

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

КРИЛОВ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 666.973.6

**ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ТВЕРДОЇ СКЛАДОВОЇ
НА ВЛАСТИВОСТІ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: - доктор технічних наук, доцент **Мартинів Володимир Іванович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри виробництва будівельних виробів та конструкцій.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор **Сердюк Василь Романович**, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, м. Вінниця;

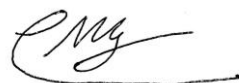
- кандидат технічних наук, **Позняк Оксана Романівна**, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри будівельного виробництва, м. Львів.

Захист відбудеться «24» березня 2020 р. о 14⁰⁰ на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона та на сайті <http://odaba.edu.ua>.

Автореферат розісланий «___» _____ 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради, д.т.н., доцент



Кровяков С.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Зі зростанням обсягів будівництва житла в Україні, висуванню ряду вимог до показників енергоефективності та теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель і споруд постає нагальне питання пошуку композиційних будівельних матеріалів з високими теплотехнічними характеристиками. Одним з таких матеріалів є сучасний ніздрюватий бетон. Досягнути нормативних теплотехнічних показників та знизити собівартість виробів можливо шляхом підвищення якості готової продукції з ніздрюватого бетону та збільшення обсягів його промислового виробництва. Поєднання газобетону з малою середньою густиною та високою проектною міцністю є характерною рисою даного матеріалу.

Комплекс властивостей робить неавтоклавний газобетон технічно і економічно вигідним завдяки зменшенню енергоємності його виробництва порівняно з автоклавним газобетоном. Окрім цього, варто зазначити, що зі сталим підвищенням цін на енергоносії, вартість в'язучих неухильно зростає. Це зумовлює потребу пошуку варіантів часткової заміни їх у складі бетону на відходи енергетичного сектору зі збереженням або можливістю підвищення унікальних фізико-механічних властивостей пористого матеріалу.

Представлена дисертаційна робота, що пов'язана з вдосконаленням технології виробництва та покращенням будівельно-експлуатаційних властивостей неавтоклавного газобетону, зокрема дослідженням впливу модифікації твердої складової з використанням активних мінеральних добавок є актуальною та своєчасною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Закону України від №2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» (напрямок №6 «Новітні технології і ресурсозберігаючі технології в енергетиці») та роботи кафедри «Виробництво будівельних виробів та конструкцій» Одеської державної академії будівництва та архітектури за науковим напрямком «Структурування, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій».

Метою роботи є покращення основних властивостей ніздрюватого бетону шляхом розкриття та реалізації закономірностей, що супроводжують процес модифікації твердої складової неавтоклавного газобетону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- на підставі аналізу літературних джерел, поетапного формування структури та впливу рецептурно-технологічних факторів на властивості ніздрюватого бетону розробити блок-схему експериментальний досліджень з управління властивостями неавтоклавного газобетону шляхом модифікації твердої складової;

- визначити водопотребу розчинової складової, яка забезпечувала б максимальну її міцність та сприяла отриманню стійкої однорідної структури газобетону;

- визначити базовий склад для отримання неавтоклавного газобетону шляхом вивчення впливу твердих складових, їх співвідношень та модифікацій, на міцність і коефіцієнт тріщиностійкості затверділої розчинової складової;

- встановити закономірності зміни міцності затверділої розчинової складової, а також пористості та характер розподілу твердої складової неавтоклавного газобетону внаслідок впливу шлаку грубомеленого доменного та його кількості;

- встановити закономірності впливу твердої складової неавтоклавного газобетону модифікованої вапняно-карбонатним тонкодисперсним наповнювачем та добавками пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії на характер структури (напруженість екіпотенціального поля) та основні властивості неавтоклавного газобетону із застосуванням математичних методів планування експерименту;

- розробити проект технологічного регламенту, розрахувати техніко-економічну ефективність виробництва неавтоклавного газобетону та виконати виробниче впровадження неавтоклавного газобетону на основі модифікованої твердої складової.

