

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ
ЖУРНАЛ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 5 (017)

вересень – жовтень 2023

Дніпро 2023

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор Микола САВИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора Владислав ДАНИШЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Випусковий редактор Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Український державний університет науки і технологій, Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. Є. Волкова, д-р техн. наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. С. І. Губенко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Дерев'яно, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. І. Криворучко, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. О. О. Лапшин, д-р техн. наук, Криворізький національний університет, Кривий Ріг. В. П. Мироненко, д-р арх., Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків. М. М. Налісько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскураков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Седін, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх., Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александрс Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергетики Великобританії, Оксфорд (Великобританія). Богуслав Подхалянський, д-р арх., Краківський політехнічний інститут імені Тадеуша Костюшка, Краків (Польща).

Науково-практичний журнал входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури за спеціальностями 132, 191, 192, 194, 263 згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 (Додаток 3).

Свідоцтво про друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 24586-14526 ПР – видане Державною реєстрацією Міністерством юстиції України 09 жовтня 2020 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (код за ЄДРПОУ 02070772).

Виходить 6 разів на рік.

Рекомендовано до вченою радою академії, протокол № 3 від 24.10.2023 р.

друку

Сайт видання <http://uajcea.pgasa.dp.ua>

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал: Інформаційно-аналітичні системи: InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). Електронні бібліотеки та пошукові системи: Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського.

ISSN 2710-0367 (Print)

2710-0375 (Online)

Художній і технічний редактор Сергій МОЇСЕСНКО

Перекладач Світлана ЦИГАНКОВА

Редактор та коректор Валентина МАЛОВИК

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**UKRAINIAN JOURNAL
OF CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

№ 5 (017)

September – October 2023

Dnipro 2023

EDITORIAL STAFF :

<i>Chief Editor</i>	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF :

A. S. Belikov, Doctor of Engineering Science, *Prydniprovaska State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. M. M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro*. V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. Yev. Volkova, Doctor of Engineering Science, *Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro*. V. M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. S. I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O. O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv*. M. M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O. V. Kharlan, Candidate of Architecture, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Edit Barna, PhD, *Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary*. Anna Bać, Doctor of Architecture, *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland*. Aleksandrs Korjakins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia*. V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK*. Boguslaw Podhalyanski, Doctor of Architecture, *Cracow University of Technology, Cracow (Poland)*.

Scientific-Practical Journal is included in	List of scientific professional publications of Ukraine (category "B"), where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture (by specialty 132, 191, 192, 194, 263) can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No. 157 dated 09.02.2021 (Appendix no. 3).
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KB No. 24586-14526 IIP – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated October 09, 2020.
Founder & Publisher	State Higher Education Institution "Prydniprovaska State Academy of Civil Engineering and Architecture". Issued 6 times a year.
Recommended for publication by	Academic Board of the Academy, no. 3 from 24.10.2023
Journal website	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: InfoBase Index (IBI Factor = 3.96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries and search engines</i> : Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)

Art & Technical Editor Serhii MOISEIENKO
Translator Svitlana TSYHANKOVA
Editor & Proofreader Valentyna MALOVYK

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Седін В. Л., Ульянов В. Ю., Загільський В. А., Ковба В. В., Горлач С. М., Білик В. В. ДО ПИТАННЯ РАДОНОВОЇ АКТИВНОСТІ ТЕКТОНІЧНИХ РОЗЛОМІВ РАЙОНУ РОЗМІЩЕННЯ АЕС «СИНОП» У ТУРЕЦЬКІЙ РЕСПУБЛІЦІ.....	7
Бажинов О. В., Кравцов М. М. ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	19
Бекетов О. В., Лаухін Д. В., Слупська Ю. С., Ракаєв О. М., Блінов Ю. С. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПІДТВЕРДЖУЮЧОГО ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	27
Бекетов О. В., Лаухін Д. В., Слупська Ю. С., Ракаєв О. М., Прихно К. Є. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ.....	36
Беліков А. С., Слащова О. А., Когтева О. П., Яланський О. А. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ І КОНТРОЛЮ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК В УМОВАХ МІНЛИВОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД.....	44
Беліков А. С., Тодоров О. П., Шиба О. В., Журбенко В. М. АНАЛІЗ ТРАВМАТИЗМУ ТА ЗАГИБЕЛІ ЛЮДЕЙ ЧЕРЕЗ ПОРУШЕННЯ ВИМОГ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ.....	55
Дерев'янку В. М., Гришко Г. М., Дубов Т. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИФІКАТОРІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН СИСТЕМИ CaO – Al₂O₃ – SO₃ – H₂O.....	65
Єршова Н. М. КОНТРОЛЬ ІНФОРМАЦІЇ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ.....	74
Єршова Н. М. СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ РЕГРЕСІЇ НА ОСНОВІ АПРОКСИМАЦІЇ ТА ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ.....	85
Беліков А. С., Железняков Є. О. ДО ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ ТА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ У ВИПАДКУ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	96
Орлова Н. О. АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ЧЕРЕЗ СВІТЛОПРОЗОРИ ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ.....	103
Фоменко О. О., Чечельницький С. Г. КОЕФІЦІЄНТ ЕКОЛОГІЧНОГО СЛІДУ АРХІТЕКТУРИ ЯК ФАКТОР ФОРМУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ЗЕЛЕНИХ СТАНДАРТІВ.....	110

