	-1	1	99,9	0,4	0,26	11,69	37,25
3	-1	-1	99,9	0,1	0,32	8,78	36,95
4	1	1	99,6	0,4	0,25	12,72	38,62

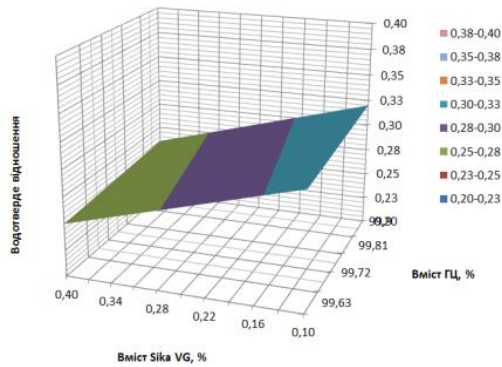
За результатами досліджень складено рівняння регресії та побудовано діаграми взаємного впливу факторів впливу на досліджувані властивості розчинних сумішей (рис. 2–4).

Оптимальний вміст пластифікатора Sika VG – 0,4 % від маси глиноземистого цементу, за збільшення або зменшення його вмісту відбувається зниження основних фізико-механічних властивостей.

Дослідження фізико-механічних властивостей композиції (глиноземистий

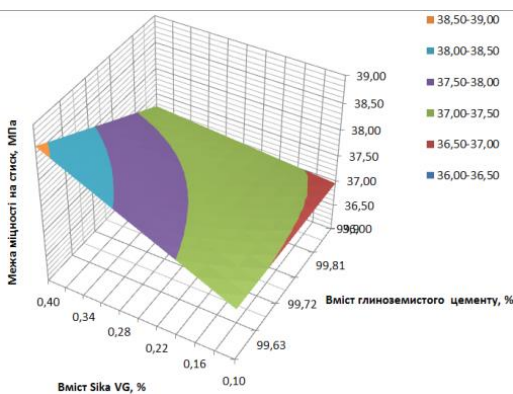
цемент + гіпс) 70 ÷ 30 % проведено на основі планування ПФЕ 2<sup>н</sup>.

Як фактори впливу вибрано – вміст суміші такого складу: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу (x<sub>1</sub>), ПАР Sika VG (x<sub>2</sub>), яка забезпечує оптимальне В/Т та максимальні міцні показники на ранніх термінах твердіння.



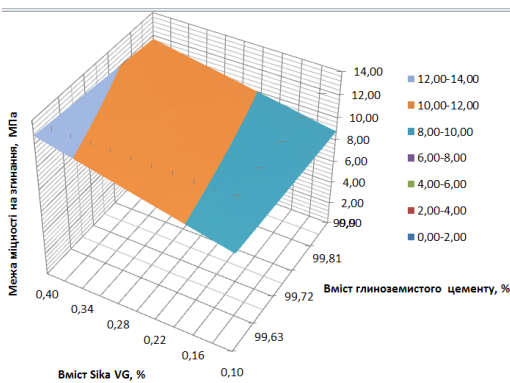
$$B/T = 0,285 - 0,005X_1 - 0,03X_2$$

Рис. 2. Діаграма залежності зміни В/Т глиноземистого цементу від умісту пластифікатора Sika VG



$$R_{стисн} = 37,46 + 0,36X_1 + 0,475X_2 + 0,325X_1X_2$$

Рис. 3. Діаграма залежності зміни межі міцності на стиск глиноземистого цементу від умісту пластифікатора Sika VG



$$R_{згин} = 10,58 + 0,345X_1 + 1,625X_2 + 0,17X_1X_2$$

Рис. 4. Діаграма залежності зміни межі міцності на згинання глиноземистого цементу від умісту пластифікатора Sika VG

Інтервал варіювання наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

Інтервал вар'ювання компонентів

Фактор впливу	Од. вимір.	Позн.	Рівні	
			нижній (-1)	верхній (+1)
Вміст глиноземистого цементу + гіпс	%	X <sub>1</sub>	99,9	99,6
Вміст Sika	%	X <sub>2</sub>	0,1	0,4

Виходячи з інтервалу варіювання компонентів складено матрицю планування експерименту (табл. 10).