Об'єкт досліджень – неавтоклавний газобетон та затверділа розчинова складова.

Предмет досліджень – процес закономірності впливу твердої складової та її модифікації на основні властивості неавтоклавного газобетону.

Методи дослідження. Визначення фізико-механічних властивостей газобетону та розчинової складової проводили за стандартними методиками згідно з чинними нормативними документами. Водопотребу розчинової складової оцінювали за діаметром розпливу розчину за віскозиметром Сутгарда. Для вирішення питань впливу рецептурно-технологічних факторів на фізико-механічні властивості, оптимізації фізико-технічних властивостей ніздрюватого бетону за складом і технологічним параметрам застосовували математичні методи планування експерименту. Для вивчення поліморфних перетворень, які відбуваються в неавтоклавному газобетоні з модифікованою твердою складовою застосовували рентгенофазовий аналіз (РФА).

Наукова новизна отриманих результатів:

- теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість отримання неавтоклавних газобетонів марки D500 та класом бетону за міцністю C2 з модифікованою твердою складовою, модифікаційні перетворення якої здійснюють завдяки комплексній дії вапняно-карбонатної добавки, що містить у складі кальцит 8 %, портландит 4 % та добавки пластифікуючої 0,6 % і лужної дії 0,8 % від маси цементу.

- вперше виявлена закономірність впливу вапняно-карбонатної добавки за наявності добавок пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії у неавтоклавному газобетоні, що сприяло отриманню газобетону марки D500 за міцністю на стиск – 3,53 МПа. Визначено наявність значної кількості стійких новоутворень у ніздрюватому бетоні: кальциту або карбонату кальцію (CaCO_3) та його поліморфних модифікацій у вигляді фатеріту (ватеріт) – μ -форма CaCO_3 , арагоніту (метастабільної форми CaCO_3) і тоберморітового гелю, представлених рефлексамі у вигляді значень міжплощинних відстаней (не менше 5 рефлексів для кожного мінералу).

- отримано математичні моделі властивостей неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою, що дозволило обрати технологічні прийоми та режими виготовлення газобетону з необхідними властивостями.

- на основі отриманих математичних моделей визначено кількісний характер впливу структури неавтоклавного газобетону на його властивості, через показник напруженості та встановлено певний зв'язок між напруженістю екіпотенціального поля структури неавтоклавного газобетону та його міцністю.

- визначено вплив шлаку доменного грубомеленого ($1500 \text{ см}^2/\text{г}$) та його кількості на властивості неавтоклавного газобетону. Встановлено, що додавання означеного шлаку до складу твердих складових у кількості 20 % від їх маси одержано газобетон марки D500 міцністю на стиск – 1,35 МПа, що відповідає класу ніздрюватого бетону C1.

Практичне значення отриманих результатів:

- отримано неавтоклавний газобетон класу за міцністю C1, який містить шлак доменний мелений (питома поверхня $1500 \text{ см}^2/\text{г}$), що забезпечує отримання газобетону з наступними властивостями: марка D500; міцність при стиску – 1,35 МПа;

- визначено склад неавтоклавного газобетону на основі модифікованої твердої складової, який містить шлак доменний мелений (питома поверхня $1500 \text{ см}^2/\text{г}$), карбонат кальцію (кальцит), гідроксид кальцію (портландит), що забезпечує отримання газобетону з наступними властивостями: марка D500; міцність при стиску – 3,53 МПа, який відповідає класу бетону за міцністю C2;

- побудовані математичні моделі властивостей неавтоклавного газобетону дозволив розрахувати склади вихідних матеріалів для виготовлення газобетону із заданою середньою густиною та необхідною міцністю;

- розроблено проект технологічного регламенту на виготовлення неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою;

- розроблена принципова технологічна схема виготовлення виробів з ніздрюватого бетону за різальною технологією, запропоновані методи технічного контролю виробничого процесу;

- результати досліджень впроваджені на виробничих потужностях ТОВ «Нові будівельні матеріали», м. Обухів.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні робочої гіпотези, мети і постановці завдань експериментальних досліджень; інтерпретації отриманих експериментальних даних; побудові математичних моделей властивостей неавтоклавного газобетону і їх графічному аналізі; виявленні закономірності впливу, обґрунтованих змінних рецептурно-технологічних факторів на характер структури неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою; розробці раціонального складу газобетону густиною 500 кг/м^3 з підвищеною міцністю.

