



# BUILDING • MATERIALS AND PRODUCTS •

# БУДІВЕЛЬНІ

# МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

№1-2 (103)

2023

## ЗМІСТ / CONTENT

## Засновник

ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ»

Свідотство про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації Міністерство юстиції України Серія КВ №25230 – 15170 ПР Від 12.08.2022 року

Наказом Міністерства освіти і науки України від 16.05.2016 року Протокол №515 журнал затверджен як фахове видання, публікації в якому зараховуються за темою дисертації на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії.

Матеріали розглянуті на засіданні Вченої ради ДП «НДІБМВ», схвалені та рекомендовані до опублікування. Протокол №3 від 17.10.2023 року.

*Редакція не несе відповідальності за зміст реклами і оголошень. Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за достовірність наведених свідчень, точність даних згідно літератури, що цитується і відсутність у статтях даних, що не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті у порядку обговорення, не розділяючи точку зору авторів.*

## Адреса редакції:

вул. Костянтинівська, 68, оф. 322,  
м. Київ-80, 04080, Україна  
тел.: +38 (044) 425 56 32

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)

Підписано до друку 21.11.2023 р.

Тираж 1000 примірників  
Надруковано ТОВ "Кижкова майстерня"  
ТОВ "Кижкова майстерня"  
вул. Михайла Максимовича, 2,  
м. Київ, 03022.

## Редактор:

Сучкова Олена

Дизайн та верстка:

Чумакова Ольга

ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів» — 95 років!

Лаповська С. Д., Черняк Л. П.

Історія досягнень і майбутнє науково-дослідного інституту будівельних матеріалів та виробів.....4

## В'язучі, бетони та добавки / Binders, concrete and additives

Дворкін Л. Й., Бордюженко О. М., Макаренко Р. М.

ВЛАСТИВОСТІ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ БЕТОНІВ ІЗ ДОБАВКОЮ ПОЛІМЕРУ .....10

Leonid Dvorkin, Oleh Bordiuzhenko, Ruslan Makarenko  
PROPERTIES OF FINE-GRAINED SELF-COMPACTING CONCRETE WITH POLYMER ADDITIVE .....10

Дорогань Н. О., Черняк Л. П.

КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ .....14

Nataliia Dorogan, Lev Chernyak

COMPLEX APPLICATION OF MAN-MADE RAW MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF CEMENT CLINKER .....14

Дерев'янюк В. М., Гришко Г. М., Дубов Т. М.

СТАБІЛІЗАЦІЯ ЕТРИНГІТОВОЇ ФАЗИ.....18

Derevianko Viktor, Hryshko Hanna, Dubov Taras

ETRINGITE PHASE STABILIZATION .....18

Пушкарьова К. К., Терещенко Л. В.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НАНОКАРБОНАТНИХ ДОБАВОК НА ЗДАТНІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМ ДО САМООЧИЩЕННЯ .....26

Kateryna Pushkarova, Larysa Tereshchenko

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF NANOCARBONATE ADDITIVES ON SELF-CLEANING CAPACITY OF CEMENT SYSTEMS .....26

Каверин К. О., Анопко Д. В., Левківський Д. В.

СУЧАСНІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ ЕФІРІВ ПОЛІКАРБОКСИЛАТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ .....30

Kostiantyn Kaverin, Dmytro Anopko, Dmytro Levkivskyi

MODERN HIGH-TECH CONCRETES BASED ON POLYCARBOXYLATE ESTERS FOR THE PROTECTION OF ENERGY FACILITIES IN UKRAINE .....30

Троян В. В., Кіндрась Б. П.

МОДЕЛЮВАННЯ ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ, ЗДАТНИХ ДО САМОУЩІЛЬНЕННЯ .....34

Vyacheslav Troyan, Bogdan Kindras

MODELING THE CRACK-RESISTANCE OF HIGH-STRENGTH SELF-COMPACTING CONCRETE.....34

## Легкі та ніздрюваті бетони / Lightweight cellular concrete

Лаповська С. Д., Демченко Т. М., Конопля М. С.

ВПЛИВИ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ ГІДРОФОБІЗУЮЧИХ ДОБАВОК НА ДОВГОВІЧНІСТЬ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ .....40

Svitlana Lapovska, Tatiana Demchenko, Mykola Konoplya

EFFECTS OF SILICONE HYDROPHOBIC ADDITIVES ON THE DURABILITY OF AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETE AND THE AERATED AUTOCLAVED CONCRETE QUALITY .....40

<b>Лаповська С. Д., Черненко М.В., Конопля М. С.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА .....	44
<b>Svitlana Lapovska, Mykola Chernenko, Mykola Konoplya</b> RESEARCH OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE FOR CONSTRUCTION .....	44
<b>Дерев'яні будівельні конструкції / Wooden constructions</b>	
<b>Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., Жеребчук Д. С.</b> ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ КОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ ПОЛІФОСФАТУ АМОНІЮ .....	48
<b>Yu. Tsapko, O. Bondarenko, Yu. Tsapko, D. Zerebchuk</b> DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF WOOD BY A COMPOSITION BASED ON AMMONIUM POLYPHOSPHATE .....	48
<b>Методи досліджень / Management structure</b>	
<b>Корнило І. М., Ткачук В. С.</b> ОРГАНІЗАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ В ПРОЕКТУВАННІ І БУДІВНИЦТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ .....	54
<b>Iryna Kornylo, Vladyslav Tkachuk</b> ORGANIZATIONAL SYSTEM FOR FORECASTING INDICATORS IN DESIGN AND CONSTRUCTION USING MATHEMATICAL MODELS .....	54
<b>Корнило І. М., Гнип О. П.</b> СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ВИКОРИСТАННЯ ВЕКТОРІВ І МАТРИЦЬ ПРИ УПРАВЛІННІ БУДІВНИЦТВОМ .....	56
<b>Iryna Kornylo, Olga Gnyup</b> SYSTEMATIC APPROACH OF USING VECTORS AND MATRICES IN CONSTRUCTION MANAGEMENT .....	56
<b>Маркетинг / Marketing</b>	
<b>Огороднік І. В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАРКЕТИНГУ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ .....	60
<b>Iryna Ogorodnyk,</b> STUDY OF MARKETING FEATURES ON THE REAL ESTATE MARKET .....	60
<b>Рокицька А. В., Огороднік І. В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННОЇ ТОРГІВЛІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ.....	63
<b>Anna Rokytska, Iryna Ogorodnyk</b> ADVANCED FEATURES AND DEVELOPMENT ELECTRONIC COMMERCE IN THE MINDS OF UKRAINE.....	63



Колектив ДП "Український науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ»

## Шановні колеги, партнери, друзі, працівники будівельної галузі! Сьогодні Ви вітаєте нас із знаменною датою — 95-річчям ДП «НДІБМВ»!

Розвиток будівельної галузі — один із головних індикаторів розвитку економіки країни, а об'єкти, які створюють будівельники, формують її вигляд.

У цю святкову дату ми обіцяємо Вам не зупинятися на досягнутому.

Наш інститут і надалі буде успішно здійснювати впровадження новітніх технологій виробництва будівельних матеріалів.

Сьогодні перед нами, як і перед всім українським суспільством, постають виклики, які потребують ефективних рішень для відновлення країни, щоб робити власний внесок у спільну відбудову країни та наблизити Перемогу.

І нехай наші нові досягнення у вітчизняній будівельній галузі стануть цьому запорукою.



**Chairman of the Editorial Board  
(Editor in chief)**

**Lapovska S. D. —**

DrSc(Eng), Deputy Director for Scientific Research of the Research Institute of Building Materials and Products, Professor of building materials of the Kyiv National University of Construction and Architecture;

**Голова редакційної ради  
(Головний редактор)**

**Лаповська С. Д. —**

д.т.н., заступник директора з наукової роботи, ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів», професор кафедри будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури

**Members of the Editorial Board:**

**Gotz V. I. —**

DrSc(Eng), Professor, Dean of the Faculty of Construction and Technology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

**Dvorkin L. I. —**

DrSc(Eng), Professor, Head of the Department of Building Products Technology and Materials Science, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne;

**Kulikov P. M. —**

Doctor of Economics, Professor, Rector of the Kyiv National University of Construction and Architecture, the Honored Worker of Education of Ukraine, laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

**Lisachuk G.V. —**

DrSc(Eng), Professor, National Technical University of Ukraine «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;

**Petrovsky V. Y. —**

DrSc(Eng), Professor, senior scientific researcher of the Laboratory of innovative technologies and energy saving of the Research Institute of Building Materials and Products;

**Runova R. F. —**

DrSc(Eng), Professor of the Kyiv National University of Construction and Architecture, laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

**Sanytsky M. A. —**

DrSc(Eng), Professor, Head of the Building production department of the National University «Lvivska Polytechnica», Lviv, Laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

**Swidersky V. A. —**

DrSc(Eng), Professor, Head of the Chemical technology of composite materials department of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

**Serdiuk V. R. —**

DrSc(Eng), Professor, Dean of the Advanced training faculty of the Vinnitsa State Technical University, Vinnitsa;

**Fisher H.-B. —**

Dr.-Ing., Professor, of the Building Materials department of the F.A.Finger Institute of Building materials of the Weimar University «Bauhaus», Weimar, Germany;

**Fic Stanislaw —**

Dr.-hab. inż., professor, head of Department of Construction, Faculty of Civil Engineering and Architecture Lublin University of Technology, Lublin, Poland;

**Chervyakov Y. M. —**

DrSc(Eng), Deputy Director for Scientific Research of the Research Institute of Building Materials and Products, Kyiv;

**Cherniak L. P. —**

Doctor of Engineering, Professor, senior scientific researcher of the Research Laboratory for physico-chemical studies and construction ceramics of the Research Institute of construction production.

**Члени редакційної ради:**

**Гоц В.І. —**

д.т.н., професор, декан будівельно-технологічного факультету, Київський національний університету будівництва та архітектури, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

**Дворкін Л.І. —**

д.т.н., професор, зав. кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства, Національний університет водного господарства та природознавства, м. Рівне;

**Куліков П. М. —**

д.е.н., професор, ректор Київського національного університету будівництва та архітектури, заслужений працівник освіти України, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

**Лісачук Г. В. —**

д.т.н., професор, Національний технічний університет України "Харківський політехнічний інститут", м.Харків

**Петровський В. Я. —**

д.т.н., професор, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії інноваційних технологій та енергозбереження ДП «НДІБМВ»;

**Рунова Р. Ф. —**

д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

**Саницький М. А. —**

д.т.н., професор, завідувач кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

**Свідерський В. А. —**

д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

**Сердюк В. Р. —**

д.т.н., професор, декан факультету підвищення кваліфікації Вінницького державного технічного університету, м. Вінниця;

**Фішер Х.-Б. —**

д-р — інж. кафедри «Будівельні матеріали» Інституту будівельних матеріалів ім. Ф.А.Фінгера Веймарського університету «Баухаус», м. Веймар, Німеччина;

**Фіц Станіслав —**

д-р габ. інж., професор, завідувач кафедри загального будівництва, Факультет будівництва та архітектури, Люблінський технологічний університет, м. Люблін, Польща;

**Червяков Ю. М. —**

к.т.н., заступник директора з наукової роботи, ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ;

**Черняк Л. П. —**

д.т.н., професор, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії фізико-хімічних досліджень та будівельної кераміки, ДП «НДІБМВ».



Лаповська С. Д.



Черняк Л. П.

**Лаповська С. Д.**, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи, ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»;  
**Черняк Л. П.**, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

## ІСТОРІЯ ДОСЯГНЕНЬ І МАЙБУТНЄ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

95 років від заснування «НДІБМВ» є значною віхою в історії розвитку галузі будівельних матеріалів України. Адже розвиток вітчизняного виробництва нерозривно пов'язаний з натхненною працею колективу інституту.

Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ» засновано у 1928 р. як Київську філію Харківського науково-дослідного інституту силікатної промисловості. Першим директором інституту став професор Київського політехнічного інституту Борис Савелійович Лисін.

Лисін Б.С.,  
Перший Директор НДІБМВ

До весни 1930 р. в інституті було створено три лабораторії: керамічна, в'язучих матеріалів та хіміко-аналітична. В одному з підвалів будинку №12 по вул. Коцюбинського, де розташовувався інститут, для випалу керамічних виробів збудували горно, паливом для якого були дрова. Пресового обладнання для випробування матеріалів на міцність інститут не мав, і тому такі випробування проводили в учбових лабораторіях кафедри силікатів Київського політехнічного інституту. В подальшому організовано невелику механічну майстерню, однією з першочергових задач якої стало виготовлення пресу для випробувань матеріалів.



Будівля НДІБМВ по вул. Єлизаветинській 5, 1931-1946 рр.

В 1931 р. інститут переїздить у нове приміщення по вул. Єлизаветинській, 5 у будинок колишнього Кловського палацу. Будинок згорів під час громадянської війни, від нього залишилися лише стіни. Відбудову споруди інститут проводив власними силами господарським способом до 1932 р. Великий триповерховий будинок дозволив значно розширити обсяги досліджень. Створено пічне відділення, придбано багато лабораторного обладнання, збудовано механічний цех.

До участі в роботах інституту залучали відомих вчених: академіків Плотнікова В.А. (відомий фізико-хімік), Вобля К.Г. (спеціаліст з промислової економіки), професорів Тананаєва Н.А. (спеціаліст з аналітичної хімії), Назаревича С.І. (геолог), трохи пізніше (з 1933 р.) Кірієнка І.А. (спеціаліст з бетонів) та ін.

З 1945 р. інститут став відділенням Академії архітектури України, а з 1 серпня 1947 р. перейшов на самостійний баланс з назвою Науково-дослідний інститут будівельних матеріалів Академії архітектури України.



Лабораторія інституту, 1932 рік



Лабораторія інституту (1932г.)



Будівля НДІБМВ по вул. Хрещатик 10, 1946-1954 рр.

З 1957 р. на базі інституту та ЦНДІБМ створено Державний науково-дослідний інститут будівельних матеріалів і виробів «НДІБМВ» («НИИСМИ»). До складу інституту входили Молдавське відділення, Львівська та Кримська філії, а з 1988 р. – відділення в містах Вінниця, Дніпропетровськ, Донецьк, Львів, Сімферополь, Харків.

З 1992 р. інститут має назву Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ».

З 1957 р. інститут підпорядковано Міністерству промисловості будівельних матеріалів СРСР, Міністерству промисловості будівельних матеріалів УРСР, Українській державній корпорації промисловості будівельних матеріалів «Укрбудматеріали», а з 2004 р. входить до сфери управління Мінрегіонбуду України.

Постановою Ради Міністрів України від 19.09.1978 р. №465, постановою Держбуду України від 29.01.1979 р. №11, наказом Мінбудматеріалів СРСР від 06.07.1979 р. №2 415 «НДІБМВ» затверджено головною організацією за напрямками: розробка технологій та автоматизованих технологічних ліній з виробництва спученого перліту і фільтроперліту та заводських способів виготовлення теплозвукоізоляційних матеріалів, виробів і конструкцій з легких бетонів на основі перліту; розробка технології виробництва і комплексного автоматизованого обладнання з виробництва шлакової пемзи і гранульованих шлаків підвищеної активності; розробка технології і комплексного автоматизованого обладнання з виробництва лицьової цегли та фасадної кераміки пластичним способом та методом лиття; розробка технології і комплексного автоматизованого обладнання для видобутку і виготовлення будівельних матеріалів і виробів із вапняка-черепашника; розробка технології виробництва теплоізоляційних виробів на основі спученого перліту; розробка технології виробництва базальтового волокна і базальтопластиків з метою досягнення рентабельності їх використання в капітальному будівництві; виконання науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт в галузі створення будівельних матеріалів на основі базальтового волокна.

Наказом Мінбудархітектури України від 28.04.1993 р. №2 48 інститут затверджено базовою організацією зі стандартизації сировини, матеріалів і виробів будівельного призначення.

Згідно з постановою правління корпорації «Укрбудматеріали» з 1996 р. до 2004 р. «НДІБМВ» виконував функції головної науково-технічної організації галузі з розробки технологій виробництва будівельних матеріалів і виробів: цегла та камені керамічні, архітектурно-будівельна кераміка; цегла та камені силікатні, щільний силікатний бетон, вироби з ніздрюватого бетону, крейда, вапно; плитки керамічні, санітарно-будівельні вироби, каналізаційні та дренажні керамічні труби, кислототривка кераміка; пористі заповнювачі; полімерні, м'які покрівельні, гідроізоляційні, теплоізоляційні, теплозвукоізоляційні матеріали; гіпс, гіпсове в'язуче та вироби на його основі; нерудні та неметалорудні матеріали.

В інституті розроблено технології, які впроваджено як на підприємствах будівельних матеріалів України, так і країн СНД: технологія виготовлення цирконієвих глухих полив для керамічних плиток. Авторів технології удостоєно Державної премії країни; технологія виробництва цегли з відходів вуглезбагачення. Розробка в 1987 р. удостоєна Державної премії України в галузі науки і техніки; технологія та обладнання для виробництва спученого перліту та матеріалів широкої номенклатури на його основі. Результати роботи впроваджено на підприємствах України, Росії, Грузії, Німеччини, Угорщини, Монголії; гідроекранний спосіб та устаткування для виготовлення шлакової пемзи на металургійних підприємствах України та Росії; технологія та проект виробництва пористого заповнювача на основі шлаків теплових електростанцій. Збудовано завод у м. Бурштин Івано-Франківської обл.; технологія вироб-

Григор'єв В. С.,  
Директор НДІБМВ 1946-1954 рр.Жуков А. В.,  
Директор НДІБМВ 1954-1956 рр.Хорьков П. М.,  
Директор НДІБМВ 1977-1981 рр.Удачкін І. Б.,  
Директор НДІБМВ 1981-1983 рр.Бондаренко С. І.,  
Директор НДІБМВ 1983-1989 рр.

ництва легких бетонів на крупних пористих заповнювачах та спученому перлітовому піску. Розробку впроваджено на підприємствах будіндустрії; технологія виробництва волокнистих негорючих теплоізоляційних матеріалів. На базі цієї технології створено виробництва теплоізоляційних матеріалів; конструкція, технологія та обладнання для виготовлення полівінілхлоридних витих дренажних труб, що успішно експлуатувалися при меліорації земель. Розробка неодноразово була відзначена медалями та дипломами ВДНГ СРСР та ВДНГ України; технологія виробництва гідрофобного карбонатного порошку для безканальної ізоляції теплотрас. Тридцятирічний досвід експлуатації теплотрас свідчить про високу якість матеріалу; технології виробництва виробів з нздрюватого та щільного силікатного бетону для житлово-цивільного та промислового будівництва. Технології освоєно на заводах в м. Славути Хмельницької обл., м. Обухів Київської обл., м. Житомир, м. Чернігів, м. Куп'янськ Харківської обл., м. Суми. Розробки відзначено медалями ВДНГ СРСР та ВДНГ України; типовий ряд енергозберігаючих газопальникових пристроїв для інтенсифікації теплової обробки керамічних виробів. Використання таких пристроїв дозволило знизити питомі витрати палива не менш як на 15% та інші.

Напрямки діяльності інституту коригувалися в залежності від потреб будівництва. На початку своєї діяльності інститут активно включився в роботи з розвитку керамічної, вогнетривкої, цементної та скляної підгалузей промисловості будівельних матеріалів.

Новий етап розвитку інституту пов'язано з післявоєнним періодом. Для відбудови зруйнованого у роки війни народного господарства країни необхідно було розробити та впровадити нові будівельні матеріали та індустріальні методи будівництва.

Лауреат Державних премій СРСР та УРСР, доктор технічних наук, професор Сергій Петрович Ничипоренко одразу після війни поєднував працю головного інженера «Укрголовкераміки» Мінбудматеріалів УРСР та завідувачого лабораторією кераміки інституту. Надалі він зосередився на науковій праці і в 1958 році захистив докторську дисертацію на тему «Основні питання теорії процесів пластичної обробки та формування керамічних мас», що стала фундаментом української школи фізико-хімічної механіки дисперсних систем, пов'язала наукові уявлення про коагуляційне структуроутворення з практичними можливостями оптимізації технологічних параметрів виробництва кераміки.

З посади начальника «Укрголовкераміки» Мінбудматеріалів УРСР перейшов на роботу в «НДІБМВ» лауреат Державної премії СРСР, доктор технічних наук, професор Аркадій Володимирович Жуков. Працюючи заступником директора по науковій роботі, він спрямовував розвиток досліджень з модернізації вітчизняної технології кераміки, очолив новий напрямок ство-



рення теплоізоляційних матеріалів на основі спеціальної термічної обробки порід вулканічного походження, впровадив оригінальну технологію виробництва керамоперліту.

Лауреат Державної премії СРСР, кандидат технічних наук Михайло Давидович Абрамович у повоєнні роки був директором дослідного заводу «КЭИЗ», директором Київського заводу «Керамік» та завідувачим лабораторією фасадної кераміки «НДІБМВ». В 1954 році він видав унікальну за інженерним пріоритетом монографію «Формування виробів будівельної та архітектурної кераміки на вертикальних трубних пресах», в 1956-1960 рр. вперше в СРСР впровадив виробництво керамічних фасадних плиток шляхом напівсухого пресування, впровадив перші потоково-конвейерні лінії по виробництву плиток за технологією лиття на порожнистих підставках, запропонував технологію виготовлення плиток пластичним напластуванням.

Вперше в Радянському Союзі розроблено і впроваджено в промисловість технологію виготовлення керамічних панелей зовнішніх стін. У 60-х роках інститут уперше у світовій практиці запропонував двошарове пресування лицьової цегли.

Розроблено спосіб напівсухого пресування килимово-мозаїчних плиток розміром 22x22 мм. Невелика маса плиток (7-8 кг/м<sup>2</sup>) дозволила різко збільшити розміри керамічних килимів і, тим самим, підвищити індустріальність виготовлення панелей та їх якість.

Вперше в нашій країні за допомогою вчених інституту успішно проведено промислові випробування нового способу зменшення робочої вологості шлікеру за рахунок комплексного використання вібрації та поверхнево-активних речовин.

Колектив співробітників інституту під керівництвом лауреатів Державної премії країни Григор'єва Володимира Сергійовича та Жукова Аркадія Володимировича забезпечував розвиток виробництва пористих заповнювачів в Україні. За проектами НДІБМВ споруджено та введено в експлуатацію понад 40 установок з виробництва спученого перліту. На основі спученого перліту на різних зв'язуючих створено нові види тепло- і звукоізоляційних матеріалів.

Вагомий внесок в розвиток будівельної науки зробили доктори наук Єршов Л.Д., Корнілович Ю.Є., Лаповська С.Д., Родін Б.М., Слободяник Г.Я., Солонінко І.С., Удачкін І.Б. Черняк Л.П., кандидати наук Абрамович М.Д., Андреев А.О., Байвель І.М., Голубчин А.Г., Гулінова Л.Г., Гуменюк Є.Л., Дажук К.В., Зайончковський Б.Ф., Націєвський Ю.Д., Осадчук Я.Е., Сахарова Н.О., Троцько Т.Т., Фельдшон З.Д., Червяков Ю.М., Черепова О.В., вчений секретар Ольшанська З.І., завідувачі лабораторій Парашенко О.Д., Прохорчук В.В. та інші.

Плідно працювали в інституті кандидати наук Барановський В.Б., Бондаренко С.І., Гавриленко О.І., Грицай Л.І., Гуменюк А.Є., Димченко В.Г., Кривоносова Н.Т., Красильнікова З.С., Крупа О.А., Михайлов В.І., Поладко Г.І., Тимофеева Н.М., Троцько Т.Т., Хорьков П.М., Чермянін М.Р., Чередніченко Т.Г., Швайко Д.І., Шеляхін І.В., Яцук Л.В. та інші.



У 80-90-і роки минулого століття за результатами розробок інституту освоєно випуск бетонних і керамічних дорожніх виробів, теплоізоляційних матеріалів на основі базальтового супертонкого волокна для промислового та цивільного будівництва, стінових каменів із золошлакогіпсобетону з використанням золошлакових відходів, перлітових фільтрувальних порошоків широкого номенклатури, сухих будівельних сумішей, конструкцій з керамзитозолобетону.

Знавцем таємниці деревної та тонкої технології виготовлення керамічної глазурі була визнана завідувач лабораторією фасадної кераміки канд.техн.наук Н.О. Сахарова, а її наступниця – канд.техн.наук К.В. Дажук зробила значний внесок в розвиток технології фасадних плиток при швидкісному випалюванні, вирішенні проблем довговічності керамічного лицювання фасадів. Знавцем складної технології випалювання зарекомендував себе канд.техн.наук М.Х. Лучка.

В лабораторії стінової кераміки кандидати технічних наук П.М. Руденко, З.С. Красильникова, Д.Й. Руді, Д.І. Швайка виконали значний обсяг досліджень по розширенню сировинної бази та вдосконаленню виробництва керамічної цегли. За творчий внесок в рішення проблем практичного використання в технології цегли відходів вугледобування та вуглезбагачення канд. техн. наук В.І. Михайлову присвоєно звання лауреата Державної премії УРСР. Невичерпним був на підприємствах галузі авторитет старшого наукового співробітника Арнольда Дмитровича Косодриги, який активно впроваджував технології лицьової та архітектурно-оздобувальної кераміки.

Справжнім мостом між науковими дослідженнями та практикою виробництва став організаційний талант визнаних командирів промисловості, які плідно працювали на керівних посадах в інституті: І.М. Малюкіна, Є.Л. Гуменюка, В.П. Мінаєва, М.І. Попереки, П.М. Хорькова, О.Д. Гороховського, Н.Т. Кривоносової.

Кераміка Хрещатика та висотних будинків Москви, численні винаходи та наукові праці стали історичним підтвердженням творчої праці, великих можливостей вчених «НДІБМВ» та керамічної промисловості України.

Результати розробок інституту використано при реконструкції Національного театру опери та балету ім. Т.Г. Шевченка, Золотих воріт, Майдану Незалежності, Андріївського узвозу, Будинку органної та камерної музики в Києві.

Матеріали та вироби, які виготовлено за розробками інституту, широко використовують на новобудовах м. Києва – блоки з теплоізоляційного та конструкційно-теплоізоляційного ніздрюватого бетону, лицьова цегла, руберойд підвищеної довговічності, плити з пінополістиролу, сухі будівельні суміші, комплексні добавки для бетонів та розчинів, стінові камені з перлітобетону, фігурні елементи мощення тощо.

Велике значення для вчених і спеціалістів галузі має відродження науковцями інституту видання журналу «Будівельні матеріали та вироби», 50-річчя якого відмічалось у 2009 році та збірника «Будівельні матеріал, вироби та санітарна техніка», 50-й випуск якого виходить в цьому році.

Велике значення для вчених і спеціалістів галузі має відродження науковцями інституту видання журналу «Будівельні матеріали та вироби», та збірника «Будівельні матеріал, вироби та санітарна техніка», 59-й випуск якого виходить в цьому році.

Наказом Мінрегіону від 21.07.2011 р №81 створено технічний комітет стандартизації ТК 305 «Будівельні вироби і матеріали», здійснювати функції секретаріату якого уповноважено ДП «НДІБМВ».

Випробувальний центр будівельних матеріалів і виробів ДП «НДІБМВ» акредитовано в Національному агентстві з акредитації (атестат акредитації 2Т204 ДСТУ ISO/IEC 17025:2015) на право проведення випробувань, в т.ч. сертифікаційних, будівельних матеріалів і виробів понад 120 найменувань.

#### **ДП «НДІБМВ» готує наукові кадри за двома спеціальностями:**

**05.23.05** – Будівельні матеріали та вироби;

**05.17.11** – Технологія тугоплавких неметалевих виробів.

#### **Сьогодні ставить перед інститутом нові складні науково-технічні завдання:**

- підвищення конкурентоспроможності вітчизняних будівельних матеріалів і виробів;
- модернізації підприємств із застосуванням вітчизняних технологічних розробок;
- впровадження стандартів ЄС;
- оновлення обладнання для досліджень і тестувань;
- посилення співпраці з НАН України та провідними іноземними дослідницькими центрами.

Святкуючи ювілей 90-річчя, маємо налаштуватися на подальшу працю та нові творчі звершення на благо України.



Сай В. І.,  
Директор НДІБМВ 1989-2010 рр.



Червяков Ю. М.,  
в.о. директора НДІБМВ 2010-2013 рр.



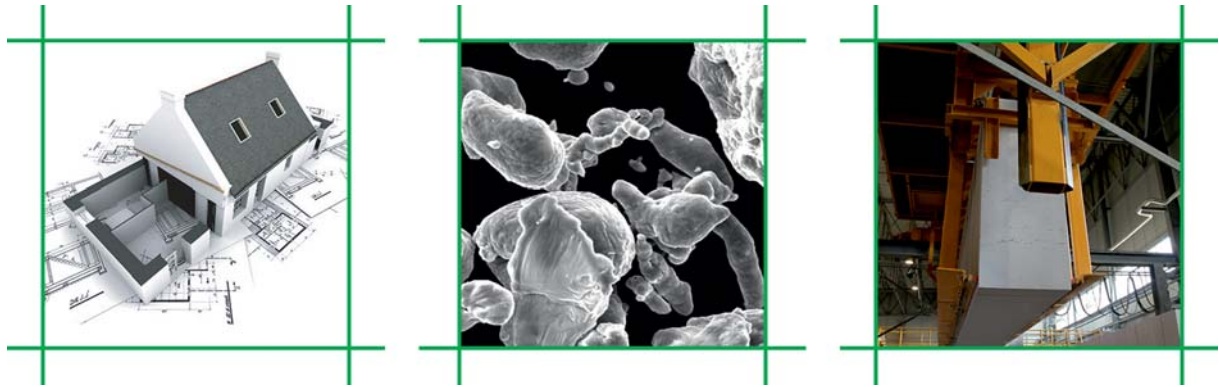
Мороко О. О.,  
Директор НДІБМВ 2013-2015 рр.



Дюжилова Н. О.,  
Директор НДІБМВ 2015-2018 рр.



Скрипник А. Л.,  
в. о. директора НДІБМВ з 2018 р.



## НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЛАБОРАТОРІЇ:

- дослідження технічного стану галузей промисловості будівельних матеріалів та перспектив їхнього розвитку в Україні;
- розробка та узгодження нормативної та технічної документації;
- проведення випробувань будівельних матеріалів згідно галузі акредитації;
- проведення випробувань сировини з метою визначення її придатності для виробництва будівельних матеріалів та виробів;
- сертифікаційні випробування будівельних матеріалів та виробів;
- дослідження структури будівельних матеріалів за допомогою растрового електронного мікроскопа;
- розробка нових будівельних матеріалів;
- розробка енергозберігаючих технологій;
- незалежна експертиза будівельних матеріалів;
- розробка технологічних карт;
- надання науково-технічної допомоги підприємствам при впровадженні нового або реконструкції існуючого виробництва, удосконалення існуючих технологій; постановка продукції на виробництво;
- розробка технічних умов, технологічних регламентів, стандартів на продукцію будівельного призначення;
- розробка і впровадження нових технологій виробництва будівельних матеріалів: ніздрюватих бетонів автоклавного та неавтоклавного тверднення, крейди, вапна та ін.;
- консалтингові послуги;
- видання щорічного Каталогу будівельних матеріалів, виробів та інженерного обладнання «Будматеріали» (з 2000 р.);
- проведення тематичних науково-практичних конференцій, семінарів та презентацій.

e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)

[labbmsp@ukr.net](mailto:labbmsp@ukr.net)

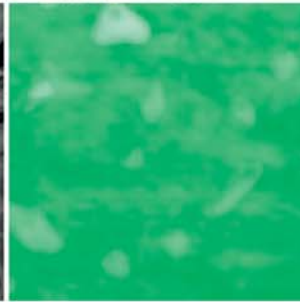
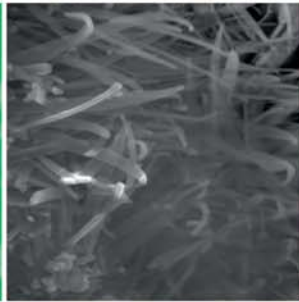
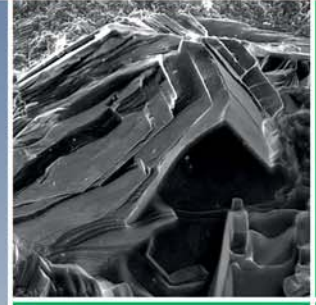


*Заст.директора з наукової роботи  
завідувач лабораторії,  
доктор технічних наук*

**ЛАПОВСЬКА  
СВІТЛАНА ДАВИДІВНА**

☎ +38 (050) 311 26 35





**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ  
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ  
ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**





Дворкін Л. Й.



Бордюженко О.М.



Макаренко Р. М.

**Дворкін Л. Й.,**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства,  
Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028  
✉ dvorkin.leonid@gmail.com ☎ +38 (068) 353 33 38  
ORCID: 0000-0001-8759-6318

**Бордюженко О. М.,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства,  
Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028  
✉ bord@nuwm.edu.ua ☎ +38 (067) 528 73 31  
ORCID: 0000-0003-3686-5121

**Макаренко Р. М.,**

кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри промислового,  
цивільного будівництва та інженерних споруд, Національний університет водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028  
✉ r.m.makarenko@nuwm.edu.ua ☎ +38 (050) 774 85 33  
ORCID: 0000-0003-4839-9623

**Leonid Dvorkin,**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Construction Technology and Materials Science,  
National University of Water and Environmental Engineering,  
Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028  
✉ dvorkin.leonid@gmail.com ☎ +38 (068) 353 33 38  
ORCID: 0000-0001-8759-6318

**Oleh Bordiuzhenko,**

PhD, Associate professor  
Department of Construction Technology and Materials Science,  
National University of Water and Environmental Engineering,  
Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028  
✉ bord@nuwm.edu.ua ☎ +38 (067) 528 73 31  
ORCID: 0000-0003-3686-5121

**Ruslan Makarenko,**

PhD, Professor  
Department of industrial, civil construction and engineering structures,  
National University of Water and Environmental Engineering  
Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028  
✉ r.m.makarenko@nuwm.edu.ua ☎ +38 (050) 774 85 33  
ORCID: 0000-0003-4839-9623

## ВЛАСТИВОСТІ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ БЕТОНІВ ІЗ ДОБАВКОЮ ПОЛІМЕРУ

### PROPERTIES OF FINE-GRAINED SELF-COMPACTING CONCRETE WITH POLYMER ADDITIVE

**Анотація.** Наведено результати досліджень властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих бетонів з використанням поліфункціонального модифікатора. Показано, що при оптимальному складі та вмісті такого модифікатора, що включає в себе полівінілацетатну дисперсію та суперпластифікатор, стає можливим суттєво покращити властивості самоущільнювальних бетонів.

**Ключові слова:** Самоущільнювальний бетон, поліфункціональний модифікатор, полівінілацетатна дисперсія, міцність, водопоглинання, стиранисть.

**Abstract.** The results of studies of the properties of self-compacting fine-grained concrete using a polyfunctional modifier are presented. It is shown that at the optimal composition and content of such a modifier, which includes a polyvinyl acetate dispersion and a superplasticizer, it becomes possible to significantly improve the properties of self-compacting concrete.

**Keywords:** Self-compacting concrete, polyfunctional modifier, polyvinyl acetate dispersion, strength, water absorption, abrasion.

#### Вступ. Аналіз досліджень

Внаслідок низької деформативності а також міцності при розтягу звичайний важкий бетон часто не може забезпечити достатню тріщиностійкість. Деформативність та міцність цементних бетонів та розчинів на розтяг можна суттєво підвищити за рахунок застосування полімерних добавок, що надає таким матеріалом суттєві переваги [1-6].

Зниження проникності цементного каменю може відбуватись за рахунок застосування полімерних добавок, що покращують порову систему. При цьому закономірно, що бетон з добавкою ПВА проявляє меншу проникність і більшу стійкість при насиченні неполярними рідинами, а з добавками каучуків і інших неполярних полімерів, водою і іншими полярними рідинами. Даний висновок є справедливим і щодо стійкості модифікованих бетонів і розчинів по відношенню до агресивної дії різних хімічних речовин [7].

Наповнення пор полімерами а також додаткове повітровтягання призводить, як відзначає більшість дослідників [8, 9], до підвищення морозостійкості бетонів та розчинів. Робота Намікі і Охама [10] представляє результати вивчення стійкості зразків модифікованих розчинів, вкладених на звичайний цементний розчин після 10-річної дії зовнішнього середовища в умовах Токіо. У порівнянні зі зразками, які були склеєні немодифікованими розчинами та випробувані після одного року перебування за нормальних умов, більшість зразків, зв'язаних модифікованими розчинами після 10 років, все ще були в задовільному стані за тих же умов.

Охама відзначає також [10], що переважна більшість модифікованих розчинів мають хорошу стійкість до карбонізації ат-

мосферним вуглекислим газом, що допомагає запобігати корозії сталевій арматури.

Модифікуючи властивості затверділих бетонів і розчинів, полімерні добавки істотно впливають на реологічні та технологічні властивості цементних сумішей.

При низьких полімерцементних співвідношеннях вододисперговані та водорозчинні полімери зазвичай мають пластифікуючий і повітровтягаючий ефект [8]. Модифіковані цементні суміші якісно відрізняються від звичайних цементних сумішей підвищеною водоутримуючою здатністю, яка зростає зі збільшенням співвідношення полімеру до цементу [11].

Останніми десятиліттями все ширше впроваджуються у будівельну практику самоущільнювальні бетонні суміші, які особливо ефективні для бетонування тонкостінних густоармованих конструкцій та влаштування наливних підлог. Для цих сумішей особливо ефективними є добавки, які, поряд з підвищенням пластичності та зниженням водопотреби, позитивно впливають на водоутримуючу здатність, збереження їх легкоукладальності в часі та на комплекс будівельно-технічних властивостей.

Аналіз існуючих відомостей про самоущільнювальні дрібнозернисті бетони показує, що одним із ефективних шляхів покращення їх технічних властивостей є застосування поліфункціональних модифікаторів (ПФМ), що містять суперпластифікатори та полімери.

Метою роботи було дослідження міцнісних та деформативних властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих бетонів з використанням ПФМ, що призначені для влаштування наливних підлог.

### Матеріали та методи досліджень

В дослідженнях використовували портландцемент Здолбунівського «ВАТ Волинь-цемент» СЕМ І 42,5 R, з нормальною густиною 26,8%, золу-виносу Ладиженської ТЕС з питомою поверхнею 3100 см<sup>2</sup>/г і суміш кварцового піску з двома фракціями 0,16...2 мм та 2...5 мм у співвідношенні 0,8:0,2 з модулем крупності 2,15 та водопотребою 8,5%. Витрата в'язучого (суміш цементу і золи у співвідношенні 0,7:0,3) складала 575 кг/м<sup>3</sup>.

В якості полімерного компоненту ПФМ використовували полівінілацетатну дисперсію (ПВАД) — водну емульсію термопластичного полярного полімеру ПВА. Композиція суперпластифікатор (СП) — ПВАД у бетонну суміш вводилась з водою затворення. Суперпластифікатор був представлений добавкою полікарбоксилатного типу Melflux 2651f.

Витрату води доводили до значення розпливу дрібнозернистої бетонної суміші 550...600 мм (клас SF1 за EN 12350-8). При такому розпливі, як показали попередні досліди, осадка стандартного конуса складає 26...27 см.

Виготовляли зразки-призми 4×4×16 см для дослідження міцності при стиску ( $f_{ct}$ ), міцності на розтяг при згині ( $f_{sr}$ ) і водопоглинання ( $W$ ), а також зразки-куби з розміром ребра 7,07 см для визначення стиранистості бетону. Зразки тверділи до моменту проведення випробувань у повітряно-вологих умовах при 20±2° С.

Міцнісні характеристики зразків бетону визначали за ДСТУ Б В.2.7-224:2009, водопоглинання — за ДСТУ Б В.2.7-170:2008, стиранистість — за ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Досліди по визначенню міцності проводили на зразках у віці 7, 28 і 90 діб.

Для розрахунку складу бетону в кожній точці матриці приймали певний об'єм бетонної суміші, що відповідав об'єму замісу. Згідно умов планування експерименту знаходили об'єм заповнювача та в'язучого. Відповідно до прийнятого золо-цементного відношення знаходили об'єм цементу і золи. Витрату компонентів на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші знаходили з врахуванням їх густини.

### Експериментальні результати та їх аналіз

Для дослідження впливу вмісту і складу ПФМ на вказані вище властивості самоущільнювальних золо-цементних бетонів, були виконані алгоритмізовані експерименти відповідно до трирівневого трьохфакторного плану В<sub>3</sub> [12]. Умови планування експериментів наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

#### Умови планування експерименту

№ з/п	Фактори	Кодоване значення	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
1	Вміст ПФМ, % від маси в'язучого	X <sub>1</sub>	0,5	1,75	3
2	Масова частка СП у складі ПФМ	X <sub>2</sub>	0	0,5	1,0
3	Водо-в'язуче відношення	X <sub>3</sub>	0,3	0,4	0,5

У результаті статистичного опрацювання отримані рівняння регресії (математичні моделі) показників властивостей самоущільнювальних бетонів (СУБ) у 28-добовому віці, що адекватні при 95%-й довірчій ймовірності та приведені в кодованих змінних у табл. 2.

#### Рівняння регресії властивостей СУБ з ПФМ

№	Вихідний параметр	Рівняння регресії
1	Границя міцності при стиску ( $f_{ct}$ ), МПа	$f_{ct} = 62.56 + 1.75X_1 + 6.12X_2 - 20.06X_3 - 1.946X_1^2 - 1.85X_2^2 + 5.2X_3^2 + 6.72X_1X_2 - 1.51X_1X_3$ (1)
2	Границя міцності при згині ( $f_{sr}$ ), МПа	$f_{sr} = 7.8 + 0.4X_1 - 0.23X_2 - 0.95X_3 + 0.09X_1^2 - 0.88X_2^2 - 0.44X_3^2 + 0.472X_1X_2$ (2)
3	Водопоглинання ( $W$ ), %	$W = 6.64 - 0.21X_1 - 0.57X_2 + 2.47X_3 + 0.15X_1^2 + 0.10X_2^2 - 0.20X_3^2 - 0.29X_1X_2$ (3)
4	Стиранистість ( $St$ ), г/см <sup>2</sup>	$St = 0.49 - 0.09X_1 + 0.08X_2 + 0.15X_3 + 0.06X_1^2 + 0.03X_2^2 + 0.04X_3^2 + 0.05X_1X_2 + 0.04X_2X_3$ (4)

Для міцності СУБ при стиску і згині (рис. 1, 2), як і слід було очікувати, із досліджуваних факторів найбільш значимим виявилось водо-в'язуче відношення (X<sub>3</sub>). При цьому характерно, що для бетонів із добавкою ПФМ, так як і для звичайних цементно-піщаних розчинів [13], збільшення В/Ц веде до значно більш істотного падіння міцності при стиску ніж міцності на розтяг при згині.

Збільшення вмісту ПФМ (X<sub>1</sub>) при В/Ц = const може сприяти або збільшенню, або зменшенню міцності на стиск СУБ в залежності від складу композиційної добавки. У тому випадку, коли ПФМ представлений тільки суперпластифікатором Melflux, збільшення його вмісту при постійному В/Ц призводить до суттєвого підвищення міцності.

Інший характер впливу на міцність при стиску другого компонента ПФМ — полівінілацетатної добавки. У обраній області варіювання збільшення її вмісту, особливо від 1,5 до 3%, призводить до істотного падіння величини  $f_{ct}$  (рис. 1). Уповільнення процесу наростання міцності полімерцементів спостерігалось й іншими дослідниками [5].

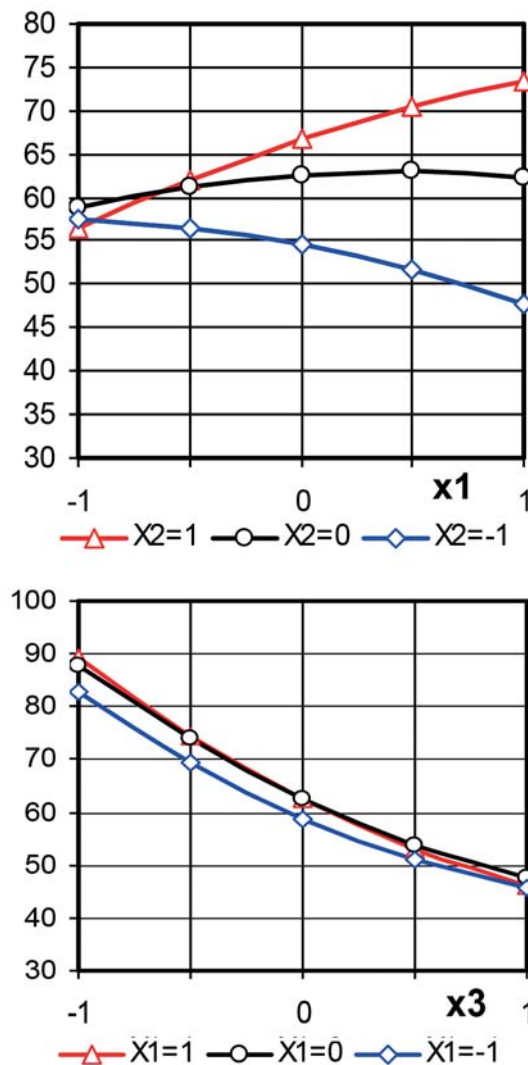


Рис. 1. Залежності міцності при стиску (МПа) самоущільнюваних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів: вмісту ПФМ, % від маси цементу (X<sub>1</sub>); масової частки СП у складі ПФМ (X<sub>2</sub>); В/Ц (X<sub>3</sub>)

Таблиця 2.