CONTENT

Sedin V.L., Ulyanov V.Yu., Zahilskyi V.A., Kovba V.V., Horlach S.M., Bilyk V.V. ON RADON ACTIVITY OF TECTONIC FAULTS IN THE AREA OF SITING THE SINOP NPP IN THE REPUBLIC OF TÜRKIYE	7
Bazhynov O.V., Kravtsov M.M. DETERMINING THE QUALITY INDEX OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES	19
Beketov O.V., Laukhin D.V., Slupska Yu.S., Rakaev O.M., Blinov Yu.S. USING THE METHOD OF CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS FOR THE SIMULATION OF TECHNICAL SYSTEMS	27
Beketov O.V., Laukhin D.V., Slupska Yu.S., Rakaiev O.M., Prykhno K.Ye. APPLICATION OF THE STATISTICAL TESTING METHOD FOR SIMULATION MODELLING OF COMPLEX SYSTEMS	36
Bielikov A.S., Slashchova O.A., Kohtieva O.P., Yalanskyi O.A. FEATURES OF RISK DETERMINATION AND CONTROL OF THE UNDERGROUND FACILITIES STABILITY LOSS UNDER CONDITIONS OF ROCKS PROPERTIES VARIATION	44
Bielikov A.S., Todorov O.P., Shiba O.V., Zhurbenko V.M. ANALYSIS OF INJURIES AND DEATH OF PEOPLE AS A RESULT OF VIOLATION REQUIREMENTS IN UKRAINE	55
Derevianko V.M., Hryshko H.M., Dubov T.M. RESEARCHING THE INFLUENCE OF PLASTICIZERS ON THE TECHNOLOGICAL AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE BINDING SUBSTANCES OF THE CaO – Al₂O₃ – SO₃ – H₂O SYSTEM	65
Yershova N.M. CONTROL INFORMATION OF STATISTICAL DATA BASED ON DISPERSION ANALYSIS	74
Yershova N.M. THE CREATION OF A REGRESSION MODEL BASED ON APPROXIMATION AND DISPERSION ANALYSIS OF STATISTICAL DATA	85
Bielikov A.S., Zheleznyakov Ye.O. ON THE ISSUE OF ENSURING THE MICROCLIMATE CONDITIONS AND OPERATIONAL SAFETY OF HEAT SUPPLY SYSTEMS DURING EMERGENCY HEAT SUPPLY SHUTDOWNS	96
Orlova N.O. ANALYSIS OF CALCULATION AND EXPERIMENTAL METHODS OF DETERMINING HEAT LOSSES THROUGH WINDOW CONSTRUCTION	103
Fomenko O.O., Chechelnitsky S.G. THE ECOLOGICAL FOOTPRINT COEFFICIENT OF ARCHITECTURE AS A FACTOR IN THE FORMATION OF NATIONAL GREEN STANDARDS	110

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 – Al₂O₃ – SO₃ – H₂O

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ГРИШКО Г. М.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
ДУБОВ Т. М.³, *канд. техн. наук, доц.*

¹ 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, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} 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, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ 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, 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 – Al₂O₃ – SO₃ – H₂O 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 – Al₂O₃ – SO₃ – H₂O SYSTEM

DEREVIANKO V.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
HRYSHKO H.M.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
DUBOV T.M.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ 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, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} 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, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ 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, 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.