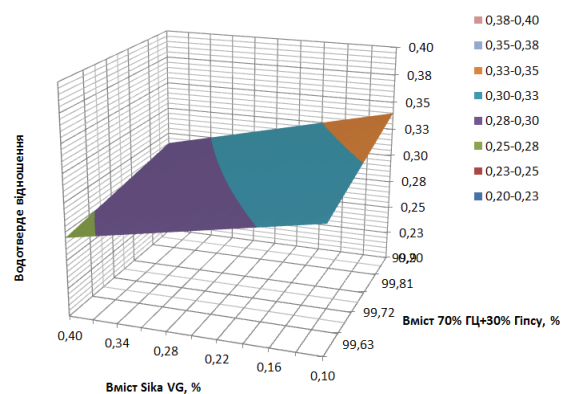
Таблиця 10

Матриця планування

№ п/п	Рівні варіювання фактор впливу		Витрати матеріалу фактор впливу	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
	1	1	-1	99,6
2	-1	1	99,9	0,4
3	-1	-1	99,9	0,1
4	1	1	99,6	0,4

На підставі матриці планування проведено експерименти щодо визначення основних властивостей розчинних сумішей: В/Ц відношення, міцність при згинанні, міцність при стисненні у віці 3 доби (табл. 11).

За результатами досліджень розроблено рівняння регресії та побудовано діаграми взаємної дії факторів впливу на досліджувані властивості розчинних сумішей (рис. 5–7).

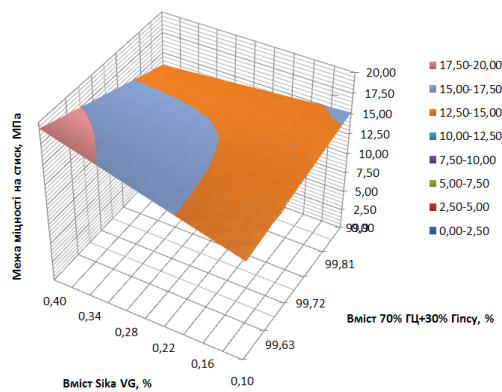


$$B/T = 0,303 - 0,013X_1 - 0,023X_2 + 0,03X_1X_2$$

Рис. 5. Діаграма залежності зміни В/Т сировинної суміші на основі 70 % глиноземистого цементу + 30 % гіпсу від умісту пластифікатора Sika VG

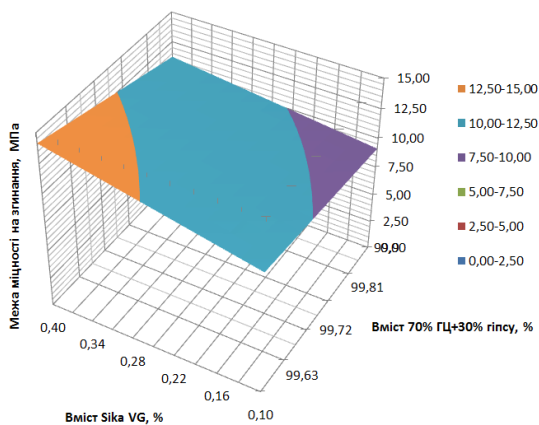
Результати досліджень

№ п/п	Рівень варіювання		Витрата матеріалу, %		В/Т	R <sub>згин</sub> 3 доб, МПа	R <sub>стисн</sub> 3 доб, МПа
	Фактор впливу		Фактор впливу				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
			70 % ГЦ + 30 % гіпсу	Sika VG			
1	1	-1	99,6 (69,72+29,88)	0,1	0,31	10,59	12,79
2	-1	1	99,9 (69,93+29,97)	0,4	0,29	11,2	13,45
3	-1	-1	99,9 (69,93+29,97)	0,1	0,34	9,1	15,23
4	1	1	99,6 (69,72+29,88)	0,4	0,27	14,15	19,30



$$R_{стисн} = 15,193 + 0,853X_1 + 1,183X_2 + 2,073X_1X_2$$

Рис. 6. Діаграма залежності зміни межі міцності на стиск сировинної суміші на основі 70 % глиноземистого цементу + 30 % гіпсу від умісту пластифікатора Sika VG



$$R_{згин} = 11,26 + 1,11X_1 + 1,415X_2 + 0,365X_1X_2$$

Рис. 7. Діаграма залежності зміни межі міцності на згинання сировинної суміші на основі 70 % глиноземистого цементу + 30 % гіпсу від умісту пластифікатора Sika VG

Висновок

Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей наномодифікованих композицій на основі глиноземистого цементу та гіпсу, що дають можливість визначення впливу вхідних факторів на зростання основних фізико-механічних властивостей.

Дослідженнями встановлено співвідношення базових компонентів композиту на основі 70 % глиноземистого цементу, 30 % гіпсу і пластифікатора Sika VG: Sika = 0,10 ÷ 0,40; глиноземистий цемент = 69,72 ÷ 69,93; гіпс = 29,88 ÷ 29,97.