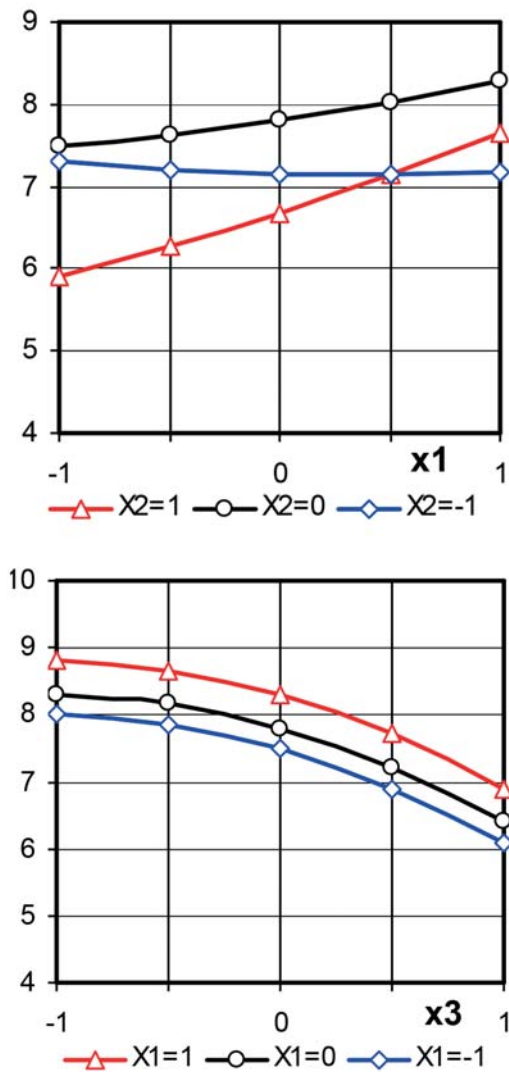


Рис. 2. Залежності міцності при згині (МПа) самоущільнюваних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів: вмісту ПФМ, % від маси цементу ( $X_1$ ); масової частки СП у складі ПФМ ( $X_2$ ); В/Ц ( $X_3$ )

Вплив досліджуваних ПФМ на міцність СУБ при згині (рис. 2) має ряд особливостей. Найбільше інтенсивно  $f_{зг}$  у досліджуваній області дозувань ПФМ росте в тих випадках, коли добавка представлена лише суперпластифікатором Melflux. Проте абсолютні значення міцності на згин залишаються більш високими при використанні ПФМ із максимальною масовою часткою СП не більше 0,5. Отримані дані показують, що в області порівняно невисоких досліджуваних концентрацій ПВАД відчувається її помітний позитивний вплив на  $f_{зг}$  самоущільнюваних бетонів. Відповідно знижується і співвідношення  $f_{ст} / f_{зг}$ . Розрахункові співвідношення  $f_{ст} / f_{зг}$  для СУБ із добавкою ПФМ при різних значеннях досліджуваних факторів, отримані з використанням відповідних рівнянь регресії, наведені в табл. 3.

Таблиця 3.

Розрахункові співвідношення  $f_{ст} / f_{зг}$  для СУБ із добавкою ПФМ

№ з/п	Натуральні значення факторів			$f_{ст} / f_{зг}$		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	7 діб	28 діб	90 діб
1	3	1	0,5	5,8	6,6	7,1
2	3	0	0,5	3,5	4,9	4,8
3	0,5	1	0,5	5,7	6,9	7,6
4	0,5	0	0,5	4,1	5,5	5,4
5	3	1	0,3	8,8	9,1	9,3
6	3	0	0,3	6,7	7,0	6,5
7	0,5	1	0,3	9,8	9,4	9,6
8	0,5	0	0,3	7,8	8,6	7,6

Аналіз даних табл. 3 показує, що тенденція до зниження  $f_{ст} / f_{зг}$  проявляється в міру зростання як загального вмісту ПФМ, так і збільшення в останньому частки полімерного компоненту. Параметр  $f_{ст} / f_{зг}$  до певної міри характеризує досконалість структури композиційного матеріалу. Можна припустити, що більш низькі відношення  $f_{ст} / f_{зг}$  СУБ із добавкою ПФМ обумовлені адсорбційним модифікуванням структури цементного каменю. Відомо [14–16], що адсорбційною здатністю стосовно полярних поверхонь гідратних новоутворень володіють як СП, так і полівінілацетатний полімер. Останній при достатній кількості утворює, крім того, суцільну плівкову матрицю, що також сприяє підвищеній міцності цементного каменю на розтяг і згин [17].

Для бетону без добавок і з пониженим вмістом ПФМ, особливо при переважанні СП, характерна тенденція до збільшення  $f_{ст} / f_{зг}$  із переходом бетону від раннього до більш пізнього віку. При рості вмісту ПФМ і частки в ньому полімерного компонента співвідношення міцнісних параметрів стабілізується в часі, або навіть може спостерігатися тенденція до зниження  $f_{ст} / f_{зг}$ .

Зміна водопоглинання СУБ із добавками ПФМ по мірі зміни їх складу (рис. 3) добре корелює з міцністю при стиску, що природньо пояснюється близькою залежністю обох властивостей від відкритої пористості бетону. Із збільшенням В/Ц від 0,3 до 0,5 водопоглинання збільшується практично лінійно. При цьому найменше водопоглинання має бетон, що містить у якості добавки тільки суперпластифікатор. Збільшення вмісту ПФМ у бетоні від 0,5 до 3% при В/Ц = 0,4 ( $X_3 = 0$ ) дозволяє зменшити, наприклад, водопоглинання з 8 до 6,5%, тобто на 18,7%.

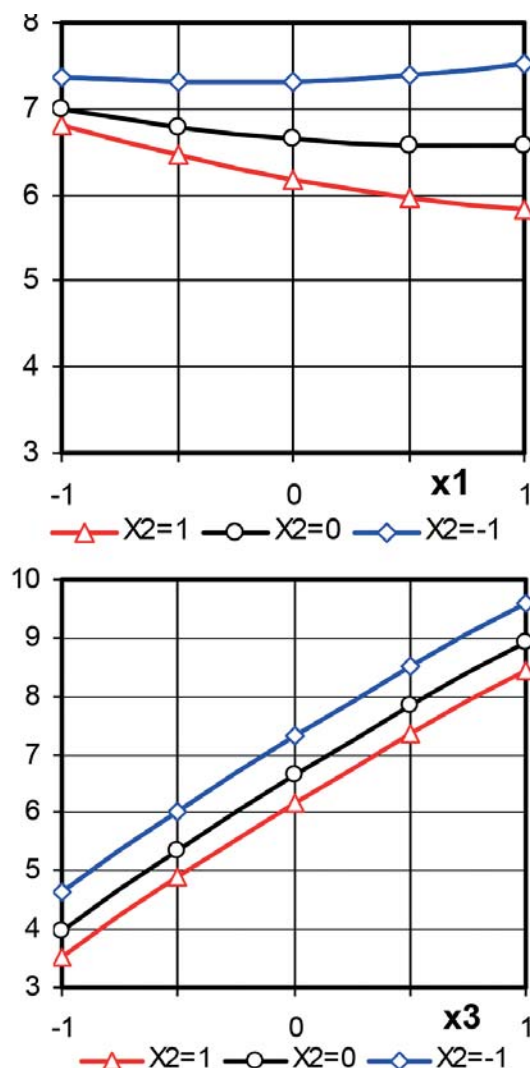


Рис. 3. Залежності водопоглинання (% за масою) самоущільнюваних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів

Однією із найбільш істотних переваг бетонів з добавками полімерів є їх знижена стираність. Як показали наші досліді (рис. 4), істотний позитивний ефект ПВАД на стираність виявляється і при низьких значеннях полімерцементного відношення (П/Ц). При П/Ц = 0,005 і В/Ц = 0,3 розрахункова стираність СУБ складає 0,53 г/см<sup>2</sup>, у той же час як зростання П/Ц до 0,03 зменшує стираність до 0,35 г/см<sup>2</sup>, тобто на 34%. Додаткові досліді показали, що стираність СУБ без добавок склала 0,83 г/см<sup>2</sup>.

Аналіз отриманого комплексу рівнянь регресії показує, що сумарний вплив компонентів досліджуваних ПФМ є, як правило, адитивним. Вибір складу ПФМ має визначатися як нормованими властивостями бетону, так і техніко-економічними міркуваннями.

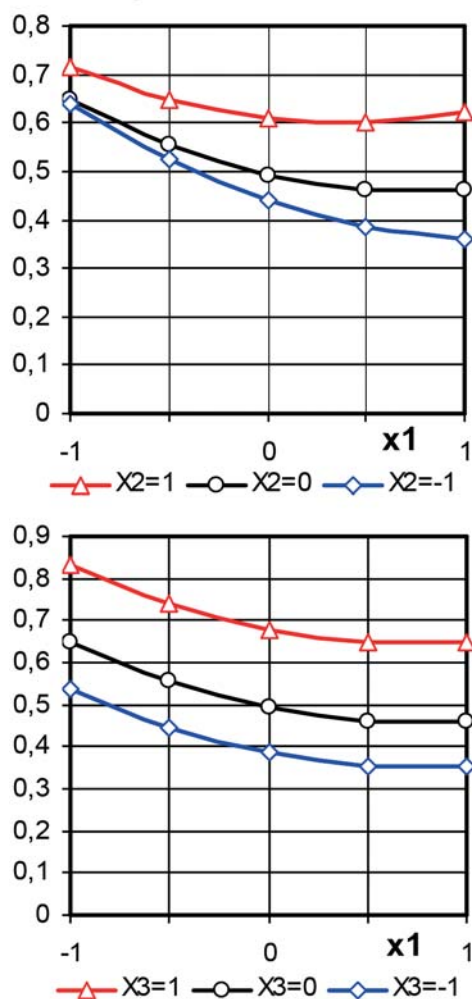


Рис. 4. Залежності стираності (г/см<sup>2</sup>) самоущільнюваних бетонів із добавкою ПФМ від досліджуваних факторів

#### Висновки

1. Встановлено можливість модифікування самоущільнювальних дрібнозернистих бетонних сумішей поліфункціональними модифікаторами (ПФМ), що дозволяє покращити їх технічні властивості.
2. Збільшення вмісту ПФМ у СУБ, як і частки полімеру в ПФМ, дозволяє зменшити відношення міцності при стиску до міцності при згині, що опосередковано може свідчити про покращення деформативних властивостей бетонів.
3. ПФМ, що включає полікарбоксилатний суперпластифікатор Melflux 2651f і полівінілацетатну дисперсію дозволяє зменшити водопоглинання самоущільнювальних бетонів та істотно знижує їх стираність.

#### Література:

1. Саталкин А.В., Солнцева В.А., Панова О.С. Цементно-полимерные бетоны. М.: Стройиздат, 1971. 169 с.
2. Baydjanov D.O., Abdrakhmanova K.A., Kropachev P.A., Rakhimova G.M. Modified concrete for producing pile foundations. Magazine of Civil Engineering. 2019. 86(2). Pp. 3–10. DOI: 10.18720/MCE.86.1.
3. Ohama Y. Development of concrete-polymer materials in Japan. Proceedings of the Second international congress on polymers in concrete. Austin. 1978 P. 128–135.
4. Brachaczek W., Chlebos A., Giergiczny Z. Influence of Polymer Modifiers on Selected Properties and Microstructure of Cement Waterproofing Mortars. Materials. 2021, 14, 7558. DOI.org/10.3390/ma14247558.
5. Z. Su, J.M. Bijen, J.A. Larbi. Influence of polymer modification on the hydration of portland cement. Cement and Concrete Research. Volume 21, Issues 2–3, March–May 1991, Pages 242–250. DOI.org/10.1016/0008-8846(91)90004-2
6. Sih Wuri Andayani, Rochim Suratman, Iswandi Imran, Mardiyati. Polymer Modified Concrete of Blended Cement and Natural Latex Copolymer: Static and Dynamic Analysis / Open Journal of Civil Engineering. Vol.8, No.2, 2018. DOI: 10.4236/ojce.2018.82016.
7. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Klochko B.H., Hromova O.V., Palii V.V. Repair material modification by polymeric additives while transport repairing of buildings and engineering structures. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, (35), 2010. 145–149. DOI.org/10.15802/stp2010/8884.
8. Добавки в бетон / Рамачандран В. С., Фельдман Р. Ф., Коллепарди М. и др.; под ред. В.С. Рамачандрана. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
9. Баженов Ю. М. Бетонополимеры. М.: Стройиздат, 1983. 472 с.
10. Namiki M., Ohama Y. Plastics concrete in Japanese. Kyoto: Kobunshi — Kankokai. 1965. 210 p.
11. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М.: Стройиздат, 1967. 184 с.
12. L. Dvorkin, O. Dvorkin, Y. Ribakov. Multi-Parametric Concrete Compositions Design. Nova Science Publishers, New York. 2013. 223 p.
13. Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals / K. Yoshioka, E. Tazawa, K. Kawai, T. Enohata. Cem. Concr. Res. 2002. Vol. 32, No 10. P. 1507–1513.
14. Q. Wang, C. Taviot-Gueho, F. Leroux, K. Ballerat-Busserolles, C. Bigot, Superplasticizer to layered calcium aluminate hydrate interface characterized using model organic molecules, Cement and Concrete Research, 2018, 110, 52–69.
15. M. Alonso, M. Palacios, F. Puertas, Effect of Polycarboxylate-Ether Admixtures on Calcium Aluminate Cement Pastes, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52, 17330-17340.
16. J. Plank, C. Hirsch, Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption, Cement and Concrete Research, 2007, 37, 4, 537–542.
17. X.-M. Kong, C.-C. Wua, Y.-R. Zhang, and J.-L. Li, «Polymer-modified mortar with a gradient polymer distribution: preparation, permeability, and mechanical behaviour», Construct. Building Mater., vol. 38, pp. 195–203, 2013.



Дорогань Н. О.



Черняк Л. П.

**Дорогань Н. О.**, к.т.н., старший викладач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» проспект Перемоги 37, корпус 21, м.Київ, 03056, Україна  
✉ nataliyadorogan@ukr.net ☎ +38 (098) 714 30 39  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4304-1297>

**Черняк Л. П.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» пр. Перемоги, 37, корп.. 21, м. Київ, Україна, 03056  
✉ lpchernyak@ukr.net ☎ +38 (067) 298 57 75  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8479-0545>

**Nataliia Dorogan**, PhD, Senior Lecturer Department of Chemical Technology of Composite Materials National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056  
✉ nataliyadorogan@ukr.net ☎ +38 (098) 714 30 39  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4304-1297>

**Lev Chernyak**, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Chemical Technology of Composite Materials National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056  
✉ lpchernyak@ukr.net ☎ +38 (067) 298 57 75  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8479-0545>

## КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ

### COMPLEX APPLICATION OF MAN-MADE RAW MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF CEMENT CLINKER

**Анотація.** Досліджено можливість комплексного застосування багатотоннажних відходів агропромисловості та теплоенергетики для виготовлення цементного клінкеру. Із застосуванням комп'ютерної програми «Клінкер» визначено нові склади вихідних сировинних сумішей на основі системи крейда — рисова лузга — зола виносу ТЕС із загальним вмістом 39–52 мас.% вказаних відходів. Експериментально підтверджена можливість отримання нормальнотужавлюючого цементу середньої міцності з суміші, що містить 45,2 мас.% техногенної сировини при випалі з максимальною температурою 1400 °С. Показано зв'язок властивостей отриманого цементу з особливостями фазового складу з переважним розвитком силікатів кальцію  $C_3S$ ,  $C_2S$  за рахунок підвищеної реакційної здатності аморфного кремнезему рисової лузги.

**Ключові слова:** цемент, клінкер лузга рисова, зола виносу, суміш сировинна, склад, випал, фази кристалічні, властивості.

**Abstract.** At the article, the results of the investigation on the complex stowing of rich tonnage inputs in agro-industry and heat energy for the preparation of cement clinker are given. The object of the study was raw material mixtures for production of cement clinker based on the system of chalk — rice husk — fly ash. Calculations and analysis of the composition of raw mixtures were carried out using the created computer program "Clinker", which made it possible to quickly determine the rational ratio of components according to the given characteristics of the clinker. According to the results of computer calculations, the possible content of rice husk in chalk-based binary mixtures in the range of saturation coefficient  $KH = 0.80–0.95$  is 55.7–60.1 wt. %, and fly ash — 23.9–26.6 wt. %, however, the numbers of silica and alumina modules do not meet the recommended  $n = 1.9–3.0$  and  $p = 0.90–2.0$  for cement clinker. When using 3-component mixtures, the possible total content of rice husk and ash in the range of  $KH = 1.9–3.5$  is from 39 to 52 wt. %. At the same time, the quantitative ratio of husk ash varies from 2.1 to 7.3. The possibility of obtaining normal-hardening cement of medium strength from a mixture containing 45.2 wt.% of man-made raw materials at a maximum firing temperature of 1400 °C has been experimentally confirmed. According to the X-ray phase analysis on the Philips X&aport;Pert PRO — MRD diffractometer, the relationship between the cement properties and the formation of the  $C_3S$ - $C_2S$ - $C_2AS$ - $CA$  crystal phase system during clinker firing was established. At the same time, the predominant development of calcium silicate phases is associated with the increased reactivity of amorphous silica, a product of heat treatment of rice husk. It was concluded that the integrated use of rice husk and fly ash as man-made raw materials in the mass-intensive production of cement clinker is a promising direction for the utilization of large-tonnage industrial waste.

**Key words:** mineral binder, rice husk, fly ash, raw mix, composition, firing, crystalline phases, properties.

#### Вступ

Комплексне використання сировини природного та техногенного походження відповідає задачам ресурсозбереження та хімічної технології будівельних матеріалів [1–4]. Практичне вирішення таких задач потребує відповідного розвитку науково-технічних основ хімічної технології визначення закономірностей щодо впливу концентрації сировини різного генезису та складу на структуроутворення та властивості продукції. В напрямку вирішення таких задач щодо виробництва мінеральних в'язучих матеріалів виконана подана робота.

У виробництві цементу і бетону використовуються відходи інших галузей промисловості, у найбільшій кількості доменний шлак як замітник частини клінкеру при помелі клінкеру [5–8]. До складу сировинних сумішей — для виготовлення клінкеру вводять незначну кількість (1,5–5,0 мас.%)

залізовмісних відходів промисловості як флюсоучі добавки. В цьому зв'язку, зважаючи на велику масоємність сумішей для виготовлення цементного клінкеру видається доцільним збільшення в їх складі кількості відходів промисловості як техногенної сировини.

При цьому серед багатотоннажних відходів привертають увагу рисова лузга [9,10] та зола виносу ТЕС [11,12]. Вказується, що при виготовленні 1 кг білого рису утворюється 0.28 кг рисової лузги як побічний продукт виробництва в процесі помелу. Як наслідок, при річному виробництві рису в світі 750 млн т утворюється понад 150 млн. т відходів. При цьому рисова лузга може стати джерелом аморфного діоксиду кремнію як активатору фізико-хімічних процесів структуроутворення силікатних систем [13,14].

Відходи енергетичного комплексу, яких в Україні щорічно утворюється до 10 млн. т, а у відвалах ще знаходиться понад

50 млн. т, слід розглядати не тільки як фактор забруднення навколишнього середовища, але й як джерело додаткових ресурсів для виробництва будівельних матеріалів, в тому числі в'язучих речовин [15,16].

Зола виносу отримують на теплоелектростанціях, які використовують подрібнене кам'яне вугілля. Так на більшості ТЕС збирають до 2000 т за добу. Згідно ДСТУ Б В.2.7-205:2009 [17] зола виносу сухого відбирання, яка утворюється на теплових електростанціях в результаті спалювання вугілля у пилоподібному стані використовується як компонент для виготовлення важких, легких та ніздрюватих бетонів і будівельних розчинів, а також як тонкомелена добавка для жаростійких бетонів [18].

Золи ТЕС є неорганічними штучними матеріалами, що мають гідралічні властивості, і тому відносяться до числа активних мінеральних добавок, що застосовуються у виробництві цементів, головним чином композиційних [19].

Зола виносу ТЕС є перспективною сировинною базою цементної промисловості. Проте фактичні обсяги утилізації цих відходів не відповідають кількісному рівню утворення та накопичення. Зважаючи на це, що доцільним є використання золи виносу не тільки як активної мінеральної добавки при помелі клінкеру, а як компонент масоємної сировинної суміші для виготовлення портландцементного клінкеру.

Викладений аналіз вказує на перспективність комплексного застосування різновидів відходів як техногенної сировини в ресурсоємному виробництві мінеральних в'язучих матеріалів, що стало метою наших досліджень та є актуальною задачею вирішення питань хімічної технології силікатів і охорони довкілля.

### Постановка задачі

Результати аналізу відомих даних призводять до висновку, що суттєве збільшення обсягів утилізації відходів промисловості як техногенної сировини в технології цементу потребує науково-технічних рішень по розробці нових складів вихідних сировинних сумішей.

### Експериментальна частина

Об'єктом дослідження стали сировинні суміші для виготовлення цементного клінкеру на основі системи крейда — рисова лузга — зола виносу ТЕС.

Сировинні суміші готували шляхом дозування компонентів за масою, змішування та гомогенізації в кульовому млині, випалу та подрібнення кінцевого продукту відповідно до сучасної технології цементу.

Зразки сировинних сумішей випалювали в печі протягом 15 годин при максимальній температурі 1400 °С, витримуючи при максимумі 1,5 години. Всі зразки сумішей, які порівнювали, випалювали одночасно, щоб виключити можливість різниці в ступені термічної обробки.

Методи фізико-хімічного аналізу силікатної сировини та випробування властивостей в'язучого, які використовувались у цій роботі, включали:

- аналіз хімічного складу із застосуванням стандартизованих процедур;
- рентгенівський дифракційний аналіз (порошкоподібні препарати) за допомогою дифрактометрів ДРОН-4-0 та Philips X'Pert PRO — MRD, підключених через інтерфейс до комп'ютера;
- визначення показників властивостей цементу відповідно до діючих стандартів.

Для визначення раціональних складів вихідної суміші було застосовано різновиди сировини:

- крейда Здолбунівського родовища Рівненської області;

- лузга — відходи переробки рису ТОВ «Рис України» Херсонської області;
- зола виносу — відходи теплоенергетики Бурштинської ТЕС Івано-Франківської області.

Проби вихідної сировини суттєво відрізняються за генезисом і складом.

За хімічним складом проба крейди характеризується переважним вмістом CaO (55,0 мас. %), проба рисової лузги — більшим вмістом SiO<sub>2</sub> (15,6 мас. %) при великому кількісному співвідношенні SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 65,2 та малою кількістю лужноземельних і лужних оксидів (табл. 1).

Проба золи виносу відрізняється від лузги більшою кількістю CaO (4,0 проти 0,6 мас.%), оксидів заліза, кремнію та алюмінію більшим вмістом SiO<sub>2</sub> при кількісному співвідношенні SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2,6.

Таблиця 1.

Хімічний склад сировини

Проба	Вміст оксидів, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	в.п.п
крейда	0,77	0,25	0,13	–	55,0	0,25	0,08	–	–	43,49
лузга	15,64	0,24	0,12	–	0,61	0,45	0,18	0,48	0,28	82
зола виносу	46,12	18,00	22,17	1,78	4,03	1,46	0,21	–	2,10	1,49

За мінералогічним складом крейда характеризується переважним вмістом кальциту; основним породоутворюючим мінералом рисової лузги є аморфний кремнезем; зола виносу відзначається наявністю склофази та кристалічних фаз, головним чином — кварцу, муліту (рис. 1, 2).

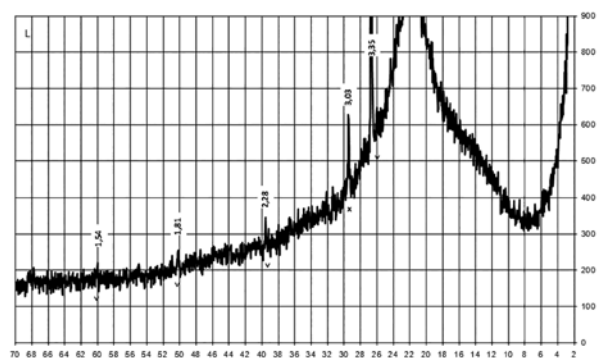


Рис. 1. Дифрактограма проби рисової лузги: V — кварц; X — кальцит



Рис. 2. Дифрактограма золи виносу: V — кварц, + — муліт, X — кальцит

За результатами комп'ютерних розрахунків у бінарних сумішах на основі крейди в інтервалі значень коефіцієнта насичення  $KH = 0,80-0,95$  можливий вміст рисової лузги становить 55,7–60,1 мас. %, а золи виносу — 23,9–26,6 мас. %, проте при цьому числа кремнеземного і глиноземного модулів не відповідають, рекомендованим  $n = 1,9-3,0$  і  $p = 0,90-2,0$  для цементного клінкеру (табл. 2).

Таблиця 2.

#### Склад бінарних сумішей і характеристика клінкеру

Система	Склад вихідної суміші, мас. %			Характеристики клінкеру		
	крейда	лузга	зола	$KH$	$n$	$p$
крейда-лузга	39,9–44,3	55,7–60,1	–	0,80–0,95	24,6–27,2	1,89–1,95
крейда-зола	73,4–76,1	–	23,9–26,6	0,80–0,95	1,17	0,83

При використанні 3-компонентних сумішей можливий загальний вміст рисової лузги та золи виносу в інтервалі значень  $KH = 1,9-3,5$  становить від 39 до 52 мас. % (рис. 3). При цьому кількісне співвідношення лузга : зола варіюється від 2,1 до 7,3.

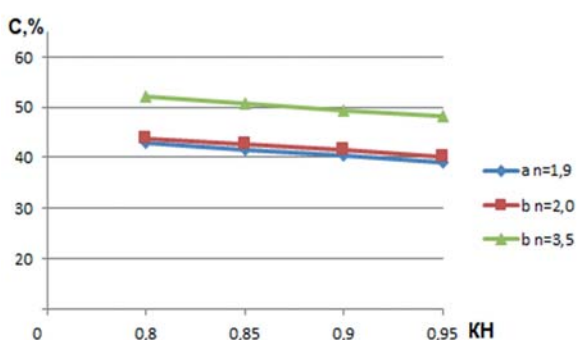


Рис. 3. Залежність вмісту техногенної сировини (C) в суміші на основі системи крейда — рисова лузга — зола виносу від коефіцієнта насичення  $KH$  клінкеру при кремнеземному модулі  $n = 1,9$  (a),  $n = 2,0$  (b) і  $n = 3,5$  (c)

Для подальшого дослідження було обрано сировинну суміш D41, що забезпечує рекомендовані характеристики цементного клінкеру при загальному вмісті 45,2 мас. % відходів промисловості (табл. 3).

Таблиця 3.

#### Склад сировинних сумішей

Код проби	Вміст компонентів, мас. %		
	крейда	рисова лузга	зола виносу
D41	54,8	36,2	9,0

За хімічним складом досліджувані суміші характеризуються кількісними співвідношеннями  $SiO_2 : Al_2O_3$  від 2,2 до 3,8,  $CaO : SiO_2$  від 3,0 до 3,3,  $CaO : Al_2O_3$  від 7,2 до 11,4 при вмісті оксидів заліза 0,26–0,35 % (табл. 4).

Таблиця 4.

#### Хімічний склад сировинної суміші

Код проби	Вміст оксидів, мас. %						
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$SO_3$	в.п.п
D41	10,60	1,98	2,26	30,75	0,44	0,13	53,84

Вказаному кількісному співвідношенню компонентів і хімічному складу відповідають наступні розрахункові характеристики цементного клінкеру (табл. 5). При цьому визначається, що зі збільшенням в суміші кількісного співвідношення рисова лузга : зола виносу зростає вірогідність формування при випалі кристалічних фаз силікатів кальцію, зменшується вірогідність формування фаз алюмінатів кальцію та залізо-вісних.

Таблиця 5.

#### Розрахункові характеристики клінкеру

Код проби	Характеристики клінкеру			Вміст кристалічних фаз, %			
	$KH$	$n$	$p$	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
D41	0,90	2,5	0,9	59,2	19,0	3,0	14,9

Рентгенофазовий аналіз дозволив виявити певні особливості фазоутворення цементного клінкеру з досліджуваної сировинної суміші при випалі (рис. 4).

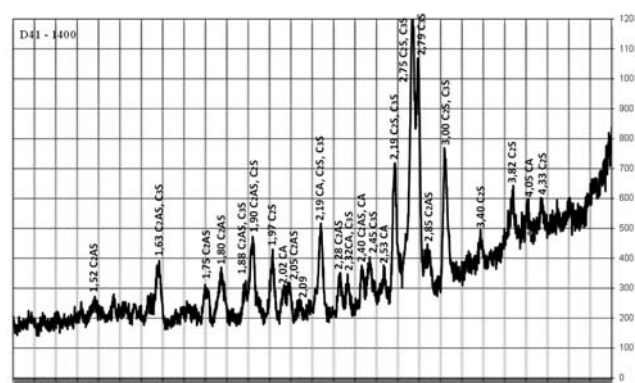


Рис. 4. Дифрактограма проби клінкеру D41 (1400 °C)

Встановлено, що при максимальній температурі випалу 1400 °C проба D41 на основі системи крейда-техногенна сировина характеризується:

- переважним розвитком кристалічних фаз силікатів кальцію  $C_3S$ ,  $C_2S$  (3,00; 2,79; 2,2,75; 2,61; 2,19 Å);
- розвитком кристалічних фаз алюмосилікату кальцію = геленіту  $C_2AS$  (2,85; 2,40; 1,75 Å) і  $C_{12}A_7$  (4,90 Å) і одно кальцієвого алюмінату  $CA$  (4,05, 2,53; 2,19 Å).

За результатами технологічних тестувань (табл. 6) після випалу на максимальну температуру 1400 °C згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 [21] отриманий в'язучий матеріал відноситься до групи середньої міцності (30–50 МПа). За швидкістю тужавлення проба D41 відноситься до групи нормальнотужавлюючих (термін початку від 45 хв. до 2 год), характерними представниками якої вважаються портландцемент, пуцолановий цемент і шлакопортландцемент.

Таблиця 6.

#### Властивості в'язучого матеріалу

Показники		Код проби D41
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %		12,0
Густота, %		35,0
Терміни тужавлення, хв.	початок	65
	кінець	140
Міцність на стиск, МПа	через 2 дні	5,0
	через 7 днів	21,4
	через 28 днів	39,8





### Висновки

1. Використання багатотоннажних відходів промисловості — рисової лузги та золи виносу як техногенної сировини є перспективним у масоємному виробництві цементного клінкеру.
2. Аналіз комп'ютерних розрахунків та експериментів свідчать про можливість введення 39–52 мас. % досліджених відходів у склад сировинних сумішей для виготовлення клінкеру на основі систем крейда-рисова лузга-зола виносу ТЕС при варіюванні кількісного співвідношення лузга : зола від 2,1 до 7,3.
3. Експериментально підтверджена можливість отримання нормальнотужавлюючого цементу середньої міцності з суміші, що містить 45,2 мас.% техногенної сировини при максимальній температурі випалу 1400 °С.
4. За даними рентгенофазового аналізу на дифрактометрі Philips X'Pert PRO — MRD встановлено зв'язок властивостей цементу з формуванням при випалі клінкеру системи кристалічних фаз  $C_3S$ - $C_2S$ - $C_2AS$ - $CA$ . При цьому переважний розвиток фаз силікатів кальцію пов'язується з підвищеною реакційною здатністю аморфного кремнезему — продукту термічної обробки рисової лузги.

### Література:

1. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / Удачкин И.Б., Пащенко А.А., Черняк Л.П., Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. — К.: Будівельник, 1988, 104 с.
2. Allen, David T.; Benmanesh, Nasrin. Wastes as Raw Materials. The Greening of Industrial Ecosystems. Washington: National Academy Press, 1994, pp.69–89. <https://www.nap.edu/read/2129/chapter/7>
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. — Ростов н/Д: Феникс. 2007, 363 с.
4. Ramesh, M.; Karthic, K.S.; Karthikeyan, T.; Kumaravel, A. Construction materials from industrial wastes-a review of current practices. International Journal of Environmental Research and Development, 2014, 4(4), pp. 317–324. [www.ripublication.com/ijerd\\_spl/ijerdv4n4spl\\_08.pdf](http://www.ripublication.com/ijerd_spl/ijerdv4n4spl_08.pdf)
5. Пащенко О.О., Сербін В.П., Старчевска О.О. В'язучі матеріали. — К.: Вища шк., 1995, 440 с.
6. Ghosh S.N. Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing / Taylor & Francis, 2003. — 828 p.
7. Winter Nicholas B. Understanding Cement. — WHD Microanalysis Consultants Ltd., 2012, 206 p.
8. Пащенко А.А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ / А.А. Пащенко, Е.А. Мясникова, Е.Р. Евсютин — К.: Вища шк., 1990, 223 с.
9. Rice husk ash market. Electronic resource: <https://www.transparencymarketresearch.com/ricehusk-ash-market.html>
10. Sun, L.; Gong, K. Silicon-based materials from rice husks and their applications. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2001, 40(25), pp. 5861–5877. DOI: 10.1021/ie010284b
11. Kamal K. Kar. Handbook of Fly Ash // Elsevier, Technology & Engineering, 2021, 868 p.
12. Sehram S. Alterary, Narguess H. Marei. Fly ash properties, characterization, and applications: A review // Journal of King Saud University, 2021. — Vol. 33. — Is. 6.
13. Mansha, M.; Javed, S.H.; Kazmi, M.; Feroze, N. Study of rice husk ash as potential source of acid resistance calcium silicate. Advances in Chemical Engineering and Science, 2011, 1(3), pp. 147–153, DOI: 10.4236/aces.2011.13022
14. Habeeb, G.A.; Mahmud, H.B. Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. Materials Research, 2010, 13(2), pp. 185–190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392010000200011>
15. Kou S, Poon C and Chan D (2007) Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete Materials in Civil Engineering, 2007. — № 19. — pp. 709–717.
16. M.Ondova, N.Stevulova, A.Estokova. The Study of the Properties of Fly Ash Based Concrete Composites with Various Chemical Admixtures. — Procedia Engineering, 2012, Vol. 42, pp. 1863–1872.
17. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови — Введ. 01.01.2010. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2010, 12 с.
18. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини, К.: ТОВ „Ексоб”, 2003, 472 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови — Введ. 01.09.2011. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2011, 14 с.
20. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Дорогань Н.О., Сорока А.С. / Програмне забезпечення технології портландцементу // будівельні матеріали та виробу, 2014, № 1 (84), с. 16–17.
21. ДСТУ Б В.2.7-91-99. В'язучі мінеральні. Класифікація. — Введ. 01.03.1999. — Київ: Держбуд України, 1999, 26 с.



Дерев'янюк В. М.



Гришко Г. М.



Дубов Т. М.

**Дерев'янюк В. М.**, д. т. н., професор,  
Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій,  
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул.  
Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна  
✉ viktorderevianko2017@gmail.com ☎ +38 (067) 490 13 99,  
ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

**Гришко Г. М.**, к. т. н., доцент,  
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля,  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна,  
✉ hryshko.h.m@dsau.dp.ua ☎ +38 (098) 950 48 81  
ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

**Дубов Т. М.**, к. т. н., доцент,  
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля,  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна,  
✉ dubov.t.m@dsau.dp.ua ☎ +38 (068) 766 25 37  
ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

**Viktor Derevianko**, Dr. Sc. (Tech.), Professor,  
Department of Technology of Construction Materials, Products and De-  
signs, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architec-  
ture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine  
✉ viktorderevianko2017@gmail.com ☎ +38 (067) 490 13 99,  
ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

**Hanna Hryshko**, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Professor,  
Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environ-  
mental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25 Serhii  
Efremov St., 49600, Dnipro, Ukraine  
✉ hryshko.h.m@dsau.dp.ua ☎ +38 (098) 950 48 81  
ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

**Taras Dubov**, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Professor,  
Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environ-  
mental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25 Serhii  
Efremov St., 49600, Dnipro, Ukraine,  
✉ dubov.t.m@dsau.dp.ua ☎ +38 (068) 766 25 37  
ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

## СТАБІЛІЗАЦІЯ ЕТРИНГІТОВОЇ ФАЗИ

### ETRINGITE PHASE STABILIZATION

**Анотація.** Вперше встановлено послідовність процесу формування вторинного еtringіту і механізм впливу на структуру і властивості затверділої композиції. Подальшого розвитку набули теоретичне узагальнення стабілізації еtringітової фази, що обумовлюють формування структури та фізико-механічні властивості, їх взаємозв'язок із складом початкових матеріалів і технологічним процесом отримання виробів. Теоретично встановлено і експериментально підтверджено оптимальний вміст сульфату кальцію (в межах 30-40% від маси композиції) позитивно впливаючого на кількість утворення еtringіту.

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

**Abstract.** For the first time, sequence of the secondary ettringite formation process and the mechanism of influence on the structure and properties of the hardened composition were established. Theoretical generalization of the ettringite phase stabilization, which determines formation of the structure and physical and mechanical properties, as well as their relationship with composition of the initial materials and the technological process of obtaining products, has gained further development. The optimal content of calcium sulfate (within 30-40% of the composition mass) (which has a positive effect on the amount of ettringite formation) has been theoretically determined and experimentally confirmed.

**Key words:** composite binder, modification, ettringite, ettringite phase stabilization, aluminate cements, sulfoaluminate cements.

#### Актуальність проблеми

Важливим напрямом будівельного матеріалознавства є розробка розчинів спеціального призначення на основі композиційних в'язучих речовин. Такі розчини застосовуються для надання поверхням особливих властивостей, обумовлених умовами їх роботи: вогне- і жаростійкі, водонепроникні, радіаційнозахисні, ін'єкційні, тампонажні та інші. Властивості таких розчинів визначаються їх складом та технологією виробництва і одним із основних компонентів є мінеральні в'язучі речовини [1–2].

Створення нових різновидів цементів загально-будівельного та спеціального призначення – один з основних напрямів сучасних розробок в технології виробництва в'язучих речовин. У групі спеціальних цементів особливе місце займають глиноземисті, сульфоалюмінатні та інші. Основні пошукові роботи під

час розробки таких цементів здійснюють у напрямі створення нових композицій із заміною дефіцитних компонентів. За такого речовинного складу вартість композицій з властивостями глиноземистих цементів незначно перевищує рядові, але їх застосування покращує експлуатаційні характеристики виробів.

Узагальнивши нагромаджений досвід, зазначаємо, що нові ефективні композиції на основі глиноземистого цементу, гіпсу та відходів виробництва є досить ефективними в економічному і технічному плані [2–3]. Але недоліками таких композиційних в'язучих речовин є нестабільність еtringітової фази, отриманої в процесі гідратації алюмінатів і сульфатів. Слід відзначити, що проблема стабільності складової еtringіта присутня і в виробках на основі портландцементу.

Вирішення проблеми можливе використанням сучасних технологій – модифікуванням сульфоалюмінатів кальцію. Це дасть змогу цілеспрямовано регулювати швидкість його гідратації та узгодити в часі процес структуроутворення і підвищити стабільність еtringітової фази (основної складової цементного каменю). Тому актуальними з погляду теорії і практики є дослідження, спрямовані на вивчення впливу добавок різної природи на гідратаційну активність системи  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$  і здатність регулювати напруження та інші властивості затверділої структури.

#### Мета досліджень

Встановити фактори впливу на стабільність еtringіту в процесі гідратації системи  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$ .

#### Аналіз літератури

Аналіз проведених досліджень в області бетонознавства підтверджує, що вирішення проблеми ціленаправленого управління структурою та властивостями твердіючої композиційної системи на основі мінералу  $\text{C}_3\text{A}$ , а також глиноземистого цементу та гіпсу можна досягти шляхом створення багаторівневої структури композитів [4–6].

При гідратації алюмінатних цементів в присутності гіпсу систему хімічних реакцій  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  можна розділити на дві системи:

а)  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ ; б)  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O-CaSO}_4$

В результаті утворюється по другій частині ТГСАК і МГСАК, а по першій  $\text{C}_3\text{AH}_6$ ,  $\text{CAH}_{10}$ ,  $\text{C}_2\text{AH}_8$ ,  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ ,  $\text{Ca}_2(\text{OH})_2$ . По першій і другій частині є процес утворення  $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ .

На другому етапі, особливо після тужавлення спостерігається перехід гідроалюмінатів (крім  $\text{C}_2\text{AH}_6$ ) в гідросульфоалюмінати, що і приводить до впливу на величину зміни об'єму в системі.

Процеси, утворення еtringітової фази пов'язані з ущільненням структури та збільшенням міцності цементного каменю. Далі, уже в затверділій системі, внаслідок взаємодії еtringіту з безводними алюмінатами кальцію відбувається утворення моносольфатної форми ГСАК, що викликає внутрішні напруження та руйнування цементного каменю.

В системі  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$  процес гідратації більш складний. По-перше відбувається формування первинної структури та одночасне формування гідроалюмінатів і гідросульфоалюмінатів ТГСАК і МГСАК,  $\text{CAH}_3$ .

По-друге, результатами взаємодії гідроалюмінатів з сульфатами кальцію, є формування вторинних мінералів — ТГСАК і МГСАК. Процес утворення вторинних мінералів впливає на зміну структури та визначає основні фізико-механічні властивості, внутрішні напруження та розширення. Проблема, що потребує рішення на даному

етапі — установлення співвідношення утворення на першому етапі  $\text{C}_3\text{AmH}_x$  і ТГСАК, МГСАК та визначення поверхні формування. Вирішення цієї проблеми дає змогу визначити протікання фізико-хімічних процесів системи в часі [7–9].

Стабільність еtringіта необхідна при використанні ПЦ, САЦ, композиційних в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу та гіпсу, а також при модифікації гіпсових в'язучих речовин глиноземистим цементом.

Останній варіант є досить малодослідженим напрямом в зв'язку з енерговитратами на виробництво і придання спеціальних властивостей за рахунок формування еtringіту [10–12].

#### Основний матеріал і результати

На основі аналізу літературних даних розроблено методологію проведення досліджень. Вона базується на гіпотетичному методі і включає наступне: в методології проведення досліджень передбачено визначення факторів впливу і залежність стабільності еtringіту від них. Методика досліджень базувалась на використанні рентгенофазового, диференційно-термічного і електронно-мікроскопічного аналізу, а також визначенні основних властивостей затверділих розчинів.

У зв'язку з тим, що виробництво сульфоалюмінатних цементів, через відсутність бокситів в Україні відсутнє запропоновано гіпотезу виробництва композиції сульфоалюмінатних цементів системи  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$  на основі глиноземистого цементу і гіпсових в'язучих речовин. Згідно методології досліджень, проведено визначення основних властивостей сировинних матеріалів ГЦ-400 турецького і польського виробників і гіпсових в'язучих речовин по методикам ДСТУ.

Методика досліджень полягала в дослідженні чистого мінералу  $\text{C}_3\text{A}$  (табл. 1) та штучним утворенням еtringіту шляхом модифікування напівводного гіпсу спочатку мінералом  $\text{C}_3\text{A}$ , потім — глиноземистим цементом. При цьому визначалась оптимальна кількість модифікатора для підвищення фізико-механічних властивостей, а також впливу мінералогічного складу модифікованого в'язучого на процес гідратації.

В дослідженнях для створення композиційних в'язучих матеріалів з метою стабілізації еtringітової фази було використано напівводяний гіпс марки Г-5, якісні показники якого відповідають ДСТУ Б В.2.7-82:2010. Визначення нормальної густини (НГ) гіпсового тіста приведено в таблиці 2. Основні фізико-механічні властивості приведені в таблиці 3.

Початок тужавлення гіпсового тіста — 7 хв 45 сек. Кінець тужавлення гіпсового тіста — 14 хв 5сек.

В таблиці 4 приведена межа міцності на стиск гіпсового в'язучого.

Таблиця 1.

Хімічний склад мінералу  $\text{C}_3\text{A}$

Вміст оксидів, мас. %					
$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	св. CaO	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	п.п.п
37,36	61,80	0,38	сл.	сл.	0,28

Таблиця 2.

Визначення НГ гіпсового тіста

№ п/п	Маса гіпсу, г	Маса води, мл	В/Г	Разплив тіста, мм
1	300	168	0,56	215
2	300	153	0,51	175
3	300	156	0,52	180
4	300	159	0,53	190

## Основні фізико-механічні властивості напівводняний гіпс марки Г-5

№	Найменування показників	Показники якості	Випробовування
1	Міцність на стиск/згин, МПа	5,0/2,5	Відповідає
2	Масова частка нерозчинних в соляній кислоті речовин, %, не більше	0,05	0,05
3	Масова частка кислоти H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %, не більше	0,02	0,02
4	Масова частка заліза, %, не більше	0,01	0,01
5	Масова частка важких металів, %, не більше	0,001	0,001
6	Масова частка важких металів, %, не більше	0,002	0,002
7	Тонина помелу, %, не більше	4,4	відповідає

Таблиця 4.

## Межа міцності на стиск гіпсового в'язучого без добавки

№ п/п	Розмір зразка, 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			<b>R<sub>ст ср</sub></b>	<b>R<sub>виг ср</sub></b>
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				

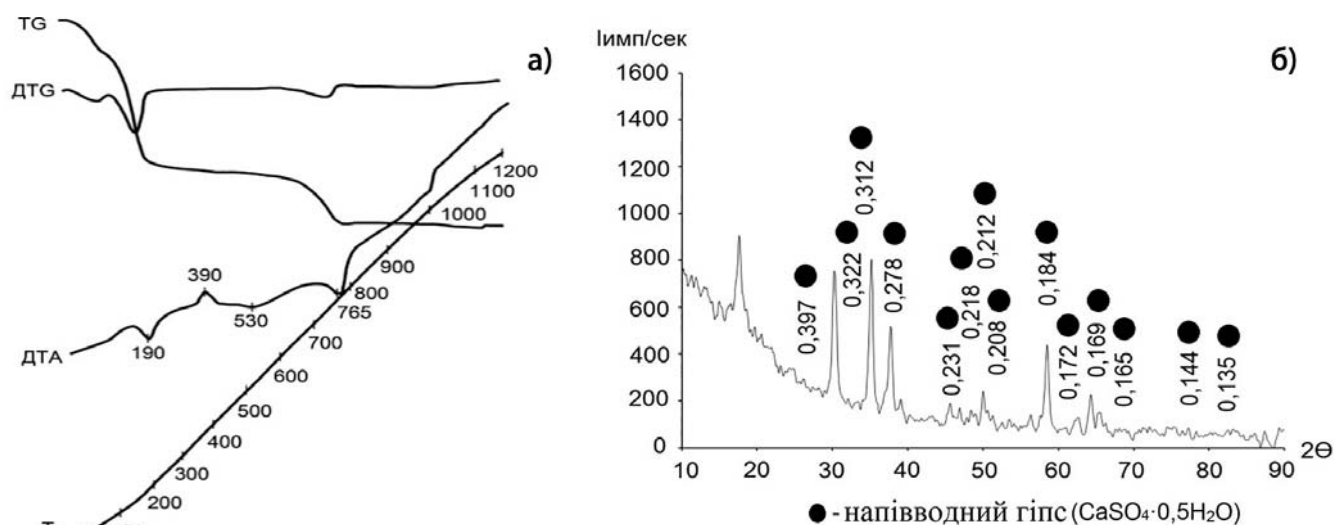


Рис. 1. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) гіпсу Г-5-II

Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) гіпсу Г-5-II приведені на рис.1.

Мінеральний склад напівводного гіпсу представлений напівводняним гіпсом ( $d/n=0,397; 0,322; 0,312; 0,278; 0,231; 0,218; 0,212; 0,184; 0,172; 0,169; 0,165; 0,144; 0,135$ ).

Рітвельдівська діаграма твердіння гіпсу приведена на рисунку 2.

Кількісний рентгенофазовий аналіз за методом Рітвельда приведений в таблиці 5.

Для отримання етрингіту проведені дослідження на основі композиційної суміші гіпс+глиноземистий цемент з реалізацією композиційної в'язучої речовини з максимальним вмістом хімічно зв'язаної води. Молекулярна маса — 233,4 г/моль.  $\rho = 4,5$  г/см<sup>3</sup>.

Цементна матриця відіграє головну роль при формуванні структури будівельних композитів та міцних властивостей. В процесі проведення досліджень в якості вихідної в'язучої речовини було використано глиноземистий цемент ГЦ-400, ГЦ-500. Хімічний склад глиноземистого клінкеру представлений в табл. 6.