Апробація дисертаційної роботи. Основні положення і результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, представлені на конференціях: IV міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства» (м. Харків, 2014 р.); міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (м. Одеса, 2014 р.); V міжнародній науково-практичній конференції «Енергоінтеграція-2015» (м. Київ, 2015 р.); міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (м. Одеса, 2015 р.); міжнародній конференції «Моделювання та оптимізація композитів» (м. Одеса, 2015 р.); міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (м. Одеса, 2016 р.); міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (м. Одеса, 2018 р.); міжнародному семінарі «Моделювання і оптимізація будівельних композицій» (м. Одеса, 2018 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових статтях, з них 6 статей у фахових виданнях України, 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав (1 індексується наукометричною базою Scopus).

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Повний обсяг дисертації становить 168 сторінок, з них 119 сторінок основного тексту, що включає 52 рисунка, 17 таблиць, список використаних літературних джерел з 152 найменувань на 16 сторінках та 3 додатки на 7 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми, сформульовано мету і завдання відповідно до об'єкта та предмета дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику і зв'язок з науковими планами та програмами академії, вказано практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача, наведені результати апробації дисертаційної роботи та дані про публікації, структуру і обсяг дисертації.

У **першому** розділі дисертаційної роботи наведені загальні відомості про ніздрюваті бетони: визначення, класифікацію за основними ознаками та властивостями газобетону, короткі відомості про історію їх розвитку.

Аналіз публікацій вітчизняних та зарубіжних вчених, наукових колективів показав, що визначальним у формуванні якості ніздрюватого бетону є технологічний етап. Численні дослідження різних технологічних способів виробництва ніздрюватих бетонів були виконані під керівництвом І. Т. Кудряшова, Л. М. Розенфельда, А. Г. Неймана, М. Я. Кривицького, Н. С. Волосова, А. Н. Кришеннікова, І. Л. Жодзинського, В. В. Макарічева, В. Х. Лапса, Г. Я. Кунноса, Н. П. Сажнева тощо.

З огляду на проаналізовані літературні джерела сформовано висновок, що управління процесами спучування і структуроутворення ніздрюватобетонної суміші полягає у регулюванні швидкості кінетики газовиділення і зміні реологічних властивостей розчину. Тому, застосовуючи різні технологічні умови, можливо виготовити неавтоклавний газобетон зі стійкою однорідною структурою. З іншого боку, шляхом зміни умов виникає можливість впливати на характер твердої складової.

У роботі наведені аргументи, що ніздрюватий бетон варто розглядати як матеріал, що має складну структуру. Надійність будівельних матеріалів обумовлена як правильним вибором вихідних матеріалів, так і раціональною технологією виготовлення, що забезпечує збереження існуючих, а також отримання нових властивостей. Показано, що будівельно-технічні властивості ніздрюватих бетонів залежать від особливостей розподілу його твердої складової. Крім того, керувати характером твердої складової можливо шляхом зміни рецептурно-технологічних умов виготовлення ніздрюватого бетону. До рецептурних умов належать в'язучі матеріали: портландцемент, вапно будівельне, в'язуче гіпсове. У складі сировинної суміші за низьких витрат цементу може виникнути дефіцит дисперсних частинок, що можливо компенсувати введенням дрібних наповнювачів або мінеральних добавок у вигляді шлаку доменного меленого, вапняно-карбонатного наповнювача та золи-винесення.