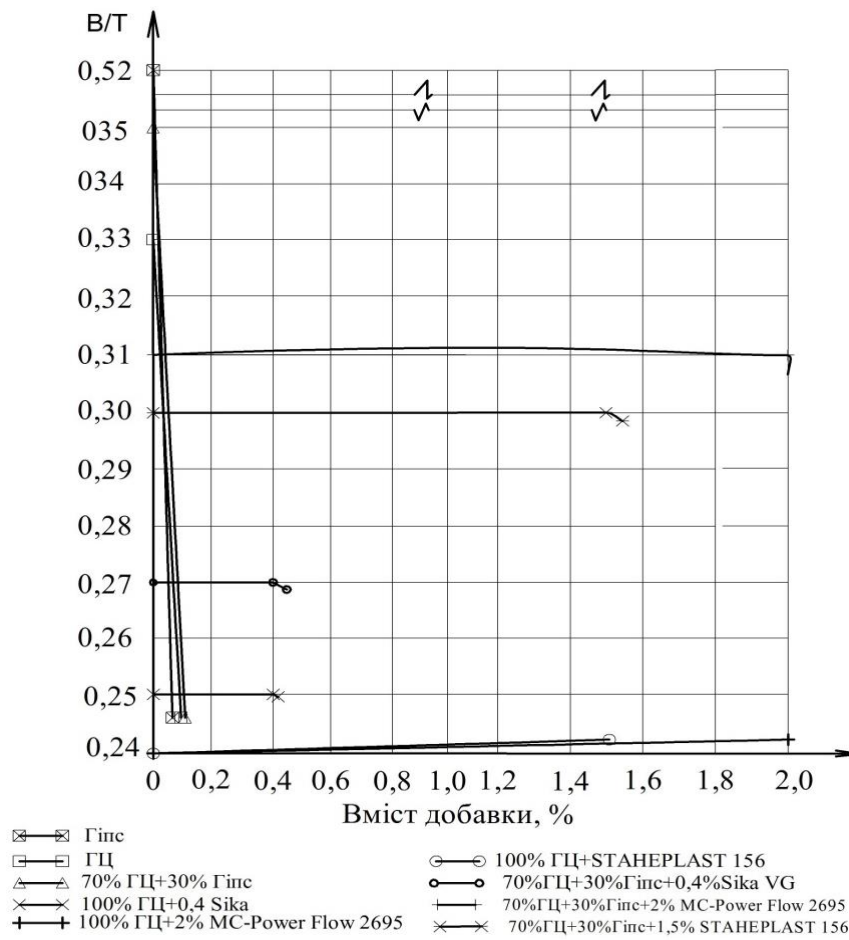


Рис. 1. Графіки залежності водов'язного відношення, композицій, в'язучих гіпсового і глиноземистих цементів від вмісту пластифікаторів

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 ³	R _{ст1} , МПа	R _{ст2} , МПа	R _{ст заг.} , МПа	R _{виг} , 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 _{ст ср}	R _{виг ср}
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 _{поч} , ГОД.-ХВ.-СЕК.	4 хв. 56 сек.	44 хв. 20 сек.	42 хв. 57 сек.	12 хв. 20 сек.	37 хв. 31 сек.
τ _{кін} , 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 _{ср} , МПа	8,74	14,15	10,88	8,29	11,74
R _{ср} , 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/м ³	R _{ст1} , МПа	R _{ст2} , МПа	R _{сж заг} , МПа	R _{ст заг} , МПа	R _{виг} , МПа	R _{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	7,28
		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 ₁	99,9	99,6
Вміст Sika	%	X ₂	0,1	0,4

Таблиця 7

Матриця планування

№ п/п	Рівні варіювання		Витрати матеріалу	
	Фактор впливу		Фактор впливу	
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
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 _{згин} 3 доби, МПа	R _{стисн} 3 доби, МПа
	Фактор впливу		Фактор впливу				
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂			
			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

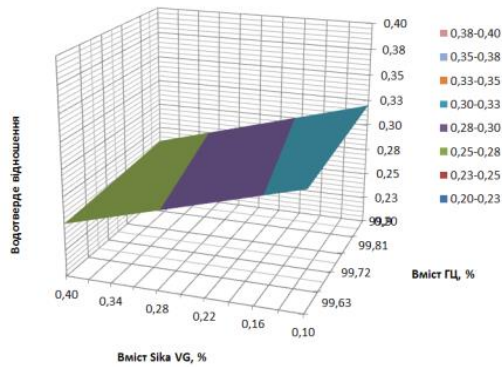
За результатами досліджень складено рівняння регресії та побудовано діаграми взаємного впливу факторів впливу на досліджувані властивості розчинних сумішей (рис. 2–4).