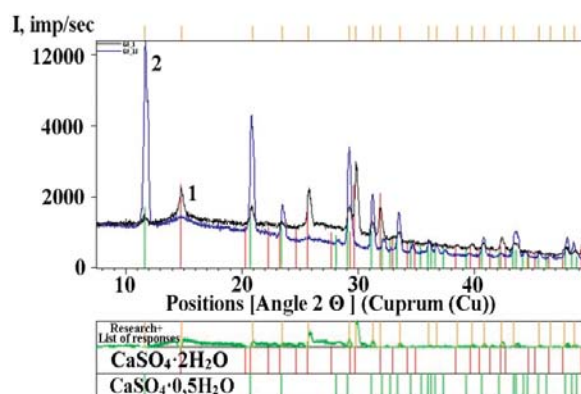


Рис. 2 Рітвельдівська діаграма твердіння в часі гіпсу Г-5: 1 – після 1 циклу; 2 – після 18 циклів

До основних фізико-механічних властивостей глиноземистих цементів, згідно з ДСТУ Б В 2.7-46:2010, належать: тони́на помелу, терміни тужавлення та міцні властивості. Відповідно до ДСТУ були досліджені вищезгадані основні характеристики (табл. 7-8).

Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) глиноземистого цементу ГЦ-500 приведені на рисунку 3.

Мінеральний склад глиноземистого цементу представлений мональбітом ( $d/n=0,275; 0,243; 0,229; 0,213; 0,204; 0,1988; 0,1893; 0,1727; 0,1574; 0,1490; 0,1455$ ).

Проведені дослідження гідратації чистого мінералу СзА при утворенні гідроалюмінату шестиводного ( $C_3AH_6$ ) показують, що в процесі експлуатації при зміні вологості Кр знижується, а це один із факторів, що при наявності сульфатів веде до утворення етрингіту

Для розробки складів композиційних сульфо-алюмінатних цементів на основі глиноземистого цементу і

гіпсу використовували методи планування експериментів (симплекс-градчатий і ПФС 2n) і на основі результатів дослідження визначені співвідношення основних компонентів.

Розрахунок сировинної суміші СзА та вода проводиться виходячи з рівняння:

$$162 \text{ г/моль} + 108 \text{ г/моль} = 270 \text{ г/моль}$$

$$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

$$150\text{г}$$

Молярні маси:

$$m(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3) = 162 \text{ г/моль};$$

$$m(6 \text{ H}_2\text{O}) = 108 \text{ г/моль};$$

$$m(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 270 \text{ г/моль}.$$

$$1. X_{C_3A} = (150\cdot 270)/162 = 250\text{г}.$$

$$2. X_{H_2O} = (108\cdot 250)/270 = 100 \text{ мл}.$$

$$150 + 100 = 250\text{г}.$$

$$B/T = 0,4.$$

Таблиця 5.

Кількісний рентгенофазовий аналіз за методом Рітвельда

Цикли процесу твердіння	CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub>	Домішки
Мінералогічний склад після 1 циклу твердіння напівводного гіпсу, крива 1	24	67	4	5
Мінералогічний склад після 18 циклу твердіння напівводного гіпсу, крива 2	5	86	4	5

Таблиця 6.

Хімічний склад глиноземистого клінкеру ГЦ-400

Вміст оксидів, мас. %			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
50	35	10	5

Таблиця 7.

Результати визначення НГ цементного тіста (Глиноземний цемент)

№ п/п	Маса цементу, г	Маса води, мл	В/Ц	Глибина занурення товлкачика, мм
1	400	160	0,4	40
2	400	120	0,3	25
3	350	115,5	0,33	33
4	350	112	0,32	23
5	350	108,5	0,31	25
6	350	122,5	0,35	40
7	350	119	0,34	40

Таблиця 8.

Результати визначення фізико-механічних властивостей глиноземистого цементу

Глиноземистий цемент Спит, м <sup>2</sup> /кг	А008, %	НГТ, %	Терміни тужавлення, год-хв		Границя міцності при стиску, МПа, у віці, діб		
			початок	кінець	1	3	28
398	92	33	60 хв 56сек	12 годин 5 хв 10сек	30,52	36,41	41,23

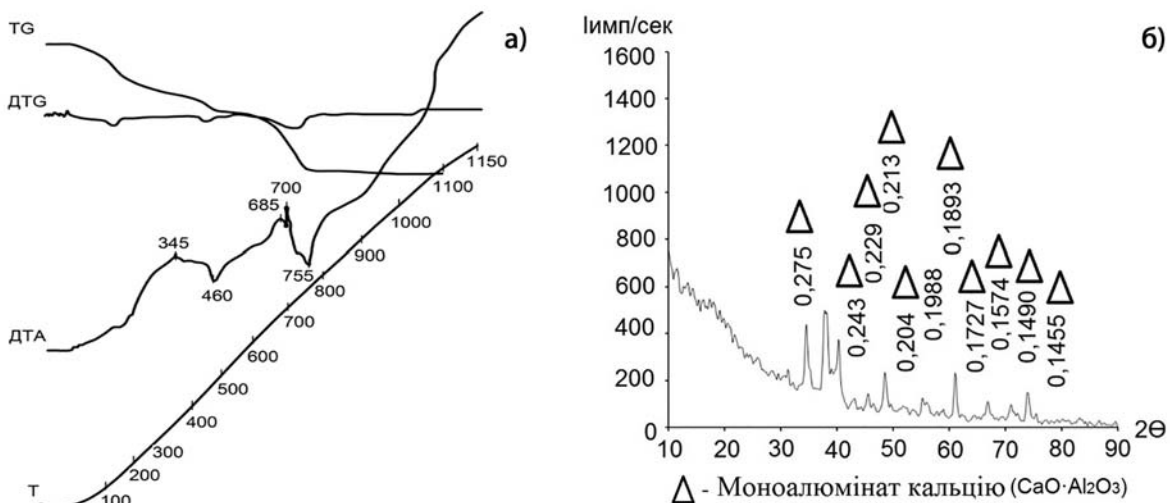


Рис. 3. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) глиноземистого цементу ГЦ-500

На основі розрахунку приготували суміш мінералу  $C_3A$  та води.

В таблиці 9 приведена межа міцності на стиск мінералу  $C_3AH_6$ .

Визначаємо залежність  $K_p$  від середовища зі змінною вологістю зразків мінералу  $C_3AH_6$  (рис.4).

Визначаємо зміну температури, pH, та об'ємних деформацій процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AH_6$  (рис. 5).

Дослідний зразок мінералу  $C_3AH_6$  має фіолетовий колір.

Стабілізацію штучного еtringіту визначали по результатам топонімічних реакцій переходу системи з макро- в мікро- та наносистему при зміні часу, проводячи дослідження через 7, 14 та 28 діб.

Розрахунок сировинної суміші для отримання еtringіту проводився виходячи з рівняння:

$$270 \text{ г/моль} + 516 \text{ г/моль} + 468 \text{ г/моль} = 1254 \text{ г/моль}$$



50г

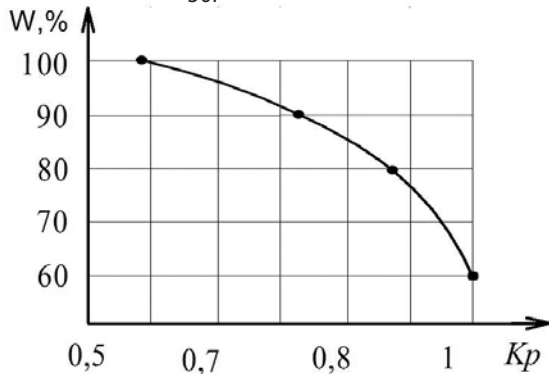


Рис. 4. Графік залежності  $K_p$  від середовища зі змінною вологістю зразків мінералу  $C_3AH_6$

Молярна маса еtringіту:  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ .

$$m(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O) = 270 \text{ г/моль};$$

$$m(3CaSO_4 \cdot 2H_2O) = 516 \text{ г/моль};$$

$$m(26 H_2O) = 468 \text{ г/моль};$$

$$m(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O) = 1254 \text{ г/моль}.$$

$$1. X_{C_3A} = (50 \cdot 1254) / 270 = 232 \text{ г}.$$

$$2. X_{3CaSO_4 \cdot 2H_2O} = (232 \cdot 516) / 1254 = 95,4 \text{ г}.$$

$$3. X_{26 H_2O} = (468 \cdot 232) / 1254 = 86,5 \text{ г}.$$

$$50 + 95,4 + 86,5 = 232 \text{ г}.$$

$$C_3A + \text{гіпс} + \text{вода} = \text{етрингіт}.$$

Кількість фактично введеної води складає 72 мл.

На основі розрахунку приготували суміш мінералу  $C_3A$  та двухводного гіпсу ( $C_3AS_3H_{32}$ ). В таблиці 10 приведена межа міцності на стиск мінералу  $C_3AS_3H_{32}$ .

Визначаємо вплив зміни вологості на процеси гідратації та міцність зразків мінералу  $C_3AS_3H_{32}$  (рис.6).

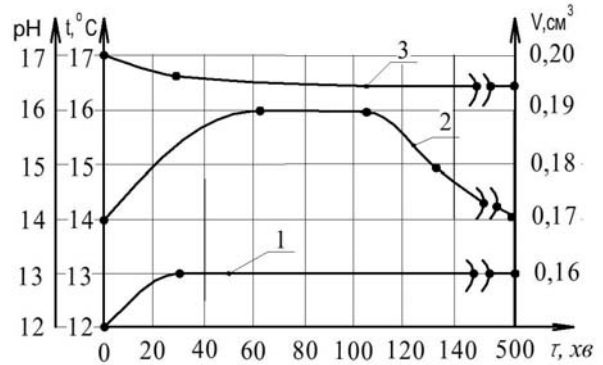


Рис. 5. Графіки залежностей:

1 — pH процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AH_6$ ;

2 — температури процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AH_6$ ;

3 — об'ємних деформацій системи в процесі гідратації в часі мінералу  $C_3AH_6$

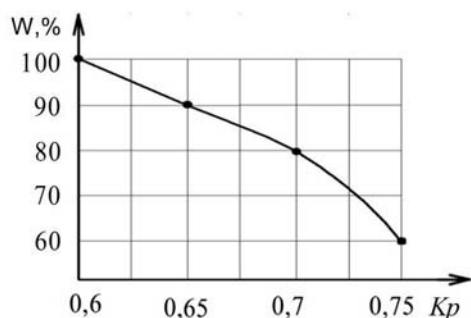
Таблиця 9.

Межа міцності на стиск мінералу  $C_3AH_6$

№ п/п	Розмір зразка, мм						mсух, г	ρ, кг/м³	m вол, г	W, %	Rст сух., МПа	Rст нас., МПа	Kp
	Верхньої грані			Нижньої грані									
1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	16,0	2000	17,0	6,3			
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	16,0	2000	17,0	6,3	6,85		0,59
3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	16,0	2000	17,0	6,3			
4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	16,0	2000	17,0	6,3	6,85		0,59
5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1			
6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1875	16,0	6,7		4,03	
7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1875	16,0	6,7			
8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	13,0	1625	14,0	7,7		4,03	
9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	13,0	1625	14,0	7,7		4,03	
10	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1875	16,0	6,7	6,87		0,59
11	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1	6,87		
12	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1875	16,0	6,7			
								<b>1854</b>		<b>6,78</b>	<b>6,86</b>	<b>4,03</b>	<b>0,59</b>

Межа міцності на стиск мінералу  $C_3AS_3H_{32}$ 

№ п/п	Розмір зразка, мм						m сух, г	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	m вол, г	W, %	Rст сух., МПа	Rст нас., МПа	Kp
	Верхньої грані			Нижньої грані									
1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1875	16,0	6,7			
2	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	16,0	2216	17,0	6,3	8,94	4,91	0,55
3	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	13,0	1895	14,0	7,7			
4	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7			
5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	13,0	1895	14,0	7,7			
6	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7	7,15	4,47	0,63
7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7			
8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7			
9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	16,0	2333	17,0	6,3	8,04	4,47	0,56
10	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7			
11	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	16,0	2333	17,0	6,3			
12	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	15,0	2187	16,0	6,7	10,50	7,15	0,68
								<b>2139</b>		<b>6,73</b>	<b>8,66</b>	<b>5,25</b>	<b>0,60</b>

Рис. 6. Графік залежності Kp від середовища зі змінною вологістю зразків мінералу  $C_3AS_3H_{32}$ 

Визначаємо зміну температури, pH, та об'ємних деформацій процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AS_3H_{32}$  (рис. 7).

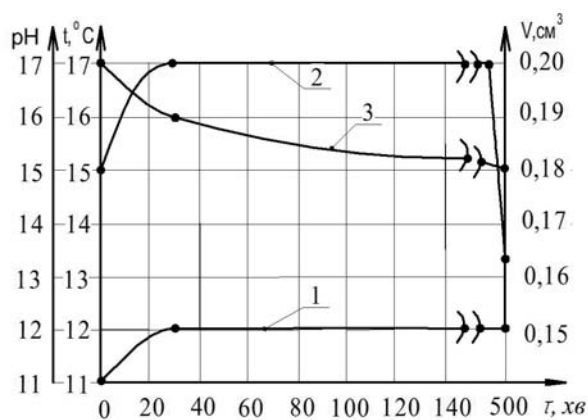


Рис. 7. Графіки зміни:

- 1 — pH процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AS_3H_{32}$ ;
- 2 — температури процесу гідратації в часі мінералу  $C_3AS_3H_{32}$ ;
- 3 — об'ємних деформацій системи в процесі гідратації у часі мінералу  $C_3AS_3H_{32}$

Дослідний зразок суміші мінералу  $C_3AS_3H_{32}$  має темно-синій колір.

По вибраній методиці досліджень відбувалася модифікація напівводного гіпсу глиноземистим цементом. Експериментальним шляхом встановлено оптимальну кількість модифікатора — 70 % глиноземистого цементу, яка необхідна для підвищення фізико-механічних властивостей, а також формування необхідного мінералогічного складу модифікованого в'язучого.

При гідратації модифікованих в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу та гіпсу відбувається утворення еtringіта, який дав можливість сформувати необхідну структуру з основними фізико-механічними властивостями.

В таблиці 11 приведена межа міцності на стиск зразків, що містять 70 % ГЦ+30 % гіпсу.

Визначаємо вплив зміни вологості на процеси гідратації та міцність зразків, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу (рис. 8).

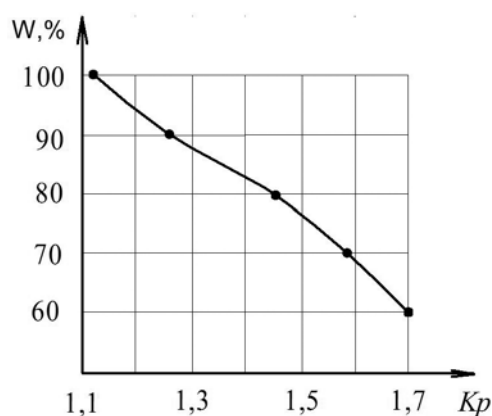


Рис. 8. Графік залежності Kp від середовища зі змінною вологістю зразків, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу

## Межа міцності на стиск зразків, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу

№ п/п	Розмір зразка, мм						m <sub>сух</sub> , г	ρ, кг/м <sup>3</sup>	m <sub>вол</sub> , г	W, %	R <sub>ст сух.</sub> , МПа	R <sub>ст нас.</sub> , МПа	K <sub>p</sub>
	Верхньої грані			Нижньої грані									
1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1			
2	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1974	16,0	6,7		16,08	1,16
3	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	15,0	1974	16,0	6,7	13,85		
4	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	14,0	1842	15,0	7,1			
5	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	14,0	1842	15,0	7,1			
6	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	14,0	1842	15,0	7,1			
7	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	14,0	1842	15,0	7,1		16,53	1,19
8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1939	15,0	7,1	13,85		
9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1			
10	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1842	15,0	7,1	16,08		1,00
11	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1			
12	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0	1750	15,0	7,1		16,08	
								<b>1841</b>		<b>7,06</b>	<b>14,60</b>	<b>16,23</b>	<b>1,12</b>

Визначаємо зміну температури, рН та об'ємних деформацій процесу гідратації в часі зразків, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу (рис. 9).

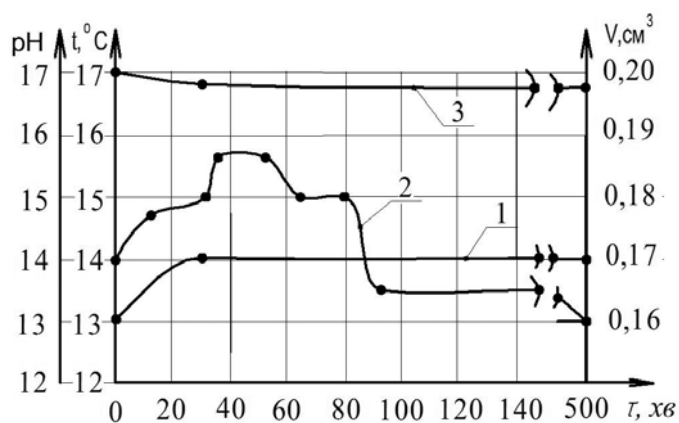


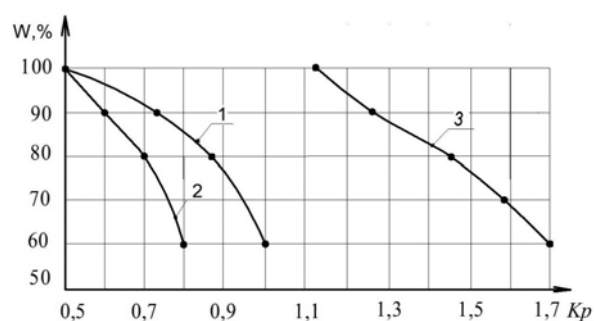
Рис. 9. Графіки зміни:

- 1 — рН процесу гідратації в часі зразків, що містять 70 % ГЦ + 30 % гіпсу;
- 2 — температури процесу гідратації в часі зразків, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу;
- 3 — об'ємних деформацій системи в процесі гідратації у часі зразків, що містять 70 % ГЦ + 30% гіпсу.

Дослідний зразок, що містять 70 % ГЦ+30% гіпсу має темно-синій колір, що переходить через 10 хвилин в фіолетовий.

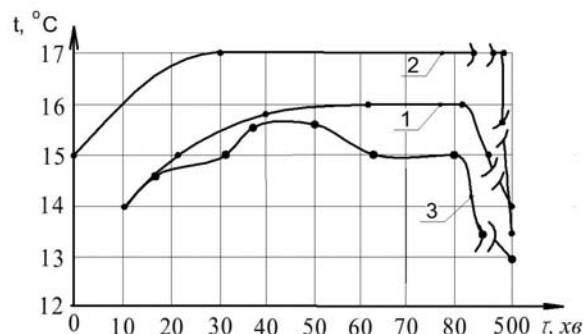
Визначаємо вплив зміни вологості на процеси гідратації та міцність зразків у часі що містять:

- 1) мінерал С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>;
- 2) мінерал С<sub>3</sub>АS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>;
- 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу (рис.10).

Рис. 10. Графіки залежності K<sub>p</sub> від середовища зі змінною вологістю зразків у часі, що містять: 1) мінерал С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>; 2) мінерал С<sub>3</sub>АS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>; 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу

Стабілізацію еtringітової фази досліджували на чистому мінералі С<sub>3</sub>А з додаванням води (С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>), штучно створеному еtringіті, який утворювали, відповідно до розрахунку з суміші мінералу С<sub>3</sub>А, двухводного гіпсу та води (С<sub>3</sub>АS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>) та на композиті 70 % ГЦ + 30 % гіпсу.

Визначаємо зміну температури процесу гідратації у часі зразків, що містять: 1) мінерал С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>; 2) мінерал С<sub>3</sub>АS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>; 3) 70 % ГЦ + 30 % гіпсу (рис.11).

Рис. 11. Графік зміни температури процесу гідратації у часі зразків, що містять: 1) мінерал С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>; 2) мінерал С<sub>3</sub>АS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>; 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу



Визначаємо вплив зміни часу на величину рН зразків, що містять:

- 1) мінерал  $C_3AH_6$ ;
- 2) мінерал  $C_3AS_3H_32$ ;
- 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу (рис.12).

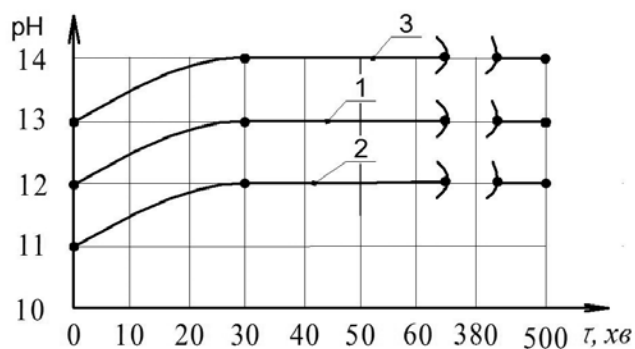


Рис. 12. Графік зміни рН процесу гідратації в часі зразків, що містять:

1) мінерал  $C_3AH_6$ , 2) мінерал  $C_3AS_3H_32$ ; 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу

Визначаємо зміну лінійних деформацій в процесі гідратації зразків, у часі що містять:

- 1) мінерал  $C_3AH_6$ ,
- 2) мінерал  $C_3AS_3H_32$ ;
- 3) 70 % ГЦ + 30% гіпсу (рис.13).

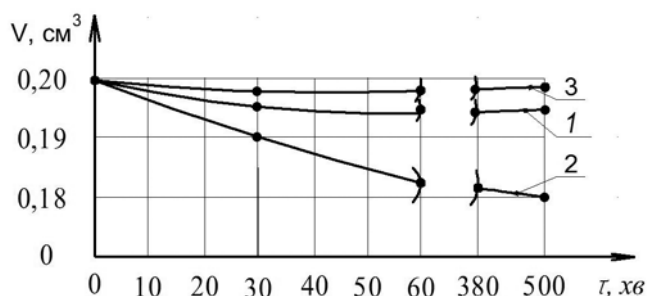


Рис. 13. Графік зміни лінійних деформацій системи в процесі гідратації у часі зразків, що містять:

1) мінерал  $C_3AH_6$ , 2) мінерал  $C_3AS_3H_32$ ; 3) 70 % ГЦ+30% гіпсу

Модифікування гіпсового в'язучого глиноземистим цементом дає можливість стабілізувати утворення еtringітової фази, збільшити водостійкість та зменшити лінійні деформації на 50 %.

Еtringіт з його витягнутими голчастими кристалами, забезпечує хороше армування структури цементного каменю; в процесі утворення еtringіту вплив надає значна кількість води і суттєво збільшується об'єм твердої фази, тим самим досягається зміцнення структури в перші терміни твердіння; еtringіт має більш високу стійкість в порівнянні з другими гідратами і менше підтверджений фазовим перетворенням, що забезпечує стабільність структури твердіння; гель гідрооксида алюмінія сприяє зниженню внутрішніх напружень при рості кристалів за рахунок більш еластичних зв'язків з кристалами, в результаті чого структура твердіння зберігає високу міцність і цілісність. В процесі збільшення кількості кристалічних фаз; на основі  $АН_3$ , більше утворюються інші гідратні фази, в тому числі еtringіт.  $АН_3$  заповнює пори та капіляри, забезпечує високу щільність структури твердіння. Найбільш високий ефект досягається під час одночасного формування  $C_6A_5S_3H_32$  на основі первинного і вторинного еtringіту.

#### Висновки та перспективи подальших розроблень

Вперше встановлено послідовність процесу формування вторинного еtringіту і механізм впливу на структуру і властивості затверділої композиції. Подальшого розвитку набули теоретичне узагальнення стабілізації еtringітової фази, що обумовлюють формування структури та фізико-механічні властивості, їх взаємозв'язок із складом початкових матеріалів і технологічним процесом отримання виробів.

Теоретично встановлено і експериментально підтверджено оптимальний вміст сульфату кальцію (в межах 30–40% від маси композиції) позитивно впливаючого на кількість утворення еtringіту.

#### Література:

1. Кучеренко О.А. Структурні та термодинамічні характеристики еtringіту / О.А. Кучеренко // Технології бетонів, № 9–10 (74-75), 2012, с. 60–63
2. Дерев'яно В.М., Курятник Т.С., Кондратьєва Н.В. Механізм утворення еtringіту та його вплив на структуру цементного каменю // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури Випуск 20, Одеса: "Місто майстрів", 2005, с. 67–79.
3. 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. Кривенко. Київ : Ліра-К, 2015. 624 с.
4. Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Матеріалознавство для архітекторів та дизайнерів : навч. посіб. Київ : Вид-во Ліра-К, 2019. 424 с.
5. Kondofesky-Mintova L., Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: Proceedings Tenth International Conference (October 2012, Prague, Czech Republic), p. 423.
6. Hansen T. Strength, elasticity and creep ad related to the internal structure of concrete. // Proceedings of the Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement, 1960, Washington, D. C. Vol. II, p. 709.
7. Rossetti A., Chiochio G., Paolini A. Expansive properties of the mixture  $C_4A_5H_17 - 2C_5$ . // Cement and Concrete Research, 1982, Vol. 12, № 6, p. 577–585.
8. Nakamura T., Sudoh G., Akaiwa S. Mineralogical Composition of Expansive Cement Clinker Rich in  $SiO_2$  and its Expansibility. // Symposium on the Chemistry of Cement. – 1968, Tokyo, Vol. IV, p. 351–365.
9. Pushkarova K. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition /Pushkarova K., Sukhanevych M., Marsikh A. // Materials Science Forum. Brno, Czech Republic, 2016, Vol. 865, p. 6–11.
10. Рунова, Р. Ф. В'язучі речовини / Р. Ф. Рунова, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, Ю.Л. Носовський // Підручник. К.: Основа, 2012, 448 с.
11. Пашенко, О. О. В'язучі матеріали / Пашенко О.О. // Підручник. –К: Вища школа, 1995, 416 с.
12. Land G., The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C-S-H seeds / G. Land, D. Stephan // 19 Internationale Baustofftagung. 16–18 September, 2015. Bauhaus-Universität Weimar. Bundesrepublik Deutschland. Band 2, p. 1011–1017.



Пушкарьова К. К.



Терещенко Л. В.

**Пушкарьова К. К.**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів КНУБА, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, 03680  
✉ pushkarova.kk@knuba.edu.ua ☎ +38 (067) 174 68 06  
ORCID ID: 0000-0001-7640-8625

**Терещенко Л. В.**, аспірант, асистент кафедри будівельних матеріалів КНУБА, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, 03680  
✉ tereshchenko.lv@knuba.edu.ua ☎ +38 (066) 541 40 85  
ORCID ID: 0000-0001-9860-2226

**Kateryna Pushkarova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of building materials KNUCA, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680  
✉ pushkarova.kk@knuba.edu.ua ☎ +38 (067) 174 68 06  
ORCID ID: 0000-0001-7640-8625

**Larysa Tereshchenko**, PhD student, assistant of the Department of building materials KNUCA, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680  
✉ tereshchenko.lv@knuba.edu.ua ☎ +38 (066) 541 40 85  
ORCID ID: 0000-0001-9860-2226

## ОЦІНКА ВПЛИВУ НАНОКАРБОНАТНИХ ДОБАВОК НА ЗДАТНІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМ ДО САМООЧИЩЕННЯ

### ASSESSMENT OF THE EFFECT OF NANOCARBONATE ADDITIVES ON SELF-CLEANING CAPACITY OF CEMENT SYSTEMS

**Анотація.** Проаналізовано процеси самоочищення цементних систем, в тому числі й процеси фотокаталізу, що виникають при потрапленні світла на поверхні матеріалів, що містять фотокаталізатори. В більшості проведених досліджень для створення фотокаталітичного ефекту як фотокаталізатор найчастіше використовують діоксид титану (TiO<sub>2</sub>) як поширений напівпровідниковий матеріал, що має три кристалічні структури – анатаз, рутил і брукіт. Тип анатазу ширше використовується, оскільки є більш фотокаталітично активним ніж інші модифікації TiO<sub>2</sub>. В якості фотокаталізаторів можливе застосування й інших напівпровідникових матеріалів, таких як SiC, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaP, GaAs, CdSe, CdS, але їх фотокаталітична активність менша. Також окрім окремих сполук застосовують системи InP-CdS чи ZnTe-CdS, які проводять легування TiO<sub>2</sub> атомами вуглецю, сірки, азоту. Розглянуто результати досліджень, що спрямовані на пошуки інших шляхів підвищення здатності цементних систем до самоочищення, наприклад, за рахунок підвищення щільності цементного каменю. Проведено дослідження ефективності включення нанокarbonатної добавки для ущільнення структури цементних систем з метою отримання цементних систем, здатних до самоочищення. Підтверджено, що використання нанокarbonатних матеріалів дозволяє отримати будівельні матеріали, здатні до самоочищення, завдяки формуванню електрогетерогенних контактів, що сприяє отриманню цементних систем з покращеними експлуатаційними властивостями, зокрема, здатністю до самоочищення.

**Ключові слова:** цементні системи, самоочищення, фотокаталіз, щільність цементного каменю, нанокarbonатні добавки, електрогетерогенні контакти.

**Abstract.** Self-cleaning processes of cement systems, including photocatalysis processes that occur when light hits the surface of materials containing photocatalysts, are analyzed. In most of the conducted studies, titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is used as a photocatalyst as a common semiconductor material with three crystal structures - anatase, rutile and brookite — as a photocatalyst. The anatase type is more widely used because it is more photocatalytically active than other TiO<sub>2</sub> modifications. Other semiconductor materials can be used as photocatalysts, such as SiC, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaP, GaAs, CdSe, CdS, but their photocatalytic activity is lower. Also, in addition to individual compounds, InP-CdS or ZnTe-CdS systems are used, which dope TiO<sub>2</sub> with carbon, sulfur, and nitrogen atoms. The results of research aimed at finding other ways to increase the ability of cement systems to self-cleaning, for example, by increasing the density of cement stone, are considered. A study of the effectiveness of the inclusion of a nanocarbonate additive for compacting the structure of cement systems was conducted in order to obtain cement systems capable of self-cleaning. It has been confirmed that the use of nanocarbonate materials makes it possible to obtain building materials capable of self-cleaning due to the formation of electro-heterogeneous contacts, which contributes to obtaining cement systems with improved operational properties, in particular, the ability to self-clean.

**Keywords:** cement systems, self-cleaning, photocatalysis, density of cement stone, nanocarbonate additives, electro-heterogeneous contacts.

#### Постановка проблеми

Сучасний розвиток промисловості все більше віддаляє нас від світу, де під дією світла відтворюється природа, до світу штучних матеріалів, які повинні бути інертними до дії світла для забезпечення стабільності властивостей в часі. Але, коли ми говоримо не тільки про конструкційні чи захисні функції цементних систем (бетонів чи розчинів), а і про естетичні якості, то виникає проблема збереження зовнішнього вигляду поверхонь конструкцій в умовах забрудненого середовища.

Зміна кольору будівельних матеріалів на основі білого чи кольорового цементу переважно відбувається через накопичення на поверхні цих матеріалів пилу, бруду та органічних речовин, що мають забарвлення.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Саме фотохімічні реакції в будівельних матеріалах можуть забезпечити отримання цементних систем (розчинів чи бетонів), здатних до самоочищення [1]. Як підтвердив практичний досвід, при використанні таких цементних систем в якості оздоблювальних матеріалів, значно зменшуються затрати при експлуатації будинків та споруд, що пов'язані з очищенням фасадів.

Показовим прикладом використання нанотехнологій у будівельній практиці є церква Dives in Misericordia (Рисунок 1), зведена у Римі у 2003 році за проектом відомого американського архітектора Річарда Мейєра та реалізована за участю італійської компанії Centro Technico di Gruppo. Білосніжна



Рис. 1. Церква Dives in Misericordia, Рим, 2003 рік

будівля зі збірного залізобетону та скла вирішена у стилі постмодернізму та складається з трьох вигнутих конструкцій, що нагадують мушлі або пелюстки квітки. Згідно із задумом автора проекту, білі стіни церкви повинні були якнайдовше зберігати чистоту, що потребувало застосування особливих технологій.

Для вирішення даних завдань спеціалісти компанії вибрали цемент, виготовлений за новою технологією: до його складу входять наночастинки діоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ). Завдяки фотокаталізу поверхня з такого цементу може самоочищуватися. Відбувається це наступним чином. Коли сонячні промені потрапляють на стіни будівлі, діоксид титану, що входить до їхнього складу, діє як каталізатор і прискорює хімічну реакцію. Забруднення різного походження – бактерії, спори бактерій, пліснява, якими покриті стіни будь-якої будівлі в присутності каталізатора розкладаються на воду, кисень і солі [2].

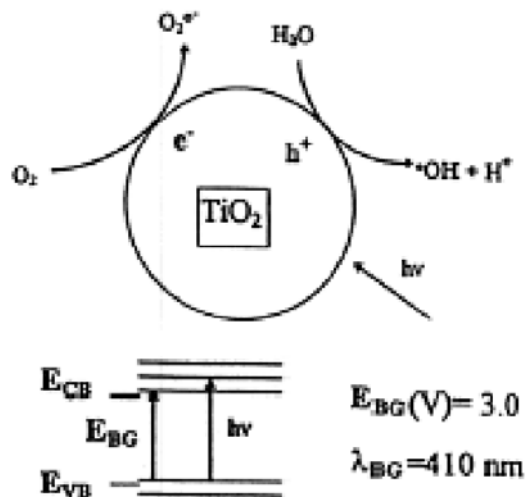
Також вченими доведено ефективність використання у будівельних облицювальних матеріалах діоксида кремнію, наночастки якого вступають в реакцію з молекулами основного матеріалу, внаслідок чого пил та бруд не накопичуються на поверхні, а відштовхуються від неї й змиваються водою, тобто поверхня самоочищується [3].

Дослідження, що були проведені в приміщеннях, говорять про те, що, і непряме сонячне світло активує процес фотокаталізу [4]. Але питання безпечності застосування фотокаталітичних матеріалів всередині приміщення не має однозначної відповіді через ризик можливого впливу на здоров'я людей побічних продуктів, що утворюються в результаті неповного фотоокислення [5].

Гетерогенний фотокатализ, заснований на опроміненні напівпровідникового фотокатализатора в контакт з рідким або газоподібним середовищем. Структура напівпровідників характеризується заповненою зоною провідності та порожньою валентною зоною, що розділені забороненою зоною енергії. Поглинання фотону з енергією, що дорівнює або перевищує енергію забороненої зони,

переміщує електрон із валентної зони в зону провідності, залишаючи дірку в валентній зоні. Дірка у валентній зоні може окислювати молекули-донори електронів, адсорбовані на поверхні, тоді як електрон у зоні провідності може відновлювати молекули-акцептори. (Рисунок 2) [6].

Італійський вчений Луїджі Кассар провів дослідження ефективності цього методу для цементних систем шляхом додавання відповідної кількості  $\text{TiO}_2$  до систем на основі білого цементу, щоб надати цементному каменю фотокаталітичних властивостей. Для дослідження можливості самоочищення, отримані зразки просочували розчином фенантрохінону і в результаті отримували однорідні жовті поверхні. Після впливу УФ-опромінення на поверхні зразків стало можливим швидке очищення поверхні. В рамках європейського проекту PICADA було проведено дослідження двох цементних систем – штукатурки на основі цементу, вапна та піску та мінеральної фарби на основі цементу та наповнювачів. До складу обох систем було введено нанорозмірні частинки  $\text{TiO}_2$ .

Рис. 2. Процес фотоактивації  $\text{TiO}_2$

Ефект самоочищення визначали шляхом спостереження за швидкістю фотокаталітичного розкладання органічного барвника родаміну В за допомогою калориметричних вимірювань. В результаті виявилось, що під дією штучного світла протягом доби зразки відновили своє забарвлення на 65% [7,8].

В більшості проведених досліджень для створення фотокаталітичного ефекту в якості фотокаталізатора найчастіше використовують саме діоксид титану (TiO<sub>2</sub>) який має три поліморфні модифікації, а відповідно може існувати у вигляді анатазу, рутила і брукіту. Тип анатазу ширше використовується, оскільки є більш фотокаталітично активним ніж інші модифікації TiO<sub>2</sub>. В якості переваг TiO<sub>2</sub> можна розглядати хімічну стабільність, високу активність порівняно з іншими металооксидними фотокаталізаторами, сумісність з мінеральними в'язучими речовинами, ефективність при слабкому зовнішньому опромінуванні [9].

В якості фотокаталізаторів можливе застосування й інших напівпровідникових матеріалів, таких як SiC, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaP, GaAs, CdSe, CdS, але, незважаючи на їх меншу заборонену зону, їх фотокаталітична активність менша.

У випадку, коли TiO<sub>2</sub> використовують разом з інертними підкладками, наприклад цеолітом, діоксидом кремнію, активованим вуглецем, за рахунок збільшеної активної поверхні та рівномірного розподілу TiO<sub>2</sub>, швидкість самоочищення збільшується. Групою вчених проведено дослідження, які показали, що оксихлорид вісмуту (BiOCl) має кращі фотокаталітичні властивості, ніж TiO<sub>2</sub>. Це підтвердили й інші науковці, які встановили, що BiOCl демонструє швидку фотоактивну реакцію на видиме світло. Для підтвердження можливості застосування BiOCl у складі будівельних матеріалів, були проведені дослідження на композитних гранулах BiOCl (Рисунок 3) [10].

### Постановка завдання

Однією з проблем при використанні фотокаталітичних систем, здатних до самоочищення, є збереження їх властивостей впродовж тривалого часу експлуатації. [11]. Для збереження фотокаталітичних властивостей та зниження вилугування цементних систем, в їх складі має бути обмежено вміст органічних домішок. Окрім того, у відкритих порах бетону може накопичуватись бруд, що заважатиме проходженню процесів фотокаталізу. В той же час, на сьогодні є дослідження, відповідно до яких діоксид титану визнано шкідливою добавкою яка накопичується в людському організмі при її вдиханні та не виводиться з нього.

Підвищення щільності цементного каменю є ще одним шляхом до отримання цементних систем, здатних до самоочищення. Аналіз існуючих досліджень показав ефективність застосування тонкодисперсних мінеральних добавок, при цьому найбільша ефективність спостерігається при використанні високодисперсних карбонатних добавок [12].

### Мета роботи

Дослідження ефективності включення нанокarbonатної добавки до забарвлених цементних систем, та визначення її впливу на міцність, ступінь ущільнення та оцінка здатності до самоочищення таких систем.

### Основний матеріал і результати

З метою дослідження ефективності включення нанокarbonатної добавки, що буде сприяти модифікуванню структури цементних систем, було проведено дослідження щодо впливу такої добавки на міцність та ступінь ущільнення отриманої цементної матриці.

Дослідження проведено на цементних системах на основі білого портландцементу Cimса (Туреччина) з вмістом трикальцієвого алюмінату (С3А) 11,5 %, пігментованих синтетичним неорганічним пігментом українського виробництва та пластифікованих полікарбоксилатним пластифікатором Melflux 1641 F німецького виробництва BASF.

Нанокarbonатна добавка, яку використовували для покращення експлуатаційних характеристик даних цементних систем представлена дисперсією «Enrich C 50» виробництва Норвежської фірми «Nordcalk». Основні характеристики нанокarbonатної добавки наведено в Таблиці 1.

Для визначення ефективності дії нанокarbonатної добавки, її вводили в цементну систему у вигляді дисперсії з різним дозуванням.

Результати досліджень, які наведено на Рисунку 4 засвідчують, що модифікування зазначених цементних систем нанокarbonатною добавкою покращує їх міцнісні характеристики, що супроводжується ущільненням структури цементного каменю.

За результатами досліджень ми можемо зробити висновок, що на 7 добу тверднення найбільш ефективним є введення 3,5% нанокarbonатної добавки, а у віці 3 та 28 діб найкращі результати отримуємо при її дозуванні в кількості 4,5 %.

Таблиця 1.

Характеристика нанокarbonатної добавки у вигляді дисперсії «Enrich C 50»

Технічні характеристики	«Enrich C 50»
Зовнішній вигляд	Біла дисперсія
Вміст сухої речовини, %	50
Середня густина, г/см <sup>3</sup>	1,45
Ph дисперсії	7–9
Розмір частинок дисперсії d50%, nm d90%, nm	130 300

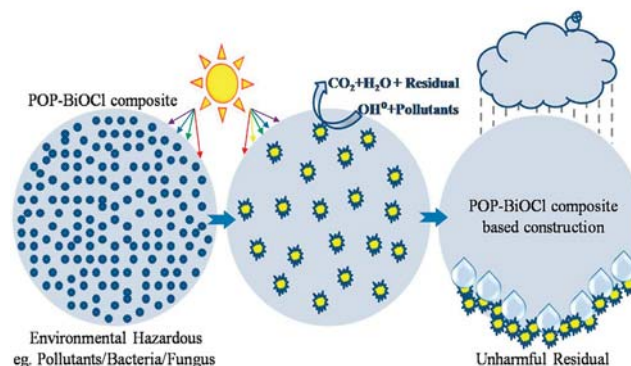


Рисунок 3. Процес самоочищення за допомогою композитних гранул BiOCl

При дослідженні впливу розміру частинок карбонатних добавок на процеси гідратації було встановлено, що дрібніші розміри частинок мають більшу поверхневу енергію, що забезпечує додаткові зони зародження для утворення та розвитку гідросилікатів кальцію, тобто проявляється ефект нуклеації [13, 14]. Використання нанокarbonатної добавки з питомою поверхнею, більшою від цементу, призводить до зростання поверхні всієї системи з відповідним збільшенням об'єму фізично зв'язаної води в суміші, що сприяє покращенню її реологічних властивостей та ущільненню затверділої цементної системи. Завдяки цьому зменшується об'єм порожнин між зернами клінкеру. При твердненні такої системи, карбонат кальцію активізує реакції гідратації з утворенням гідрокарбоалюмінатів кальцію і етрингіту, що утворюється внаслідок протікання топохімічних реакцій та прискорення пуцоланової реакції в неклінкерній частині, внаслідок чого отримуємо цементні системи з покращеними експлуатаційними властивостями [15].

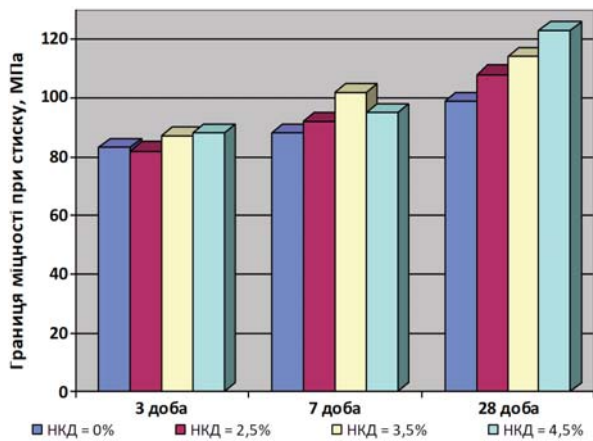


Рис. 4. Вплив нанокарбонатної добавки (НКД) на міцність цементних систем

В продуктах гідратації цементних систем з нанокарбонатною добавкою утворюються електрогетерогенні контакти між позитивно і негативно зарядженими поверхнями дисперсних частинок, що сприяє підвищенню щільності таких цементних систем. При підвищенні щільності зменшується й кількість поверхневих пор, в яких накопичується бруд в процесі експлуатації. Разом з цим, карбонатні добавки утворюють активні центри у вигляді зосереджених електричних зарядів на поверхні – основні і кислотні центри Льюїса і Брестенда, на яких при взаємодії поверхні з водним середовищем або з повітряним з природною вологістю, іони водню зв'язуються з поверхнею слабо і легко можуть бути відірвані від неї разом з часточками бруду та пилу, що осіли на поверхні [16].

Попередні дослідження показують ефективність введення нанокарбонатних добавок до цементних систем в яких спостерігається підвищення міцності, ступеню ущільнення та здатності системи до самоочищення. Але для можливості детального дослідження впливу нанокарбонатної добавки на здатність системи до самоочищення необхідна методика, яка б дозволила оцінити такий вплив при дії різних атмосферних чинників, враховуючи численні викиди промисловості.

#### Висновки та перспективи подальших розроблень

Таким чином, використання в цементних системах нанокарбонатних матеріалів дозволяє отримати будівельні матеріали, здатні до самоочищення, завдяки формуванню щільної структури та активних центрів, що сприяє отриманню цементних систем з покращеними експлуатаційними властивостями, зокрема, здатністю до самоочищення.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на дослідження здатності таких цементних систем до самоочищення та на оптимізацію їх складу для досягнення кращих експлуатаційних характеристик.

Для цього потрібна розробка методики, яка б включала дослідження стану цементних систем та її здатності до самоочищення при тривалій дії різних факторів, що призводять до її забруднення: різних атмосферних чинників, викидів промислових підприємств, що містяться в атмосфері, дії морської води, частинки якої міститься у повітрі та інших видів забруднюючих речовин.

#### Література:

1. L. Cassar, A. Beeldens, N. Pimpinelli, G. L. Guerrini. Photocatalysis of cementitious materials. International RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials 8–9 October 2007, Florence, Italy.
2. Маланок В.Я. Особливості використання нанотехнологій у дизайні середовища. The world of science and innovation. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference London, United Kingdom, 2020, p. 335–342.
3. Сірова В.І., Крот Г.В. Нанотехнології у будівництві та архітектурі. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Педагогічні науки: реалії та перспективи. Випуск 31, 2012, с. 245–249.
4. Leone MF (2011) Nanotechnology for Architecture. Innovation and Eco-Efficiency of Nanostructured Cement-Based Materials. J Architec Eng Technol 1:101. doi:10.4172/2168-9717.1000102;
5. Auvinen J, Wirtanen L. The influence of photocatalytic interior paints on indoor air quality. Atmospheric Environment 2008, 42(18), p. 4101–12.
6. Luigi Cassar Cementitious materials and photocatalysis. Prague; 2008, p. 1–7.
7. Cassar L. Photocatalysis of cementitious materials: clean buildings and clear air. MRS Bulletin 2004; 29(5), p. 328–31.
8. Vallee F, Ruot B, Bonafous L, Guillot L, Pimpinelli N, Cassar L, et-al. Cementitious materials for self-cleaning and depolluting facade surfaces. In: Kashino N, Ohama Y, eds. RILEM Int. Symp. On environment-conscious materials and systems for sustainable developments. Japan; 2004, p. 245–354.
9. Jun Chen, Chi-sun Poon. Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications / Building and Environment 44 (2009), p. 1899–1906.
10. V.P. Singh, Deepika Mishra, E.N. Kabachkov, Yu.M. Shul'ga, Rahul Vaish. The characteristics of BiOCl/Plaster of Paris composites and their photocatalytic performance under visible light illumination for self-cleaning. Materials Science for Energy Technologies. 2020, p. 299–307.
11. Motohashi K, Inukai T. Self-cleaning performance evaluation of commercial photocatalyst coating materials through 5 years outdoor exposure. In: Baglioni P, Cassar L, eds. RILEM Int. Symp. On photocatalysis, environment and construction materials. Italy; 2007, p. 307–313.
12. Штарк Й., Бернд В. Цемент та вапно / Пер. з нім. А. Тулаганова під ред. П. Кривенко. – К.: Оранта, 2008, 480 с.
13. J. Camiletti, A.M. Soliman, M.L. Nehdi. Effects of nano- and micro-limestone addition on early-age properties of ultra-high-performance concrete. Mater. Struct. 2013, 46, p. 316–326.
14. Пушкарьова К.К., Гадайчук Д.Р., Кушнерова Л.О., Мазур В.О., Іонов Д.С. Кристалохімічні аспекти процесу гідратації мінералу С3S в присутності нанокарбонатних добавок // Зб. Наук.праць «Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка», № 60 (ISSN 2413-7693), 2019, Київ, с. 34–44.
15. Структурційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / [Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, М.А. Саницький та ін.] – К.: «ЕксОб», 2008, 360 с.;
16. Пługін А.А. Гідроізоляційні цементні композити проникної дії / А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Прошин, Д.О. Бондаренко, О.А. Пługін, О.С. Борзяк, В.А. Артюнов – Харків: Колегіум, 2018, 268 с.