Враховуючи проведений літературний огляд та апріорну інформацію, була сформульована основна **гіпотеза** дисертаційної роботи. Вона полягає у

виборі співвідношень твердої складової з метою визначення закономірностей, які сприятимуть покращенню основних властивостей газобетону завдяки управлінню характером розподілу твердої складової шляхом її модифікації шлаком доменним меленим та вапняно-карбонатною добавкою. Процес гідратації добавки повинен сприяти синтезу мінералів у вигляді поліморфних модифікацій карбонату кальцію (CaCO_3) та гідросилікатів тоберморітової групи.

У другому розділі представлена блок-схема експериментальних досліджень з управління властивостями неавтоклавного газобетону шляхом модифікації твердої складової.

Наведені характеристики сировинних матеріалів: портландцемент марки ПЦ І-500Д0; шлак доменний гранульований з тониною помелу за питомою поверхнею 900; 1500 $\text{cm}^2/\text{г}$ та 2750 $\text{cm}^2/\text{г}$ (за приладом Блейна Р. Л.); зола-винесення; крейда природна мелена збагачена марки ММС-2; вапно гідратне мелене. У якості хімічних добавок: суперпластифікатор марки «Поліпласт СП-1»; технічний хлорид кальцію та натрій їдкий; газоутворююча добавка марки ГПБ-1.

У дисертації описана методика проведення експериментів та випробувань. Об'єктом досліджень обрано затверділу розчинову складову та неавтоклавний газобетон марки D500. Розчинову суміш готували у лопатовому змішувачі, який використовують для приготування цементного розчину згідно з ДСТУ EN 196-1. Температура води замішування складала не менше $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Суміш готували із забезпеченням її «текучості» на всіх етапах технологічного процесу з відповідним діаметром розпливу 230 ± 10 мм. Під час одержання необхідної консистенції розчинову складову виготовляли у формі балочок $40 \times 40 \times 160$ мм. Залишки розчину використовували для приготування поризованої маси з додаванням газоутворюючої добавки. Загальний час перемішування розчину – п'ять хвилин. Після завершення циклу перемішування отриману поризовану розчинову масу виливали у форми з розмірами ребер 100 мм. Згідно з матрицею планування експерименту виготовляли по шість зразків для розчинової складової та газобетону відповідно. Зразки у вигляді кубів та балочок зберігали в нормальних умовах. Визначали наступні технічні характеристики: водопотребу розчинової складової, міцність на розтяг при згині та стиску балочок, середню густину газобетону у сухому стані та міцність газобетону на стиск у віці 7 та 28 діб тверднення.

Були описані методики щодо обробки результатів досліджень, які характеризували властивості об'єкту. Для вирішення питань впливу рецептурно-технологічних факторів на фізико-механічні властивості, оптимізації фізико-технічних властивостей ніздрюватого бетону за складом і

технологічним параметрам застосовували математичні методи планування експерименту. Для вивчення поліморфних перетворень, які відбуваються в неавтоклавному газобетоні з модифікованою твердою складовою застосовували рентгенофазовий аналіз (РФА).

Відібрані сировинні матеріали та прийняті методики дозволили вирішити поставлені завдання експериментальних досліджень та досягти мети дисертаційної роботи.

У **третьому** розділі розглянуто вплив водопотреби розчинової складової із забезпеченням максимальної її міцності та отримання стійкої однорідної структури ніздрюватого газобетону.

Для вивчення водопотреби розчинової складової був проведений експеримент з виготовлення розчинової суміші, яка відрізнялася значеннями В/Т відношення від 0,40 до 0,48. Так, на 28 добу тверднення міцність при стиску затверділої розчинової складової становила 33,5 МПа за зменшення В/Т відношення до 0,42.