Отримана система для виготовлення композиту на основі глиноземистого цементу, гіпсу і пластифікатора дозволяє у процесі гідратації отримати максимальну кількість еtringіту. Це дасть змогу в подальшому провести дослідження зі стабілізації структури еtringітової фази, що становить досить значну проблему за експлуатації бетонів на основі портландцементу, глиноземистого цементу, а також сульфоалюмінатних в'язучих речовин.

Композиції глиноземистий цемент + гіпс дають можливість зменшити витрати в'язучої речовини глиноземистого цементу із заміною гіпсових в'язучих компонентів (не тільки напівгідратом, а й природним гіпсом).

Також такі композиції можуть змінити технологію виробництва залізобетонних виробів і бути використані в будівельних 3D-принтерах.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підруч. Київ : Основа, 2012. 448 с.
2. Пашченко О. О. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1995. 416 с.
3. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H., Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019. Vol. 13, № 4. Pp. 495–502.
4. Sanytsky M., Usheroov-Marshak A., Kropyvnytska T., Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. № 25 (5). 2020. Pp. 416–427.
5. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19'Ibausil. Weimar. 2015. PV03. 18 p.
6. Roy D., Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of  $C_3S$ .  $C_3A$  and port-land cement. *7th intern Congr. Chem. Cements*. Paris. Vol II. 1980. Pp. 242–246.
7. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Хасан Є. Г., Константиновський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство : підруч. за ред. П. В. Кривенка. Київ : Ліра-К, 2015. 624 с.
8. Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Матеріалознавство для архітекторів та дизайнерів : навч. посіб. Київ : Вид-во «Ліра-К», 2019. 424 с.
9. Kondofesky-Mintova L., Plank J. Superplasticizers and oth. Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth Internation Conference (October 2012, Prague, Czech Republic). P. 423.
10. Sanytskyi M. A., Kondratieva N. V. Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials : III All-Ukrainian Science and Technology Conference. September 5-8. Lviv, 2016. P. 93.
11. Фізика і хімія поверхності. Кн. 1. За ред. М. Т. Картеля та В. В. Лобанова. Київ : Інститут хімії поверхні імені О. О. Чуйко НАН України. Інтерсервіс, 2015. 1085 с.
12. Shishkin A., Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 633–634. 2014. Pp. 917–921.
13. Shishkina A., Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *EEJET*. 2018. Vol. 3/6 (93). Pp. 46–51.

## REFERENCES

1. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovs'kij Yu.L. *V'yazhuchi rehovini* [Binders]. Kyiv : Osnova, 2012, 448 p. (in Ukrainian).
2. Pashchenko O.O. *V'yazhuchi materialy* [Binding materials]. Kyiv : Vishcha Shkola, 1995, 416 p. (in Ukrainian).
3. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H. and Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019, vol. 13, no. 4, pp. 495–502.
4. Sanytsky M., Usheroov-Marshak A., Kropyvnytska T. and Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. 2020, no. 25 (5), pp. 416–427.
5. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19'Ibausil. Weimar. 2015, PV03, 18 p.
6. Roy D. and Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of  $C_3S$ .  $C_3A$  and port-land cement. *7th intern Congr. Chem. Cements*. Paris, vol. II, 1980, pp. 242–246.
7. Kryvenko P.V., Pushkariova K.K., Baranovskyi V.B., Kochevyh M.O., Hasan Ye.G., Konstantynivskyi B.Ya. and Raksha V.O. *Budiv'ne Materialoznavstvo : pidruchnik* [Materials Science in Construction : textbook]. Ed. by P.V. Kryvenko. Kyiv : Lira-K Publ., 2015, 624 p. (in Ukrainian).
8. Pushkariova K.K. and Kochevykh M.O. *Materialoznavstvo dlya arhitektoriv ta dizayneriv : navchal'nyy posibnyk* [Materials Science for Architects and Designers : textbook]. Kyiv : Lira-K Publ., 2018, 424 p. (in Ukrainian).
9. Kondofesky-Mintova L. and Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth Internation Conference. October 2012, Prague, Czech Republic, pp. 423.
10. Sanytskyi M.A. and Kondratieva N.V. Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials ; III All-Ukrainian Science and Technology Conference. September 5–8, 2016, Lviv, p. 93.
11. *Fizika i Khimiya Poverkhnosti. Kniga I. Fizika Poverkhnosti* [Surface Physics and Chemistry. Book I. Surface Physics]. Eds. M.T. Kartel and V.V. Lobanov. Kyiv : Chuiko O.O. Institute of Surface Chemistry of the NA.S. of Ukraine-Interservis LLC, 2015, 1085 p. (in Ukrainian).
12. Shishkin A., Shishkina A. and Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 633–634, 2014, pp. 917–921.
13. Shishkina A. and Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *EEJET*. 2018, vol. 3/6 (93), pp. 46–51.

Надійшла до редакції: 23.08.2023.