Каверин К. О.



Анопко Д. В.



Левківський Д. В.

**Каверин К. О.**, к. т. н., доц.,  
Кафедра будівельних матеріалів,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,  
✉ kaveryn.ko@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 245 48 31  
ORCID ID: 0000-0001-9086-5953

**Анопко Д. В.**, к. т. н., доц.,  
Кафедра будівельних матеріалів,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,  
✉ anopko.dv@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 245 48 31  
ORCID ID: 0000-0002-2585-2512

**Левківський Д. В.**, к. т. н., доц.,  
Кафедра опору матеріалів,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,  
✉ levkivskiy.dv@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 241-54-21  
ORCID ID: 0000-0003-2964-1605

**Kostiantyn Kaverin**, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Professor,  
Department of building materials,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,  
✉ kaveryn.ko@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 245 48 31  
ORCID ID: 0000-0001-9086-5953

**Dmytro Anopko**, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Professor,  
Department of building materials,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,  
✉ anopko.dv@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 245 48 31  
ORCID ID: 0000-0002-2585-2512

**Dmytro Levkivskiy**, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Professor,  
Department of resistance materials,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,  
✉ levkivskiy.dv@knuba.edu.ua ☎ +38 (044) 241-54-21  
ORCID ID: 0000-0003-2964-1605

## СУЧАСНІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ ЕФІРІВ ПОЛІКАРБОКСИЛАТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

### MODERN HIGH-TECH CONCRETES BASED ON POLYCARBOXYLATE ESTERS FOR THE PROTECTION OF ENERGY FACILITIES IN UKRAINE

**Анотація.** Застосування хімічних добавок на основі ефірів полікарбоксилатів є ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, а отже, покращення його фізико-механічних характеристик та гарантування довговічності.

Отримання високофункціональних бетонів досягається за рахунок виконання багатьох вимог, що впливають із фізичних основ структуроутворення бетону, а саме: використання високоміцних цементів та заповнювачів, застосування максимально низького водоцементного співвідношення. Використання модифікаторів забезпечує ефективність укладання бетону, розпалубку монолітних споруд у якнайкоротші терміни за достатньої якості останніх, виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності, можливість проведення будівельних робіт як у зимових, так і в сухих спекотних умовах.

Під терміном „високотехнологічні” бетони об'єднані багатокомпонентні бетони з високими експлуатаційними властивостями, міцністю, довговічністю, низькими коефіцієнтом дифузії і стиратністю, надійними захисними властивостями по відношенню до сталеві арматури, високою хімічною стійкістю.

Мета роботи — одержання бетону заданого класу з високими показниками ранньої міцності, середньої густини та стійкості затверділого бетону до агресивних чинників, що забезпечується якістю використаного цементу та введенням хімічних добавок.

Висновки. Розроблена ціла гама спеціалізованих високофункціональних бетонів з суперпластифікаторами нової генерації на основі ефірів полікарбоксилатів та повітрявтягуючих добавок, причому за рахунок регулювання співвідношення стеричного фактора та аніонної активності ефірів полікарбоксилатів у комплексі з високорозчинними електролітами, одержані високотехнологічні та литі бетонні суміші з тривалим часом збереження їх легкоукладальності, що гарантує отримання бетонів з підвищеною ранньою міцністю, високими експлуатаційними властивостями, в тому числі надійними захисними властивостями по відношенню до сталеві арматури та високою хімічною стійкістю.

**Ключові слова:** високотехнологічні бетони, самоущільнювальні бетони (Self-Compacting Concrete, SCC), високоміцні бетони (High-Strength Concrete, HSC), довговічність, енергетична інфраструктура.

**Abstract.** The use of chemical additives based on polycarboxylate esters is an effective means of regulating the rheological properties of concrete mixtures, modifying the structure of cement stone in concrete and the concrete itself, and therefore improving its physical and mechanical characteristics and guaranteeing durability.

Obtaining high-performance concrete is achieved by meeting many requirements arising from the physical foundations of concrete structure formation, namely: the use of high-strength cements and aggregates, the use of the lowest possible water-cement ratio. The use of modifiers ensures the efficiency of concrete laying, the formwork of monolithic structures in the shortest possible time with sufficient quality of the latter, the production of thin-walled thick-reinforced structures of increased strength, the possibility of carrying out construction work both in winter and in dry, hot conditions.

The term "high-tech" concrete includes multi-component concrete with high operational properties, strength, durability, low diffusion coefficient and abrasion, reliable protective properties in relation to steel reinforcement, high chemical resistance.

The purpose of the work is to obtain concrete of a given class with high indicators of early strength, average density and resistance of hardened concrete to aggressive factors, which is ensured by the quality of the cement used and the introduction of chemical additives.

Purpose of the article a whole range of specialized highly functional concretes with superplasticizers of the new generation based on polycarboxylate esters and air-entraining additives has been developed, and by adjusting the ratio of the steric factor and the anionic activity of polycarboxylate esters in a complex with highly soluble electrolytes, high-tech and cast concrete mixtures with a long-term preservation of their ease of work have been obtained, which guarantees obtaining concrete with increased early strength, high operational properties, including reliable protective properties in relation to steel reinforcement and high chemical resistance.

**Key words:** high-tech concrete, self-compacting concrete (SCC), high-strength concrete (HSC), durability, energy infrastructure.

## Вступ

Враховуючи реалії війни на території України виникає гостра необхідність у побудові захисних укриттів для захисту об'єктів енергогенерації, згідно з розпорядженням Кабінетом України № 825 від 19 травня 2022 року.

Для вирішення таких задач світовий досвід рекомендує використання високоефективних бетонів нової генерації (High Performance Concrete, HPC), до яких належать високоміцні бетони (High-Strength Concrete, HSC), фібробетони, бетони з реактивних порошків, самоущільнювальні бетони (Self-Compacting Concrete, SCC). Підставою для таких сучасних рішень є отримання високотехнологічних і легкоукладальних бетонних сумішей, що забезпечують швидкість побудови конструкцій, зменшують енергозатрати і в кінцевому підсумку отримання високоміцних композитів з підвищеною довговічністю.

Самоущільнювальні бетони (SCC) характеризуються здатністю щільно заповнювати форми, а також самостійно стравлювати повітря і тужавити під власною вагою без сегрегації складових частин. Такі бетони знайшли застосування як високоміцні бетони в продукції напружених балок, понтонів, під час будівництва мостів і тунелів; наливні безвібраційні бетони для виготовлення великих масивів, під час бетонування збірних резервуарів на очисних спорудах, для збірного залізобетону та монолітного будівництва.

Для сучасних високоміцних бетонів характерні такі вимоги: висока легкоукладальність бетонної суміші (від 1 години і більше), висока міцність на стиск (через 28 діб від 60 МПа і більше), висока морозостійкість (від F300 і більше) та корозійна стійкість, висока довговічність та низька здатність до стирання. Основними напрямками використання високоміцних бетонів є: висотне будівництво (промислове, багатоповерхове, особливо несучі опори, будівництво мостів і тунелів, енергетичне будівництво, побудова оболонки ядерних реакторів, масивні конструктиви), побудова бетонних доріг з підвищеною довговічністю, продукція великогабаритних збірних конструкцій.

## Постановка проблеми

Виробництво високотехнологічних і високофункціональних бетонів сьогодні вимагає пошуку нових прогресивних технологій. Використання різноманітних в'язучих речовин, заповнювачів, добавок, а також технологічних прийомів дає змогу одержувати бетони з різноманітними властивостями. Це забезпечує можливість їх застосування під час зведення конструкцій і споруд широкого номенклатури і функціонального призначення. Враховуючи це, важливого значення набуває проблема збереження ефективності бетонної суміші у часі, а також підвищення ефективності способів її укладання. Застосування хімічних добавок на основі ефірів полікарбонатів є ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, необхідного модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, а отже, покращання його фізико-механічних характеристик і довговічності.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Отримання високофункціональних бетонів досягається за виконання багатьох вимог, що впливають із фізичних основ структуроутворення бетону: використання високоміцних цементів та заповнювачів, максимально низьким водоцементним співвідношенням, високою максимально допустимою витратою цементу, застосуванням суперпластифікаторів нової генерації і комплексних добавок, що сприяють ущільненню структури бетону, особливо ретельним перемішуванням та ущільненням бетон-

ної суміші, створенням найсприятливіших умов тверднення бетону. Введення суперпластифікаторів нової генерації особливо ефективно знижує витрату цементу, оскільки сприяє не тільки підвищенню рухливості та покращанню щільності бетонної суміші, але й при цьому зберігається постійною водопотреба за високої витрати цементу, тобто у цьому випадку не потрібна додаткова витрата цементу для компенсації підвищеної в'язкості бетонної суміші.

Використання модифікаторів забезпечує ефективність вкладання бетону, розпалубку монолітних споруд у якнайкоротші терміни за достатньої якості останніх, виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності, можливість проведення будівельних робіт як у зимових, так і в сухих спекотних умовах [2, 3]. При цьому бетон розглядається як композиційний матеріал із заданими параметрами, які потрібні для ведення монолітного бетонування та забезпечення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій. Така композиційна система містить, крім традиційних складових, таких як цемент, заповнювачі, вода і модифікатори — поверхнево-активні речовини (ПАР), електроліти та мінеральні добавки різних класів. Ефективність хімічних добавок нерозривно пов'язана з різними чинниками, такими як вид добавки, тип цементу і його мінералогічний склад, вміст добавки та точність дозування, наявність інших добавок, кількість води в суміші і водоцементне відношення, зерновий склад і вид заповнювача, температура доквілля, час перемішування, момент і спосіб введення добавки [4, 5].

При цьому одним з основних напрямків випробувань добавок є встановлення сумісності системи "добавка-цемент", що визначає необхідний алгоритм вибору добавки, який дасть змогу оптимізувати рішення з погляду технологічної і економічної ефективності. Аналіз різноманітності добавок, доступних на ринку, дає змогу припустити, що такий алгоритм, крім одиначної вартості, повинен враховувати: вміст добавки (мінімальна, максимальна і рекомендована кількість), простоту дозування, величину одержаного ефекту (величина пластифікування, скорочення або відтягування термінів тужавіння, підвищення щільності бетону), додаткові позитивні та побічні негативні ефекти. Такий загальний принцип вибору добавок уможлиблює об'єктивно порівняти їх між собою та оптимізувати вибір найефективніших [3, 5].

На сучасному етапі будівництва особливого значення набуває проблема менеджменту якості (quality management) бетону та концепція "життєвого циклу" (Life Cycle Approach) будівельних конструкцій. Це визначає необхідність оцінки їх споживчої вартості з врахуванням як фізико-механічних показників, так і довговічності, що тісно пов'язано з проектованим терміном експлуатації. У той самий час найпоширеніші методи одержання залізобетону, що ґрунтувались в умовах дешевих енергоносіїв на прискореному твердненні за тепловологого оброблення за температури понад 80 °С, призводили до утворення грубодисперсної мікроструктури цементного каменю, а внаслідок цього до зниження довговічності будівельних конструкцій [1].

З погляду стратегії сталого розвитку суспільства забезпечення основних фондів країни значною мірою досягається створенням збірних та монолітних конструкцій з гарантією якості та зростанням розрахункового терміну служби основних несучих конструкцій і збільшенням міжремонтного періоду [1, 2], що значною мірою досягається забезпеченням заданих параметрів під час виготовлення бетону, особливо за монолітного будівництва, за рахунок оптимізації гранулометричного складу цементних систем та комплексної модифікації. При цьому фізико-хімічне мо-

дифікування властивостей бетонної суміші та затверділого бетону за допомогою хімічних та мінеральних добавок різної природи та призначення стає основним пріоритетом вирішення проблеми забезпечення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій на сучасному етапі.

Основою технічних рішень сучасних новаторських напрямків створення високофункціональних бетонів нової генерації є використання багатокомпонентних в'язучих речовин, що поєднують мінеральні добавки різних типів та комплексні модифікатори поліфункціональної дії, а також високо-технологічних процесів і машин для будівельної індустрії.

Під терміном „високофункціональні” бетони об'єднані багатокомпонентні бетони з високими експлуатаційними властивостями, міцністю, довговічністю, низькими коефіцієнтом дифузії і стираністю, надійними захисними властивостями по відношенню до сталеві арматури, високою хімічною стійкістю. Високофункціональні бетони, виготовлені із високорухливих і литих бетонних сумішей з органічним водоутриманням, мають міцність за стиску у віці 2 діб 30–50 МПа, у віці 28 діб — 60–150 МПа, морозостійкість — F400 і більше, водопоглинання — менше за 1–2 %, стираність — не більше як 0,3–0,4 г/см<sup>2</sup>. У реальних умовах прогнозована довговічність експлуатації такого бетону перевищує 200 років. Можливе отримання і супердовговічних бетонів із термінами роботи близько 500 років. Технічна реалізація проектів з випуску таких ефективних бетонів дасть змогу системно вирішувати питання економії цементу. Це також забезпечить зменшення трудомісткості робіт під час вкладання бетону та уможливить легко транспортувати його бетононасосами.

Розроблені комплексні модифікатори та суперпластифікатори нової генерації дають змогу покращувати фізико-механічні властивості бетонів, а отримані на їх основі високофункціональні бетони характеризуватимуться високими експлуатаційними показниками.

**Мета роботи** — одержання бетону з високими показниками ранньої та марочної міцності, щільності та стійкості затверділого бетону, що забезпечується якістю цементу та введенням хімічних добавок.

#### Методи досліджень і матеріали

Як вихідні матеріали для проведення роботи були використані: портландцемент ПЦ ІІ-500 А-Ш ВАР "Миколаївцемент" з фізико-механічними показниками: питома поверхня  $S_{пит} = 328 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі №008 — 9,8 %, початок тужавіння – 1 год 45 хв, кінець тужавіння — 2 год 30 хв, границя міцності за стиску у віці 2; 7; 28 діб відповідно 15,5; 32,6 та 51,8 МПа; кварцовий пісок річний з модулем крупності  $M_{кр} = 1,67$ , середньою густиною — 1420 кг/м<sup>3</sup>, пустотністю — 42 %, істинною густиною — 2,61 г/см<sup>3</sup>, вмістом пилюватих та глинистих домішок — 1,4 %; Хімічний склад портландцементного клінкеру поданий вмістом оксидів, мас. %: SiO<sub>2</sub> — 23,38; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 4,84; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 3,90; CaO — 63,92; MgO — 2,47; SO<sub>3</sub> — 0,67; R<sub>2</sub>O — 0,82, мінералогічний склад відображається вмістом мінералів, мас. %: C<sub>3</sub>S — 62,20; C<sub>2</sub>S — 15,18; C<sub>3</sub>A — 6,50; C<sub>4</sub>AF — 12,80.

Суперпластифікатор на основі ефірів полікарбоксилатів — це суміш синтетичних, розчинних у воді поверхнево-активних розгалужених прищеплених кополімерів та полімерів. Згідно з даними ІЧ-спектроскопії у складі полікарбоксилатів присутні активні групи: -SO<sub>3</sub><sup>-</sup>; -OH; -COO<sup>-</sup>; -CO-. Макромолекули полікарбоксилатів мають дифільну будову — гідрофільні полярні групи та гідрофобний вуглеводневий радикал, які розміщуються в цементно-водній системі з мінімальними енергетичними затратами. Суперпластифікатори нової генерації на основі ефірів полікарбоксилатів та їх етерів створюють стеричний ефект пластифікування — довгі ланцюги полімеру фізично перешкоджають зернам цементу зближуватися. Середня молярна маса суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу становить від декількох тисяч до 105 г/моль та більше і охоплює маси як мо-

номерів, так і полімерних молекул. У роботі для досліджень використано ефіри полікарбоксилатні естери з середньою молекулярною масою близько 7000 г/моль [5].

**Предметом досліджень** є високотехнологічні бетони модифікованих суперпластифікаторами на основі ефірних полікарбоксилатів.

#### Результати досліджень

Дослідження технологічних властивостей бетонних сумішей на основі портландцементу модифікованого ефірами полікарбоксилатів свідчить про те, що бетонні суміші характеризуються маркою за рухливістю SF2 та підвищеною здатністю до збереження рухливості в часі. Так, розплив бетонної суміші з комплексними модифікаторами зберігається протягом 2 год без зміни марки за рухливістю, через 2 год рухливість бетонної суміші змінюється від 64,5 см до 63 см.

Отже, за однакового часу приготування і транспортування бетонної суміші час її життєздатності значно більший, ніж бетонної суміші без добавок.

Результати випробувань (табл. 1) високотехнологічного важкого самоущільнювального бетону (SCC) свідчать про те, що використання комплексних модифікаторів на основі ефірів полікарбоксилатів забезпечує отримання ранньої міцності бетону не менше ніж 28 МПа, а в результаті отримати бетону класу C40/50 (B50) замість C32/40 (B40). Слід зазначити, що міцність бетону на портландцементі з комплексними модифікаторами на основі ефірів полікарбоксилатів в рази вища, ніж для бетону з звичайними пластифікаторами.

Таблиця 1.

Склад і властивості високотехнологічного бетону (C32/40, SF2, F200, W8)

Склад	Кількість, кг	Властивості	
		Розплив конуса, см	Міцність при стиску, МПа
1) Щебінь ф.10-20	653	1 година, 64,5 см	На 2 добу 28 МПа
2) Щебінь ф.5-10	418		
3) Пісок річний митий	617		
4) ПЦ ІІ 500-А-Ш	430	2 години, 63 см	на 28 добу 64 МПа
5) Зола виносу Ладижинська	100		
6) Суперпластифікатор RialFlow SDS-26L	4,9		
7) Повітрявтягуюча добавка AirPro-M	0,14		



Рис 1. Фотографії виготовлення монолітних колон із високотехнологічного бетону (C32/40, SF2, F200, W8)



Отже, використання комплексних модифікаторів на основі ефірів полікарбоксилатів забезпечує одержання високотехнологічних та самоущільнюючих високорухливих бетонних сумішей з тривалим часом збереження та високоякісних бетонів високих класів, а збереження постійних значень рухливості бетонної суміші та міцності бетону досягається за скороченої витрати цементу.

#### Висновки та перспективи подальших розроблень

Регулюючи співвідношення стеричного фактора та аніонної активності ефірів полікарбоксилатів у комплексі з високорозчинними електролітами, створюється можливість розроблення цілої гами спеціалізованих високо-

функціональних бетонів з суперпластифікаторами нової генерації на основі ефірів полікарбоксилатів та повітрявтягуючих добавок.

При цьому використання оптимальних кількостей компонентів комплексних модифікаторів дає змогу за рахунок істотного зниження водопотреби одержати високотехнологічні та литі бетонні суміші з тривалим часом збереження їх легковкладальності, що забезпечує одержання бетонів з підвищеною ранньою та марочною міцністю, з високими експлуатаційними властивостями, довговічністю, низькими коефіцієнтом дифузії і стираністю, надійними захисними властивостями по відношенню до сталевих арматур, високою хімічною стійкістю.

#### Література:

1. Yu.M. Bazhenov Concrete technology. — K.: ASV Publishing House, 2003, 500 p.
2. Runova R.F., Gots V.I., Sanytskyi M.A. etc. Construction materials of the new generation and technologies of their implementation in construction. — K.: UVPC "ExOb", 2008, 360 p.
3. Sanytskyi M.A. Energy-saving technologies in construction: education. Guide/ M.A. Sanytskyi, O.R. Pozniak, U.D. Maruschak — Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, 236 p.
4. Modifiers of the new generation for concrete / M.A. Sanytskyi, O.R. Pozniak, U.D. Maruschak, M.M. Chemeris et al. // Building materials and products, 2006, № 1, p. 5–7.
5. Hydration of Portland cement in the presence of highly dispersed chalk additives / O. S. Borzyak, S. M. Chepurna // Collection of research papers of the Ukrainian State University of Railway Transport. 2018. — Issue 175, p. 110–117.
6. Influence of carbonate additives on the properties of composite Portland cement / T. P. Kropyvnytska, M. A. Sanytskyi, I. M. Hevyuk // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Theory and practice of construction, 2013, № 755, p. 214–220.
7. Sanytskyi M.A. Energy-saving technologies in construction: education. Guide/ M.A. Sanytskyi, O.R. Pozniak, U.D. Maruschak — Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, p. 236.
8. Sanytskyi M.A. Quick-hardening Portland cements with the addition of limestone/ M.A. Sanytskyi, T.P. Kropyvnytska, I. M. Gev'yuk// Building materials and products, 2019, № 1-2 (100), p. 18–23.
9. Influence of organo-silica additives on the change in the functional properties of expanded clay lightweight concrete / Pushkarova K., Kaverin.K., Hadaichuk D.// International scientific practical conference of young scientists "Build master class". 27–29.11.19, Kyiv, Ukraine, 2019, p. 184–185.
10. Portlandcement binders modified with nanocarbonate additives / Malomuzh V., Pushkarova K., Kaverin.K., Hadaichuk D.// International scientific practical conference of young scientists "Build master class". 27–29.11.19, Kyiv, Ukraine, 2019, p. 182–183.
11. Pushkaryova K.K. Peculiarities of modification of Portland cement with carbonate additives of different degrees of dispersion / Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O., Haydachuk D.R. // Coll. of science works "Construction materials, products and sanitary equipment", № 60 (ISSN 2413-7693), 2019, Kyiv, p. 28–33.
12. Pushkaryova K.K. The influence of carbon nanotubes on the morphology of neoplasms of slag cement / Pushkaryova K.K., Sukhanevich M.V., Martsikh A.S. // Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture. — Odesa: ODABA, 2015, № 60, p. 237–242.
13. Pushkarova, K. K. Research of high-strength cement compositions modified by complex organic-silica additives [Text] / K. K. Pushkarova, K. O. Kaverin, D. O. Kalantaevsky // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2015, Vol. 5, Issue 5 (77), p. 42–51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836
14. Pushkaryova K.K. Peculiarities of modification of the cement matrix for obtaining high-strength lightweight expanded clay concretes / Pushkaryova K.K., Gonchar O.A., Kaveryn K.O. // Coll. of science works "Construction materials, products and sanitary equipment", Kyiv, 2014, № 52, p. 43–48.
15. Pushkaryova K.K. Study of the processes of structure formation of cement compositions modified with organo-silica additives / Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O., Dmytrov M.S. // Herald of ODABA. Odesa, Zovnishreklamservis, 2014, № 56, p. 201–208.
16. Pushkaryova K.K. The influence of organo-mineral additives on the rheological properties of cement compositions and their physical and mechanical characteristics / Pushkaryova K.K., Gonchar O.A., Kaveryn K.O. // Collection of scientific works of UkrDUZT, Kharkiv, 2015, № 155 (ISSN 1994-7852), p. 124–128. (Index Copernicus)
17. Pushkaryova K.K. Study of the influence of organo-siliceous additives on the strength of cement compositions / Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O. // Herald of ODABA. Odesa, Zovnishreklamservis, 2015, № 57, p. 371–379.
18. Pushkaryova K.K. The influence of a complex organo-mineral additive on the phase composition of cement compositions and the formation of the structure of cement stone / Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O., Yakym V.P. // Herald of ODABA. Odesa, Zovnishreklamservis, 2015, № 60, p. 229–236.
19. Pushkaryova K.K. Study of the compatibility of the action of the components of the organo-silica additive and their influence on the processes of structure formation of cement stone / Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O. // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: Collection. of science Ave. — Rivne: NUVHP. 2015, № 31 (ISBN 966-7447-21-9), p. 322–329.
20. Pushkaryova K.K. Study of cement compositions modified with polycarboxylate and mechano-activated quartz additives/ Pushkaryova K.K., Kaveryn K.O., Kalantaevskiy D.O. // Visnyk ODABA. — Odesa, Zovnishreklamservis, 2016, № 62 (77) (ISBN 978-617-7195-23-7), p. 149–153.



Троян В. В.



Кіндрась Б. П.

**Троян В. В.**, доктор технічних наук, професор кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680, ✉ s\_troy@ukr.net ☎ +38 (067) 88 22 861.

**Кіндрась Б. П.**, головний технолог, АТ «Дарницький завод залізобетонних конструкцій», вул. Бориспільська, 11, м. Київ, 02093, ✉ bogdan.kindras@gmail.com ☎ +380 (097) 10 30 007.

**Vyacheslav Troyan**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of technologies of building structures and products, Kyiv National University of Building and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, ✉ s\_troy@ukr.net ☎ +38 (067) 88 22 861.

**Bogdan Kindras**, Chief technologist, JSC "Darnytskyi Plant of Reinforced Concrete Structures", Boryspilska st., 11, Kyiv, 02093, ✉ bogdan.kindras@gmail.com ☎ +380 (097) 10 30 007.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ, ЗДАТНИХ ДО САМОУЩІЛЬНЕННЯ

### MODELING THE CRACK-RESISTANCE OF HIGH-STRENGTH SELF-COMPACTING CONCRETE

**Анотація.** Наведено результати моделювання тріщиностійкості високоміцних бетонів, здатних до самоущільнення. Шляхом моделювання пружних і мікропластичних деформацій по діаграмах деформування зразків-призм з ініційованою тріщиною встановлено параметри розкриття тріщин в досліджуваних бетонах. За моделлю встановлено, що ширина розкриття усадочних тріщин у досліджуваних бетонах (на 120 добу) значно перевищує цей показник для початку утворення магістральної тріщини. Отже, за умови обмеженої усадки, утворення тріщин в досліджуваних бетонах неминуче. За моделлю, утворення мікротріщин внаслідок обмеженої усадки бетону без добавок починається на 9 добу, а утворення магістральної тріщини — на 11 добу тверднення. Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з золюю вносом, вапняковим борошном та мікрокремнеземом починається на 6 добу тверднення. Утворення усадочних магістральних тріщин в цих бетонах починається на 8, 10 та 11 добу тверднення відповідно. Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з метакеолином починається на 8 добу, а магістральної тріщини — на 17 добу тверднення. Отже, склад бетону з метакеолином можна визнати найбільш тріщиностійким серед досліджуваних, що пояснюється меншою усадкою, відносно низьким модулем пружності та відносно великою ділянкою мікропластичних деформацій бетону цього складу.

**Ключові слова:** високоміцний бетон, бетон здатний до самоущільнення, моделювання, тріщиностійкість, усадка, модуль пружності.

**Abstract.** The results of modeling the crack resistance of high-strength self-compacting concretes are presented. By modeling elastic and microplastic deformations from the deformation diagrams of prism specimens with an initiated crack, the parameters of crack opening in the concretes under study were established. According to the model, it was found that the width of the opening of shrinkage cracks in all investigated concretes (by 120 days) significantly exceeds this indicator for the beginning of the formation of the main crack. Thus, with limited shrinkage, the formation of cracks in the concretes is inevitable. In accordance with the model, the formation of shrinkage microcracks of concrete without additives begins on the 9th day, and the formation of the main crack — on the 11th day of hardening. The beginning of the formation of shrinkage microcracks in concrete with fly ash, limestone and microsilica begins on the 6th day of hardening. The formation of shrinkage main cracks in these concretes begins on the 8th, 10th and 11th days of hardening, respectively. The beginning of the formation of shrinkage microcracks in concrete with metakaolin begins on the 8th day, and the main crack — on the 17th day of hardening. Thus, the composition of concrete with metakaolin can be considered the most crack-resistant. This is due to less shrinkage, a relatively low modulus of elasticity and a relatively large area of microplastic deformation of concrete with metakaolin.

**Key words:** high-strength concrete, self-compacting concrete, modeling, crack resistance, shrinkage, modulus of elasticity.

#### Вступ

Використання високоміцних бетонів здатних до самоущільнення, дозволяє зменшувати перетин бетонних конструкцій, при забезпеченні проектної несучої здатності. Однак, конструкції з таких бетонів потребують забезпечення тріщиностійкості. Проблема тріщиностійкості актуальна як для бетонів здатних до самоущільнення, що характеризуються підвищеними усадочними деформаціями, так і для високоміцних бетонів, що мають крихке руйнування. Підвищення тріщиностійкості таких бетонів досягається на рівні заповнювачів, в'язучих речовин, мінеральних та хімічних добавок. При цьому, результати дослідження тріщиностійкості потребують комплексної оцінки, що можливо здійснювати шляхом моделювання, наприклад методом кінцевих елементів.

Таким чином, враховуючи поширення використання високоміцних бетонів здатних до самоущільнення, що характеризуються підвищеними усадочними деформаціями та крихким руйнуванням, актуальним є дослідження та комплексна оцінка їх тріщиностійкості шляхом моделювання методом кінцевих елементів.

Отже метою даної роботи було дослідження та моделювання тріщиностійкості високоміцних бетонів з бетонних сумішей здатних до самоущільнення за комплексом критеріїв (усадочні деформації, початковий модуль пружності, параметри руйнування тощо).

#### Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Бетони здатні до самоущільнення були розроблені в Японії з метою відмови від вібрації при ущільненні, що дозволило зменшити витрати на бетонування [1]. Одним з критичних недоліків таких бетонів є підвищена усадка, що значно знижує їх тріщиностійкість [2, 3]. У випадку бетонів здатних до самоущільнення спостерігається збільшення всіх складових усадочних деформацій: аутогенної усадки внаслідок хімічних реакцій між цементом і водою, усадки внаслідок випаровування води з пор бетону та пластичної усадки [4, 5]. За даними досліджень [6], усадка бетонів здатних до самоущільнення може в 1,5 рази перевищувати усадку звичайного бетону. При обмеженій усадці, коли розтягувальні напруження бетону досягають граничного значення починається утворення тріщин [7]. При цьому, утворення усадочних тріщин в бетонах здатних до самоущільнення

починається на ранніх термінах тверднення (8–13 діб) [8, 9]. Для зменшення усадки таких бетонів рекомендується забезпечувати догляд за бетоном [1], використовувати розширювальні і протиусадочні добавки [10, 11] та армуючі волокна [12, 13]. Підвищений вміст в бетонах здатних до самоущільнення цементу та наповнювачів призводить до збільшення аутогенної усадки бетону та усадки внаслідок випаровування води [4, 14]. На значення усадки впливають фактори пов'язані з капілярним тиском води в порах бетону [15]. Так, усадка бетону здатного до самоущільнення може зменшуватись при використанні мікрокремнезему [16], золи виносу, вапняку [17] та метаксаоліну [18] при їх використанні на заміну цементу. Крім усадки на тріщиностійкість бетону впливають модуль пружності, повзучість, міцність на розтяг тощо [19]. Отже, всі ці параметри слід враховувати при комплексній оцінці тріщиностійкості [20]. Спробу такої оцінки тріщиностійкості бетону здатного до самоущільнення з вапняком і мікрокремнеземом наведено в роботі [2]. Доцільним є проведення комплексної оцінки тріщиностійкості високоміцного бетону здатного до самоущільнення з добавками золи виносу та метаксаоліну, що можуть здійснювати позитивний вплив на деформативність бетонів [18].

Отже, за результатами огляду літератури можна відзначити можливість підвищення та комплексної оцінки тріщиностійкості високоміцних бетонів з бетонних сумішей здатних до самоущільнення шляхом модифікації бетонів та моделювання за результатами досліджень усадки, модуля пружності та параметрів, що характеризують тріщиноутворення.

### Матеріали та методи досліджень

В дослідженнях використано портландцемент СЕМ І 42,5 R (ПАТ «Подільський Цемент», CRH, Україна). Мінеральні добавки: метаксаолін METAVER І (NEWCHEM AG, Австрія), мікрокремнезем Microsilica 940 (Elkem, Норвегія), вапнякове борошно (Державне підприємство Закупнянський кар'єр, Україна). Заповнювачі: пісок річковий кварцовий, щебінь гранітний фракцій 5–10 та 10–20 мм. Добавки суперпластифікатори виробництва «МС-Vauchemie», Німеччина.

Фізико-механічні дослідження здійснювали у відповідності з діючими нормативними документами. Модуль пружності бетону визначали відповідно ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Параметри тріщиностійкості бетонів при статичному навантаженні визначали на зразках-призмах з ініційованою тріщиною за ДСТУ Б В.2.7-227:2009.

Моделювання параметрів тріщиноутворення бетонів здійснювали методом кінцевих елементів в професійному програмному комплексі ELCUT.

### Моделювання тріщиностійкості високоміцних бетонів здатних до самоущільнення

Як відзначалося вище, основною причиною утворення тріщин в бетоні, здатному до самоущільнення, є усадочні деформації. За результатами попередніх досліджень було встановлено, що введення на заміну цементу 10 % золи виносу, мікрокремнезему та вапнякового борошна дозволило знизити усадку бетону на 120 добу до 0,34–0,36 мм/м. Введення 10 % метаксаоліну знизило усадку до 0,29 мм/м, усадка складу бетону без добавок на 120 добу становила 0,38 мм/м. На 7 добу тверднення складу бетону без добавок мав меншу усадку (0,06 мм/м) ніж склади з мінеральними добавками (0,11–0,14 мм/м).

Напруження бетону, що виникають внаслідок деформацій усадки, прямо пропорційні його модулю пружності. За результатами досліджень високоміцних бетонів найменшим початковим модулем пружності при

згині 36,6 ГПа характеризувався склад бетону з 10 % метаксаоліну, найбільшим 50,4 ГПа — склад бетону з 10 % мікрокремнезему. Початкові модулі пружності при згині 41–42 ГПа показали бетони без добавок, з 10 % золи виносу та вапнякового борошна.

В якості показника крихкості руйнування високоміцних бетонів розглядали (рис.1) розмір ділянки мікропластичних деформацій (1–2), що відповідає різниці деформацій початку мікротріщиноутворення (1) та початку утворення магістральної тріщини (2).

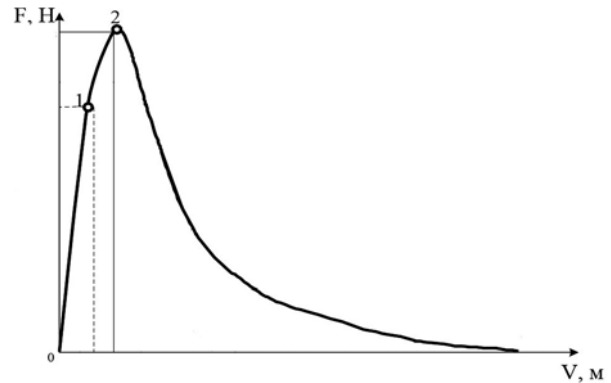


Рис. 1. Діаграма деформування при згині бетонної призми з ініційованою тріщиною

Найбільш крихким руйнуванням, за цим критерієм, характеризувалися зразки високоміцного бетону базового складу (ділянка 1–2 ~ 7 мкм), при величині ділянки пружного деформування (0–1) матеріалу ~ 30 мкм. Найменш крихким руйнуванням характеризувалися зразки бетону з золою виносу (ділянка 1–2 ~ 13,5 мкм) та метаксаоліном (ділянка 1–2 ~ 12,5 мкм). Величина ділянки пружного деформування (0–1) зразків бетону з золою виносу та метаксаоліном становила ~ 26,5 мкм. Середніми показниками крихкості руйнування характеризувалися зразки бетону з мікрокремнеземом (ділянка 1–2 ~ 10 мкм) і вапняковим борошном (ділянка 1–2 ~ 10,5 мкм). Величина ділянки пружного деформування (0–1) зразків бетону з мікрокремнеземом становила ~ 23 мкм, а зразків бетону з вапняковим борошном ~ 25 мкм.

Параметри розкриття тріщин в досліджуваних бетонах одержували шляхом моделювання за діаграмами деформування зразків-призм з ініційованою тріщиною (рис. 2): лінійної ділянки (0–1) пружного деформування матеріалу та ділянки мікропластичних деформацій (1–2) до початку утворення магістральної тріщини (рис. 1).

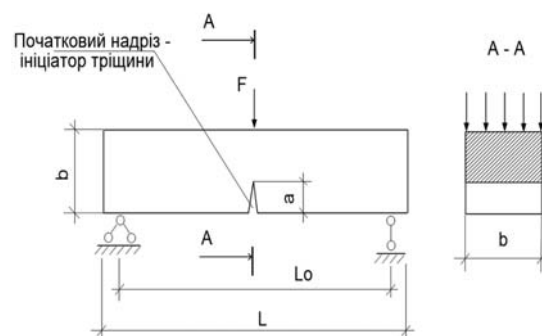


Рис. 2. Схема випробувань зразка-призми на згин з ініційованою тріщиною

За моделями була розрахована ширина розкриття тріщин (рис. 3), що відповідає початку мікротріщиноутворення та початку утворення магістральної тріщини. Як видно з рис. 3, початок утворення мікротріщин в бетоні базового складу без добавок починається при розкритті ініційованої тріщини до 17,6 мкм, при подальшому роз-

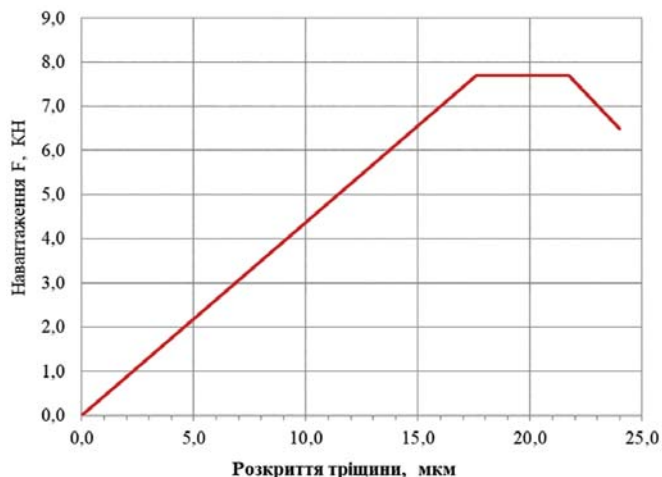


Рис. 3. Розкриття тріщини в бетоні складу без добавок за моделлю

критті ініційованої тріщини до 21,7 мкм починається утворення магістральної тріщини. Таким чином ділянці мікропластичних деформацій відповідає розкриття тріщини ~ 4 мкм.

Початок утворення мікротріщин в високоміцному бетоні з золою виносу та мікрокремнеземом починається при розкритті ініційованої тріщини 15,5 та 13,7 мкм відповідно, а при розкритті ініційованої тріщини до 23,5 та 19,8 мкм відповідно, починається утворення магістральної тріщини (рис.4). Початок утворення мікротріщин в бетоні з метакеолином та вапняковим борошном починається при розкритті ініційованої тріщини 15,6 та 14,8 мкм відповідно, при розкритті тріщини до 22,9 та 21,1 мкм відповідно, починається утворення магістральної тріщини. Одержані

за моделлю параметри розкриття тріщин були використані для прогнозування розкриття усадочних тріщин в досліджуваних бетонах (рис. 4).

Як видно з рис.4, значення розкриття тріщин внаслідок обмеженої усадки досліджуваних бетонів (за моделлю на 120 добу) в 1,5–2 рази перевищують значення розкриття тріщин початку утворення магістральної тріщини. Таким чином, за умови обмеження усадочних деформацій, утворення усадочних тріщин в досліджуваних високоміцних бетонах здатних до самоущільнення є неминучим.

Як видно з рис. 5, мікротріщиноутворення внаслідок обмеженої усадки (за моделлю) бетону без добавок починається на 9 добу, а утворення магістральної тріщини — на 11 добу тверднення. Початок утворення усадочних мікротріщин (за моделлю) в високоміцному бетоні з золою виносу, вапняковим борошном та мікрокремнеземом починається на 6 добу тверднення, а на 8, 10 та 11 добу тверднення відповідно, починається утворення усадочних магістральних тріщин (рис. 5). Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з метакеолином починається на 8 добу, а утворення магістральних тріщин починається лише на 17 добу тверднення (рис. 5).

Отже, за результатами моделювання склад високоміцного бетону, здатного до самоущільнення з метакеолином можна визнати найбільш тріщиностійким серед досліджуваних. Це пояснюється найменшою усадкою, відносно низьким модулем пружності та відносно великою ділянкою мікропластичних деформацій бетону цього складу. Зменшення усадочних деформацій бетону при використанні метакеолину пояснюється збільшенням кількості новоутвореного еттрингіту внаслідок реакції  $Al_2O_3$  метакеолину з  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  цементу [18].

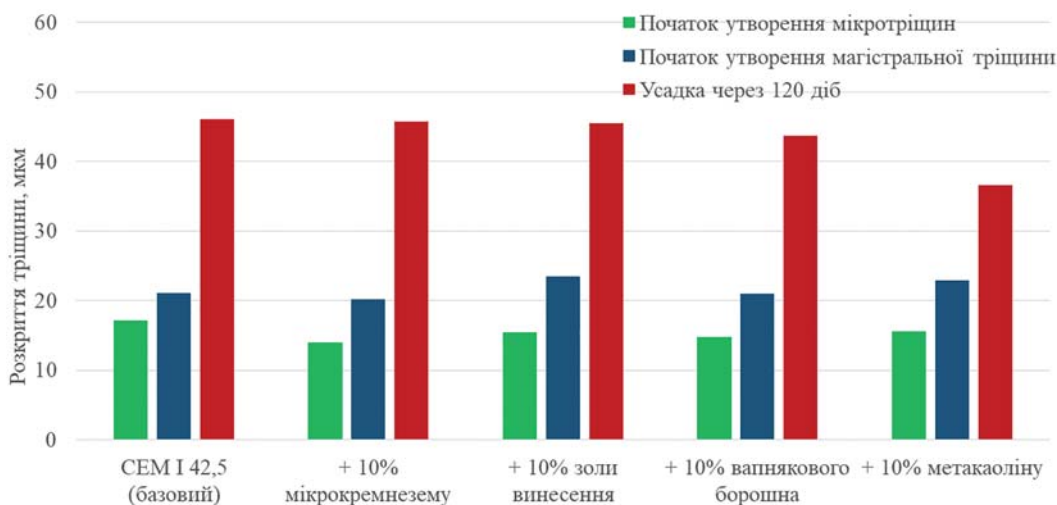


Рис. 4. Розкриття тріщин в досліджуваних бетонах за моделлю



Рис. 5. Прогнозований час початку утворення усадочних тріщин в досліджуваних бетонах

**Висновки**

1. Шляхом моделювання за діаграмами деформування зразків-призм з ініційованою тріщиною ділянок пружних та мікропластичних деформацій встановлено параметри розкриття тріщин в досліджуваних бетонах. За моделлю встановлено, що розкриття усадочних тріщин досліджуваних бетонів (на 120 добу) значно перевищує показник початку утворення магістральної тріщини. Отже, за умови обмеження усадочних деформацій, утворення тріщин в досліджуваних бетонах неминуче.

2. За моделлю, утворення мікротріщин внаслідок обмеженої усадки високоміцного бетону без добавок починається на 9 добу, а утворення магістральної тріщини — на 11 добу тверднення. Початок утворення усадочних мікротріщин в високоміцному бетоні з золюю вису, вапняковим борошном та мікрокремнеземом

починається на 6 добу тверднення. Утворення усадочних магістральних тріщин в цих бетонах починається на 8, 11 та 10 добу тверднення відповідно. Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з метакаоліном починається на 8 добу, а магістральної тріщини — на 17 добу тверднення. Отже, склад бетону з метакаоліном можна визнати найбільш тріщиностійким серед досліджуваних.

3. Підвищена тріщиностійкість високоміцного бетону здатного до самоущільнення з добавкою метакаоліну пояснюється зменшеною усадкою, відносно низьким модулем пружності та відносно великою ділянкою мікропластичних деформацій. Зменшення усадочних деформацій бетону при використанні метакаоліну пояснюється збільшенням кількості новоутвореного еттрингіту внаслідок реакції  $Al_2O_3$  метакаоліну з  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  цементу.