Візуальні спостереження за процесом газоутворення поризованої маси розчину підтвердили, що найбільш сприятливими умовами для отримання стійкої однорідної структури газобетону є забезпечення В/Т відношення 0,42, що відповідає розпливу 240 мм. Це стало підставою зафіксувати розплив розчинової складової та прийняти отриману водопотребу суміші 0,42 за основу для подальших експериментальних досліджень.

Відповідно до завдання дисертаційної роботи шляхом вивчення впливу твердих складових, їх співвідношень була визначена міцність і коефіцієнт тріщиностійкості затверділої розчинової складової. На рівні формування характеру структури газобетону необхідно забезпечити синхронний перебіг процесів газоутворення та набуття структурної міцності. Для виконання першої умови потрібно, щоб реакція газоутворення відбулася максимально ефективно, що забезпечують визначена водопотреба розчинової складової та лужність середовища. Для другої – прискорити гідратацію розчинової складової через формування структурної міцності газобетону.

Враховуючи умови для проведення експериментів, були відібрані основні фактори, що впливають на міцність затверділої розчинової складової:

- газоутворення – лужна та пластифікуюча добавка;
- структурна міцність – гіпс напівводний та прискорювач тверднення;
- фізико-механічні характеристики – шлак доменний, зола-винесення, пластифікуюча добавка;
- зниження водопотреби – пластифікуюча добавка.

Вплив основних факторів на міцність затверділої розчинової складової наведені в табл. 1.

Фізико-механічні характеристики затверділої розчинової складової

Номер по порядку	Склад розчинової складової	Водо-тверде відношення (В/Т)	Границя міцності, МПа		Коефіцієнт тріщинистості, % $R_p / R_{ст}$
			на згин	на стиск	
1	цемент (53%) + стандартний пісок (47%)	0,330	5,81	21,1	27,5
2	цемент (53%) + зола-винесення (47%)	0,545	4,60	14,4	31,9
3	(Ц) цемент (53%)+(З) зола-винесення (46%)+(Г) гіпс (1,0%)	0,518	4,37	16,0	27,3
4	Ц(53%)+З(47%)+пластифікуюча добавка (0,4%)	0,458	5,44	20,3	26,8
5	Ц(53%)+З(47%)+прискорювач тверднення (2,0%)	0,503	3,68	17,0	21,6
6	Ц(53%)+З(47%)+лужна добавка(0,8%)	0,484	5,67	14,8	38,3
7	Ц(53%)+З(47%)+пластифікуюча добавка (0,4%)+ прискорювач тверднення (2,0%)	0,467	4,06	19,9	20,4
8	Ц(53%)+З(47%)+пластифікуюча добавка (0,4%)+лужна добавка (0,8%)	0,390	7,59	24,3	31,2
9	Ц(53%)+З(47%)+прискорювач тверднення (2,0%)+лужна добавка(0,8%)	0,464	4,68	21,6	21,7
10	Ц(53%)+З(47%)+пластифікуюча добавка (0,4%)+прискорювач тверднення (2,0%) +лужна добавка (0,8%)	0,415	6,59	23,6	27,9
11	Ц(45%)+З(47%)+ пластифікуюча добавка (0,4%)+прискорювач тверднення (2%) + лужна добавка(0,8%)+метаколін (8%)	0,522	3,22	17,2	18,7
12	Ц(53%)+(З) зола (37%)+(Ш) шлак (2750см ² /Г (10%))+пластифікуюча добавка (0,4%)+лужна добавка (0,8%)	0,422	5,21	26,2	19,9
13	Ц(53%)+З(37%)+(Ш) шлак (900см ² /Г (10%))+пластифікуюча добавка (0,4%)+ лужна добавка (0,8%)	0,393	4,83	22,3	21,7
14	Ц(53%)+З(37%)+(Ш) шлак (1500см ² /Г (10%))+пластифікуюча добавка (0,4%)+ +лужна добавка (0,8%)	0,410	8,28	25,4	32,6

Консистенція розчинової складової, яка визначена за віскозиметром Сутгарда зафіксована на рівні 240 мм. На основі портландцементу, золи-винесення та комбінації хімічних добавок – пластифікуючої і лужної дії – одержано склад розчинової складової міцністю на стиск 24,3 МПа, міцністю на розтяг при згині 7,59 МПа, коефіцієнтом тріщиностійкості 31,2 % та низьким В/Т відношенням 0,390 (склад № 8).