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

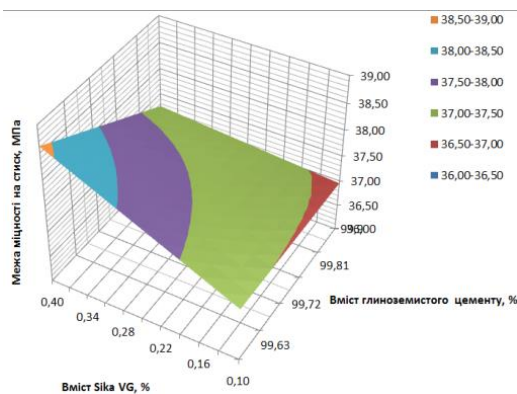
цемент + гіпс) 70 ÷ 30 % проведено на основі планування ПФЕ 2^н.

Як фактори впливу вибрано – вміст суміші такого складу: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу (x₁), ПАР Sika VG (x₂), яка забезпечує оптимальне В/Т та максимальні міцні показники на ранніх термінах твердіння.



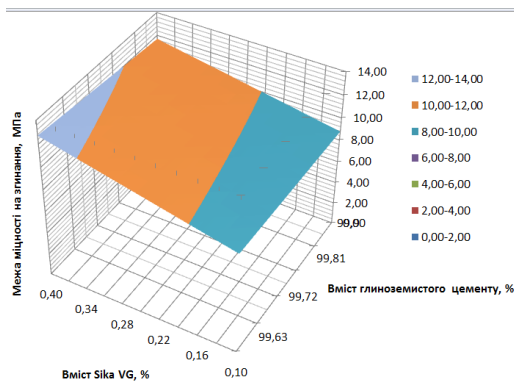
$$B/T = 0,285 - 0,005X_1 - 0,03X_2$$

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 ₁	99,9	99,6
Вміст Sika	%	X ₂	0,1	0,4

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

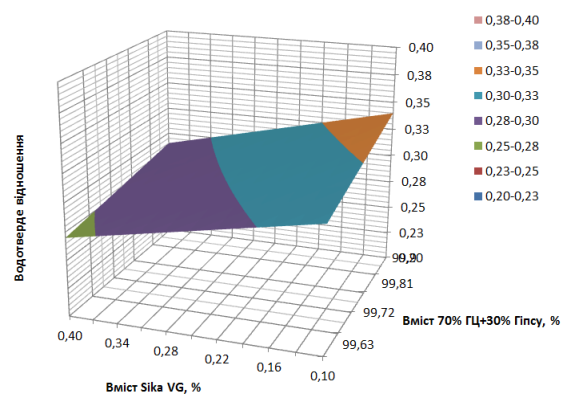
Таблиця 10

Матриця планування

№ п/п	Рівні варіювання фактор впливу		Витрати матеріалу фактор впливу	
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
	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).

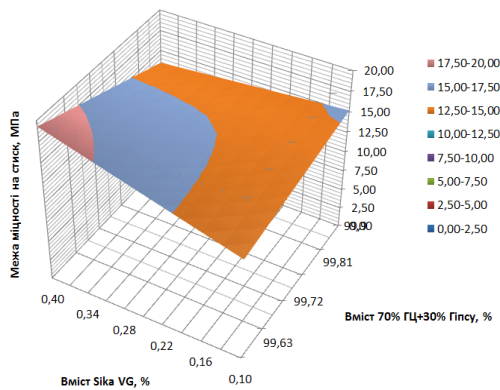


$$B/T = 0,303 - 0,013X_1 - 0,023X_2 + 0,03X_1X_2$$

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

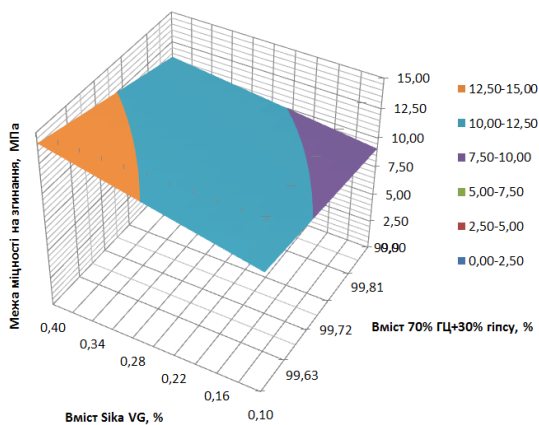
Результати досліджень

№ п/п	Рівень варіювання		Витрата матеріалу, %		В/Т	R _{згин} 3 доб, МПа	R _{стисн} 3 доб, МПа
	Фактор впливу		Фактор впливу				
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂			
			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 arhitektov 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 N.A.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.