**Література:**

1. Lino Maia, Influence of Shrinkage Reducing admixtures on distinct SCC mix compositions // Lino Maia, Helena Figueiras, Sandra Nunes, Miguel Azenha, Joaquim Figueiras [Text] // Construction and Building Materials, 35 (2012), pp. 304–312.
2. Philippe Turcry, Cracking Tendency of Self-Compacting Concrete Subjected to Restrained Shrinkage: Experimental Study and Modeling [Text] / Philippe Turcry, Ahmed Loukili, Khalil Haidar, Gilles Pijaudier-Cabot, and Abdeldjelil Belarbi // Mater. Civ. Eng., 2006, 18:46–54.
3. Rozière E, Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete [Text] / Rozière E., Granger S., Turcry P., Loukili A. // Cem. Concr. Compos., 2007, 29(8), pp. 626–636.
4. Amjad Alrifai, Paste and mortar studies on the influence of mix design parameters on autogenous shrinkage of self-compacting concrete [Text] / Amjad Alrifai, Salima Aggoun, Abdelkader Kadri, Said Kenai, El-hadj Kadri // Construction and Building Materials, 47 (2013), pp. 969–976.
5. Andreas Leemann, Impact of admixtures on the plastic shrinkage cracking of self-compacting concrete [Text] / Andreas Leemann, Peter Nygaard, Pietro Lura // Cement & Concrete Composites, 46 (2014), pp. 1–7.
6. Klug Y., Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete [Text] / Klug Y., Holschemacher K. // Proc. 3rd Int. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 2003, pp. 596–605.
7. Weiss J., Shrinkage reducing admixtures in early age cracking in cementitious systems. Report of RILEM Technical Committee 181-EAS. Early age shrinkage induced stresses and cracking in cementitious systems [Text] / Weiss J., Berke N. // RILEM Publications SARL, 2002.
8. Miguel José Oliveira, Curing effect in the shrinkage of a lower strength self-compacting concrete [Text] / Miguel José Oliveira, António Bettencourt Ribeiro, Fernando Garrido Branco // Construction and Building Materials, (2015).
9. Gilson Lomboy, Shrinkage and Fracture properties of Self-Consolidating Concrete [Text] / Gilson Lomboy, Kejin Wang, Chengsheng Ouyang // Journal of Materials in Civil Engineering, 2011, 23:1514–1524.
10. Collepardi M., Effects of shrinkage-reducing admixture in shrinkage compensating concrete under non wet curing conditions [Text] / Collepardi M., Borsoi A., Collepardi S., Ogoumah Olagot J.J., Troli R. // Cem. Concr. Compos., 2005, 27(6):704–8.
11. Valeria Corinaldesi, Combined effect of expansive, shrinkage reducing and hydrophobic admixtures for durable self-compacting concrete [Text] / Valeria Corinaldesi // Construction and Building Materials, 36 (2012), pp. 758–764.
12. F. Aslani, Creep and shrinkage of self-compacting concrete with and without fibers [Text] / F. Aslani, S. Nejadi // Journal of Advanced Concrete Technology, 2013 Volume 11, Issue 10, Pages 251–265.
13. Apoorva Chandak, Analysis of Self-Compacting Concrete Using Hybrid Fibres [Text] / Apoorva Chandak, Nitin Agrawal, Divyansh Thakur, Abhyuday Titiksh // International Journal of Trend in Research and Development, Volume 3(2), Mar — Apr 2016.
14. Farhad Aslani, Shrinkage behavior of Self Compacting Concrete [Text] / Farhad Aslani, Shami Nejadi // Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), 2012, 13(6):407–419.
15. G. Heirman, Influence of Mineral Additions and Chemical Admixtures on Setting and Volumetric Autogenous Shrinkage of SCC Equivalent–Mortars [Text] / G. Heirman, L. Vandewalle, D. Van Gemert, // G. De Schutter, V. Boel (Eds.), Proceedings of 5th international RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM Publications S.A.R.L., Ghent, 2007, pp. 553–558.
16. B. Lothenbach, Influence of limestone on the hydration of Portland cements [Text] / B. Lothenbach, G. Le Saout, E. Gallucci, K. Scrivener // Cem. Concr. Res., 38 (6) (2008), pp. 848–860.
17. Valcuende Payá, MO., Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the shrinkage of self-compacting concrete [Text] / Valcuende Payá, MO.; Marco Serrano, E.; Parra, C.; Serna Ros, P. // Cement and Concrete Research, 42 (2012), pp. 583–592.
18. Дворкін, Л. Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах [Текст] / Л. Й. Дворкін, Н. В. Лушнікова, Р. Ф. Рунова, В. В. Троян. — К.: Вид-во КНУБА, 2007, 216 с. ISBN 978-966-627-136-8
19. Shah S. P., A method to predict shrinkage cracking of concrete [Text] / Shah S. P., Ouyang C., Marikunte S., Yang, W., Becq-Giraudon E. // ACI Mater. J., 954, 1998, pp. 339–346.
20. Hammer T.A., Cracking susceptibility due to volume changes of self-compacting concrete [Text] / Hammer T.A. // Proc. 3rd Int. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 2003, pp. 553–557.



## НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ БЕТОНІВ

### ЛАБОРАТОРІЯ ПРОВОДИТЬ НАСТУПНІ РОБОТИ В ГАЛУЗІ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

- Оцінка якості сировини для виробництва бетонів, розчинів, сухих будівельних сумішей, легких штучних наповнювачів.
- Підбір складів та розробка технологічних параметрів для виробництва:
  - важкого і легкого бетонів і виробів на їх основі;
  - бетонів для підлоги, тротуарів, дорожніх покриттів;
  - бетонів спеціального призначення (жаростійких, полімербетонів та ін);
  - сухих будівельних сумішей різного функціонального призначення.
- Визначення фізико-технічних властивостей матеріалів: міцнісних, деформаційних (усадка, набухання), жаростійкості, гідрофізичних (водопоглинання, паропроникність), морозостійкості, питомої електропровідності.
- Розробка технології одержання гравію і піску керамзитових на основі природної сировини і відходів промисловості.
- Розробка вихідних технологічних даних для проектування і організації виробництва гравію і піску керамзитових, щебеню і піску із природного каменю, безвипалювальних теплоізоляційних матеріалів.
- Проведення сертифікаційних випробувань бетонних виробів, щебеню, гравію і піску.
- Розробка нормативної та технологічної документації на продукцію:
  - технологічних регламентів;
  - нормативних документів (ТУ, ДСТУ).



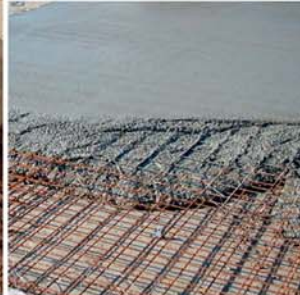
В.о. завідувача лабораторії  
кандидат технічних наук

**КОНСТАНТИНОВСЬКИЙ  
ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ**

☎ +38 (067) 507 11 61

e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)



**НАУКОВО-ДОСЛІДНА  
ЛАБОРАТОРІЯ БЕТОНІВ**



Лаповська С. Д.



Демченко Т. М.



Конопля М. С.

**Лаповська С. Д.**, д. т. н., професор,  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»,  
вул. Костянтинівська, 68, 04080, Київ, Україна,  
✉ labbmsp@ukr.net ☎ +38 (050) 311 26 35  
ORCID ID: 0000-0002-1967-3200;

**Демченко Т. М.**, с.н.с.,  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»,  
вул. Костянтинівська, 68, 04080, Київ, Україна;

**Конопля М. С.**, аспірант,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,  
✉ Nikolaykonoplya@gmail.com ☎ +38 (067) 768 08 08  
ORCID ID: 0009-0001-4392-5973

**Svitlana Lapovska**, D. Sc. (Tech.), Prof.,  
State Enterprise «Ukrainian Research and Design Institute  
of Building Materials and Products»,  
str. Kostyantynivska, 68, 04080, Kyiv, Ukraine,  
✉ labbmsp@ukr.net ☎ +38 (050) 311 26 35  
ORCID ID: 0000-0002-1967-3200;

**Tatiana Demchenko**, Senior Research Fellow,  
State Enterprise «Ukrainian Research and Design Institute of Building Ma-  
terials and Products», str. Kostyantynivska, 68, 04080, Kyiv, Ukraine,  
✉ labbmsp@ukr.net;

**Mykola Konoplya**, postgraduate,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine,  
✉ Nikolaykonoplya@gmail.com ☎ +38 (067) 768 08 08  
ORCID ID: 0009-0001-4392-5973

## ВПЛИВИ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ ГІДРОФОБІЗУЮЧИХ ДОБАВОК НА ДОВГОВІЧНІСТЬ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ

### EFFECTS OF SILICONE HYDROPHOBIC ADDITIVES ON THE DURABILITY OF AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETE AND THE AERATED AUTOCLAVED CONCRETE QUALITY

**Анотація.** В статті наведені результати дослідження впливу кремнійорганічних гідрофобізуючих добавок на основні фізико-механічних властивостей автоклавного газобетону марки за середньою густиною D400.

**Мета роботи** – Визначити ефективність кремнійорганічних гідрофобізуючих добавок на довговічність ніздрюватого бетону.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено, що для підвищення основних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик газобетонів марки за середньою густиною D400 оптимальним є введення до складу ніздрюватобетонних сумішей добавки кремнійорганічної рідини ПМС-50 у кількості 1,5–2 % від маси сухих компонентів. При цьому міцність матеріалу при стиску підвищується з 2,9 МПа до 3,8 МПа; водопоглинання знижується з 49,6 % до 4,2 % за масою, морозостійкість підвищується на 2 марки. Склади, що містять добавки ПМС-50 і ПМС-40 характеризувалися зниженою на 3–5% середньою густиною у сухому стані за рівнозначних значень міцності при стиску (3,7 МПа і 3,8 МПа відповідно). Зразки автоклавних газобетонів, модифікованих добавками олігометилгідросилоксану і метилсиліконату натрію, показали підвищення міцності і морозостійкості за кількості добавок 3,5 % і 2,5 % відповідно. Міцність ніздрюватого гідрофобізованого бетону автоклавного твердіння забезпечується основними низькоосновними гідросилікатними фазами та збільшеною кількістю видовжених призматичних кристалів афіліту.

**Ключові слова:** бетон, водопоглинання, добавка, гідрофобізація, морозостійкість, густина, міцність, ніздрюватий бетон.

**Abstract.** The article presents the results of a study of the effect of silicone hydrophobic additives on the main physical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete with an average density of D400.

*The purpose of the work* is to determine the effectiveness of silicone water-repellent additives on the durability of cellular concrete.

*Purpose of the article.* According to the results of the studies, it was found that to improve the main physical, mechanical and operational characteristics of aerated concrete with an average density of D400, it is optimal to introduce an additive of silicone liquid PMS-50 in the amount of 1.5–2 % by weight of dry components into the composition of aerated concrete mixtures. In this case, the compressive strength of the material increases from 2.9 MPa to 3.8 MPa; water absorption decreases from 49.6 % to 4.2 % by weight, and frost resistance increases by 2 grades. The compositions containing PMS-50 and PMS-40 additives were characterised by a 3–5% reduction in average dry density with equivalent compressive strength values (3.7 MPa and 3.8 MPa, respectively). Samples of autoclaved aerated concrete modified with oligomethylhydrosiloxane and sodium methyl silicate additives showed an increase in strength and frost resistance at an additive content of 3.5 % and 2.5 %, respectively. The strength of the cellular hydrophobic concrete of autoclaved curing is provided by the main low-base hydrosilicate phases and an increased number of elongated prismatic crystals of affilite

**Key words:** Concrete, water absorption, additive, hydrophobisation, frost resistance, density, strength, cellular concrete.

Ніздрюваті бетони автоклавного твердіння належать до будівельних матеріалів, структура яких характеризується високою пористістю та значною гідрофільністю. Тому питання зниження сорбційного вологовмісту та водопоглинання ніздрюватого бетону є актуальними з огляду на необхідність розширення сфери застосування цього прогресивного будівельного матеріалу. Знизити показники сорбційного вологовмісту та водопоглинання ніздрюватого бетону до певного оптимального значення можливо шляхом оптимізації його структури.

Одним із напрямів оптимізації структури будівельних матеріалів є їхня гідрофобізація - поверхнева або об'ємна — за допомогою різних органічних сполук, здатних надати поверхні матеріалу водовідштовхувальних властивостей.

Відома [1] технологія об'ємної гідрофобізації автоклавного газобетону кремнійорганічною сполукою ПМС-100 дає змогу отримати матеріал із водопоглинанням від 2 до 12 % за масою. Однак рідина ПМС-100 має досить високу кінематичну в'язкість —  $(95-105) \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с за +20 °С, що ускладнює рівномірний розподіл гідрофобізатора за об'ємом суміші, а отже, потребує більших витрат енергії на приготування газобетонної суміші.

В Україні виробляється ціла низка продуктів на основі полісилоксанів, які мають теплостійкість понад 200 °С та нижчу порівняно з ПМС-100 кінематичну в'язкість, що теоретично дасть змогу використовувати їх для об'ємної гідрофобізації ніздрюватого бетону автоклавного твердіння.



## Характеристики гідрофобізаторів на основі поліметилсилоксану

№ п/п	Показник	ПМС-100	ПМС-50	ПМС-40
1	2	3	4	5
1	В'язкість кінематична при +20°C, м²/с	(95-105).10 <sup>-6</sup>	(45-55).10 <sup>-6</sup>	(36-44).10 <sup>-6</sup>
2	Температура спалаху у відкритому тиглі, °C, не нижче	305	220	200
3	Густина при 20°C, г/см³	0,91 - 0,98	0,91 - 0,98	0,91 - 0,98

Таблиця 2.

## Характеристики гідрофобізатора на основі олігометилгідросилоксану

№ п/п	Найменування показників	ГКЖ 136-157 М
1	В'язкість кінематична при +20°C, м²/с	29,9.10 <sup>-6</sup>
2	Температура спалаху у відкритому тиглі, °C	151
3	Густина при температурі (25±0,5) °C, г/см³	0,998
4	Реакція середовища (рН водної витяжки)	6,72

Таблиця 3.

## Характеристики гідрофобізаторів на основі метилсилоксанату

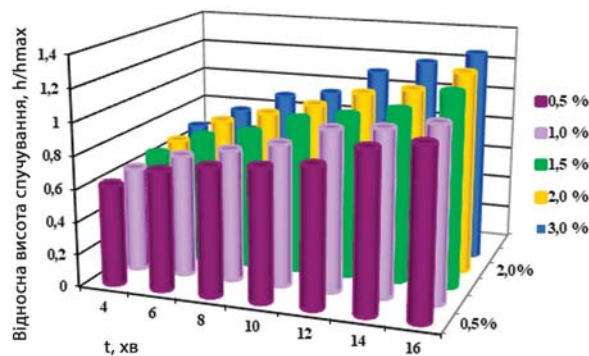
№ п/п	Найменування показників	Аквапрок Н
1	В'язкість при температурі (20±0,5) °C, г/см³	1,217
2	Лужність у перерахунку на NaOH, %	15,0
3	Масова частка нелетких речовин, %	26,9

Як видно з табл. 1, рідини ПМС-40 і ПМС-50 мають значно нижчі значення кінематичної в'язкості за температури спалаху у відкритому тиглі понад 200 °C, що перевищує температуру автоклавної обробки. ГКЖ 136-157 М характеризується ще нижчим показником кінематичної в'язкості, але температура спалаху становить 151 °C.

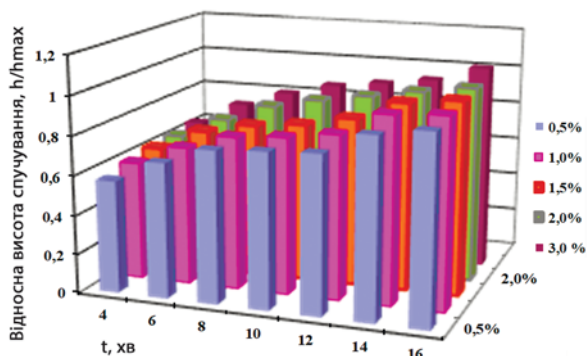
Дослідження можливості використання вищевказаних кремнійорганічних сполук виконували для конструкційно-теплоізоляційного газобетону марки за середньою густиною D400.

Добавки кремнійорганічних рідин вводили до ніздрюватобетонної суміші з водою замішування. Витрати гідрофобізатора варіювали від 0,5 до 3 % за масою від маси сухих компонентів для поліметилсилоксану ПМС, і від 0,5 до 5 % — для олігометилгідросилоксану ГКЖ 136-157 М і метилсилоксанату натрію Аквапрок Н.

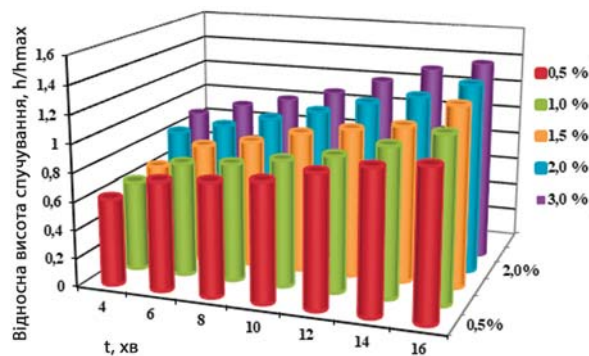
Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей, що містять добавки, наведена на (мал. 1-5).



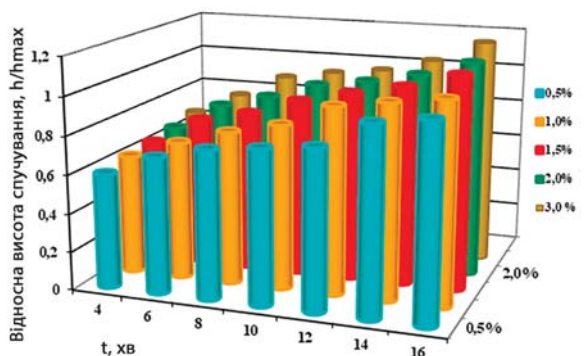
Мал. 3. Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей із добавкою ПМС-40



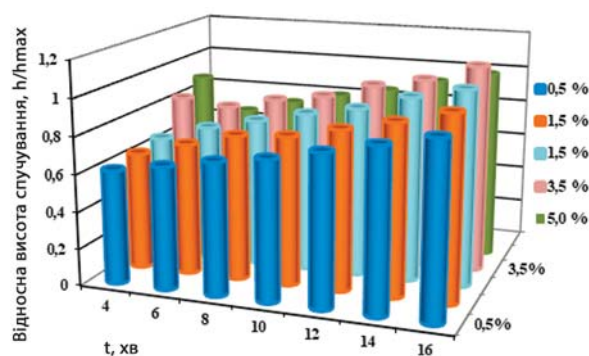
Мал. 1. Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей із добавкою ПМС-100



Мал. 4. Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей із добавкою ГКЖ 136-157 М



Мал. 2. Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей із добавкою ПМС-50



Мал. 5. Кінетика спучування ніздрюватобетонних сумішей з добавкою метилсилоксанату натрію Аквапрок Н

Після завершення процесу спучування висота масивів, що містили добавки ПМС-50, ПМС-40 і ГКЖ 136-157 М була вищою, ніж у масивах, що містили добавку ПМС-100 і Аквапрок Н.

Також було досліджено вплив добавок на процес набору пластичної міцності ніздрюватобетонного сирцю.

Було встановлено, що введення добавок ПМС-50, ПМС-40 і метилсилікату натрію до складу ніздрюватобетонних сумішей не спричиняє помітного негативного впливу на кінетику набору пластичної міцності сирцю порівняно з добавкою ПМС-100.

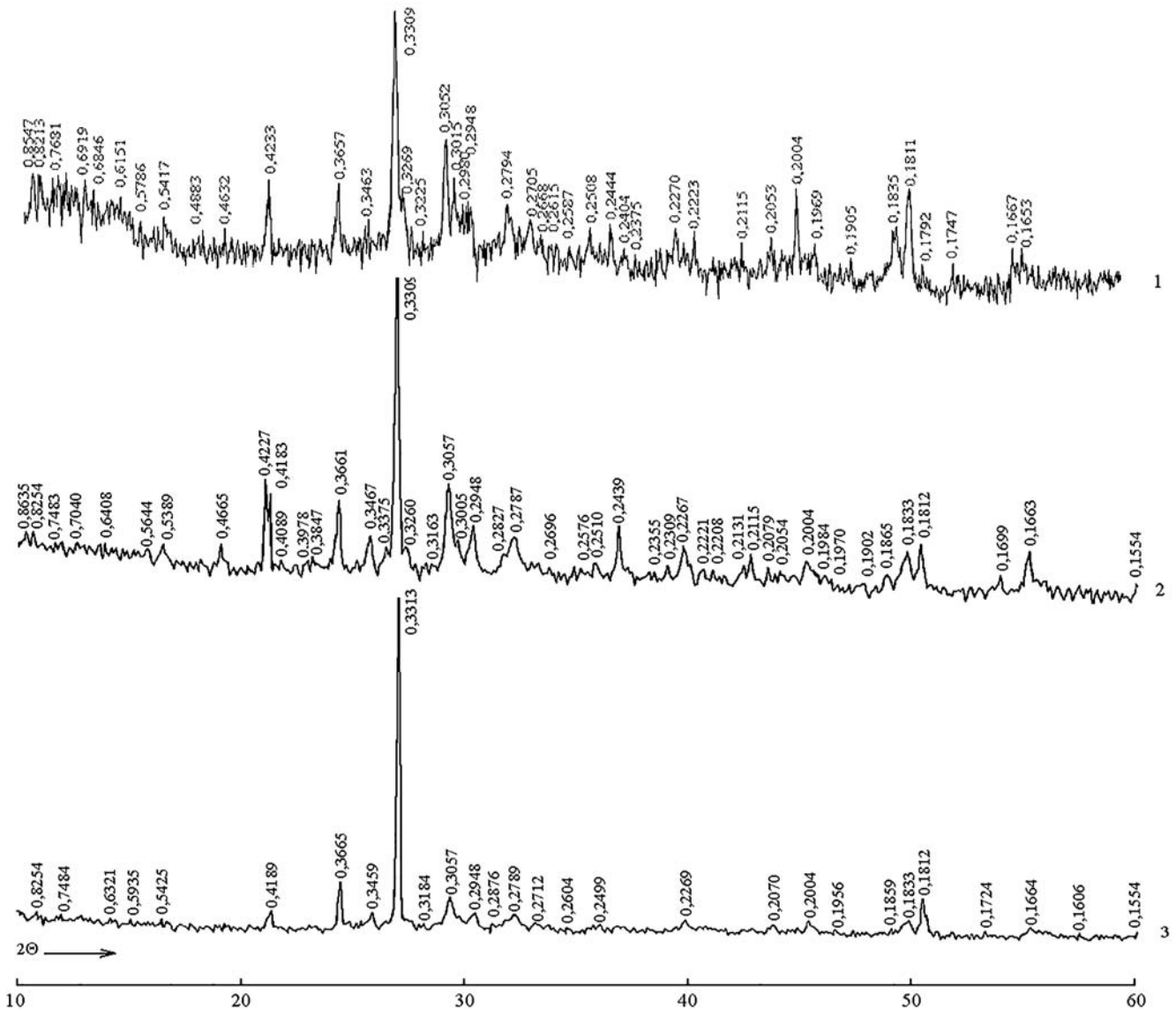
Фізико-механічні властивості розроблених газобетонів (міцність при стиску, середня густина в сухому стані, водопоглинання, морозостійкість) було досліджено згідно з вимогами чинних в Україні нормативних документів, які наведено в табл. 4-5.

Також було проведено аналіз впливу добавки поліметилсилоксану на процеси синтезу гідросилікатів. Досліджувана добавка ПМС фактично реагує вже на стадії змішування, формування та доавтоклавної витримки. Збільшення вмісту добавки поліметилсилоксану понад 2% призводить до зниження міцності готових виробів. Однією з можливих причин зниження міцності за вмісту добавки понад 2% є перекристалізація новоутворень та їх укрупнення в процесі автоклавної обробки, що спричиняє порушення структури. Іншою причиною є утворення ліній гідрофобізатора, що чинять розклинювальну дію та спричиняють порушення зв'язків між новоутвореннями.

У результаті проведених фізико-хімічних методів досліджень (рис. 6-8) зафіксовано новоутворення в гідрофобізованих ніздрюватих бетонах, аналогічні новоутворенням бездобавочного автоклавної газобетону. За використання добавки ПМС (мал. 6, кр. 2) чіткіше проявляються дифракційні відображення основних низькоосновних гідросилікатних фаз, причому збільшення введення добавки поліметилсилоксану призводить до блокування процесів гідратування в умовах автоклавної обробки, інтенсивність фаз зменшується (мал. 6, кр. 3).

Використання у складі ніздрюватобетонної суміші добавки ПМС у кількості до 2 % сприяє підвищенню вологостійкості газобетону після його автоклавної обробки (об'ємна гідрофобізація) до 12,8 разів (для ПМС-100 [1]) порівняно з бездобавальною сумішшю та формуванню сфероїдальних осередків меншого діаметру та меншої товщини міжпорових перегородок (мал. 7, б, ж) порівняно з бездобавальною сумішшю (мал. 7, а, е).

На кривій ДТА (мал. 8, кр. 2) виділення фізично зв'язаної води фіксується в ширших межах: від 110 до 250 °С, інші ендо- та екзоэффекти зміщуються в бік збільшення температур приблизно на 18 ... 60 °С.



Мал. 6. Рентгенограми зразків гідрофобізованого ніздрюватого бетону автоклавної твердіння:

1) - без добавки; 2) при додаванні 2 % ПМС-100; 3) при додаванні 10 % ПМС-100 [1]

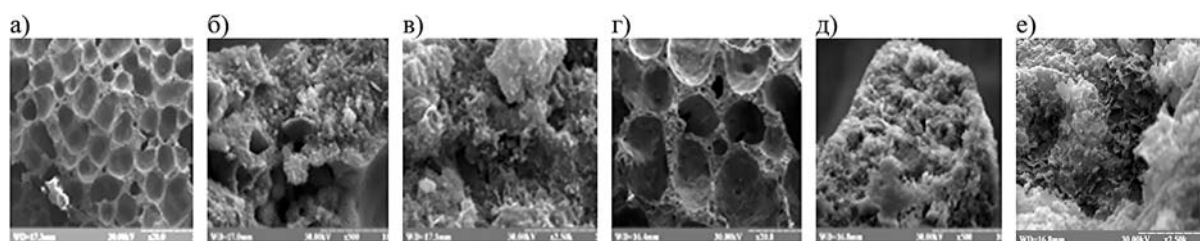
## Фізико-механічні характеристики розроблених

Показник	Склад автоклавних газобетонів									
	без добавки	з добавкою в кіл., % за мас. сухих компонентів								
		2% ПМС-100			ПМС-50			ПМС-40		
		1,5	2,0	3,0	1,5	2,0	3,0	1,5	2,0	3,0
Середня густина в сухому стані, кг/м <sup>3</sup>	410	394	390	396	387	383	380	378	382	385
Міцність при стиску, МПа	2,9	3,0	3,7	3,3	3,1	3,8	3,5	3,0	3,7	3,4
Водопоглинання, % за мас., протягом 24 ч.	49,6	6,2	2,6	2,0	7,0	4,2	3,0	8,4	5,1	4,8
Морозостійкість, марка	F25	F35	F50	F35	F35	F50	F50	F35	F50	F50

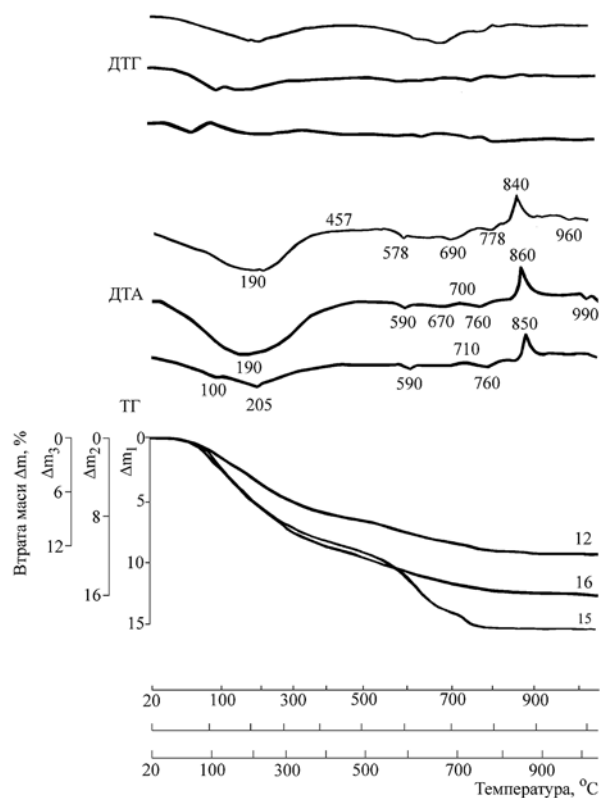
Таблиця 5.

## Фізико-механічні характеристики розроблених автоклавних газобетонів марки за середньою густиною D400, модифікованих добавками олігометилгідросилоксану та метилсиліконату натрію

Показники	Склад автоклавних газобетонів							
	без добавки	з добавкою в кіл., % за мас. сухих компонентів						
		ГКЖ 136-157 М			Аквапрок Н			
		2,5	3,5	5,0	2,5	3,5	5,0	
Середня густи у сухому стані, кг/м <sup>3</sup>	410	402	396	390	408	413	419	
Міцність при стиску, МПа	2,9	3,2	3,5	3,0	3,3	3,0	2,7	
Водопоглинання, % за мас., протягом 24 ч.	49,6	31,0	29,8	31,7	30,3	30,8	32,6	
Морозостійкість, марка	F25	F25	F35	F25	F35	F25	F25	



Мал. 7. Електронні мікрофотографії поверхні відколу зразка гідрофобізованого ніздрюватого бетону автоклавного твердіння: (а, б, в) модифікованого поліметилсилікономом у кількості 2 %, (г, д, е) без добавки



Мал. 8. Термограми зразків гідрофосфоризованого ніздрюватого бетону автоклавного твердіння: 1) без додавання; 2) при додаванні 2% ПМС-100; 3) при додаванні 10% ПМС-100

## Висновок

За результатами проведених досліджень встановлено, що для підвищення основних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик газобетонів марки за середньою густиною D400 оптимальним є введення до складу ніздрюватобетонних сумішей добавки кремнійорганічної рідини ПМС-50 у кількості 1,5-2 % від маси сухих компонентів. При цьому міцність матеріалу при стиску підвищується з 2,9 МПа до 3,8 МПа; водопоглинання знижується з 49,6 % до 4,2 % за масою, морозостійкість підвищується на 2 марки. Склади, що містять добавки ПМС-50 і ПМС-40 характеризувалися зниженою на 3-5% середньою щільністю в сухому стані за рівнозначних значень міцності на стиск (3,7 МПа і 3,8 МПа відповідно). Зразки автоклавних газобетонів, модифікованих добавками олігометилгідросилоксану і метилсиліконату натрію, показали підвищення міцності і морозостійкості за кількості добавок 3,5% і 2,5% відповідно.

Міцність ніздрюватого гідрофобізованого бетону автоклавного твердіння забезпечується основними низькоосновними гідросилікатними фазами та збільшеною кількістю видовжених призматичних кристалів афвіліту.

## Література:

1. Лаповська С.Д. Автоклавний газобетон із поліпшеними експлуатаційними властивостями: дис. ... докт. техн. наук / Світлана Давидівна Лаповська; КНУБА - К., 2013.



Лаповська С. Д.



Черненко М. В.



Конопля М. С.

**Лаповська С. Д.**, д. т. н., професор,  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»,  
вул. Костянтинівська, 68, 04080, Київ, Україна,  
✉ labbmsp@ukr.net ☎ +38 (050) 311 26 35  
ORCID ID: 0000-0002-1967-3200;

**Черненко М.В.**, науковий співробітник.  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»,  
вул. Костянтинівська, 68, 04080, Київ, Україна,  
✉ labbmsp@ukr.net,  
ORCID ID: 0009-0003-8301-3914

**Конопля М. С.**, аспірант,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,  
✉ Nikolaykonoplya@gmail.com ☎ +38 (067) 768 08 08  
ORCID ID: 0009-0001-4392-5973

**Svitlana Lapovska**, D. Sc. (Tech.), Prof.,  
State Enterprise «Ukrainian Research and Design Institute  
of Building Materials and Products»,  
str. Kostyantynivska, 68, 04080, Kyiv, Ukraine,  
✉ labbmsp@ukr.net ☎ +38 (050) 311 26 35  
ORCID ID: 0000-0002-1967-3200;

**Mykola Chernenko**, researcher,  
State Enterprise «Ukrainian Research and Design Institute  
of Building Materials and Products»,  
str. Kostyantynivska, 68, 04080, Kyiv, Ukraine,  
✉ labbmsp@ukr.net,  
ORCID ID: 0009-0003-8301-3914

**Mykola Konoplya**, postgraduate,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine,  
✉ Nikolaykonoplya@gmail.com ☎ +38 (067) 768 08 08  
ORCID ID: 0009-0001-4392-5973

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА

### RESEARCH OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE FOR CONSTRUCTION

**Анотація.** Розглянуті проблеми енергозбереження будинків, раціональне застосування автоклавного газобетону зниженої густини, порівняно з аналоговим стіновим матеріалом. Розглянуті енергозберігаючі технології виробництва автоклавного газобетону.

**Мета роботи** – Визначити ефективність застосування автоклавного газобетону зниженої густини (D400-D300) при зведенні будинків. Визначити шляхи енергозбереження при виготовленні автоклавного газобетону.

**Висновки.** Розглянуті шляхи енергозбереження при будівництві будинків з використання нідзрюватого бетону автоклавного тверднення, а також розглянуті методи енергозбереження при виготовленні нідзрюватого бетону.

**Ключові слова:** Автоклавний газобетон, нідзрюватий бетон, енергозбереження, термічний опір.

**Abstract.** Considered problems of energy saving of buildings, rational application of autoclaved aerated concrete of reduced density, compared to analog wall material. Energy-saving technologies for the production of autoclaved aerated concrete are considered.

*The purpose of the work* is to determine the efficiency of using autoclaved aerated concrete of reduced density (D400-D300) in the construction of buildings. Determine the ways of energy saving in the production of autoclaved aerated concrete.

*Purpose of the article.* Ways of energy saving in the construction of houses using autoclaved aerated concrete are considered, as well as methods of energy saving in the production of aerated concrete.

**Key words:** Autoclaved aerated concrete, aerated concrete, energy saving, thermal resistance.

#### Вступ

Житлові умови є невід'ємною складовою, яка забезпечує необхідні потреби людини. Вони важливі для забезпечення сімейного побуту, виховання дітей тощо. Однак утримання житла у відповідних умовах потребує значних витрат. Основні витрати на утримання житла є витрати на енергозбереження.

Згідно з комплексною державною програмою енергозбереження України, яка схвалена кабінетом міністрів України [1], одним із пріоритетних напрямків розвитку

промисловості будівельних матеріалів є модернізація застарілих виробництв і заводів із значними питомими витратами палива, зниження енергоємності виробництва стінових матеріалів за рахунок збільшення випуску пористої цегли, обсягів використання вторинних енергетичних ресурсів, випуску нідзрюватобетонних виробів.

Питання енергозбереження є актуальним для всього світу, особливо для України. Оскільки ціна на енергоносії невгамовно зростає не тільки для виробництва, але й для мешканців.

З цього приводу все більш активно використовуються енергозберігаючі технології. Така технологія дозволяє не тільки раціонально використовувати енергоносії, а ще й економити кошти.

### Мета роботи

Визначити ефективність застосування автоклавного газобетону зниженої густини (D400-D300) при зведенні будинків. Визначити шляхи енергозбереження при виготовленні автоклавного газобетону.

### Енергозберігаючі технології

Енергозберігаючі технології – це заходи, які в сукупності призводять до зниження використання енергії. Ці заходи важливі не тільки з економічної точки зору, але й з екологічної, оскільки сприяють зменшенню кількості викидів шкідливих речовин. До них відносять наступні заходи:

- використання поновлюваної енергії;
- рекуперация тепла;
- використання енергозберігаючих матеріалів.

### Використання газобетону

На будівельному ринку представлений безліч стінових матеріалів але щоб забезпечити нормативні вимоги, які висуває ДБН 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція споруд», необхідно такі матеріали додатково утеплювати мінеральною або пінополістирольною плитами, або використовувати енергоефективні матеріали.

Одним з таких матеріалів представлений на будівельному ринку, як автоклавний газобетон зниженої густини. Цей матеріал не тільки відповідає нормативним показникам по термічному опорі огороджувальних конструкцій, а й забезпечує необхідну несучу здатність. Автоклавний газобетон зниженої густини представлений на ринку густиною D300 із значенням термічного опорю  $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  та достатньо високим класом за міцністю, який відносять до C2. Такий показник термічного опорю відповідає вимогам ДБН 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція споруд», а міцність, достатня для зведення 2 та 3 поверхових будинків. Тому для зведення стінових конструкцій використовують газобетон маркою за густиною D400-D300. Крім того, автоклавний газобетон густиною  $300 \text{ кг}/\text{м}^3$ , порівняно з газобетоном густиною  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ , дозволяє зводити зовнішні стінові конструкції товщина яких зменшується вдвічі.

Дослідження глобального ринку автоклавного газобетону [2], прогнозує зростання виробництва автоклавного газобетону майже на 20,84 млрд. \$ США до 2026 року. Враховуючи те, що розвиток зеленого будівництва набирає популярності у Європейських країнах, обсяг виробництва автоклавного газобетону може значно збільшитися.

Такий розвиток виробництва очевидний, оскільки цей матеріал має низку переваг [3] серед інших стінових матеріалів, а саме:

- під час виробництва потребує менше енергетичних ресурсів;
- поєднує в собі теплоізоляційні та конструкційні властивості;
- продуктивність кам'яних робіт збільшується;

Фахівцями ДП «НДІБК» було проведено дослідження яке встановило, що одношарова зовнішня стіна з автоклавного газобетону різною шириною від 375-400мм, маркою за густиною D400, без утеплювання, значення термічного опорю, такої конструкції, знаходиться в межах  $R=3,3 - 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , ці показники цілком задовольняють

вимоги, які встановлені у ДБН 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція споруд». Якщо порівнювати значення теплопровідності автоклавного газобетону густиною D400-D300, з повнотілою керамічною цеглою, значення теплопровідності газобетону будуть в 7-8 разів меншими ніж у цегли, до того ж товщина цегли повинна бути 380 мм та обов'язково утеплена мінераловатними плитами.

Крім того, система «паз-гребінь», яка найчастіше використовується для зведення будинків, а також укладання газобетону на тонкий шар клейової суміші, дозволяє мінімізувати в стіновій конструкції так звані «містки холоду», що знано покращують теплофізичні характеристики.

Автоклавний газобетон густиною  $300 \text{ кг}/\text{м}^3$ , товщиною 300 мм, має значення теплопровідності  $0,08 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$ , при таких показниках цей матеріал забезпечує відповідність нормативним вимогам термічного опорю [4]. Стінова конструкція з автоклавного газобетону густиною  $300 \text{ кг}/\text{м}^3$  не потребує додаткового утеплення.

Проте безліч потенційних забудовників, у разі різних стереотипів, часто приходять до думки про необхідне утеплення стін із автоклавного газобетону бетону, навіть шириною 375 мм.

Однак необхідно враховувати, при виборі утеплення для стін із автоклавного газобетону, особливості матеріалу:

- Відпускна вологість блоку, залежно від густини, знаходиться в межах 30...40%;
- Блоки додатково звожуються в процесі будівництва (при нанесенні штукатурних або кладочних розчинів або інших розчинів);
- У ході експлуатації будинку волога, у вигляді пари, проникає в конструкцію зовнішньої стіни.

Стіни з автоклавного газобетону володіють високим показником паропроникності, що безумовно забезпечує комфортне проживання.

Найчастіше в якості утеплювача використовують пінополістирольні та мінераловатні плити. Пінополістирольні плити характеризуються низьким показником паропроникності

$$\mu = 0,05 \text{ мг}/\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па},$$

а фасадні мінераловатні плити, порівняно з пінополістирольними, мають показник паропроникності більше в 10 разів

$$\mu = 0,5 \text{ мг}/\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}.$$

В лабораторії будівельної теплотехніки та акустики ДП «НДІБК» проведені експериментальні дослідження теплопередачі конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією.

В даному експериментальному дослідженні були використанні наступні матеріали:

- автоклавний газобетон товщиною 300 мм, густиною  $400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- пінополістирольні плити товщиною 50 мм та 100 мм;
- мінеральноватні плити товщиною 50 мм та 100 мм.

У випадку використання автоклавного газобетону та пінополістиролу шириною 50мм, в якості утеплювачі, вологість такої конструкції дорівнює 18,5%, що перевищує нормативне значення майже в 3 рази, опір теплопередачі становить  $3,14 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ . При використанні пінополістирол шириною 100мм, вологість такої конструкції перевищує нормативний в 2,5 рази, та становить 14,9 %, опір теплопередачі  $4,41 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ . Утеплення із пінополістиролу шириною 50 мм. буде недоцільним, як з точки зору енергозбереження так і економічної. Утеплення із пінополі-



стиролу шириною 100мм. рекомендується в якості утеплювача, проте призведе до збільшення енерговитрат в перші роки експлуатації.

Використання мінераловатної плити шириною 50 мм. вологість конструкції знаходиться близько до нормативного та становить 7,2 %, нормативний показник вологості 6 %, опір теплопередачі 3,56 (м<sup>2</sup> · К)/Вт. При використанні мінераловатної плити шириною 100 мм., вологість конструкції збільшується до 8,8 %, при такому утепленні значення опору теплопередачі дорівнює 4,67 (м<sup>2</sup> · К)/Вт. Утеплення із мінераловатної плити рекомендується для застосування в конструкціях із автоклавного газобетону, так як забезпечує необхідну паропроникність для комфортного проживання.

Волога стіна із автоклавного газобетону буде менш теплою, а також знизиться довговічність матеріалу. Тому, для уникнення небажаних наслідків, необхідно забезпечити видалення лишньої вологи із зовнішньої частини стіни. Тому при виборі утеплювача для автоклавного газобетону необхідно вибирати матеріал з високим показником паропроникності.

#### **Енергозберігаючі технології в процесі виготовлення автоклавного газобетону**

Навіть процес виготовлення автоклавного газобетону не обходиться без енергозбереження. Існує декілька

шляхів, які зменшують енергозатрати в процесі виробництва автоклавного газобетону:

- використання системи рекуперації тепла;
- використання енергії гідросилікатних новоутворень;
- використання інтенсифікатори помелу;
- використання техногенних та природних мінеральних добавок;
- використання зворотного шламу;
- використання хімічних добавок.

Сучасні заводи по виготовленню автоклавного газобетону працюють по безвідходному виробництву, так само виробництво дозволяє значно значно заощаджувати природні ресурси, а також покращувати деякі технологічні властивості.

Одним із перспективним напрямком енергозбереження є заміна портландцементу на мінеральні добавки техногенного походження. Дослідження [1] показали, що заміна портландцементу на доменний гранульований шлак (в межах від 15 % до 20%), призвело до збільшення кінетики набору пластичної міцності до автоклавної обробки.

В процес формування гідросилікатних новоутворень, виділяється деяка кількість енергії, наприклад, при утворенні тобермориту виділяється до 80 кДж/кг; при утворенні ксолоніта до 45 кДж/кг.

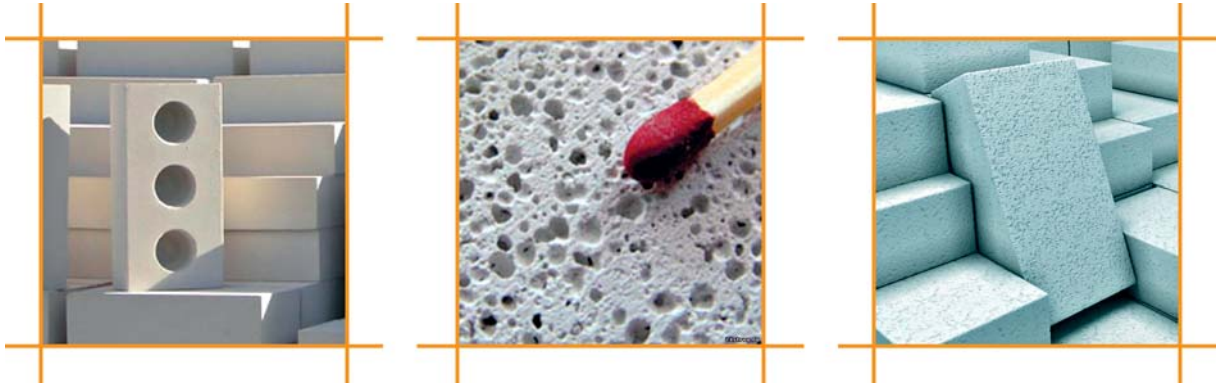
Така додаткова теплова енергія витрачається на додатковий прогрів газобетонної маси із середини. Наразі усі виробники газобетону використовують такий, хоч і не значну, але технологічно важливу енергію, як екзотермія новоутворень.

#### **Висновки та перспективи подальших розроблень**

1. Автоклавний газобетон зниженої густини – ефективний матеріал для стінових огорожуючих конструкцій.
2. Встановлено, що газобетон густиною 300-400 кг/м<sup>3</sup> за своїми характеристиками може використовуватися як для огорожуючих конструкцій в багатопверхових будинках так і для несучих конструкцій стін в будинках до трьох поверхів.
3. Визначили залежність опору теплопередачі від вологості.
4. Встановили найбільш ефективний матеріал для утеплення конструкції з автоклавного газобетону.
5. Визначено, що для регулювання енергозбереження автоклавного газобетону використовують енергію гідросилікатних новоутворень для обігріву масиву ніздрюватого бетону при наборі пластичної міцності.

#### **Література:**

1. Рудченко Д.Г., Сердюк В.Р., Шляхи енергозбереження при використанні виробництві газобетону низької щільності. (2021) Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал «Будівельні матеріали та виробництво»: ст.4–10.
2. Autoclaved Aerated Concrete Global Market Report 2022 // URL : <https://www.reportlinker.com/p06248248/Autoclaved-Aerated-Concrete-Global-Market-Report;>
3. Сиротін О., Інформаційно-аналітичний журнал «Будівельний журнал» (2021): ст 12–13.
4. ДБН 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція споруд»
5. Рудченко Д.Г., Сердюк В.Р., Шляхи зменшення енергетичної та екологічної складової у виробництві автоклавного газобетону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020, № 2, ст. 20–26.
6. Дворкін Л., Лаповська С. Будівельне матеріалознавство : підручник / Леонід Дворкін, Світлана Лаповська. Київ: Кондор, 2017, 448 с.
7. Геневефа Запоточна-Ситек Історія автоклавного газобетону в Польщі : підручник / Геневефа Запоточна-Ситек. – Варшава: Наукове видавництво PWN S.A., 2019, 402 с.



## НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ

### ВИКОНУЄ РОЗРОБКИ:

- технології виробництва ніздрюватобетонних виробів автоклавного та неавтоклавного тверднення, зокрема газобетонних, пінобетонних і піногазобетонних виробів на основі природної сировини та кремнеземистих відходів промисловості (відходи збагачення залізистих кварцитів, доменні гранульовані шлаки, золи та золошлакові суміші теплових електростанцій, відпрацьовані формувальні суміші ливарного виробництва тощо);
- технології виробництва силікатної цегли;
- технології виробництва стінових і облицювальних матеріалів з використанням техногенної сировини;
- технології виробництва вапна, у тому числі гідратного;
- технології виробництва стінових і в'язучих матеріалів на основі карбонатних відходів хімічного очищення води атомних і теплових електростанцій;
- технології виробництва крейди для будівництва, сільського господарства, кабельної, гумової, лакофарбної, полімерної, парфумерної, косметичної, харчової, медичної, паперової та інших галузей промисловості;
- технології виробництва кольорових стінових матеріалів з використанням пігментів і забарвлюючих відходів промисловості;
- нормативних документів (стандарти, технічні умови) на будівельні матеріали та вироби і технологічної документації (вихідні дані для проектування, технологічні регламенти) на виробництво ніздрюватобетонних виробів, силікатної цегли та каменів, вапна, крейди.

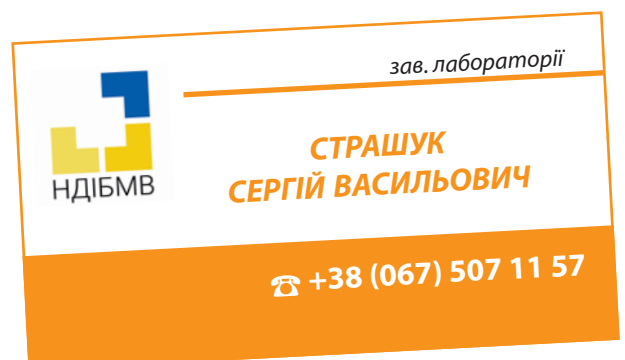
### ПРОВОДИТЬ:

- дослідження природної сировини та відходів промисловості для визначення придатності та раціональних шляхів їх використання у виробництві будівельних матеріалів і виробів;
- визначення ефективності органічних і неорганічних добавок для бетонів;
- комплекс робіт з постановки продукції будівельного призначення на виробництво;
- розрахунок норм витрат сировини на виробництво будівельних матеріалів і виробів та норм втрат сировинних матеріалів при виробництві;
- сертифікаційні випробування будівельних матеріалів і виробів;
- експертизу будівельних матеріалів і виробів для підтвердження їх придатності для застосування в будівництві (технічне свідоцтво).

e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)

[trashuk@bigmir.net](mailto:trashuk@bigmir.net)





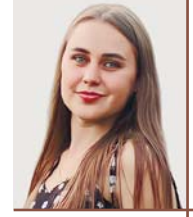
Цапко Ю. В.