Для визначення оптимальної тонини помелу шлаку доменного проведені дослідження щодо відношення впливу його питомої поверхні на міцність затверділої розчинової складової (склад № 12-14 за табл. 1). У одержаний попередній склад №8 розчинової складової додавали шлак мелений, що відрізнявся тониною помелу за питомою поверхнею 900, 1500 та 2750 см²/г, у кількості не більше 10 %.

Визначення показників міцності при стиску розчинової складової показали, що тонина помелу шлаку доменного меленого за питомою поверхнею 1500 см²/г є більш ефективною. Збільшення питомої поверхні шлаку є недоцільним у зв'язку з енергетичними витратами помольного обладнання під час помелу. Кращий експериментальний результат досліджуваної розчинової складової за показником міцності отриманий у складі №14 на основі портландцементу, шлаку меленого (питома поверхня 1500 см²/г), золи-винесення, добавок пластифікуючої та лужної дії. Затверділа розчинова складова характеризується міцністю на стиск 25,4 МПа, міцністю на розтяг при згині 8,3 МПа, коефіцієнтом тріщиностійкості 32,6 % і В/Т відношенням 0,410.

Відповідно до завдання дисертаційної роботи визначено «базовий» склад для отримання неавтоклавного газобетону завдяки максимальній міцності та коефіцієнту тріщиностійкості затверділої розчинової складової. Подальші дослідження впливу модифікації твердої складової із застосуванням шлаку доменного меленого (питома поверхня 1500 см²/г) та добавок пластифікуючої і лужної дії передбачено за допомогою математичних методів планування експерименту.

Четвертий розділ присвячений дослідженню впливу модифікації твердої складової на характер структури та основні властивості неавтоклавного газобетону. Дослідження були впроваджені у два технологічні етапи з обґрунтуванням змінних факторів та рівнів їх варіювання. На основі отриманих результатів побудовані математичні моделі властивостей газобетону з використанням розрахунково-графічної програми Microsoft Excel та COMPEX.

На першому етапі вирішені завдання за визначенням впливу кількості шлаку доменного грубомеленого (питома поверхня 1500 см²/г) для встановлення закономірності зміни міцності затверділої розчинової складової, а також пористості неавтоклавного газобетону, на другому – встановленні закономірності впливу шлаку грубомеленого шляхом модифікації вапняно-

карбонатним тонкодисперсним наповнювачем та добавками пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії на основні властивості неавтоклавного газобетону із застосуванням математичних методів планування експерименту для обох етапів.

Повні відомості про змінні фактори, їх рівнів та інтервалів варіювання наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Рівні варіювання факторів, що досліджують

Натуральний вигляд фактору	Код фактору	Одиниця виміру	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
			-1	0	+1	
перший технологічний етап						
X ₁ –вміст цементу	Ц	%	40	45	50	5
X ₂ –вміст доменного меленого шлаку	Ш	%	0	10	20	10
X ₃ –вміст пластифікуючої добавки	Д	%	0	0,3	0,6	0,30
другий технологічний етап						
X ₄ –вміст карбонату кальцію (кальцит)	К	%	5	6,5	8	1,5
X ₅ –вміст гідроксиду кальцію(портландит)	П	%	0	2	4	2
X ₆ –вміст хлориду кальцію	ХК	%	0	0,30	0,60	0,30

Постійні фактори: діаметр розпливу розчинової складової за віскозиметром Суттарда 230±10мм.