Бондаренко О. П.



Цапко О. Ю.



Жеребчук Д. С.

**Цапко Ю. В.**, доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, ✉ juriyts@ukr.net ☎ +38 (097) 081 84 14 ORCID ID: 0000-0003-0625-0783,

**Бондаренко О. П.**, кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, ✉ bondolya3@gmail.com ☎ +38 (097) 683 68 85 ORCID ID: 0000-0002-8164-6473

**Цапко О. Ю.**, кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс", м. Київ, Україна ✉ alekseytsapko@gmail.com ☎ +38 (067) 847 40 27 ORCID ID: 0000-0003-2298-068X

**Жеребчук Д. С.**, студент, ☎ +38068047-43-99, ORCID ID: 0000-0002-7174-132X Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна

**Yu. Tsapko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, ✉ juriyts@ukr.net ☎ +380970818414 ORCID ID: 0000-0003-0625-0783,

**O. Bondarenko**, PhD of Technical Sciences, Associate professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, ✉ bondolya3@gmail.com ☎ +38 (097) 683 68 85 ORCID ID: 0000-0002-8164-6473

**A. Tsapko**, PhD of Technical Sciences, Associate professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, Ukrainian State Research Institute "Resource", Kyiv, Ukraine ✉ alekseytsapko@gmail.com ☎ +38 (067) 847 40 27 ORCID ID: 0000-0003-2298-068X

**D. Zerebchuk**, student, ☎ +38068047-43-99, ORCID ID: 0000-0002-7174-132X Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ КОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ ПОЛІФОСФАТУ АМОНІЮ

### DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF WOOD BY A COMPOSITION BASED ON AMMONIUM POLYPHOSPHATE

**Анотація.** Проведено експериментальні дослідження з визначення ефективності вогнезахисту композицій із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та встановлено, що вогнезахисна деревина відноситься до важкогорючих матеріалів. Показано, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали). Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів. За результатами експериментальних досліджень, встановлено, що застосування гідрофобізуючих сумішей «Сілол» затримує проникнення та накопичення води вогнезахисною деревиною. Виявлено також підвищення вогнезахисної ефективності вогнезахисної деревини під час спільної дії «ДСА-2» та гідрофобізуючої суміші «Сілол» після оброблення зразків.

**Ключові слова:** деревина, горючість, композиція, вогнезахист, поліфосфат амонію, покриття.

**Abstract.** Experimental studies were conducted to determine the effectiveness of fire protection of compositions using experimental samples of ammonium polyphosphate and it was established that fire-resistant wood belongs to non-flammable materials. It is shown that experimental wood samples after treatment with a composition using ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate belong to the materials of the first efficiency group (flammable materials) in terms of fire protection efficiency. The studied composition provides fire protection efficiency, respectively, for objects of classes I...V. According to the results of experimental studies, it was established that the use of "Silol" hydrophobic mixtures delays the penetration and accumulation of water in fire-resistant wood. An increase in the fire-resistant efficiency of fire-resistant wood during the joint action of "DSA-2" and the hydrophobizing mixture "Silol" after processing the samples was also revealed. The atmospheric resistance of fire-resistant wood as a result of the joint action of the composition was investigated using experimental samples of ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate and the "Silol" mixture.

**Keywords:** wood, flammability, composition, fire protection, ammonium polyphosphate, coating.

#### Вступ

Вогнезахист деревини та виробів з неї шляхом нанесення на поверхню лаків, фарб і емалей є одним із профілактичних засобів горіння деревини. Така деревина залежно від ефективності покриття та його товщини, може класифікуватися як важкозаймиста або важкогорюча. Більш ефективними вогнезахисними покриттями є такі, що спучуються, утворюючи бар'єр для теплопровідності [1].

Покриття складається із в'язучої речовини та наповнювачів, внаслідок чого його фізико-хімічні властивості залежать від індивідуальних характеристик і співвідношення компонентів, що входять у покриття. Вишальний вплив на загальні властивості покриття здійснюється завдяки взаємодії в'язучих речовин та наповнювачів, тому правильний підбір компонентів покриття є важливим завданням при відпрацюванні його



рецептури. Значення такого підбору полягає не тільки в забезпеченні вогнезахисних властивостей. Покриття в умовах експлуатації повинне відповідати ряду додаткових вимог, до числа яких відносяться: водонепроникність, водостійкість, еластичність, міцність, зчеплення з матеріалом, який захищається, атмосферостійкість тощо [2].

Рішення такого комплексного завдання теоретичним шляхом представляє значні труднощі, а підбір компонентів для вогнезахисного покриття здійснюється в основному дослідним шляхом.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

За останні три десятиліття вогнезахисні покриття, що спучуються, набули широкого застосування в багатьох країнах. Це пояснюється їхньою низькою теплопровідністю в умовах пожежі внаслідок утворення дрібнопористого вугільного шару покриття, що запобігає прогріванню деревини, подовжуючи фазу її підготовки до активної участі в процесі горіння. Під час спучування відбувається розм'якшення складових з одночасним ендотермічним розкладанням антипіренів і газоутворювачів, що спричиняє вогнезахисні властивості покриття, яке спучується [3].

В роботі [4] показано застосування вогнезахисних фарб, що спучуються, а саме «Пролан-64», «Альберт ДС», «ДС-463», «ВПД», для захисту як деревини, так і конструкцій з неї. До складу фарб, які спучуються, входили сечовино-формальдегідна смола, фосфорнокислий амоній, дициандіамід, а також речовини, що містять елементи кремнію, титану з домішками заліза й алюмінію. Основними компонентами для їхнього приготування були карбамідні смоли.

Розроблена вогнезахисна фарба, що спучується, «ВПД» [4] дозволила перевести деревину в групу важкогорючих матеріалів. Зазвичай вона мала вигляд оздоблювальної водоемульсійної фарби. Однак, згідно з вимогами обробки інтер'єрів вогнезахисні покриття повинні збері-

гати текстуру деревини, тобто мати консистенцію лакових покриттів, що спучуються й обвуглюються при нагріванні.

В роботах [5–7] показано можливість створення вогнезахисних покриттів, що спучуються. Дослідження тривали в напрямку розширення асортименту з використанням нової, більш ефективної сировини й удосконалювання його властивостей. Так, було розроблено вогнезахисне покриття «ВПМ 3», до складу якого входив новий антипірен «Факкор», який відрізнявся від тих, що використовувались раніше ортофосфатів, зниженою розчинністю й полімерною будовою, яка забезпечується більше високим вмістом у його складі фосфору й азоту. Термічні перетворення «Факкор», що характеризуються поглинанням тепла в інтервалі 199...412 °С, дозволили використати цей антипірен не тільки в покриттях, але й для зниження горючості матеріалів, що вимагають технологічної переробки за підвищених температур.

Як показали дослідження [7], під час впливу полум'я спучування покриття «ВПМ-3» відбувалося більш інтенсивно, тому для досягнення однакової вогнестійкості металевих конструкцій (0,75 год) витрата покриття «ВПМ-3» була в 1,5 рази менше, ніж покриття «ВПМ-2». Товщина сухого покриття «ВПМ-3» становила 2...2,5 мм. Досвід його експлуатації протягом чотирьох років на металоконструкціях горючих приміщень в умовах поперемінного впливу негативних і позитивних температур, а також високої вологості в окремі сезонні періоди показав відсутність змін у стані покриття, що дозволило рекомендувати його для застосування в неопалюваних приміщеннях з перепадом температур і підвищеною вологістю.

Однак, промислове виробництво «ВПМ-3» стримувалося недостатнім обсягом виробництва антипірену «Факкор». Одним з дефіцитних видів сировини в покриттях, що спучуються, з'явився мелем (триаміногептазин). Його виробництво також обмежило випуск «ВПМ-2», «ВПМ-3», «ВПД». У зв'язку із цим були проведені дослідження з його заміни зі збереженням вогнезахисної ефек-

тивності покриттів. Мелом виконував функції термостійкого наповнювача, тому що його термічні перетворення супроводжувалися утворенням більш конденсованої структури, стійкої до розкладання до температури більше 700 °С. Ця властивість дуже важлива для стійкості спіненого вугільного шару до тривалого впливу високої температур.

В роботах [8–10] проведено дослідження з підбору вогнезахисних засобів, що сплучуються, на основі рідкого натрієвого скла та вивчено їхні властивості. Проведені дослідження дозволили розробити засоби для захисту дерев'яних поверхонь від швидкого прогріву при пожежі за рахунок ефекту спучування покриття. Нажаль через певний термін часу покриття втрачає адгезійну здатність до деревини і починає обсипатися. Ремонтна здатність покриттів дуже складна. Такі недоліки найбільш притаманні вогнезахисному покриттю «Сіофарб», основним компонентом якого є силікат натрію (рідинне скло). Також під час розроблення цього покриття не були враховані фізико-хімічні властивості силікату натрію, який під дією оксиду вуглецю, як ангідриду більш сильної вугільної кислоти, переходить у карбонат натрію з утворенням оксиду кремнію. Ось чому покриття «Сіофарб» мав дуже обмежений термін експлуатації.

Метою роботи є дослідження ефективності вогнезахисту деревини експериментальною композицією на основі поліфосфату.

#### Сировинні матеріали та методи досліджень

З метою створення вітчизняних покриттів для деревини були проведено комплекс досліджень щодо отримання та застосування дослідних зразків поліфосфату амонію в якості антипіренів.

В результаті проведених досліджень було розроблено технологічний процес синтезу поліфосфату амонію з сечовини та моноамонійфосфату, які використовуються основними компонентами сплучуючих вогнезахисних покриттів та встановлено можливість їх виготовлення із застосуванням вітчизняної виробничої та сировинної бази.

Для визначення ефективності вогнезахисту деревини проведено випробування із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну, згідно з [5]. Антипірени вводили в композицію, яка складалася з наступних компонентів: водний розчин полімеру карбоксиметилцелюлози (КМЦ), модифікований крохмаль, гідроксид алюмінію, сечовина, полівінілацетат (ПВА). Витрата композиції в перерахунку на безводну частину становила 0,36...0,38 кг/м<sup>2</sup>.

#### Основний матеріал і результати

Для встановлення ефективності вогнезахисту було проведено послідовну обробку експериментальних зразків деревини композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Результати табл. 1, засвідчують, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали).

Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів. Проте для об'єктів VI...X класів, де джерелами зволоження є водяний конденсат і атмосферні опади, застосування її обмежено здатністю до вимивання та потребує додаткових технологічних і технічних рішень [7].

Перспективним напрямком досліджень є підвищення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій та збільшення їх довговічності за допомогою гідрофобізуючих сумішей «Сілол». За результатами експериментальних досліджень, проведених в [7] встановлено, що застосування гідрофобізуючих сумішей «Сілол» затримує проникнення та накопичення води вогнезахисною деревиною. Виявлено також підвищення вогнезахисної ефективності вогнезахисної деревини під час спільної дії ДСА-2 та гідрофобізуючої суміші «Сілол» після оброблення зразків.

З метою визначення вогнезахисної властивості атмосферостійкої композиції із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну, та суміші «Сілол» для деревини, проведено експериментальні дослідження з визначення вогнезахисної ефективності згідно з [5]. Результати досліджень наведено на рис. 1.

На рис. 1 зображено результати 1', 3', 2', 4' — при однократному нанесенні композиції та 1, 2, 3, 4 — при двократному нанесенні композиції.

При проведенні досліджень антипірени вводили в композицію, яка складалася з наступних компонентів: гідрофобізуючої суміші «Сілол», модифікованого крохмалю, гідроксиду алюмінію, полівінілацетату (ПВА). Витрата композиції в перерахунку на безводну частину становила при однократному нанесенні – 0,3...0,31 кг/м<sup>2</sup>, а при двократному – 0,49...0,51 кг/м<sup>2</sup>.

Як видно з рис. 1 при однократному нанесенні композиції на деревину ефективність її вогнезахисту відповідає групі ІВ, а при двократному обробленні – ІВ відповідно до [6].

Таблиця 1.

Ефективність вогнезахисту експериментальних зразків деревини шляхом послідовної обробки композицією поліфосфатом амонію та поліфосфатом амонію, термостабілізованим поліфосфатом мелаїну

Серія зразків	Середня витрата композиції, кг/м <sup>2</sup>	Максимальна температура димових газів, °С	Середня втрата маси, %	Група ефективності вогнезахисту за [6]
поліфосфат амонію	0,376	220	8,6	ІВ
поліфосфат амонію, термостабілізований поліфосфатом мелаїну	0,378	230	8,8	ІВ

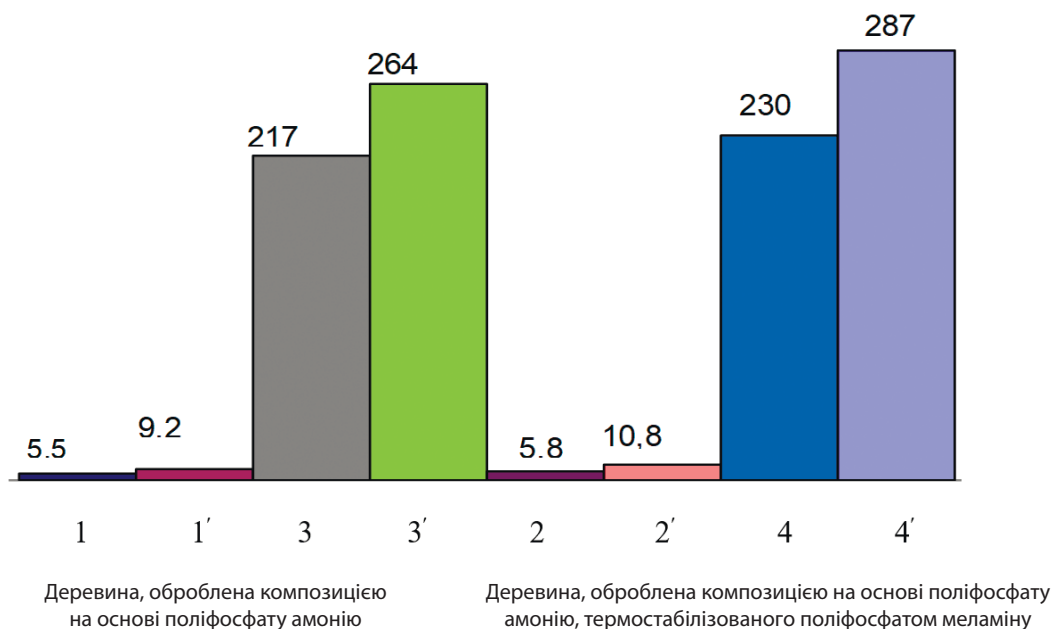


Рис. 1. Результати втрати маси зразків  $\Delta m$ , % (1, 1', 2, 2') та максимального приросту температури газоподібних продуктів горіння  $\Delta t$ , °C (3, 3', 4, 4')

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень виявлено вогнезахисну ефективність та атмосферостійкість вогнезахисної деревини в наслідок спільної дії композиції із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, та суміші «Сілол».

#### Висновки та перспективи подальших розроблень

В результаті проведених досліджень виявлено вогнезахисну ефективність та атмосферостійкість вогнезахисної деревини в наслідок спільної дії композиції з застосуванням експериментальних зразків поліфосфату

амонію та поліфосфату амонію термостабілізований поліфосфатом меламіну та суміші «Сілол» після обробки зразків.

Показано, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали). Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення взаємозв'язку між складовими та властивостями вогнезахисних композицій, а також їх оптимізацію.

#### Література:

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2018, Vol. 4, № 10 (94), p. 62–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>.
2. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2019, Vol. 2, № 10 (98), p. 49–54. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163591. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/163591/165012>.
3. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2019, Vol. 1, № 10 (97), p. 36–42. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156644. <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/156644/157209>.
4. Krüger S., Gluth G.J.G., Watolla M.B., Morys M., Häßler D., Schartel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016, Vol. 93, Issue 8, p. 531–542.
5. Gaff M., Kačič F., Gašparík M., Makovická Osvaldová L., Čekovská H. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood. *Construction and Building Materials*. 2019, Vol. 200, p. 551–558.
6. Dr. Simone Krüger, Dr.-Ing. Gregor J. G. Gluth, Marie-Bernadette Watolla, Michael Morys, Dustin Häßler and Dr. Bernhard Schartel Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016, Vol. 93, Issue 8, p. 531–542.
7. Na Xiao, Xue Zheng, Shuping Song, Junwen Pu Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *United States: BioResources*. 2014, Vol. 9, Issue 3, p. 4924–4933.
8. Md J. Nine, Diana N. H. Tran, Tran Thanh Tung, Shervin Kabiri, and Dusan Losic Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *School of Chemical Engineering, The University of Adelaide, ACS Appl. Mater. Interfaces, Australia*. 2017, Vol. 9 (11), p. 10160–10168.
9. Ciripi B.K., Wang Y.C., Rogers B. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 2016, Vol. 81, p. 74–84.
10. Carosio F., Kochumalayil J., Cuttica F., Camino G., Berglund L. Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties. *Washington: ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2015, Vol. 7 (10), p. 5847–5856.



## НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ

### ВИКОНУЄ РОЗРОБКИ:

- технології виробництва керамічних стінових, архітектурно – оздоблювальних, санітарних, фарфорових і клінкерних виробів на основі глинистої сировини природного та техногенного походження;
- інвестиційних проектів на виробництво керамічних будівельних матеріалів різного призначення;
- нормативних документів (стандарти, технічні умови) на будівельні матеріали та вироби і технологічної документації (вихідні дані для проектування, технологічний регламент) на виробництво керамічних стінових, архітектурно-оздоблювальних і клінкерних виробів на основі глинистої сировини природного та техногенного походження.

### ПРОВОДИТЬ:

- дослідження хіміко-мінералогічного складу та кераміко-технологічних властивостей глинистої сировини природного та техногенного походження;
- підбір технологічного обладнання для виробництва керамічних стінових матеріалів;
- диференційно-термічний аналіз матеріалів;
- визначення теплопровідності теплоізоляційних і стінових матеріалів;
- визначення допустимої температури використання теплоізоляційних матеріалів;
- маркетингові дослідження ринку керамічних стінових і архітектурно-оздоблювальних матеріалів, клінкерних керамічних матеріалів;
- аналіз ринку глинистої сировини, відходів гірничовидобувної промисловості та матеріалів техногенного походження;
- сертифікаційні випробування керамічних стінових і архітектурно-оздоблювальних виробів.



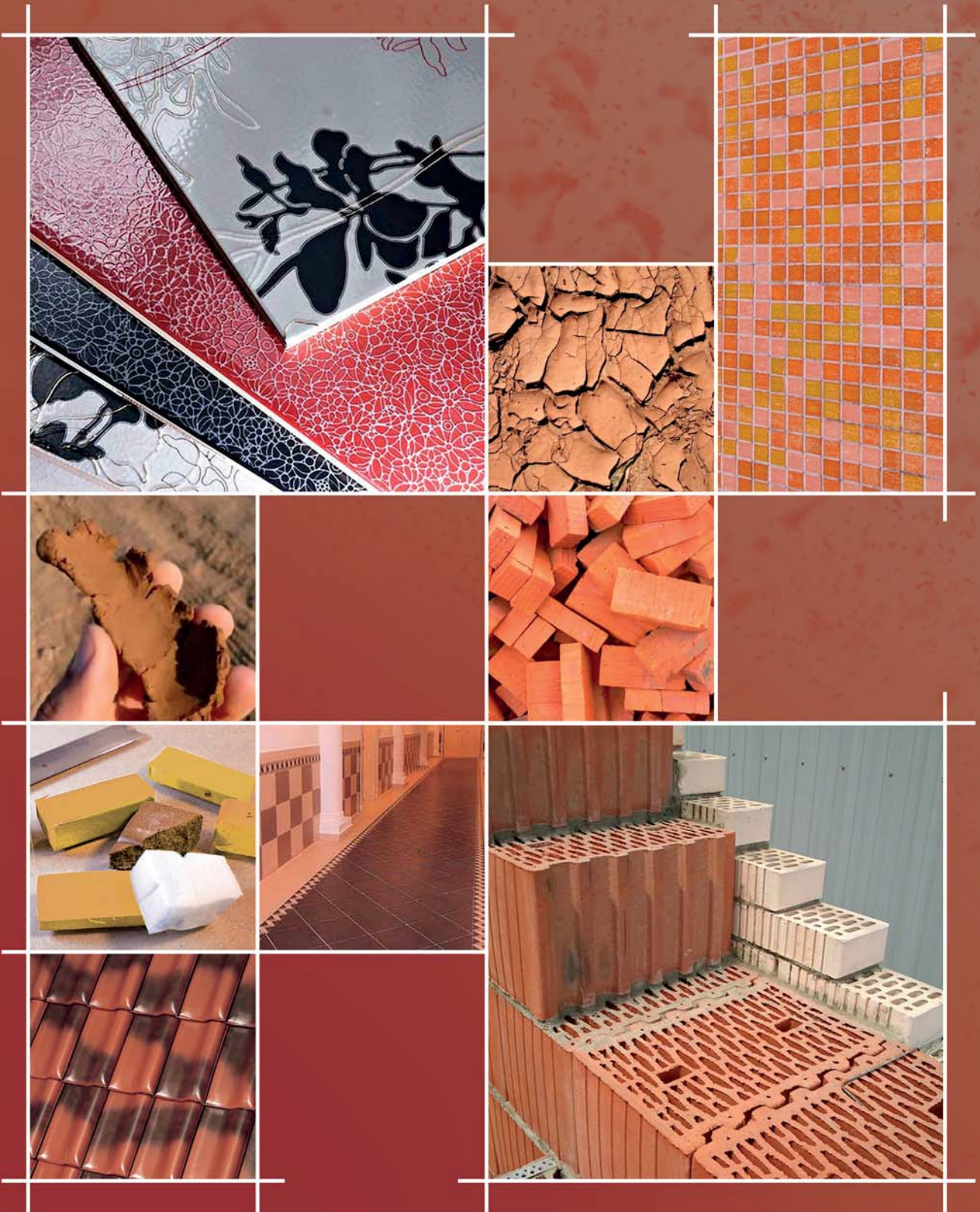
Старший науковий співробітник

**ДМИТРЕНКО  
НАТАЛІЯ ДАНИЛІВНА**

☎ +38 (050) 411 51 84  
☎ +38 (067) 507 11 61

e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)



**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ  
ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
І БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ**



Корнило І. М.



Ткачук В. С.

**Корнило І. М.**, к.е.н., доц.,  
доцент кафедри організації будівництва та охорони праці,  
✉ irina\_kornylo@ukr.net ☎ +38 (048) 686 54 09;  
**Ткачук В. С.**, магістр архітектури,  
✉ vlad.tk.1400@gmail.com ☎ +38 (067) 754 42 72;  
Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4.

**Iryna Korniylo**, PhD, Economics, Associate Professor  
at the Department of organization of construction and safety,  
✉ irina\_kornylo@ukr.net ☎ +38 (048) 686 54 09;  
**Tkachuk Vladyslav**, magistr architecture,  
0677544272, e-mail: vlad.tk.1400@gmail.com;  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
4, Didrihsona st., Odessa, 65029, Ukraine.

## ОРГАНІЗАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ В ПРОЕКТУВАННІ І БУДІВНИЦТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

### ORGANIZATIONAL SYSTEM FOR FORECASTING INDICATORS IN DESIGN AND CONSTRUCTION USING MATHEMATICAL MODELS

**Анотація.** У статті наведений локальний прогноз, структура якого не є єдиним варіантом, представляється найбільш завершеною частиною системи прогнозування. Функціонування даних моделей не тільки експериментально випробувано, вони неодноразово використовувалися для багатьох практичних розрахунків на перспективу. Однак, враховані методи прогнозування передбачають використання експертних оцінок, способи отримання яких, проблематичні. Тому даний матеріал зможе розширити і доповнити методики отримання та обробки експертних оцінок.

**Ключові слова.** Прогнозування показників, економічний процес, кореляційна і регресивна функція, часовий ряд.

**Abstract.** The local forecast presented in the article, the structure of which is not the only option, is the most complete part of the forecasting system. The functioning of these models was not only tested experimentally, they were repeatedly used for many practical calculations for the future. However, the considered forecasting methods involve the use of expert assessments, the methods of obtaining which are problematic. Therefore, this material will be able to expand and complement the method of obtaining and processing expert assessments.

**Keywords.** Forecasting indicators, economic process, correlation and regression function, time series.

#### Постановка проблеми

При аналізі організаційно-економічних явищ на основі економіко-математичних методів особливе місце займають моделі, що виявляють кількісні зв'язки між досліджуваними показниками і чинниками, які впливають на них. Кореляційні та регресійні моделі використовуються для прогнозування тих показників, для яких практично неможливо виділити стабільні відношення відносно часу.

#### Аналіз досліджень і публікацій

Нові потреби сучасності ставлять перед системою організацією в проектуванні і будівництві складні завдання, що потребують ретельного розгляду. Зміни особливо необхідні, тому що значного спаду зазнала галузь, орієнтована на проектування і виробництво будівельної продукції. Ця галузь, будучи основною матеріальною базою для будівельного комплексу, істотно впливає на темпи зростання в інших галузях і соціально-економічний стан суспільства в цілому, тому існуючі методи і моделі прогнозування, які можуть складати основу інформаційних систем, а також формулювання пропозицій щодо підвищення ефективності управління процесом прогнозування вимагають перегляду та відповідного корегування.

Сучасний період соціально-економічного розвитку України, реформування економічних відносин, посилення глобальної конкуренції, перспектив та переваг процесу інтеграції України у світову спільноту потребує передбачення майбутнього, прогнозування перспектив розвитку. Активну роботу в цих напрямках проводили В.М. Геєць, Н.А. Дубровіна, В.В. Іванов, О.О.Карагодова, Т.С. Клебанова, Н.І. Костіна, О.О.Карагодова, О.В.Комашко, А.В.Ставицький, О.І. Черняк, Г.О.Чорноус та інші. Наразі консолідація усіх вчених України в напрямку прогнозування економічного розвитку держави має першочергове значення [1].

Головна ідея цих методів полягає в тому, що подальші значення часового ряду не можуть довільно відхилитися в більшу

або меншу сторону від попередніх значень часового ряду, якими б причинами не були спричинені ці відхилення. У тимчасових рядах економічних показників існує зв'язок між недавно реалізованими значеннями і значеннями, що реалізуються в майбутньому. Сенс цього зв'язку такий, що якщо між близькими значеннями часового ряду існує кореляція, то, знаючи коефіцієнт кореляції, можна побудувати прогноз економічного показника. Прогноз подальших значень часового ряду можна отримати не тільки на основі минулих реалізацій кореляційної і регресивної функції, а й з урахуванням відхилень від попередніх прогнозів.

Для застосування методу прогнозування, а саме процесу прогнозування економічних показників за допомогою кореляційних функцій, необхідно, щоб вихідний часовий ряд був стаціонарний. Проте важливою особливістю часових рядів економічних показників є їх досить суттєва еволюційність, що перешкоджає реалізації методу кореляційної функції.

Для перевірки стаціонарності часового ряду в блоці локальних прогнозів використовуються певні методи. Якщо виявляється, що ряд не стаціонарний, еволюційність вихідного процесу може бути знівельована, наприклад, шляхом оперування з рядом  $\lambda_t$ , утвореним з різниць першого ( $\Delta u_t$ ) або другого ( $\Delta^2 \lambda_t^0$ ) порядку, який потім знову наводиться до вихідного ряду  $u_t$  [2].

Отриманий часовий ряд  $\lambda_t$  центрується, тобто обчислюється ряд  $\lambda_t^0 = \lambda_t - \bar{\lambda}$ , для якого виконуються дві основні умови стаціонарності імовірнісних процесів:

$m_\lambda(t) = \mu(\lambda_t^0) = const$  — математичне очікування постійне;  
 $k_\lambda(t, t+\tau) = k_\lambda(\tau)$  — кореляційна функція залежить тільки від інтервалу часу  $\tau$ .

Подальший процес розрахунків звичайно триває обчисленням ненормованих коефіцієнтів кореляційної функції:

$$k_\lambda(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{\tau=1}^{n-t} \lambda_t^0 \lambda_{t+\tau}^0$$

де  $\tau = 0, 1, \dots, n-1$ .

В блоці локальних прогнозів використовуються нормовані коефіцієнти кореляційної функції  $r_\lambda(\tau)$ , які більш придатні для прогнозування економічних процесів.

Вони визначаються на основі виразу:

$$r_\lambda(\tau) = \frac{k_\lambda(\tau)}{k_\lambda(0)} = \frac{\sum_{i=1}^{n-i+1} \lambda_i^2 \lambda_{i+\tau}^0 + i - 1}{\sum_{i=1}^n (\lambda_i^0)^2}$$

де  $0 \leq r_\lambda(\tau) \leq 1$ ;  $\tau = 0, 1, \dots, n - 1$ .

Коефіцієнти  $r_\lambda(\tau)$  добре відображають тенденції вихідного економічного процесу і характеризують тісноту зв'язку між окремими періодами розвитку цього процесу. Як показує аналіз рядів  $r_\lambda(\tau)$  вони мають властивість ергодичності, тому для їх прогнозування на їх перспективний період можна використовувати одну з функцій виділених класів трендових моделей. Після отримання прогнозу нормованих коефіцієнтів кореляції  $r_\lambda(\tau)$  на період  $L$  подальші розрахунки проводяться за методикою, запропонованою А.Д. Смирновим і Б.М. Широковим [3, 4]:

вирішується система рівнянь щодо  $a_\lambda$ :

$$R_\lambda(\tau) a_\lambda = r_\lambda(\tau + L), \quad (1)$$

де  $a_\lambda$  — ваги зосереджених значень вихідного часового ряду,  $\tau = 0, 1, \dots, n - 1$ ;

оскільки  $R_\lambda(\tau)$  — симетрична квадратна матриця, шукані ваги  $\tau = 0, 1, \dots, n - 1$  визначаються наступним чином:

$$a_\lambda = R_\lambda^{-1} r_\lambda(\tau + L);$$

на основі отриманих ваг визначаються прогнозовані оцінки зосереджених часових рядів, для цього використовується формула:

$$\lambda_{t+i}^{op} = \sum_{j=1}^L a_j \lambda_{t+i-j}^0; \quad t = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, L; \quad (2)$$

складаючи отримані оцінки з математичним очікуванням вихідного процесу, визначаємо прогнозні оцінки показника:  $\lambda_{t+i}^p = \lambda_{t+i}^{op} + m$ .

Тут можуть бути два випадки: якщо прогнозування проводилося за центровані часові ряди перших різниць  $\Delta \lambda_t^i$ , перехід до прогнозних оцінок  $\Delta \lambda_t^i$  здійснюється за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_t^i &= \Delta \lambda_t^{op} + \Delta \bar{\lambda} \\ \text{або } \lambda_{t+i}^p &= \Delta \lambda_t^i + \Delta \lambda_t^{op} + \Delta \bar{\lambda}, \end{aligned}$$

де  $t = 0, 1, \dots, n$  та  $\lambda_0^i = \lambda_0$ ;

у разі прогнозування за центрованими часовими рядами других різниць перехід до прогнозних оцінок здійснюється за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta^2 \lambda_t^i &= \Delta^2 \lambda_t^{op} + \Delta^2 \bar{\lambda} \\ \text{або } \lambda_{t+2}^p &= 2 \lambda_{t+1}^p - \lambda_t^i + \Delta^2 \lambda_t^{op} + \Delta^2 \bar{\lambda}, \end{aligned}$$

де  $t = 0, 1, \dots, n$  та  $\lambda_0^i = \lambda_0, \lambda_1^i + \lambda_1$ .

Як показує досвід по кореляційному прогнозуванню економічних показників, використання різниць більш ніж другого порядку призводить до нівелювання кореляції, що знижує якість прогнозу. У блоці локальних прогнозів обмежуємося взяттям різниць другого порядку. Цього, ймовірно, буде достатньо, щоб позбутися від еволюційності вихідних часових рядів економічних показників.

При прогнозуванні по кореляційній функції в прогнозі беруть участь всі спостереження з убутними вагами. Проте в системі комплексного планування є такі економічні показники, для яких прогнозування по кореляційній функції доцільно через великі стрибки у тимчасових рядах. Якщо часовий ряд нестійкий, тобто маються стрибкоподібні зміни, то достатньо, щоб в прогнозі брали участь від одного до п'яти попередніх спостережень часового ряду [5].

Такий прогноз проводиться наступним чином: спочатку встановлюється тіснота зв'язку окремих членів часового ряду один з одним за допомогою коефіцієнта кореляції:

$$r_{Y_T Y_{T-L}} = \frac{Y_T Y_{T-L} - \bar{Y}_T \bar{Y}_{T-L}}{\sigma_{Y_T} \sigma_{Y_{T-L}}}$$

де  $L$  — період прогнозування.

Потім будується рівняння регресії, причому вид зв'язку передбачається лінійним, що достатньо при прогнозуванні на короткострокову і середньострокову перспективу. Рівняння регресії можна записати у вигляді:

$$\bar{Y}_T = a + b_{Y_{T-L}} \quad (3)$$

де коефіцієнти  $a$  і  $b$  знаходяться за допомогою формул:

$$a = \bar{Y}_T - b_{Y_{T-L}}; \quad b = r_{Y_T Y_{T-L}} \frac{\sigma_{Y_T}}{\sigma_{Y_{T-L}}}$$

Рівняння регресії можна зробити більш точним, якщо в нього ввести вираз для поглинення відхилень, передбачаються від емпіричних значень. Нехай  $\bar{Y}_T - Y_T = \Delta Y_T$ , тоді рівняння регресії набуде вигляду:

$$\bar{Y}_T = a + b_{Y_{T-L}} + c \Delta \lambda_{T-L}, \quad (4)$$

а коефіцієнти  $a, b$  і  $c$  визначатимуться за формулами:

$$\begin{aligned} b &= \frac{r_{Y_T Y_{T-L}} - r_{Y_T \Delta T-L} \times r_{Y_{T-L} \Delta T-L}}{1 - r_{Y_T \Delta T-L}^2} \times \frac{\sigma_{Y_T}}{\sigma_{Y_{T-L}}}, \\ c &= \frac{r_{Y_T \Delta T-L} - r_{Y_T Y_{T-L}} \times r_{Y_{T-L} \Delta T-L}}{1 - r_{Y_T \Delta T-L}^2} \times \frac{\sigma_{Y_T}}{\sigma_{Y_{T-L}}}, \end{aligned}$$

$$a = \bar{Y}_T - b_{Y_{T-L}} - c \Delta T-L.$$

Рівняння дозволяє здійснити прогноз з подвійним коригуванням згідно попереднього рівня і за попереднім відхиленням дійсного рівня від передбачення рівнянням регресії. Аналогічно можна провести коригування і більш високого порядку. Більше того, процес коригування можна зробити рекурентним, тобто, це коли об'єкт є частиною самого себе.

Проблеми створення систем прогнозування в першу чергу стосуються побудови такого комплексу моделей, який би характеризувався необхідною точністю, простотою, гнучкістю в застосуванні і прозорістю в оцінці параметрів [2].

## Висновки

Отже, необхідно диференційовано підходити до кожного тимчасовому ряду. Тільки всебічний аналіз може підказати, на скільки років, з якою надійністю і достовірністю можна прогнозувати той чи інший економічний показник.

Із раніше сказаного випливає, що коефіцієнти кореляційних і регресивних функцій відображають найбільш істотні тенденції базового періоду, тому їх можна використовувати в сьогоденні і майбутньому. Причому зважування проводиться таким чином, що більш пізні спостереження надають на майбутнє більший вплив, ніж ранні спостереження, що має велике значення для часових рядів зі стрибкоподібною тенденцією.

## Література:

1. Геєць В.М. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування / В.М. Геєць, Т.С. Клебанова, О.І. Черняк, В.В. Іванов, Н.А. Дубровіна, А.В. Ставицький – Харків: ВД "ІНЖЕК", 2005, 396 с.
2. Берзлев О.Ю. Сучасний стан інформаційних систем прогнозування часових рядів / О.Ю. Берзлев // Зб.наук.пр. «Управління розвитком складних систем». – Вип.13. – Київ: КНУБА. 2013, с. 78–82.
3. Елементи класифікації економіко-математичних моделей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fingal.com.ua/content/view/full/889/39/1/3/2.2.4>. 63
4. Поняття модель. Види моделей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.djerelo.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=8622&Itemid=72](http://www.djerelo.com/index.php?option=com_content&task=view&id=8622&Itemid=72)
5. Методи і моделі економічного прогнозування : навч. посібник / В.П. Кічор, Р.В. Фещур, А.І. Якимів, Д.І. Скворцов, А.Л. Висоцький; за ред. В.П. Кічора. – Львів: 2019, 272 с.



Корнило І. М.



Гнип О. П.

**Корнило І. М.**, к.е.н., доц.,  
доцент кафедри організації будівництва та охорони праці,  
✉ irina\_kornilyo@ukr.net ☎ +38 (048) 686 54 09;

**Гнип О. П.**, к.т.н., доц.,  
доцент кафедри процесів і апаратів  
в технології будівельних матеріалів,  
✉ gnypolgaop@gmail.com ☎ +38 (048) 723 60 50;  
Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4.

**Iryna Kornilyo**, PhD, Economics, Associate Professor  
at the Department of organization of construction and safety,  
✉ irina\_kornilyo@ukr.net ☎ +38 (048) 686 54 09;

**Olga Gnyp**, Ph.D, Engineering Sciences,  
Associate Professor at the Department of processes and apparatus  
in the technology of building materials,  
✉ gnypolgaop@gmail.com ☎ +38 (048) 723 60 50;  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
4, Didrihsona st., Odessa, 65029, Ukraine.

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ВИКОРИСТАННЯ ВЕКТОРІВ І МАТРИЦЬ ПРИ УПРАВЛІННІ БУДІВНИЦТВОМ

### SYSTEMATIC APPROACH OF USING VECTORS AND MATRICES IN CONSTRUCTION MANAGEMENT

**Анотація.** У статті розглядається метод використання векторів і матриць при будівництві об'єктів при виробленні управлінських рішень. Основним джерелом інформації прийнята матриця цінностей.

**Ключові слова:** системний підхід; управлінські рішення; системи з дискретними станами; похідна ймовірності стану; дисперсійний аналіз.

**Abstract.** The article discusses the method of using vectors and matrices in the construction of facilities in the development of management decisions. The main source of information is the matrix of values.

**Keywords:** systems approach; management decisions; systems with discrete states; derivative of the state probability; analysis of variance.

#### Постановка проблеми

Для досягнення максимального ефекту в будівництві необхідно використовувати математичні методи при аналізі ситуацій, що виникають при управлінні об'єктом. У процесі прийняття рішень основні зусилля спрямовані на пошуки того рішення, наслідки від прийняття якого будуть найбільш сприятливими (оптимальними).

#### Аналіз досліджень і публікацій

Розглянемо стандартну ситуацію, в якій треба розподілити роботи між робочими. Введемо два індекси:

$i$  — номер робочого,

$j$  — номер роботи.

Якщо  $i$  — й робочий на  $j$  — й роботі створює продукт цінності  $a_{ij}$ , то варіанти розподілу робіт можна представити постановкою

$$p = \begin{pmatrix} 1, & 2, & \dots, & m \\ y_1, & y_2, & \dots, & y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

Тому максимальний ефект дорівнює сумі

$$S = \max \sum_{i=1}^n a_i y_i \quad (2)$$

Навіть для 5 робочих на п'яти роботах число варіантів дорівнює 120. Очевидно, що із завданням вибору оптимального варіанту може впоратися тільки комп'ютер. Аналогічні завдання виникають на будівництвах в багатьох ситуаціях, де корисна інформація про об'єкт або явище, укладена в кожній окремій ознаці, недостатня для судження про оптимальний варіант. Висновки якщо і можливі, то лише за сукупністю кількох або багатьох характеристик об'єкта. Календарний план будівництва

містить сотні найменувань робіт і графіки руху робітників, матеріалів і роботи основних машин і механізмів. Тому загальний стан будівельного об'єкта можна уявити чотирма видами векторів, у яких координати приймають значення 1 або 0.

$X(t)$  — вектор робіт, у якого число координат дорівнює кількості найменувань робіт.

Координата  $X_k(t)$  приймає значення 1, якщо в момент  $t$  виконується  $k$ -й вид робіт. В іншому випадку ця координата має значення 0.

$Y(t)$  — вектор спеціальностей, у якого розмірність дорівнює кількості працівників.

Координата  $Y_k(t)$  приймає значення 1 або 0 в залежності від того, працює або не працює  $k$ -й працівник в момент  $t$ .

$Z(t)$  — вектор механізмів і машин, який будується аналогічно вектору  $Y(t)$ .

$M(t)$  — вектор матеріалів. Координата  $M_k(t)$  дорівнює 1, якщо  $k$ -й матеріал застосовується на будівництві в даний момент.

Ці чотири вектори утворюють 6 матриць інцидентій:

$$A_{xy}, A_{xz}, A_{xm}, A_{yz}, A_{ym}, A_{zm}.$$

Всі матриці інцидентій зберігаються в банку даних. Кожному моменту  $t$  відповідають шість матриць інцидентій. З різних причин ці матриці можуть змінюватися. Відсутність працівника або необхідного матеріалу, несправність механізму змінюють елементи матриць інцидентності так, що деякі одиниці замінюються нулями. Це призводить до автоматичної зміни вектору стану, у якого також деякі координати змінюють значення 1 на значення 0.

Розподіл одиниць і нулів між координатами вектору станів утворює безліч можливих станів деякої системи. У теорії



випадкових процесів такі системи називаються системами з дискретними станами, в яких перехід з одного стану в інший здійснюється стрибком. Для опису випадкового процесу, що протікає в системі з дискретними станами, використовуємо поняття ймовірностей станів

$$P_1(t), P_2(t), \dots, P_K(t),$$

де  $P_K(t)$  — ймовірність того, що в момент  $t$  система знаходиться в стані  $H_K$ ;

$$K = 1, 2, \dots, R$$

$R$  — кількість станів системи.

Обчислимо значення  $R$ , якщо розмірність вектору станів дорівнює  $n$ . Щоб обчислити  $R$ , треба знати, скільки способів є для заповнення рядка одиницями або, що рівносильно нулям. Таке завдання в поняттях комбінаторики зводиться до обчислення суми кількості поєднань з  $n$  елементів по  $K$  елементам, тобто

$$R = \sum_{K=1}^n C_n^K = 2^n$$

Прогноз майбутнього стану будь-якого будівельного об'єкта залежить тільки від його стану в момент прогнозування. Це означає, що в будівельних процесах має місце принцип, згідно з яким майбутнє залежить від минулого тільки через сьогоднішнє. Звідси впливає можливість вважати процес, що протікає в системі з дискретними станами і безперервним часом, марковським. Відомо, що якщо процес марковський, то всі потоки подій, що переводять систему зі стану в стан є пуассонівськими.

Для будь-якої підсистеми будівельного об'єкта послідовність подій, що переводять її з одного стану в інший, відбувається у випадкові моменти часу. Для характеристики інтенсивності зміни станів зручно використовувати поняття щільності потоків подій, що переводять систему зі стану  $X_i$  в стан  $X_j$ . Позначимо:  $X_{ij}$  — щільність потоку, який переводить  $i$ -е стан в  $j$ -е стан. Параметр  $X_{ij}$  показує середнє число переходів і дозволяє скласти систему сімейних диференціальних рівнянь для ймовірностей станів  $P_K(t)$ .

Для складання цих диференціальних рівнянь треба знати матрицю інцидентностей, яка дозволяє побудувати розмічений граф станів, на якому проти кожної стрілки, що веде зі стану в стан, показана щільність потоку подій, що переводить систему зі стану в стан за даною стрілкою.

Сформулюємо правила при складанні диференціальних рівнянь для ймовірностей станів будь-якої підсистеми будівельного об'єкта.

1. У лівій частині кожного рівняння стоїть похідна ймовірності стану.

2. У правій частині міститься стільки доданків, скільки стрілок орієнтованого графа пов'язано безпосередньо з даними станом.

3. Якщо стрілка веде в даний стан, доданок має знак плюс, а якщо з даного стану, доданок має знак мінус.

4. Кожен доданок дорівнює добутку щільності потоку подій, що переводить систему по ребру графа, на ймовірність того стану, з якого виходить стрілка.

Рішення таких систем рівнянь прогнозує ймовірність активної участі різних елементів у будівельному процесі. Результат рішення може відповідати випадку, коли який-небудь важливий елемент системи має низьку ймовірність активної участі на будівельному об'єкті.

У цьому випадку необхідне керуюче рішення про рух працівників, машин, механізмів і матеріалів, при якому максимізується сума (2), елементи якої визначаються методами шкалювання, які зводяться до проблеми власних значень.

Для цього розглядається номінальна ознака, яка може приймати  $k$  різних значень (категорії стану, рівні) і використовується для поділу на  $u$  груп. Якщо кожна група представлена випадковою вибіркою, то результати вимірювань цієї ознаки можна описати матрицею частот  $N$ . У цій матриці  $u$  рядки відповідають групам, а  $k$  стовпців — категоріям. Елемент  $n_{uk}$  матриці  $N$  показує, скільки разів серед спостережень групи  $u$  зустрілася категорія  $k$  ( $1 \leq u \leq u; 1 \leq k \leq k$ ).

Позначимо:

$n_{y0}$  — сума по рядках матриці  $N$ ,

$n_{0k}$  — суми по стовпцях,

$n$  — загальна сума всіх частот.

Ці суми дають вихідні дані для завдання дисперсійного аналізу.

Завдання полягає в тому, щоб розсіювання всередині груп було малим, а між групами різниця була великою. Вирішення цього завдання отримано завдяки використанню багатовимірному аналізу. Спочатку вводиться багатовимірний нормальний розподіл, а потім замість  $\chi$  – квадрат розподілу використовується розподіл Уїшарта.

Слід зауважити, що вимірювані змінні називаються ознаками, а якісні показники — факторами. У такій термінології вирішуються завдання багатовимірному дисперсійного аналізу. На відміну від одновимірної ситуації в багатовимірному аналізі розподілу критеріїв значущості недостатньо оснащені таблицями. Тому особливо важливу роль відіграють комп'ютерні апроксимації емпіричних розподілів випадкових відхилень координат вектору станів будівельного об'єкта.

### Висновки

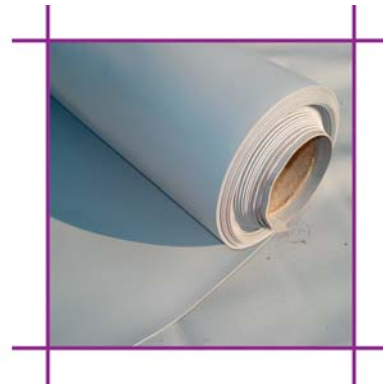
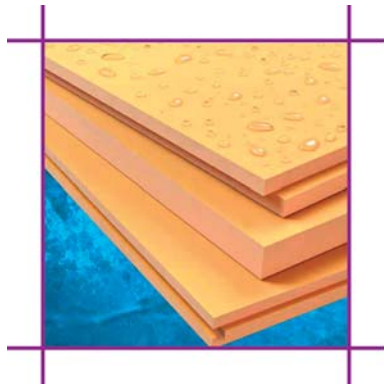
У практичній діяльності на будівництві частіше доводиться стикатися з положенням, коли число вибірових одиниць можна порівняти з числом їх характеристик. Найбільш важливий практичний висновок з математичного вивчення цієї ситуації полягає в тому, що зменшення числа вимірюваних ознак покращує якість статистичних висновків. Звідси впливає доцільність зменшення розмірності вектору стану будівельного об'єкта, але це слід робити вже на стадії складання календарного плану будівництва об'єкта.

Дисперсійний аналіз можна виключити з математичного забезпечення автоматизованої системи управління, якщо відомі всі значення елементів матриці цінностей. У цьому випадку алгоритм управлінського рішення містить наступні дії:

- складання матриць інцидентності;
- складання вектору стану;
- набір варіантів за формулою (1);
- обчислення максимальної суми за формулою (2);
- ухвалення керуючого рішення за індексами максимальної суми (2).

### Література:

1. Бахрушин В.Є. Аналіз даних : навчальний посібник / В.Є. Бахрушин. Запоріжжя : ГУ "ЗІДМУ", 2006, 128 с.
2. Дудар З. В. Моделювання систем : навч. посіб. / З. В. Дудар. Харків : ХНУРЕ, 2004, 112 с.
3. Лупан І.В., Авраменко О.В. Комп'ютерні статистичні пакети: навчально-методичний посібник. Кіровоград, 2010, 218 с.
4. Математичне забезпечення інформаційно-управляючих систем : підруч. для студентів вищ. навч. закл. / Б. В. Шамша, А. М. Гуржій, З. В. Дудар, В. М. Левикін. Харків : СМІТ, 2005, 448 с.



## НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ПОЛІМЕРНИХ, ПОКРІВЕЛЬНИХ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### ВИКОНУЄМО ТА ПРОПОНУЄМО НАСТУПНІ РОБОТИ:

- Розробка нових видів полімерних, теплоізоляційних, гідроізоляційних та покрівельних матеріалів.
- Розробка рецептур сухих будівельних сумішей на основі місцевих сировинних матеріалів.
- Сертифікаційні випробування полімерних, покрівельних, гідроізоляційних матеріалів, мінераловатних утеплювачів, утеплювачів на основі екструзійного та термоударного пінополістиролу, гіпсових в'язучих, гіпсокартону, матеріалів та виробів на основі спученого перліту, полімерної плівки, склосітки, лінолеуму, геомембран, сухих будівельних сумішей (у тому числі, гідроізоляційних).
- Випробування теплоізоляційних виробів за показником «термін ефективної експлуатації» – відповідно до вимог ДБН В 2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».
- Розробка, погодження, експертиза та супровід при затвердженні та державній реєстрації нормативної документації (ДСТУ, ТУ, СОУ на будівельні матеріали та виробу) та технологічної документації (вихідні дані для організації виробництва, технологічні регламенти виробництва будівельних матеріалів).
- Розробка технічних свідоцтв на нові будівельні матеріали (у тому числі для іноземних фірм-виробників).
- Експертиза якості матеріалів в конфліктних ситуаціях (обстеження, випробування, експертні висновки).
- Складання тематичних оглядів по різних будівельним матеріалам.

### ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ

- Розробка та надання науково-технічної допомоги по впровадженню технології виробництва пінополістирольних утеплювачів.
- Розробка технології полімерних композицій для влаштування спортивних та дитячих майданчиків, тренажерних залів, бігових доріжок, тощо.

### ПОКРІВЕЛЬНІ

### ТА ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

- Науково – технічна допомога підприємствам та організаціям, що виробляють, імпортують – експортують рулонні та мастичні ізоляційні матеріали.

### МІНЕРАЛОВАТНІ

### ТА СКЛОВОЛОКНИСТІ ВИРОБИ

- Надання науково-технічної допомоги в удосконаленні технології виробництва мінераловатних виробів на підприємствах сучасного виробництва України.
- Проведення випробувань мінераловатних виробів згідно з діючою нормативною документацією.
- Проведення консультацій та методична підтримка підприємств по питанням технології виробництва мінераловатних виробів.

### ГІПС ТА ГІПСОВІ ВИРОБИ

- Надання допомоги у підготовці фосфогіпсу для виробництва цементу на основі запатентованої в Україні технології.

### ПЕРЛІТОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

- Надання науково-технічної допомоги по впровадженню дво-стадійної універсальної технології ДП «НДІБМВ» виробництва спученого перліту з заданими експлуатаційними показниками широкого призначення з використанням перліту різних родовищ.
- Дослідження технологічних властивостей перлітової сировини різних родовищ та розробка з неї технології виробництва спученого перліту та виробів на його основі.
- Організація виробництва та технологічна наладка нових установок та удосконалення діючих ліній з виробництва: спученого перліту, фільтрувального перлітового порошку, агроперліту; гідрофобізованого перліту – для очищення стічної та питної води, поверхні водоймищ від нафтових забруднень, а також для використання в якості засипної ізоляції; з виробництва перлітових виробів: перлітобетонних дрібноштучних блоків, перлітобетону для монолітного будівництва, підпресованого утеплювача, перлітобетонітових виробів, сухих будівельних сумішей з використанням перліту (штукатурних, кладочних, клейових).
- Проведення лабораторних та дослідно-промислових випробувань перлітової сировини різних родовищ з оцінюванням технологічних можливостей її спучування та одержанням готової продукції: спученого перлітового піску, фільтрувального перлітового порошку та перлітових виробів.
- Надання науково-технічної допомоги по виготовленню за авторськими кресленнями ДП «НДІБМВ» лабораторного обладнання: для визначення відповідно до діючої НД параметрів спучування перлітової породи та фільтраційної проникності фільтрувального перлітового порошку; обладнання для гідрофобізації спученого перліту; основного нестандартного технологічного обладнання для термообробки перлітової сировини різних родовищ; агрегатів для термопідготовки та спучування перліту.



в.о. зав. лабораторії

**АЛЕКСЄВА  
ЛІДІЯ ВОЛОДИМИРІВНА**

☎ +38(050) 385 02 78

e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)

[losuprun-ndibmv@ukr.net](mailto:losuprun-ndibmv@ukr.net)



ст. науковий співробітник

**СУПРУН  
ЛІДІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА**

☎ +38 (098) 460 83 40



**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ  
ПОЛІМЕРНИХ, ПОКРІВЕЛЬНИХ  
ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**



Огороднік І. В.

**Огороднік І. В.**,  
к.т.н, доцент, КНУБА;  
директор Науково-дослідного центру технології кераміки,  
ТОВ «Фірма Порцекс-ВРБТ»,  
вул. Київська, 221, м. Бровари, Київська обл., 07400;  
✉ ogorodnik.iv@knuba.edu.ua; porceks@ukr.net ☎ +38 (050) 331 59 12

**Iryna Ogorodnyk**,  
Ph.D., Associate Professor, KNUBA  
Director of the Ceramic Technology Research Center  
LLC "Firm Porceks-VRBT", Ltd.  
street Kyivska, 221, Brovary, Kyiv region, 07400  
✉ ogorodnik.iv@knuba.edu.ua; porceks@ukr.net ☎ +38 (050) 331 59 12

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАРКЕТИНГУ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

### STUDY OF MARKETING FEATURES ON THE REAL ESTATE MARKET

**Анотація.** У даній статті висвітлені особливості нерухомості та маркетингових досліджень на ринку нерухомості, для ефективного просування цих об'єктів на будівельному ринку. Розглянуто особливості життєвого циклу об'єктів нерухомості та дії маркетологів на різних її етапах. Показано, що дослідження ринку нерухомості є важливим інструментом для розуміння актуальних тенденцій та попиту на нерухомість, що дозволяє зрозуміти, які типи нерухомості є популярними, які регіони є найбільш привабливими для покупців та які фактори впливають на ціни на нерухомість. Маркетингові дослідження можуть бути корисні для різних груп людей, включаючи ріелторів, інвесторів та будівельників. Основною ціллю маркетингових досліджень ринку нерухомості є аналіз потреб та попиту на нерухомість серед різних груп споживачів. Це дозволяє будівельникам та ріелторам адаптувати свої продукти та послуги до потреб інвесторів, знаходити нові ринки збуту та отримувати необхідні фінансові прибутки. Крім того, дослідження ринку нерухомості можуть допомогти виявити потенційні ризики та можливості, що в свою чергу забезпечить впровадження обґрунтованих рішень щодо інвестування в нерухомість.

**Ключові слова:** ринок нерухомості, життєвий цикл об'єктів нерухомості, попит, пропозиція, маркетингове дослідження.

**Annotation.** This article highlights the features of real estate and marketing research in the real estate market, for the effective promotion of these objects in the construction market. The peculiarities of the life cycle of real estate objects and the actions of marketers at its various stages are considered. Real estate market research is shown to be an important tool for understanding current trends and demand for real estate, which allows you to understand which types of real estate are popular, which regions are most attractive to buyers, and which factors affect real estate prices. Marketing research can be useful to many different groups of people, including realtors, investors, and builders. The main goal of marketing research on the real estate market is to analyze the needs and demand for real estate among different groups of consumers. This allows builders and realtors to adapt their products and services to the needs of investors, find new sales markets and obtain the necessary financial returns. In addition, real estate market research can help identify potential risks and opportunities, which in turn will ensure the implementation of informed decisions about investing in real estate.

**Keywords:** real estate market, life cycle of real estate objects, demand, supply, marketing research.

#### Актуальність проблеми

«Ринок нерухомості — це певний набір механізмів, за допомогою яких передають права на власність і пов'язані з нею інтереси, встановлюють ціни й розподіляють простір між різними конкуруючими варіантами землекористування»[1]. Детальнішим буде визначення ринку нерухомості, як комплексу відносин, пов'язаних зі створенням нових та експлуатацією вже існуючих об'єктів нерухомості. Таким чином, основні процеси функціонування ринку нерухомості — це розвиток (створення), управління (експлуатація) й обіг прав на нерухомість. Національний ринок нерухомості являє собою сукупність регіональних і локальних ринків, істотно відмінних один від одного асинхронністю розвитку, рівнем цін та ризиків, ефективністю інвестицій в нерухомість й особливо станом законодавства, політичною та соціальною стабільністю тощо [2–5]. Ринок нерухомості, як будь-яка саморегулююча система, характеризується попитом, пропозицією, ціною, інфраструктурою. Дослідження ринку нерухомості є важливим інструментом для розуміння актуальних тенденцій та попиту на нерухомість. Вони дозволяють зрозуміти, які типи нерухомості є популярними, які регіони є найбільш привабливими для покупців та які фактори впливають на ціни на нерухомість. Ці дослідження можуть бути корисні для різних груп людей, включаючи ріелторів, інвесторів та будівельникам нерухомості. Основною ціллю маркетингових досліджень ринку нерухомості є необхідність зрозуміти потреби та попит на нерухомість серед різних груп інвесторів. Це дозволяє будівельникам та ріелторам адаптувати свої продукти та послуги до потреб інвесторів, знаходити нові ринки збуту та отримувати необхідні фінансові прибутки. Крім того, дослідження ринку нерухомості можуть допомогти виявити потенційні ризики та можливості, що в свою чергу забезпечить впровадження обґрунтованих рішень щодо інвестування в нерухомість.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

Ринок нерухомості — це досить специфічний ринок, який має свої особливості. Основним є висока ступінь залежності від економічної та політичної ситуації в країні. Ринок нерухомості дуже чутливий до економічних коливань, таких як зростання чи падіння ВВП, інфляція, безробіття тощо. Демографічні чинники відіграють також важливу роль на ринку нерухомості. Наприклад, зміна чисельності населення, вікової структури та соціально-економічного статусу може вплинути на попит на нерухомість та її вартість [6–11].

Ринок нерухомості є сезонний ринок. Він має сезонні коливання, пов'язані зі зміною погодних умов та календарних подій. Наприклад, влітку та навесні зазвичай відбувається збільшення кількості угод з нерухомістю. Сезонність також впливає на будівництво та виробництво будівельних матеріалів. Один і той самий об'єкт нерухомості може мати різну вартість в залежності від його розташування. Наприклад, нерухомість у центрі міста може коштувати значно дорожче, ніж у передмісті. Це є важливим питанням при прийнятті рішення інвесторами по придбанню того чи іншого об'єкта. Необхідно відмити наявність високого ступеню конкуренції. Ринок нерухомості є досить конкурентним, тому продавці та агенти з нерухомості мають бути готові боротися за клієнтів.

При угодах з нерухомістю необхідно враховувати безліч юридичних аспектів, таких як податки, права власності, зони забудови і т.д. При продажу нерухомості продаються права власності на об'єкт нерухомості і юридичні аспекти є найважливішими.

Ринок нерухомості включає різні типи нерухомості, такі як житлові будинки, квартири, комерційні будівлі, земельні ділянки і т.д. Кожен тип має свої особливості і може бути більш

менш популярним залежно від регіону і сезону. В зв'язку з цим нерухомість характеризується потужним інвестиційним потенціалом. Вона може бути використана як для житла, так і для бізнесу. Деякі об'єкти нерухомості можуть приносити високий дохід за умови правильного управління. З розвитком технологій ринок нерухомості також змінюється. Зараз все більше людей користуються онлайн-платформами для пошуку та продажу нерухомості, а також управління своїми об'єктами.

Ринок нерухомості потребує ризико-орієнтованого підходу при аналізі та розробці маркетингової стратегії. При покупці нерухомості завжди є ризики, пов'язані зі зміною цін на ринку, несподіваними витратами на ремонт та обслуговування, а також можливістю неплатежів з боку орендарів, а також форс-мажорних ситуацій в країні. Такими як криза, пандемія, війна.

Це лише деякі з особливостей ринку нерухомості, які можуть вплинути на ціни та попит на нерухомість. У цілому, ринок нерухомості — це складне та динамічне середовище, яке постійно змінюється і вимагає від учасників ринку гнучкості та адаптивності.

Маркетинг на ринку нерухомості відрізняється від маркетингу інших галузей [8,9,11]. Дуже важливо розглядати об'єкт нерухомості з точки зору його життєвого циклу і місця на якому в даний момент знаходиться та чи інша нерухомість (дивитися рис. 1).

На рис. 1 представлена схема, що характеризує життєвий цикл об'єктів нерухомості.



Рис.1 Життєвий цикл об'єктів нерухомості

Нерухомість, як товар, має свої унікальні властивості, як експлуатаційні, так і естетичні. Ціна та попит на нерухомість залежить від її місця в життєвому циклі. Необхідно показати потенційному інвестору переваги та ризики, які пов'язані з придбанням нерухомості на ранніх чи пізніх стадіях життєвого циклу.

Так на першому етапі проводиться аналіз ринку нерухомості, вибір об'єкта нерухомості, формування стратегії проекту, інвестиційний аналіз, оформлення відповідної документації, залучення кредитних інвестиційних коштів. Стадія проектування містить вибір архітектурно-інженерної групи, розробку архітектурного та технічного проекту, керівництво проектуванням, організацію фінансування проекту. Ці дві стадії є мотиваційними та стадіями прийняття рішень. Вже на цій стадії, коли формується портфель інвестицій можлива продаж планової нерухомості та залучення інвесторів.

Наступна стадія життєвого циклу — стадія будівництва — ця стадія пов'язана з основною роботою по створенню об'єкта нерухомості. Інвестор може спостерігати за ходом будівництва. Ризики втрати інвестицій зменшуються і ціна об'єкту нерухомості зростає. На цій стадії маркетингологи повинні проводити роботу по збільшенню частки інвесторів. Це є основний етап будівництва коли маркетингологи формують ціну та потребують значного бюджету для руху даного об'єкту на ринку нерухомості.

Об'єкт нерухомості на данному етапі є первинним житлом з відповідною ціною.

Найбільш тривалою стадією життєвого циклу об'єкту нерухомості є стадія його експлуатації, обслуговування та ремонту. Нерухомість на цьому етапі стає вторинною і ціна її зменшується приблизно на 20%. В цей час може з'явитися необхідність заміни старих морально застарілих фондів, що входять, до складу об'єкта нерухомості на сучасні будівельні елементи. Враховуючи високий ступень конкурентності на ринку нерухомості, будівельники можуть збільшити свою конкурентоспроможність за рахунок виконання цієї стадії життєвого циклу будівлі.

Заключною стадією життєвого циклу об'єкту нерухомості є його закриття. Це може бути повна ліквідація, знос або якісно новий розвиток. Ця стадія життєвого циклу об'єкта нерухомості також вимагає значних витрат на ліквідацію. У випадку, якщо об'єкт нерухомості отримує новий якісний розвиток, витрати на зміну відносяться до витрат володіння з урахуванням нової функції.

Маркетинг на ринку нерухомості повинен бути спрямований на відображення переваг та особливостей конкретної нерухомості на різних стадіях її життєвого циклу, а також на залучення уваги потенційних інвесторів. Зважаючи на те, що нерухомість є продуктом зі своїми унікальними характеристиками та вимогами до них, маркетинг на ринку нерухомості відрізняється від інших галузей. Розглянемо основні особливості маркетингу на ринку нерухомості і проаналізуємо, як правильно просувати об'єкти нерухомості.

Однією з ключових особливостей маркетингу нерухомості є те, що продуктом є сама нерухомість. Це означає, що маркетинг повинен бути спрямований на відображення переваг та особливостей конкретної нерухомості. Для цього потрібно детально вивчити характеристики об'єкта, його розташування, середовище, в якому він знаходиться, а також особливості нерухомості, які можуть бути цікавими для потенційних покупців.

Другою важливою особливістю маркетингу на ринку нерухомості є залучення уваги потенційних клієнтів до об'єкта. Це можна зробити за допомогою рекламних кампаній, які повинні бути спрямовані на максимальне охоплення цільової аудиторії. Реклама може бути розміщена у печатних виданнях, на сайтах, у соціальних мережах, а також на зовнішніх рекламних поверхнях. Важливо також звернути увагу на презентацію об'єкта нерухомості, для чого можна використовувати професійну фотографію та відео.

Третьою особливістю маркетингу на ринку нерухомості є необхідність бути в курсі останніх трендів у цій галузі та використовувати новітні технології для просування об'єктів нерухомості. Наприклад, можна використовувати віртуальні тури для показу нерухомості, або ж використовувати дрони для зйомки об'єкта з висоти. Також можна використовувати інтерактивні майданчики для презентації об'єкта, де клієнти можуть детально ознайомитися з характеристиками та особливостями нерухомості. Отже, маркетинг на ринку нерухомості має свої особливості, які пов'язані з унікальним продуктом та специфікою галузі. Для успішного просування об'єктів нерухомості необхідно детально вивчити характеристики та особливості нерухомості, залучити увагу потенційних клієнтів до об'єкта та використовувати новітні технології для презентації нерухомості.

Складання плану маркетингу на ринку нерухомості — це важливий етап, який допоможе досягти успіху в просуванні об'єктів нерухомості. В таблиці 1 проаналізовано необхідні дії для просування об'єкта нерухомості на ринку продажів. Це кроки, що широко використовуються в маркетингу: визначення цілей; аналіз аудиторії, сегмен-

тування як нерухомості, так і клієнтів; вивчення конкурентів; визначення стратегії; вибір каналів просування; визначення бюджету маркетингових досліджень, їх виконання та контроль.

Нерухомість, як об'єкт маркетингового дослідження, має свої особливості, які варто враховувати при плануванні і проведенні маркетингових досліджень. Аналізуючи об'єкти нерухомості необхідно сконцентрувати свою увагу на особливостях поданих у таблиці 2.

Ринок нерухомості — це складний та динамічний сегмент економіки, де проведення маркетингових досліджень є ключовим етапом успішної роботи. Нерухомість, як об'єкт маркетингового дослідження, має свої особливості, які варто враховувати при плануванні та проведенні маркетингових досліджень. Для досягнення успіху необхідно враховувати особливості цього ринку та застосовувати індивідуальний підхід до клієнтів, як до інвесторів.

Таблиця 1.

#### Шляхи впровадження ефективного плану маркетингу на ринку нерухомості

№п\п	Дії	Шляхи впровадження
1.	Визначення цілей	Визначення цілей, які ви хочете досягти за допомогою маркетингу. Наприклад, збільшення продажів, привернення нових клієнтів, підвищення уваги до бренду тощо. Це є традиційними підходами маркетингу, але це перший крок для впровадження плану маркетингу.
2.	Аналіз аудиторії	Для того, щоб ефективно просувати об'єкти нерухомості, необхідно знати свою цільову аудиторію. Вивчення демографічних та інших характеристик потенційних клієнтів допоможе зрозуміти, як краще привернути їх увагу.
3.	Вивчення конкурентів	Аналіз конкурентів допоможе зрозуміти, як вони просувають свої об'єкти нерухомості та як можна використати їхні ідеї для свого маркетингового плану.
4.	Визначення стратегії	На основі вивчення цільової аудиторії та конкурентів можна визначити стратегію маркетингу на ринку нерухомості. Наприклад, це може бути реклама в соцмережах, створення веб-сайту з описом об'єктів нерухомості, організація тематичних заходів тощо.
5.	Вибір каналів просування	Для того, щоб цільова аудиторія дізналася про ваші об'єкти нерухомості, необхідно вибрати канали просування. Це можуть бути рекламні банери на сайтах, реклама в соцмережах, зовнішня реклама, реклама в печатних виданнях тощо.
6.	Визначення бюджету	На основі стратегії та вибраних каналів просування можна визначити бюджет на маркетинг на ринку нерухомості.
7.	Виконання та контроль	Останній етап — це виконання плану маркетингу та контроль результативності. Необхідно перевіряти ефективність кожного каналу просування та вносити корективи у план при необхідності.

Таблиця 2.

#### Особливості об'єктів нерухомості, як товару

1.	Висока вартість об'єктів нерухомості	Об'єкти нерухомості часто є дуже дорогими, тому важливо проводити детальне дослідження ринку та ретельно вивчати попит та пропозицію, щоб не ризикувати витратами. Маркетингові дослідження на ринку нерухомості мають на меті допомогти визначити оптимальну цінову політику та знайти способи залучення клієнтів.
2.	Довгий цикл продажу	Продаж нерухомості може займати багато часу, тому важливо проводити дослідження, які допоможуть зрозуміти, як краще залучати потенційних клієнтів та збільшувати шанси на успішну угоду. Маркетингове дослідження може включати аналіз потреб та очікувань клієнтів, розробку і просування привабливих пропозицій, а також надання кращого сервісу.
3.	Індивідуальний підхід до клієнтів	Кожен клієнт має свої потреби та очікування щодо об'єкта нерухомості, тому важливо проводити дослідження, які допоможуть зрозуміти, як краще пропонувати об'єкти та як залучати нових клієнтів. Маркетингове дослідження на ринку нерухомості може допомогти визначити ключових клієнтів та їх потреби, а також розробити ефективну стратегію продажу.
4.	Важливість репутації	Репутація має велике значення у сфері нерухомості, тому важливо проводити дослідження, які допоможуть зрозуміти, як клієнти сприймають ваш бренд та як можна покращити свою репутацію на ринку. Маркетингове дослідження може включати аналіз іміджу компанії, оцінку репутації конкурентів та розробку стратегій для покращення іміджу бренду.
5.	Зміна ринкових умов	Ринок нерухомості постійно змінюється, тому важливо проводити дослідження, які допоможуть зрозуміти, як зміни умов впливають на попит та пропозицію на ринку, а також як можна адаптуватися до цих змін. Маркетингове дослідження може включати аналіз тенденцій та прогнозування майбутнього розвитку ринку нерухомості.

#### Література:

1. Фридман Дж., Ордуэй Ник. «Анализ и оценка приносящей доход недвижимости. Пер. с англ.-М.; Дело, 1977, 480 с.
2. Асаул А.М., Павлов В.І., Пилипенко І.І., Павліха Н.В., Кривов'язюк І.В. Ринок нерухомості: навч. посібн., вид. 3-тє. К.: Кондор, 2010, 336 с.
3. Гриценко Е.А. Рынок недвижимости: закономерности становления и функционирования (Вопросы методологии и теории). Х.: Бизнес Информ, 2002, 284 с.
4. Ринок нерухомості: Навчальний посібник. За заг. ред. І.І.Пилипенка. К.: ІВЦ Держкомстату України. 2004, 387 с.
5. Економіка нерухомості: Навчальний посібник. За заг. ред. І.І. Пилипенка. К.: ІВЦ Держкомстату України, 2004, 350 с.
6. Кучеренко В. Р., Заєць М. А., Захарченко О. В., Сментина Н. В., Улибіна В. О. Оцінка та управління нерухомістю: навчальний посібник. Одеса: Видавництво ТОВ «Лерадрук», 2013, 272 с.
7. Максимов С.Н. Управление развитием недвижимости. Учебник / С.Н. Максимов. — М.: «Проспект», 2015, 329 с.
8. Вега Т. Маркетинг недвижимости. Выставка-продажа одного объекта. Маркетинг-технология «Золотая середина». Litres, 2018.
9. Оцінка та управління нерухомістю: навчальний посібник / [В. Р. Кучеренко, М. А. Заєць, О. В. Захарченко, Н. В. Сментина, В. О. Улибіна]. Одеса: Видавництво ТОВ «Лерадрук», 2013, 272 с.
10. Ринок нерухомості та іпотека: підручник / [М.А. Коваленко, Ю.М. Сафонов, О.В. Лепьохіна, Т.О. Мацієвич]. — [2-ге видання, доповнене] Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС 2015, 528 с.
11. Gosp M. Marketing Campaign Development: What Marketing Executives Need to Know About Architecting Global Integrated Marketing Campaigns. Happy About, 2008, 176 p.



Рокицька А. В.



Огороднік І.В.

**Рокицька А. В.,**

здобувач першого рівня вищої освіти  
КНУБА, пр. Повітрофлоський, 31, Київ  
✉ rokytska10@gmail.com ☎ +38 (098) 053 55 42

**Огороднік І. В.,**

к.т.н, доцент, КНУБА;  
директор Науково-дослідного центру технології кераміки,  
ТОВ «Фірма Порцекс-ВРБТ»,  
вул. Київська, 221, м. Бровари, Київська обл., 07400;  
✉ ogorodnik.iv@knuba.edu.ua ☎ +38 (050) 331 59 12

**Anna Rokytska,**

a first-level graduate of higher education  
KNUBA, Povitroflloskyi Ave., 31, Kyiv  
✉ rokytska10@gmail.com ☎ +38 (098) 053 55 42

**Iryna Ogorodnyk,**

Ph.D., Associate Professor, KNUBA  
Director of the Ceramic Technology Research Center  
LLC "Firm Porceks-VRBT", Ltd.  
street Kyivska, 221, Brovary, Kyiv region, 07400  
✉ porceks@ukr.net ☎ +38 (050) 331 59 12

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННОЇ ТОРГІВЛІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

### ADVANCED FEATURES AND DEVELOPMENT ELECTRONIC COMMERCE IN THE MINDS OF UKRAINE

**Анотація.** У даній статті висвітлено основне пояснення поняття «електронна комерція» та розглянуто її різновиди та типи. Наведено новітні форми взаємодії учасників ринку товарів і послуг, що мають відношення до реалізації електронної комерції. Виявлено чинники, що стимулюють подальший розвиток даного економічного явища. Визначено міжнародне регулювання електронної торгівлі. Розглянуто головні переваги та недоліки електронної комерції як форми міжнародної торгівлі. Доведено, що вигоди від зростання електронної комерції виявилися набагато більшими, порівняно з його недоліками. Встановлено, що електронна комерція пов'язана безпосередньо з великою кількістю бізнес-операцій, незалежно від того, чи йдеться про роздрібну торгівлю чи операції між компаніями. Однак ефективність впровадження електронної комерції тісно пов'язана з інституційними змінами традиційних методів торгівлі. Також проаналізовано тенденції розвитку електронної комерції у світі. Представлено результати аналізу стану електронної комерції в Україні у порівнянні з іншими зарубіжними державами.

**Ключові слова:** торгівля, електронна комерція, Інтернет-торгівля, електронний бізнес.

**Annotation.** This article highlights the basic explanation of the concept of "electronic commerce" and considers its varieties and types. The latest forms of interaction between participants in the market of goods and services related to the implementation of electronic commerce are given. Factors stimulating the further development of this economic phenomenon have been identified. The international regulation of electronic commerce is defined. The main advantages and disadvantages of electronic commerce as a form of international trade are considered. The main advantages and disadvantages of electronic commerce as a form of international trade are considered. It has been proven that the benefits of the growth of e-commerce have far outweighed its drawbacks. E-commerce has been found to be directly related to a large number of business transactions, whether retail or business-to-business. However, the effectiveness of e-commerce implementation is closely related to institutional changes in traditional trading methods. Trends in the development of e-commerce in the world are also analyzed. The results of the analysis of the state of e-commerce in Ukraine in comparison with other foreign countries are presented.

**Keywords:** trade, e-commerce, Internet trade, e-business.

#### Актуальність проблеми

Інтенсивний розвиток сучасного ринку Інтернет-розрахунків все більше сприяє становленню електронного бізнесу у господарській діяльності комерційних установ, які реалізують цілий спектр послуг, серед яких можна виділити не лише продаж та доставку товарів через мережу, а й можливість оплати різноманітних off-line сервісів. В сучасних умовах господарювання даний вид підприємницької діяльності все більше набуває перспективності та прибутковості. XXI століття відкрило нову еру можливостей для суспільства, де здійснюються електронні платежі та покупки. Суспільство змінюється, адаптується до змін і рухається до якісних рівнів економічних відносин, а інформаційні технології все ширше використовуються в сучасній економіці. Такі зміни дозволяють використовувати різні способи комунікації між виробниками та споживачами, що дозволяє з легкістю вести свій бізнес і збільшувати прибуток. Саме тому на сьогоднішній день це дослідження є актуальним.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

Глобалізація має важливий вплив у світі бізнесу, і постійний розвиток технологій робить це можливим. Все більша кількість компаній створюється на основі іннова-

ційних бізнес-моделей та засадах електронної комерції. Завдяки прогресу в галузі технології, транзакції через будь-який цифровий носій інформації стають необхідними практично для будь-якої компанії, яка надає товар чи послугу.

Електронна комерція стає тенденцією, яку не можна заперечувати у нашому щоденному житті. В електронній комерції покупець і продавець мають тип спілкування, який відрізняється від традиційного бізнесу. В даній діяльності вони не дивляться один на одного особисто, покупець просто може подивитися на товар на фотографія. Відеоконтент це необхідна складова сучасного цифрового маркетингу [1]. У цьому новому середовищі спілкування між компанією та замовником відрізняється, саме через коментарі та огляди, зроблені в електронному магазині, на вебсторінках, в блогах або у соціальних медіа. Цілком зрозуміло, що основою електронної комерції є Інтернет. Витоки Інтернету відносяться до 1960-х років. Попередник Інтернету, APRANET був заснований як дослідницька мережа, що з'єднавала лише декілька дослідницьких інститутів у США [2]. Комерційне використання Інтернету було дозволено тільки з початку 1990 року. Таким чином, було погоджено, що еволюція електронних послуг розпочалася приблизно в цей час. Серед

перших великих комерційних фірм, які користувалися можливостями Інтернету, були Dell, Cisco і Amazon.

Еволюція електронної комерції напряму пов'язана з поєднанням інновацій розвитку та технологій. Хоча Інтернет вже з'явився в кінці 1960-х років, електронна комерція почала стрімко розвиватись з приходом Всесвітньої павутини і браузерів у 1990-х роках. Розробка додатків електронної комерції, що використовувалися для здійснення фінансових операцій в електронному вигляді, розпочалася ще у 1970-х роках. Однак, використання цих додатків було обмежене фінансовими інститутами, великими корпораціями та деякими підприємствами [2].

На початку 1970-х років зріс попит на електронний переказ коштів — кошти можуть бути перенаправлені в електронному вигляді від однієї організації до іншої. Також наприкінці 1970-х, почалось використання електронного обміну даними. Він дозволив автоматизувати потік інформації між організаціями для досягнення бажаної системи управління ланцюгами постачання та сприяв розвитку конкурентоспроможності організації [12].

З 1990-х років електронна комерція додатково включала системи планування ресурсів підприємства, інтелектуального аналізу даних і зберігання даних. Термін «Електронна комерція» був винайдений на початку 1990-х років, коли Інтернет став комерці-

лізованим, і користувачі почали збиратися, щоб брати участь у Всесвітній павутині. Саме тому межі електронної комерції були швидко розширені. Нижче, у таблиці 1, наведені роки важливих історичних подій в еволюції електронної комерції.

У розвитку електронної комерції виділяють певні періоди, що дозволяє простежити еволюцію її становлення. Розглянемо детальніше кожний період електронної комерції у таблиці 2.

Електронна комерція та традиційна торгівля мають схожість. Обидві передбачають обмін товарами та послугами, потребують спілкування з клієнтами та стратегії виходу на нові ринки. Принципова відмінність полягає в тому, що електронна комерція проводиться на цифровій платформі та потребує підключення до Інтернету [11]. На сьогодні рівень конкуренції в діловому світі найвищий за всі часи, тому компанії повинні знаходити нові шляхи, щоб залучати та підтримувати клієнтів. Тому, бізнес розширює свій ринковий сегмент через Інтернет-канали.

Враховуючи, що бізнес — це будь-яка діяльність, в тому числі одноразова, та спрямована на отримання прибутку, то електронна комерція повинна розглядатися як форма бізнесу, що значною мірою реалізовується шляхом впровадження в бізнес-процеси інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем.

Таблиця 1.

### Еволюція електронної комерції

Роки	Характеристика етапу
1984	Поява електронного обміну даними, стандартизований через ASC X12. Це гарантувало, що компанії зможуть надійно виконувати операції один з одним.
1992	CompuServe пропонує своїм клієнтам роздрібні продукти. Перші покупки речей з власного комп'ютера.
1993	Створення Давидом Чаумом електронних грошей. Це була система eCash. Ідея eCash полягала в тому, що вона зберігала готівку, по суті, на жорсткому диску персонального комп'ютера, а для її управління і транзакцій доводилося мати спеціальне програмне забезпечення та підключення до Інтернету.
1994	США здійснили першу покупку через Інтернет за допомогою технології eCash. Виникнення першої російської платіжної системи "Золота корона". Створення Netscape, що забезпечило користувачів простим браузером для пошуку в Інтернеті та безпечної технології транзакцій під назвою Secure Sockets Layer.
1995	Створення перших мікропроцесорних карт для невеликих покупок. Платіжна система Mondex розробила перший у світі електронний гаманець. Запуск двох найбільших імен в електронній комерції: Amazon.com і eBay.com.
1996	Було розроблено нормативні документи та стандарти ринку електронних платежів, а також інформаційної безпеки. Саме тоді затвердились однорідні вимоги до технології виготовлення мікропроцесорних карток і спеціальний протокол для електронних транзакцій, який називається SET. DSL або цифрова абонентська лінія забезпечує швидкий, постійний доступ до мережі Інтернет для абонентів по всій Каліфорнії.
1997	Створення російської електронної платіжної системи CyberPlat.
1998	У березні перша транзакція була проведена в CyberPlat, а в серпні того ж року перший платіж був здійснений через Інтернет на користь оператора Beeline
1999	Роздрібні витрати через Інтернет сягають 20 мільярдів доларів, повідомляє Business.com.

Таблиця 2.

### Періоди еволюції електронної комерції у світі

Назва періоду	Роки	Характеристика періоду
Період становлення	50–60-ті роки	Епоха "Mainframe-based" додатків. Найпершими додатками були програми для замовлення квитків, а також обмін відомостями між службами для підготовки рейсів. Із появою технологій для автоматизації продажів відбулось зниження вартості послуг.
Період фрагментації	70-ті роки	У США був створений спеціальний комітет TDCC (Transportation Data Coordination Committee) погодження індустріальних стандартів в авіації, залізничному та автомобільному транспорті. Результати діяльності цієї комісії дали підґрунтя для нового стандарту для організації електронного обміну даними між організаціями — Electronic Data Interchange. В цей час в Англії проходять процеси пошуку стандартних рішень для обміну даними орієнтовану на торгівлю.
Період розвитку	80–90-ті роки	На підставі стандартів GTDI з'являється міжнародний стандарт EDIFACT (Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport), прийнятий ISO. Широко використовується електронна пошта.
Період стандартизації	1990–2000 рр.	У 1997 році з'явилась інша, актуальніша проблема — можливість проведення операцій електронної комерції через Інтернет. З'явився новітній різновид бізнесу — роздрібна торгівля через Інтернет. В тому ж році створено стандарт — OBI (Open Buying on the Internet). У ньому декларуються принципи, яким повинне відповідати програмне забезпечення для електронної комерції.
Період конвергенції	2000-ті роки до тепер	Вживання суб'єктами всіх перспектив електронної комерції, існування елементів традиційної та електронної торгівлі.



Серед основних принципів функціонування електронної торгівлі виділяють:

- забезпечення вільної можливості для підприємницької діяльності з використанням інформаційних та телекомунікаційних технологій;
- свобода вибору контрагента, а також види та форми діяльності, пов'язані з реалізацією товарів, виконанням робіт та наданням послуг у сфері електронної торгівлі;
- свобода здійснення електронних договорів;
- рівність і захист прав учасників електронної торгівлі;
- суворе дотримання правових норм, що регулюють комерційну діяльність, ділову етику, а також права та інтереси суб'єктів електронної торгівлі;
- створення системи електронної комерції з урахуванням потреб не лише вітчизняного ринку, а й світового;
- вся інформація, що існує у системі електронної комерції, має бути актуальною та правдивою;
- зручне та доступне використання технологій електронної комерції для великого кола користувачів;
- забезпечення швидкого реагування системи електронної комерції на запити клієнтів.

Електронна торгівля об'єднує широкий спектр бізнес-операцій, включаючи: встановлення контакту, наприклад, між потенційними замовником і постачальником; обмін інформацією, до- і післяпродажну підтримку; продаж; електронну оплату (з використанням електронного переказу грошей, кредитних карток, електронних чеків, електронних грошей); управління доставкою та її відстеження для фізичних продуктів, безпосередню доставку продуктів, що можуть розповсюджуватися електронним шляхом; організація створення та функціонування віртуальних підприємств — групи незалежних компаній, які об'єднують свої зусилля для одержання можливостей надання продуктів і послуг, недоступних для окремих компаній; бізнес-процеси, що розділяються, спільно керовані компанією та її торговими партнерами [6].

У електронній комерції виділяють такі її типи:

1. Інтернет-магазини (online купівля відбувається, коли клієнт придбав товар через цифрову платформу).
2. Інтернет-банкінг або online-банкінг. Майже всі банки сьогодні пропонують послуги через свій веб-сайт. Це дає можливість переказувати гроші, подавати заявки на збільшення кредитного ліміту, а також оплачувати кредитні картки в Інтернеті. Також можна використати веб-сайт, щоб відкрити кредит.
3. Електронні платежі. Деякі компанії мають послугу електронних платежів, яка дозволяє здійснювати операції в цифровому режимі.
4. Купівля квитків online. Ця послуга електронної комерції допомагає споживачам купувати квитки на концерти та фільми. Існує можливість купити квитки на автобус, метро, потяг чи літак в Інтернеті.
5. Інтернет-аукціони. Люди можуть розміщувати ставки та купувати товари за конкурентними цінами в Інтернеті.

На сьогоднішній день світова практика зовнішньоекономічної діяльності закріпилася у розвитку моделей світової електронної комерції, у впровадженні пілотних проектів у цій галузі, а також у розробці загальних юридичних і правових основ ведення бізнесу в Інтернеті. Згідно з положеннями Європейської комісії в ESPRIT існують наступні види міжнародної електронної комерції, які здобули визнання та широке застосування серед під-

приємців, які є суб'єктами зовнішньоекономічної діяльності:

- бізнес-бізнес (business-to-business, **B2B**). Даний вид визначає взаємодію компаній з компаніями в електронному середовищі;
- бізнес-споживач (business-to-consumer, **B2C**). Дана торгівля між компаніями й споживачами, містить збирання інформації клієнтами;
- бізнес-адміністрація (business-to-administration, **B2A**) — визначає взаємодію компаній з адміністративними органами.
- споживач-адміністрація (consumer-to-administration, **C2A**) — визначає взаємодію споживачів з адміністрацією. Інтегровані галузеві портали дають змогу відповідним інституціям та їхнім локальним відділенням отримувати вичерпні дані й відстежувати галузеві тенденції;
- споживач-споживач (consumer-to-consumer, **C2C**) — просто торгівля між приватними індивідуумами або споживачами. Цей тип електронної комерції характеризується ростом електронних ринків і мережних аукціонів, особливо у вертикальних галузях промисловості (рис.1).



Рис. 1. Основні види міжнародної електронної комерції

Продажі електронної комерції у всьому світі продовжують зростати, піднявшись на 23% та досягнувши \$ 2,3 трлн. За підрахунками eMarketer, продажі електронної комерції становили десяту частину загального роздрібного продажу в усьому світі в 2020 році. Ринок роздрібною електронної комерції в США є одним з найбільших у світі, на нього припадає 20% світових продажів. У США 9% роздрібних продажів у 2019 році здійснювалися в Інтернеті, що дорівнює 451 млрд. доларів США.

Мобільний телефон є ключовим рушієм зростання електронної комерції у Північній Америці. У 2020 році m-commerce склала 34% продажів електронної комерції в США, випереджаючи частку Канади в 29%. Не зважаючи на швидке зростання електронної комерції в США та Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, в Європі воно є найповільнішим у світі. Західна Європа визначає найповільніші темпи приросту продажів електронної комерції будь-якого регіону. У 2021 році електронна комерція становила 11% роздрібних продажів у Західній Європі. Великобританія є чітким лідером електронної комерції в Європі, за прогнозованими продажами в 2020 році становила 110 млрд. дол. США [5].

В даний час між електронною торгівлею та традиційними методами ведення бізнесу все ще спостерігається великий розрив. Це зокрема характерно для роздрібною торгівлі товарами, яка вважається одним з локомотивів розвитку ЕК. Електронна торгівля розвивається випереджаючими темпами щодо традиційних методів ведення бізнесу.

Перевагами електронної торгівлі є:

1. Глобальний доступ — практично з будь-якої точки світу користувачі мережі Інтернет може бути клієнтом будь-якої компанії, яка веде свій бізнес за допомогою методів ЕК;
2. Більш широке профілювання компанії, включаючи можливості ведення операцій міжнародної торгівлі.

Асортимент у компаній, що працюють із застосуванням методів ЕК, теоретично може бути представлений всією сукупністю товарів (послуг), що пропонуються в рамках глобального економічного простору.

3. Безперервна робота 24 години на добу сім днів на тиждень 365 днів на рік гарантує придбання і поставку необхідної продукції в будь-який момент часу незалежно від вихідних і святкових днів. Це стає особливо зручним споживачам з країн світу з жорстким трудовим законодавством, лімітуючим години роботи традиційних магазинів і сервісних компаній.
4. Високий ступінь персоналізації угод: можливість запропонувати кожному клієнту саме те, що йому потрібно.
5. Економія витрат. Така економія відбувається за рахунок мінімізації площ складів, скорочення персоналу, істотного зменшення офісних приміщень [3].

Разом з тим у електронній торгівлі, як і у будь-якого іншого бізнесу, є певні недоліки, до числа яких можна віднести наступні:

1. Покупець в останній момент укладання угоди не може оцінити реальні властивості, що їм купується (спробувати, потримати в руках, понюхати, приміряти товар або отримати об'єктивне уявлення про характер наданої послуги).
2. Операції електронної торгівлі пов'язані з великими ризиками непостачання товару (послуги) і відмовами в поверненні сплачених коштів, ніж традиційні бізнес-операції. При традиційній торгівлі покупець завжди бачить товар або спочатку погодить потрібну йому послугу, які він купує, передаючи продавцеві готівку або розраховуючись іншими платіжними засобами, натомість тут же отримує товар або споживає відповідну послугу.
3. Численні питання викликає безпека здійснення електронної торгівлі. Проблеми як з безпекою комп'ютерних систем в цілому, так і з забезпеченням безпеки транслюється особистої інформації споживача в системах ЕК, безсумнівно, існують. Є чимало історій, пов'язаних з крадіжкою персональних даних покупців через підставні сайти інтернет-компаній і інтернет-банків, що призвело до втрат коштів, що знаходяться на банківських рахунках.

Оскільки торгівля дедалі більшою мірою залежить від оцифрування та здійснюється через Інтернет, для політиків стає важливим впливати на процеси, які виникають в мережі Інтернет. Політика міжнародної торгівлі розробляється в іншому напрямі, ніж політика Інтернету. Коли перша передбачає переговори між державами за закритими дверима, управління Інтернетом характеризується багатостороннім діалогом.

Існує декілька двосторонніх угод про вільну торгівлю, котрі прийняли положення про значення для електронної комерції та цифрової економіки. Угода про вільну торгівлю між Сінгапуром та Австралією в 2003 році була однією з перших таких договорів, яка включала окрему главу про електронну комерцію [7]. Вона також охопила багато питань, які все ще залишаються важливими на міжнародній арені, таких як електронна сертифікація, захист даних і прав споживачів в Інтернеті. Багато угод про вільну торгівлю, узгоджених Сполученими Штатами та ЄС, включають положення, що пов'язані з електронною комерцією. Загальні питання, що розглядаються у цих угодах, включають прозорість, митні збори та винятки.

TISA, яка є єдиною угодою з надання послуг, все ще перебуває на обговоренні між 23 країнами-членами СОР, 13 з яких є країнами, що розвиваються. TISA спрямована на відкриття ринків та вдосконалення правил у таких сферах, як ліцензування, фінансові послуги, телекомунікації, електронна комерція, морський транспорт та факівці, які тимчасово переїжджають за кордон для надання послуг [5].

Електронна торгівля стосується декількох угод СОР. Згідно з рішенням міністрів, яке започаткувало робочу програму СОР щодо електронної торгівлі в 1998 році, її Генеральна Рада ви-

значила питання, які повинні бути розглянуті радами СОР, пов'язаними з торгівлею товарами, послугами та інтелектуальною власністю, а також Комітетом з питань торгівлі та розвитку. На 10-ій міністерській конференції СОР у Найробі в 2015 році держави-члени вирішили продовжити роботу в рамках робочої програми СОР з електронної комерції та доручити Генеральній Раді проводити періодичні перевірки та підтримувати існуючу практику не встановлення митних зборів на електронні передачі. З тих пір різні групи держав організували семінари та заходи для обговорення взаємозв'язку між електронною комерцією та торгівельною політикою. Прикладами є МІКТА, що включає Австралію, Індонезію, Мексику, Республіку Корея, Туреччину та Friends of the E-commerce for Development (FED).

Електронна комерція змінює світову економіку, створюючи нові можливості та проблеми. Однак багато правил, що регулюють глобальну економіку, включаючи угоди Світової організації торгівлі (СОТ), були розроблені десятиліттями до того, як цифрова торгівля була важливою частиною світової торгівлі. Багато членів СОТ стверджують, що організації потрібно оновити свої правила, щоб відобразити нові реалії глобальної економіки. Зважаючи на цю мету, країн-членів СОТ, які представляють понад 90% світової торгівлі, погодилися розпочати переговори щодо торговельних аспектів електронної комерції з метою створення нової угоди СОТ.

Необхідно приділяти належну увагу готовності країн до участі в електронній комерції та в цифровій економіці. Для більшості країн, що розвиваються, це потребуватиме додаткової підтримки з боку міжнародних спільнот [6]. Типовий закон UNCITRAL про електронну торгівлю є своєрідним зразком для національного законодавства в даній сфері для різних країн, прийнятий в Нью-Йорк в 1996 році.

Отже, в системі пріоритетів провідних світових держав питання електронної торгівлі зайняли важливе місце. Той факт, що електронна комерція є потужним важелем економічного зростання і надійною платформою для переходу національних економік на якісно новий рівень розвитку, орієнтований на наукомісткі інформаційні технології, вже ні у кого не викликає сумнівів.

Розвиток інформаційного суспільства в Україні потребує пришвидшення інформатизації в усіх сферах людської діяльності, прискорення темпів створення національної інформаційної інфраструктури ринку електронних послуг. Електронна комерція позитивно впливає на економічну діяльність. Наприклад, скорочуються витрати на рекламу. Вона сприяє створенню нових підприємств, електронних ринків, віртуальних торгових мереж, а також зростає кількість робітників, які працюють дистанційно.

Україна за багатьма показниками розвитку телекомунікацій відстає не тільки від розвинених країн світу, але і від країн Східної Європи. Україна не є достатньо розвинена у сфері ЕК, тому потрібно інтенсивніше впроваджувати перспективніші послуги, формуючи необхідні умови для цифровізації ліній зв'язку, застосування нових технологій, розвитку конкуренції і створення можливостей для безперешкодного входження на ринок нових операторів.

В найбільш розвинених країнах світу, частка цифрової економіки у ВВП складає приблизно від 6 до 15%. У 2030 році вона може сягнути позначки 50%. В Україні цей показник сягає лише 4%. Однак, завдяки цифровим технологіям, у держави з'явився шанс і вона може зробити інноваційний стрибок, що дозволить кардинально покращити рівень життя громадян та призведе до економічного розвитку [4].

Треба зазначити, що в Україні існує спільнота, що має заслужені досягнення за останні 5 років з реалізованими проектами. Команда створила відому структуру Електронної держави та має перелік ключових орієнтирів, котрі потрібно досягнути і стосовно яких почав формуватись пакет проектів, які потрібно застосовувати на національному рівні.

На сьогодні, в Україні активно розвивається модель електронної комерції G2B (держава — бізнес), зокрема президентський проект «Держава в смартфоні» — ДІЯ, який має на меті покращити доступ громадян до електронних послуг. Всього в Україні існує понад 300 державних реєстрів, котрі потрібно упорядкувати, а також налагодити між ними взаємодію. До 2024 року 90% державних послуг планують перевести в онлайн-сервіси. Проте, «Держава в смартфоні» це лише частина того, що планується зробити, але у зв'язку з тим, що в країні настали важкі часи більшість нововведень перенесли [4].

У травні 2019 року було презентовано стратегію розвитку цифрової економіки «Україна 2030Е». Це програма, яка стосується всіх сфер економіки і пояснює яким чином робити цифровізацію і що це дасть в результаті. Документ описує переваги та шлях розвитку економіки до 2030 року. Провідна група експертів, яка писала цю стратегію базувалась на урядовій програмі «Цифровий порядок денний України», який почався ще в 2016 році. В ньому обговорювались питання про вдосконалення різних сфер економіки. Мова йде про електронне урядування, сферу публічних послуг, охорону здоров'я, освіту, муніципальну сферу, інфраструктуру та транспорт, тобто про всі галузі промисловості. Нажаль, ці програми не мали успіху при попередньому уряді. Проте, у 2019 році вони доопрацьовувались в Інституті майбутнього, саме так сформувалась програма «Україна 2030Е». Вона більш сучасна, модернізована, має кращий іміджевий вигляд та показує всі переваги цифровізації для української економіки.

Отже, посприяти розвитку інформаційного суспільства та електронній комерції в Україні може:

- зміна аналогових мереж зв'язку на цифрові;
- розвиток телекомунікаційної сфери, більше того потрібна державна підтримка операторів у цифровізації сільської і гірської місцевості;
- застосування новітніх ІКТ в різноманітних сферах господарської діяльності;
- потрібно створити вузли високошвидкісного доступу Інтернет в усіх частинах країни, оскільки Інтернет є базою для розвитку електронної комерції в Україні;
- вдосконалити якість безпеки передавання й оброблення даних, створити нормативно-правову базу електронних операцій;
- замінити паперову форму подання інформації електронною і сформувати глобальну систему передавання інформації (на основі Інтернету).

- враховуючи швидкість розповсюдження новітніх технологій, існує невідкладна необхідність в прийнятті закону «Про електронну комерцію», який сприятиме розвитку електронної комерції та допоможе уникнути помилок на шляху її розвитку.

Розвиток індустрії інформаційних технологій та електронної комерції в Україні за останні роки свідчить про новий сегмент для використання в економіці країни. Оскільки, зростає популярність онлайн магазинів та інформаційно-комунікаційних технологій, необхідно застосовувати інновації, а також впровадити цифровізацію, щоб зробити покупки в Інтернет якомога зручнішими. Дане питання повинне бути пріоритетним в Україні, тому що електронна комерція допоможе зробити економіку конкурентоспроможною. Важливо проводити навчальні тренінги та майстер-класи, які б піднімали рівень технічних навичок працівників різних секторів економіки, освіти, залучаючи представників державного апарату — держслужбовців.

### Висновки

Таким чином, електронна комерція є багатограним феноменом, який розвивається швидкими темпами із еволюцією міжнародних економічних відносин. Аналіз етапів розвитку електронної комерції та її ролі у міжнародних економічних відносинах дозволив виявити, що вона відіграє значну роль у формуванні міжнародної торгівлі і несе позитивний ефект для країн. Період становлення електронної комерції розпочався у 50-х роках ХХ століття, проте стрімкий розвиток настав у 90-х роках, з появою браузерів. Розвиток електронної комерції спричинює створення нових ринкових моделей. Існують наступні види електронної комерції: бізнес-бізнес, бізнес-споживач, споживач-бізнес, споживач-споживач, бізнес-уряд, уряд-уряд, уряд-споживач.

У багатьох країнах, що розвиваються, та країнах з перехідною економікою, покупці в Інтернеті продовжують представляти невелику частку населення, тоді як у більшості розвинених економік більше половини населення купує товари чи послуги в мережі Інтернет. Український ринок електронної комерції показує її стрімкі темпи розвитку. Найпопулярнішим видом електронної комерції в Україні є тип B2C, що є основою роздрібно торгівлі в мережі Інтернет. Сегмент B2C представлений такими відомими Інтернет-магазинами, як Rozetka, Modnakasta та Le-Boutique.

### Література:

1. Алавердян Л.Н., Романенко Л.В., Огороднік І.В., «Відеокомент як необхідна складова сучасного цифрового маркетингу//Международный научный периодический рецензируемый журнал «Modern scientific researches», 2020/6
2. Возний М. І. Міжнародна електронна торгівля. Проблеми та перспективи розвитку в Україні /М. І. Возний // Збірник наук. праць Буковинського університету. Економічні науки, 2011, вип. 7, с. 243–252.
3. Дергачова В.В. Глобалізація бізнесу та Інтернет-маркетинг: перспективи і проблеми: монографія. Донецьк, 2015, 216 с.
4. Економічна стратегія України 2030. URL:<https://strategy.uifuture.org/>
5. Козак Ю.Г. Міжнародна торгівля. Підручник. / За ред. Козака Ю.Г., Логвінової Н.С., Барановської М.І., 4-те вид. перероб. та доп., К.: Центр учбової літератури, 2015, 512 с.
6. Лігоненко Л. Інтернет-торгівля: стан розвитку та особливості бізнес-планування. Актуальні проблеми економіки, 2003, 43 с.
7. Маєвська А. А.Електронна комерція і право: навч. посіб. Харків, 2014, 256 с.
8. Плєскач В.Л. Електронна комерція: навч. посіб. Київ: Знання, 2010, 535 с.
9. Тардаскіна Т. М. Електронна комерція: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011, 244 с.
10. Тютюнникова С.В., Мельнік Л.О., Козуб В.О., Носач Л.Л. Міжнародна економіка: конспект лекцій. Х.: ХДУХТ, 2018, 396 с.
11. Федішин І.Б. Електронний бізнес та електронна комерція (опорний конспект лекцій для студентів напрямку «Менеджмент» усіх форм навчання) / І.Б. Федішин. — Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016, 97с.
12. Царьов Р. Ю. Електронна комерція: навчальний посібник з підготовки бакалаврів. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2017, 112 с.
13. Юдін О. М. Системи електронної комерції: створення, просунення і розвиток: навч. посіб. Полтава: РВВ ПУЕТ, 2018, 201 с.



## ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ВІДДІЛ

### ВІДДІЛ ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЗАМОВНИКУ:

- отримання початково-дозвільної документації для розробки проекту, узгодження з органами державної влади місця розміщення об'єкта, отримання технічних умов на приєднання об'єкта до інженерних мереж і комунікацій;
- надання послуг (виконання робіт) із складення технічних завдань, проектних пропозицій, проведення наукових досліджень і техніко-економічних обстежень, виконання інженерно-розвідувальних робіт з будівництва об'єктів;
- складання завдання на інженерні вишукування;
- розробку проектної документації на всіх стадіях;
- розробку робочої документації;
- розробку містобудівних об'ґрунтувань, які включені в структуру передпроектної документації;
- розробку розділу охорони навколишнього середовища;
- контроль якості робіт на всіх рівнях;
- авторський нагляд за будівництвом об'єктів.

Розробляє проекти будівель і споруд для нового будівництва, реконструкції і технічного переозброєння діючих підприємств будівельної промисловості, сільського господарства, житлових і громадських будівель, торгових та логістичних комплексів, санаторіїв, баз відпочинку.

Проводить технічне обстеження будівель з метою отримання достовірної інформації про стан будівельних конструкцій та інженерних комунікацій, визначення їх придатності для подальшої експлуатації зі складанням переліку необхідних робіт з реконструкції та капітального ремонту будівель;

Проводить дослідно-конструкторські роботи, розробляє і аналізує проектно-кошторисну документацію для будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту) промислових, громадських, житлових та спеціальних будівель і споруд.

Розробляє науково-обґрунтовані заходи, спрямовані на зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів (далі — ПЕР) суб'єктами господарювання, на основі проведення енерготехнологічних і техніко-економічних досліджень.

Проектування ведеться для різних інженерно-геологічних умов будівництва, в тому числі, в сейсмічних районах.

Проектна документація розробляється відповідно до вимог нормативних документів, з максимально можливим виконанням вимог і побажань Замовників, пошуком найсучасніших інженерних рішень проектованих будівель і споруд.

Великий досвід роботи сертифікованих спеціалістів відділу забезпечує високу якість виконання робіт і гарантує відповідність всієї документації вимогам законодавства.

Проектування здійснюється за допомогою програмних комплексів Ліра, ФОК-ПК, Мономах, SCAD. Також застосовується 3D-моделювання, що дозволяє надати замовнику візуалізацію конструкторських і архітектурних рішень.



e-mail:

[ndibmv@ukr.net](mailto:ndibmv@ukr.net)



**ПРОЕКТНО-  
КОНСТРУКТОРСЬКИЙ  
ВІДДІЛ**

#### UDK 691.328 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-02

Дворкин Л. И., Бордюженко О. М., Макаренко Р. М. / Властивості дрібнозернистих самоущільнювальних бетонів із добавкою полімеру // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 10–13. Рис.: 4. Табл.: 3. Бібліографія: 17 назв.

Наведено результати досліджень властивостей самоущільнювальних дрібнозернистих бетонів з використанням поліфункціонального модифікатора. Показано, що при оптимальному складі та вмісті такого модифікатора, що включає в себе полівінілацетатну дисперсію та суперпластифікатор, стає можливим суттєво покращити властивості самоущільнювальних бетонів.

Ключові слова: Самоущільнювальний бетон, поліфункціональний модифікатор, полівінілацетатна дисперсія, міцність, водопоглинання, стираність.

Leonid Dvorkin, Oleh Borduzhenko, Ruslan Makarenko / Properties of fine-grained self-compacting concrete with polymer additive // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 10–13. Fig.: 4. Table: 3. Bibliography: 17 titles.

The results of studies of the properties of self-compacting fine-grained concrete using a polyfunctional modifier are presented. It is shown that at the optimal composition and content of such a modifier, which includes a polyvinyl acetate dispersion and a superplasticizer, it becomes possible to significantly improve the properties of self-compacting concrete.

Keywords: Self-compacting concrete, polyfunctional modifier, polyvinyl acetate dispersion, strength, water absorption, abrasion.

#### UDK 691.542:666.9 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-03

Дорогань Н. О., Черняк Л. П. / Комплексне застосування техногенної сировини для виготовлення цементного клінкеру // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 14–17. Рис.: 4. Табл.: 6. Бібліографія: 21 назва.

Досліджено можливість комплексного застосування багатотоннажних відходів агропромисловості та теплоенергетики для виготовлення цементного клінкеру. Із застосуванням комп'ютерної програми «Клінкер» визначено нові складі вихідних сировинних сумішей на основі системи крейда — рисова лузга — зола виноску ТЕС із загальним вмістом 39–52 мас. % вказаних відходів. Експериментально підтверджено можливість отримання нормальноутужавачого цементу середньої міцності з сумішей, що містять 45,2 мас. % техногенної сировини при випалі з максимальною температурою 1400 °С. Показано зв'язок властивостей отриманого цементу з особливостями фазового складу з переважним розвитком силікатів кальцію C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S за рахунок підвищеної реакційної здатності аморфного кремнезему рисової лузги.

Ключові слова: цемент, клінкер лузга рисова, зола виноску, суміш сировинна, склад, випал, фази кристалічні, властивості.

Nataliia Dorogan, Lev Chernyak / Complex application of man-made raw materials for the manufacture of cement clinker // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 14–17. Fig.: 4. Table: 6. Bibliography: 21 titles.

At the article, the results of the investigation on the complex stowing of rich tonnage inputs in agro-industry and heat energy for the preparation of cement clinker are given. The object of the study was raw material mixtures for production of cement clinker based on the system of chalk — rice husk — fly ash. Calculations and analysis of the composition of raw mixtures were carried out using the created computer program "Clinker", which made it possible to quickly determine the rational ratio of components according to the given characteristics of the clinker. According to the results of computer calculations, the possible content of rice husk in chalk-based binary mixtures in the range of saturation coefficient KH = 0.80–0.95 is 55.7–60.1 wt. %, and fly ash — 23.9–26.6 wt. %, however, the numbers of silica and alumina modules do not meet the recommended n = 1.9–3.0 and p = 0.90–2.0 for cement clinker. When using 3-component mixtures, the possible total content of rice husk and ash in the range of KH = 1.9–3.5 is from 39 to 52 wt. %. At the same time, the quantitative ratio of husk ash varies from 2.1 to 7.3. The possibility of obtaining normal-hardening cement of medium strength from a mixture containing 45.2 wt. % of man-made raw materials at a maximum firing temperature of 1400 °C has been experimentally confirmed. According to the X-ray phase analysis on the Philips X&aport;Pert PRO — MRD diffractometer, the relationship between the cement properties and the formation of the C<sub>2</sub>S-C<sub>3</sub>S-C<sub>2</sub>AS-CA crystal phase system during clinker firing was established. At the same time, the predominant development of calcium silicate phases is associated with the increased reactivity of amorphous silica, a product of heat treatment of rice husk. It was concluded that the integrated use of rice husk and fly ash as man-made raw materials in the mass-intensive production of cement clinker is a promising direction for the utilization of large-tonnage industrial waste.

Key words: mineral binder, rice husk, fly ash, raw mix, composition, firing, crystalline phases, properties.

#### UDK 691 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-04

Дерев'яно В. М., Гришко Г. М., Дубов Т. М. / Стабілізація етрингітної фази // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 18–25. Рис.: 13. Табл.: 11. Бібліографія: 12 назв.

Вперше встановлено послідовність процесу формування вторинного етрингіту і механізм впливу на структуру і властивості затверділої композиції. Подальшого розвитку набули теоретичне узагальнення стабілізації етрингітної фази, що обумовлюють формування структури та фізико-механічні властивості, їх взаємозв'язок із складом початкових матеріалів і технологічним процесом отримання виробів. Теоретично встановлено і експериментально підтверджено оптимальний вміст сульфату кальцію (в межах 30–40% від маси композиції) позитивно впливаючого на кількість утворення етрингіту.

Ключові слова: композиційне в'язуче, модифікація, етрингіт, стабілізація етрингітної фази, алюмініатні цементи, сульфатоміцні цементи.

Viktor Derevianko, Hanna Hryshko, Taras Dubov / Etringite phase stabilization // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 18–25. Fig.: 13. Table: 11. Bibliography: 12 titles.

For the first time, sequence of the secondary ettringite formation process and the mechanism of influence on the structure and properties of the hardened composition were established. Theoretical generalization of the ettringite phase stabilization, which determines formation of the structure and physical and mechanical properties, as well as their relationship with composition of the initial materials and the technological process of obtaining products, has gained further development. The optimal content of calcium sulfate (within 30–40% of the composition mass) (which has a positive effect on the amount of ettringite formation) has been theoretically determined and experimentally confirmed.

Key words: composite binder, modification, ettringite, ettringite phase stabilization, aluminate cements, sulfoaluminate cements.

#### UDK 691.5 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-05

Пушкар'ова К. К., Терещенко Л. В. / Оцінка впливу нанокarbonатних додавок на здатність цементних систем до самоочищення // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 26–29. Рис.: 4. Табл.: 1. Бібліографія: 15 назв.

Проаналізовано процеси самоочищення цементних систем, в тому числі і процеси фотокаталізу, що виникають при потрапленні світла на поверхні матеріалів, що містять фотокаталізатори. В більшості проведених досліджень для створення фотокаталітичного ефекту як фотокаталізатор найчастіше використовують діоксид титану (TiO<sub>2</sub>) як поширений напівпровідниковий матеріал, що має три кристалічні структури — анатаз, рутил і брукіт. Тип анатазу ширше використовується, оскільки є більш фотокаталітично активним ніж інші модифікації TiO<sub>2</sub>. В якості фотокаталізаторів можливе застосування й інших напівпровідникових матеріалів, таких як SiC, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaP, GaAs, CdSe, CdS, але їх фотокаталітична активність менша. Також окрім окремих сполук застосовують системи InP-CdS чи ZnTe-CdS, які проводять легування TiO<sub>2</sub> атомами вуглецю, сірки, азоту. Розглянуто результати досліджень, що спрямовані на пошуки інших шляхів підвищення здатності цементних систем до самоочищення, наприклад, за рахунок підвищення щільності цементного каменю. Проведено дослідження ефективності включення нанокarbonатної дошки для ущільнення структури цементних систем з метою отримання цементних систем, здатних до самоочищення. Підтверджено, що використання нанокarbonатних матеріалів дозволяє отримати будівельні матеріали, здатні до самоочищення, завдяки формованню електрогетерогенних контактів, що сприяє отриманню цементних систем з покращеними експлуатаційними властивостями, зокрема, здатністю до самоочищення.

Ключові слова: цементні системи, самоочищення, фотокаталіз, щільність цементного каменю, нанокarbonатні дошки, електрогетерогенні контакти.

Kateryna Pushkarova, Larysa Tereshchenko / Assessment of the effect of nanocarbonate additives on self-cleaning capacity of cement systems // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 26–29. Fig.: 4. Table: 1. Bibliography: 15 titles.

Self-cleaning processes of cement systems, including photocatalysis processes that occur when light hits the surface of materials containing photocatalysts, are analyzed. In most of the conducted studies, titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is used as a photocatalyst as a common semiconductor material with three crystal structures — anatase, rutile and brookite — as a photocatalyst. The anatase type is more widely used because it is more photocatalytically active than other TiO<sub>2</sub> modifications. Other semiconductor materials can be used as photocatalysts, such as SiC, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaP, GaAs, CdSe, CdS, but their photocatalytic activity is lower. Also, in addition to individual compounds, InP-CdS or ZnTe-CdS systems are used, which dope TiO<sub>2</sub> with carbon, sulfur, and nitrogen atoms. The results of research aimed at finding other ways to increase the ability of cement systems to self-cleaning, for example, by increasing the density of cement stone, are considered. A study of the effectiveness of the inclusion of a nanocarbonate additive for compacting the structure of cement systems was conducted in order to obtain cement systems capable of self-cleaning. It has been confirmed that the use of nanocarbonate materials makes it possible to obtain building materials capable of self-cleaning due to the formation of electro-heterogeneous contacts, which contributes to obtaining cement systems with improved operational properties, in particular, the ability to self-clean.

Keywords: cement systems, self-cleaning, photocatalysis, density of cement stone, nanocarbonate additives, electro-heterogeneous contacts.

#### UDK 691.3/666.98 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-06

Каверин К. О., Анопко Д. В., Левківський Д. В. / Сучасні високотехнологічні бетони на основі ефірів полікарбонілатів для захисту енергетичних об'єктів України // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 30–33. Рис.: 1. Табл.: 1. Бібліографія: 20 назв.

Застосування хімічних додавок на основі ефірів полікарбонілатів є ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, а отже, покращення його фізико-механічних характеристик та гарантування довговічності. Отримання високофункціональних бетонів досягається за рахунок виконання багатьох вимог, що впливають із фізичних основ структуроутворення бетону, а саме: використання високими цементів та заповнювачів, застосування максимально низького водоцементного співвідношення. Використання модифікаторів забезпечує ефективність укладання бетону, розпалубку монолітних споруд у якнайкоротші терміни за достатньої якості останніх, виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності, можливість проведення будівельних робіт як у зимових, так і в сухих спекотних умовах. Під терміном «високотехнологічні» бетони об'єднані багатоконпонентні бетони з високими експлуатаційними властивостями, міцністю, довговічністю, низькими коефіцієнтами дифузії і стираністю, надійними захисними властивостями по відношенню до сталевих арматур, високою хімічною стійкістю. Мета роботи — одержання бетону заданого класу з високими

показниками ранньої міцності, середньої густини та стійкості затверділого бетону до агресивних чинників, що забезпечується якістю використаного цементу та введенням хімічних додавок. Висновки. Розроблена ціла гама спеціалізованих високофункціональних бетонів з суперпластифікаторами нової генерації на основі ефірів полікарбонілатів та противтягучих додавок, причому за рахунок регулювання співвідношення стеричного фактора та аніонної активності ефірів полікарбонілатів у комплексі з високорозчинними електролітами, одержані високотехнологічні та літні бетонні суміші з тривалим часом збереження їх легкоукладальності, що гарантує отримання бетонів з підвищеною ранньою міцністю, високими експлуатаційними властивостями, в тому числі надійними захисними властивостями по відношенню до сталевих арматур та високою хімічною стійкістю.

Ключові слова: високотехнологічні бетони, самоущільнювальні бетони (Self-Compacting Concrete, SCC), високоміцні бетони (High-Strength Concrete, HSC), довговічність, енергетична інфраструктура.

Kostiyanyn Kaverin, Dmytro Anopko, Dmytro Levkivskiy / Modern high-tech concretes based on polycarboxylate esters for the protection of energy facilities in Ukraine // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 30–33. Fig.: 1. Table: 1. Bibliography: 20 titles.

The use of chemical additives based on polycarboxylate esters is an effective means of regulating the rheological properties of concrete mixtures, modifying the structure of cement stone in concrete and the concrete itself, and therefore improving its physical and mechanical characteristics and guaranteeing durability. Obtaining high-performance concrete is achieved by meeting many requirements arising from the physical foundations of concrete structure formation, namely: the use of high-strength cements and aggregates, the use of the lowest possible water-cement ratio. The use of modifiers ensures the efficiency of concrete laying, the formwork of monolithic structures in the shortest possible time with sufficient quality of the latter, the production of thin-walled thick-reinforced structures of increased strength, the possibility of carrying out construction work both in winter and in dry, hot conditions. The term "high-tech" concrete includes multi-component concrete with high operational properties, strength, durability, low diffusion coefficient and abrasion, reliable protective properties in relation to steel reinforcement, high chemical resistance. The purpose of the work is to obtain concrete of a given class with high indicators of early strength, average density and resistance of hardened concrete to aggressive factors, which is ensured by the quality of the cement used and the introduction of chemical additives. Purpose of the article a whole range of specialized highly functional concretes with superplasticizers of the new generation based on polycarboxylate esters and air-entraining additives has been developed, and by adjusting the ratio of the steric factor and the anionic activity of polycarboxylate esters in a complex with highly soluble electrolytes, high-tech and cast concrete mixtures with a long-term preservation of their ease of work have been obtained, which guarantees obtaining concrete with increased early strength, high operational properties, including reliable protective properties in relation to steel reinforcement and high chemical resistance.

Key words: high-tech concrete, self-compacting concrete (SCC), high-strength concrete (HSC), durability, energy infrastructure.

#### UDK 691.32 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-07

Троян В. В., Кіндрас Б. П. / Моделювання тріщиностійкості високоміцних бетонів, здатних до самоущільнення // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 34–37. Рис.: 5. Бібліографія: 20 назв.

Наведено результати моделювання тріщиностійкості високоміцних бетонів, здатних до самоущільнення. Шляхом моделювання пружних і мікропластичних деформацій по діаграмі деформування зразків-прим з ініційованою тріщиною встановлено параметри розкриття тріщин в досліджуваних бетонах. За моделлю встановлено, що ширина розкриття усадочних тріщин у досліджуваних бетонах (на 120 добу) значно перевищує цей показник для початку утворення магістральної тріщини. Отже, за умови обмеженої усадки, утворення тріщин в досліджуваних бетонах неминуче. За моделлю, утворення мікротріщин внаслідок обмеженої усадки бетону без додавок починається на 9 добу, а утворення магістральної тріщини — на 11 добу твердіння. Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з золою виноску, вапняковим борошном та мікрокремнеземом починається на 6 добу твердіння. Утворення усадочних магістральних тріщин в цих бетонах починається на 8, 10 та 11 добу твердіння відповідно. Початок утворення усадочних мікротріщин в бетоні з метакаліном починається на 8 добу, а магістральної тріщини — на 17 добу твердіння. Отже, склад бетону з метакаліном можна визнати найбільш тріщиностійким серед досліджуваних, що пояснюється меншою усадкою, відносно низьким модулем пружності та відносно великою ділянкою мікропластичних деформацій бетону цього складу.

Ключові слова: високоміцний бетон, бетон здатний до самоущільнення, моделювання, тріщиностійкість, усадка, модуль пружності.

Vyacheslav Troyan, Bogdan Kindras / Modeling the crack-resistance of high-strength self-compacting concrete // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 34–37. Fig.: 5. Bibliography: 20 titles.

The results of modeling the crack resistance of high-strength self-compacting concretes are presented. By modeling elastic and microplastic deformations from the deformation diagrams of prism specimens with an initiated crack, the parameters of crack opening in the concretes under study were established. According to the model, it was found that the width of the opening of shrinkage cracks in all investigated concretes (by 120 days) significantly exceeds this indicator for the beginning of the formation of the main crack. Thus, with limited shrinkage, the formation of cracks in the concretes is inevitable. In accordance with the model, the formation of shrinkage microcracks of concrete without additives begins on the 9th day, and the formation of the main crack — on

the 11th day of hardening. The beginning of the formation of shrinkage microcracks in concrete with fly ash, limestone and microsilica begins on the 6th day of hardening. The formation of shrinkage main cracks in these concretes begins on the 8th, 10th and 11th days of hardening, respectively. The beginning of the formation of shrinkage microcracks in concrete with metakaolin begins on the 8th day, and the main crack — on the 17th day of hardening. Thus, the composition of concrete with metakaolin can be considered the most crack-resistant. This is due to less shrinkage, a relatively low modulus of elasticity and a relatively large area of microplastic deformation of concrete with metakaolin.

Key words: high-strength concrete, self-compacting concrete, modeling, crack resistance, shrinkage, modulus of elasticity.

#### UDK 691.31 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-08

Лаповська С. Д., Демченко Т. М., Конопля М. С. / Вплив кремнійорганічних гідрофобуючих добавок на довговічність нідроздрюваного бетону автоклавного тверднення // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 40–43. Рис.: 8. Табл.: 5. Бібліографія: 6 назв.

В статті наведені результати дослідження впливу кремнійорганічних гідрофобуючих добавок на основні фізико-механічні властивості автоклавного газобетону марки за середньою густиною D400. Мета роботи — визначити ефективність кремнійорганічних гідрофобуючих добавок на довговічність нідроздрюваного бетону. Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено, що для підвищення основних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик газобетонів марки за середньою густиною D400 оптимальним є введення до складу нідроздрюваного бетону сумішей добавки кремнійорганічної рідини ПМС-50 у кількості 1,5–2 % від маси сухих компонентів. При цьому міцність матеріалу при стиску підвищується з 2,9 МПа до 3,8 МПа; водопоглинання зменшується з 49,6 % до 4,2 % за масою, морозостійкість підвищується на 2 марки. Склади, що містять добавки ПМС-50 і ПМС-40 характеризувалися зменшеною на 3–5% середньою густиною у сухому стані за рівнозначних значень міцності при стиску (3,7 МПа і 3,8 МПа відповідно). Зразки автоклавних газобетонів, модифікованих добавками олигометилгдіросилоксану і метилсіліконату натрію, показали підвищення міцності і морозостійкості за кількості добавок 3,5 % і 2,5 % відповідно. Міцність нідроздрюваного гідрофобованого бетону автоклавного тверднення забезпечується основними низькомодульними гідросилікатними фазами та збільшеною кількістю виводжених призматичних кристалів афліту. Ключові слова: бетон, водопоглинання, добавка, гідрофобізація, морозостійкість, густина, міцність, нідроздрюваті бетон.

Svitlana Lapovska, Tatiana Demchenko, Mykola Konoplya / Effects of silicone hydrophobic additives on the durability of autoclaved cellular concrete and the aerated autoclaved concrete quality // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 40–43. Fig.: 8. Table: 5. Bibliography: 1 titles.

The article presents the results of a study of the effect of silicone hydrophobic additives on the main physical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete with an average density of D400. The purpose of the work is to determine the effectiveness of silicone water-repellent additives on the durability of cellular concrete. Purpose of the article. According to the results of the studies, it was found that to improve the main physical, mechanical and operational characteristics of aerated concrete with an average density of D400, it is optimal to introduce an additive of silicone liquid PMS-50 in the amount of 1.5–2 % by weight of dry components into the composition of aerated concrete mixtures. In this case, the compressive strength of the material increases from 2.9 MPa to 3.8 MPa; water absorption decreases from 49.6 % to 4.2 % by weight, and frost resistance increases by 2 grades. The compositions containing PMS-50 and PMS-40 additives were characterized by a 3–5% reduction in average dry density with equivalent compressive strength values (3.7 MPa and 3.8 MPa, respectively). Samples of autoclaved aerated concrete modified with oligomethylhydrosiloxane and sodium methyl silicate additives showed an increase in strength and frost resistance at an additive content of 3.5% and 2.5%, respectively. The strength of the cellular hydrophobic concrete of autoclaved curing is provided by the main low-base hydrosilicate phases and an increased number of elongated prismatic crystals of afflite.

Key words: Concrete, water absorption, additive, hydrophobisation, frost resistance, density, strength, cellular concrete.

#### UDK 691.31 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-09

Лаповська С. Д., Черненко М.В., Конопля М. С. / Дослідження фізико-технічних характеристик нідроздрюваного бетону автоклавного тверднення для будівництва // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 44–46. Бібліографія: 7 назв.

Розглянуті проблеми енергозбереження будинків, раціональне застосування автоклавного газобетону зниженої густини, порівняно з аналоговим стіновим матеріалом. Розглянуті енергозберігаючі технології виробництва автоклавного газобетону. Мета роботи — визначити ефективність застосування автоклавного газобетону зниженої густини (D400-D300) при зведенні будинків. Визначити шляхи енергозбереження при виготовленні автоклавного газобетону. Висновки. Розглянуті шляхи енергозбереження при будівництві будинків з використанням нідроздрюваного бетону автоклавного тверднення, а також розглянуті методи енергозбереження при виготовленні нідроздрюваного бетону.

Ключові слова: Автоклавний газобетон, нідроздрюваті бетон, енергозбереження, термічний опір.

Svitlana Lapovska, Mykola Chernenko, Mykola Konoplya / Research of the physical and technical characteristics of autoclaved aerated concrete for construction // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 44–46. Bibliography: 7 titles.

Considered problems of energy saving of buildings, rational application of autoclaved aerated concrete of reduced density, compared to analog wall material. Energy-saving technologies for the production of autoclaved aerated concrete are considered. The purpose of the work is to determine the efficiency of using autoclaved aerated concrete of reduced density (D400-D300) in the construction of buildings. Determine the ways of energy saving in the

production of autoclaved aerated concrete. Purpose of the article. Ways of energy saving in the construction of houses using autoclaved aerated concrete are considered, as well as methods of energy saving in the production of aerated concrete are considered.

Key words: Autoclaved aerated concrete, aerated concrete, energy saving, thermal resistance.

#### UDK 614.842 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-10

Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., Жеребчук Д. С. / Встановлення ефективності вогнезахисту деревини композицією на основі поліфосфату амонію // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 48–51. Рис.: 1. Табл.: 1. Бібліографія: 10 назв.

Проведено експериментальні дослідження з визначення ефективності вогнезахисту композицій із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та встановлено, що вогнезахисна деревина відноситься до важкогорючих матеріалів. Показано, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, за ефективності вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали). Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів І...V класів. За результатами експериментальних досліджень, встановлено, що застосування гідрофобуючих сумішей «Сілол» затримує проникнення та накопичення води вогнезахисною деревиною. Виявлено також підвищення вогнезахисної ефективності вогнезахисної деревини під час спільної дії «ДСА-2» та гідрофобуючої суміші «Сілол» після оброблення зразків.

Ключові слова: деревина, горючість, композиція, вогнезахист, поліфосфат амонію, покриття.

Tsapko Yu. V., Bondarenko O. P., Tsapko A. Yu., Zerebchuk D. S. / Determination of the efficiency of fire protection of wood by a composition based on ammonium polyphosphate // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 48–51. Fig.: 1. Table: 1. Bibliography: 10 titles.

Experimental studies were conducted to determine the effectiveness of fire protection of compositions using experimental samples of ammonium polyphosphate and it was established that fire-resistant wood belongs to non-flammable materials. It is shown that experimental wood samples after treatment with a composition using ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate belong to the materials of the first efficiency group (flammable materials) in terms of fire protection efficiency. The studied composition provides fire protection efficiency, respectively, for objects of classes I...V. According to the results of experimental studies, it was established that the use of "Silol" hydrophobic mixtures delays the penetration and accumulation of water in fire-resistant wood. An increase in the fire-resistant efficiency of fire-resistant wood during the joint action of "DSA-2" and the hydrophobizing mixture "Silol" after processing the samples was also revealed. The atmospheric resistance of fire-resistant wood as a result of the joint action of the composition was investigated using experimental samples of ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate and the "Silol" mixture.

Keywords: wood, flammability, composition, fire protection, ammonium polyphosphate, coating.

#### UDK 69.05:658.5 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-11

Корніло І. М., Ткачук В. С. / Організаційна система прогнозування показників в проєктуванні і будівництві за допомогою математичних моделей // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 54–55. Бібліографія: 5 назв.

У статті наведений локальний прогноз, структура якого не є єдиним варіантом, представляється найбільш завершеною частиною системи прогнозування. Функціонування даних моделей не тільки експериментально випробувано, вони неодноразово використовувалися для багатьох практичних розрахунків на перспективу. Однак, враховані методи прогнозування передбачають використання експертних оцінок, способи отримання яких, проблематичні. Тому даний матеріал зможе розширити і доповнити методику отримання та обробки експертних оцінок.

Ключові слова. Прогнозування показників, економічний процес, кореляційна і регресивна функція, часовий ряд.

Iryna Kornilo, Vladyslav Tkachuk / Organizational system for forecasting indicators in design and construction using mathematical models // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 54–55. Bibliography: 5 titles.

The local forecast presented in the article, the structure of which is not the only option, is the most complete part of the forecasting system. The functioning of these models was not only tested experimentally, they were repeatedly used for many practical calculations for the future. However, the considered forecasting methods involve the use of expert assessments, the methods of obtaining which are problematic. Therefore, this material will be able to expand and complement the method of obtaining and processing expert assessments.

Keywords. Forecasting indicators, economic process, correlation and regression function, time series.

#### UDK 65.85.011.56:65.01 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-12

Корніло І.М., Гнуп О.П. / Системний метод використання векторів і матриць при будівництві об'єктів // Будівельні матеріали та вироби, 2021, № 1–2, стр. 56–57. Бібліографія: 4 назв.

Стаття розглядається метод використання векторів і матриць при будівництві об'єктів при виробленні управлінських рішень. Основним джерелом інформації прийнята матриця цінностей.

Ключові слова: системний підхід; управлінські рішення; системи з дискретними станами; похідна ймовірності стану; дисперсійний аналіз.

Iryna Kornilo, Olga Gnyp / System method for using vectors and matrixes in construction of objects // Building materials and products, 2021, № 1–2, p. 56–57. Bibliography: 4 titles.

The article discusses the method of using vectors and matrices in the construction of facilities in the development of management decisions. The main source of information is the matrix of values.

Keywords: systems approach; management decisions; systems with discrete states; derivative of the state probability; analysis of variance.

#### UDK 338 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-13

Огороднік І. В. / Дослідження особливостей маркетингу на ринку нерухомості // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр.60–62. Рис.: 1. Табл.: 2. Бібліографія: 11 назв.

У даній статті висвітлені особливості нерухомості та маркетингових досліджень на ринку нерухомості, для ефективного просування цих об'єктів на будівельному ринку. Розглянуто особливості життєвого циклу об'єктів нерухомості та дії маркетингологів на різних її етапах. Показано, що дослідження ринку нерухомості є важливим інструментом для розуміння актуальних тенденцій та пошук на нерухомість, що дозволяє зрозуміти, які типи нерухомості є популярними, які регіони є найбільш привабливими для покупців та які фактори впливають на ціни на нерухомість. Маркетингові дослідження можуть бути корисні для різних груп людей, включаючи ріелторів, інвесторів та будівельників. Основною ціллю маркетингових досліджень ринку нерухомості є аналіз потреб та пошук на нерухомість серед різних груп споживачів. Це дозволяє будівельникам та ріелторам адаптувати свої продукти та послуги до потреб інвесторів, знаходити нові ринки збуту та отримувати необхідні фінансові прибутки. Крім того, дослідження ринку нерухомості можуть допомогти виявити потенційні ризики та можливості, що в свою чергу забезпечить впровадження обґрунтованих рішень щодо інвестування в нерухомість.

Ключові слова: ринок нерухомості, життєвий цикл об'єктів нерухомості, попит, пропозиція, маркетингове дослідження. Iryna Ogorodnyk / Study of marketing features on the real estate market // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 60–62. Fig.: 1. Table: 2. Bibliography: 11 titles.

Annotation. This article highlights the features of real estate and marketing research in the real estate market, for the effective promotion of these objects in the construction market. The peculiarities of the life cycle of real estate objects and the actions of marketers at its various stages are considered. Real estate market research is shown to be an important tool for understanding current trends and demand for real estate, which allows you to understand which types of real estate are popular, which regions are most attractive to buyers, and which factors affect real estate prices. Marketing research can be useful to many different groups of people, including realtors, investors, and builders. The main goal of marketing research on the real estate market is to analyze the needs and demand for real estate among different groups of consumers. This allows builders and realtors to adapt their products and services to the needs of investors, find new sales markets and obtain the necessary financial returns. In addition, real estate market research can help identify potential risks and opportunities, which in turn will ensure the implementation of informed decisions about investing in real estate.

Keywords: real estate market, life cycle of real estate objects, demand, supply, marketing research.

#### UDK 658.849 / DOI 10.48076/2413-9890.2023-103-14

Рокицька А. В., Огороднік І. В. / Дослідження особливостей та розвитку електронної торгівлі в сучасних умовах України // Будівельні матеріали та вироби, 2023, № 1–2, стр. 63–67. Рис.: 1. Табл.: 2. Бібліографія: 13 назв.

У даній статті висвітлено основне пояснення поняття «електронна комерція» та розглянуто її різновиди та типи. Наведено новітні форми взаємодії учасників ринку товарів і послуг, що мають відношення до реалізації електронної комерції. Виявлено чинники, що стимулюють подальший розвиток даного економічного явища. Визначено міжнародне регулювання електронної торгівлі. Розглянуто головні переваги та недоліки електронної комерції як форми міжнародної торгівлі. Доведено, що вигоди від зростання електронної комерції виявилися набагато більшими, порівняно з його недоліками. Встановлено, що електронна комерція пов'язана безпосередньо з великою кількістю бізнес-операцій, незалежно від того, чи йдеться про роздрібну торгівлю як операції між компаніями. Однак ефективність впровадження електронної комерції тісно пов'язана з інституційними змінами традиційних методів торгівлі. Також проаналізовано тенденції розвитку електронної комерції у світі. Представлено результати аналізу стану електронної комерції в Україні у порівнянні з іншими зарубіжними державами.

Ключові слова: торгівля, електронна комерція, Інтернет-торгівля, електронний ринок.

Anna Rokytka, Iryna Ogorodnyk / Advanced features and development electronic commerce in the minds of Ukraine // Building materials and products, 2023, № 1–2, p. 63–67. Fig.: 1. Table: 2. Bibliography: 13 titles.

Annotation. This article highlights the basic explanation of the concept of "electronic commerce" and considers its varieties and types. The latest forms of interaction between participants in the market of goods and services related to the implementation of electronic commerce are given. Factors stimulating the further development of this economic phenomenon have been identified. The international regulation of electronic commerce is defined. The main advantages and disadvantages of electronic commerce as a form of international trade are considered. The main advantages and disadvantages of electronic commerce as a form of international trade are considered. It has been proven that the benefits of the growth of e-commerce have far outweighed its drawbacks. E-commerce has been found to be directly related to a large number of business transactions, whether retail or business-to-business. However, the effectiveness of e-commerce implementation is closely related to institutional changes in traditional trading methods. Trends in the development of e-commerce in the world are also analyzed. The results of the analysis of the state of e-commerce in Ukraine in comparison with other foreign countries are presented.

Keywords: trade, e-commerce, internet trade, e-business.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Звертаємо Вашу увагу на те, що наукові статті згідно з вимогами ДАК повинні мати такі структурні елементи:

1. Постановка проблеми.
2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.
3. Формулювання цілі статті.
4. Виклад основного матеріалу.
5. Висновки.
6. Список літератури (згідно до ДСТУ 8302:2015).

До розгляду приймаються статті або доповіді обсягом до повних сторінок українською, англійською або російською мовою виключно в електронному вигляді (e-mail) в редакторі MS Word.

НАЗВА ФАЙЛУ – ПРИЗВИЩЕ АВТОРА.

Також додається копія статті у форматі pdf поліграфічної якості.  
Індекс УДК друкують окремим рядком у верхньому правому кутку.  
Додаються анотації українською та англійською мовами.  
Обсяг анотацій – не більше 1/3 сторінки А4.  
Формат аркушу А4 (210х297мм).

Рисунки надсилаються окремими файлами; назва файлу – порядковий номер рисунка у статті. Формати рисунка: tiff, pdf, eps, jpeg. Кольорова модель – відтінки сірого або ч/б палітра, роздільна здатність не менше 300 dpi. Рисунки, створені у програмах Excel, Visio Drawing, WordPad, CorelDRAW імпортується у файл Word за допомогою меню Вставка/Об'єкт, щоб забезпечити можливість трансформації. Рисунки, створені за допомогою засобів Word, групуються та повинні бути доступними для виправлення.

Підписи рисунків:



Рисунок 1. – Назва рисунка

Підписи таблиць:

Таблиця 1

Назва таблиці


### ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК

П.І.Б. автора, вчений ступінь, посада

Найменування організації, адреса, номер телефона

**НАЗВА СТАТТІ**

Текст статті  
Література

*Анотації українською та англійською мовами:*

**УДК ....**

П.І.Б. автора / Назва статті // Журнал Будівельні матеріали та вироби, 201..., №... – Стор... – Табл: .... – Рис... – Бібліографія: ... назв.

Текст реферату

**UDK ....**

Name, Surname of author / Name of article // Magazine Building materials and products, 201..., №... – P... Tabl.: .... – fig....

Refs.... titles.

Text of abstract

ТОВ "Кижкова майстерня"

03022, м. Київ, вул. Михайла Максимовича, 2

Номер запису в єдиному Державному реєстрі 1000681020000064404

від 19.12.2022 р

Підписано до друку 21.11.2023 року

Формат 64х90/8.

Ум. друк. арк. 8. Обл.-вид. арк. 8,94

Наклад 1000 прим.

Зам № 764- 27К: 2023, 72стор.

ISSN 2413-9890





**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І  
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ  
«НДІБМВ»**

**ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДІЯЛЬНОСТІ:**

---

- ✓ Розробка нових і удосконалення існуючих технологій виробництва будівельних матеріалів і виробів з розробкою технологічних регламентів, технологічних карт;
- ✓ Розробка проектів будівництва та реконструкції підприємств будівельних матеріалів;
- ✓ Економічна оцінка проектних рішень в галузі виробництва будівельних матеріалів;
- ✓ Розробка нормативної документації (стандарти, технічні умови) на будівельні матеріали та вироби;
- ✓ Виконання фізико-хімічних і фізико-технічних випробувань сировини та будівельних матеріалів на її основі;
- ✓ Здійснення технологічних випробувань сировини з виготовленням експериментальних зразків матеріалів і виробів;
- ✓ Виконання періодичних і сертифікаційних випробувань будівельних матеріалів і виробів;
- ✓ Підготовка наукових кадрів в аспірантурі за спеціальностями 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби», 05.17.11 «Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів»;
- ✓ Організація виставок, конференцій, семінарів, презентацій;
- ✓ Підготовка науково-технічної інформації, пропаганда науково-технічних досягнень;
- ✓ Видання щорічного каталогу будівельних матеріалів, виробів та інженерного обладнання «Будматеріали» та фахових наукових видань: Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал «Будівельні матеріали та вироби» та науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка»;
- ✓ Проведення маркетингових досліджень;
- ✓ Проведення техніко-економічного аналізу роботи підприємств з розробкою пропозицій підвищення їх конкурентоспроможності;
- ✓ Організація робіт з сертифікації, санітарно-епідеміологічних і радіологічних досліджень, визначення пожежонебезпечних показників горючості продукції будівельного призначення.