Технологічний етап 1: Внаслідок реалізації експерименту визначені наступні характеристики: міцність на розтяг при згині та при стиску розчинової складової та газобетону у віці 28 діб; відкрита та закрита пористість газобетону; критерій якості ефективного порового простору.

Отримані результати дозволили розрахувати коефіцієнти математичних моделей досліджуваних властивостей, побудувати самі математичні моделі та графічні залежності, що відтворюють вплив змінних факторів на дані властивості. Нижче наведено короткий аналіз отриманих результатів експерименту.

Водопотреба розчинової складової знижується до 0,37 за умови вмісту в складі розчину максимальної кількості пластифікуючої добавки – 0,6 % від маси цементу згідно з рис. 1.

Встановлено, що під час сумісної дії портландцементу та шлаку меленого міцність при стиску розчинової складової зростає відповідно до збільшення у розчині кількості шлаку меленого. Рис. 2 відображає результати випробування

газобетону, де за максимального вмісту шлаку меленого 20 % отримано неавтоклавний газобетон невисокої міцності 1,35 МПа, що належить до класу бетону за міцністю С1.

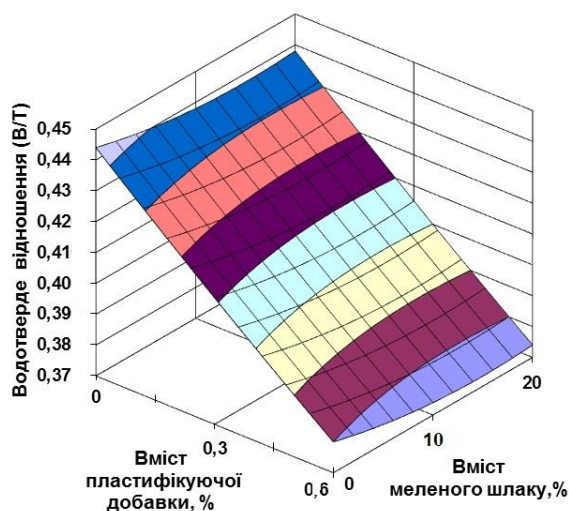


Рис. 1. Вміст пластифікуючої добавки та шлаку меленого на водотверде відношення розчинової складової за вмісту портландцементу 45%

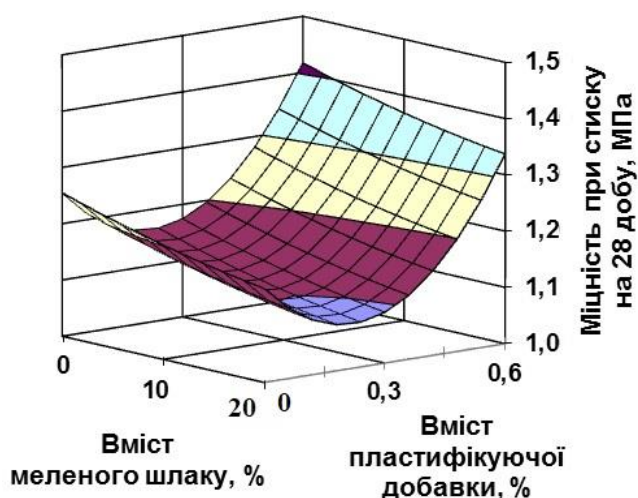


Рис. 2. Вміст шлаку меленого та пластифікуючої добавки на міцність при стиску газобетону на 28 добу за вмісту портландцементу 45%

Крім цих показників, в експерименті були визначені відкрита та закрита пористість газобетону. Враховуючи значення пористості, був визначений критерій якості пор ніздрюватого бетону.

Критерій якості (K_{Π}) ефективного порового простору ніздрюватого бетону розраховували за формулою:

$$K_{\Pi} = \Pi_{\text{заг}} / \Pi_{\text{відкр}}, \quad (1)$$

де $\Pi_{\text{заг}}$ – пористість загальна, %, $\Pi_{\text{відкр}}$ – пористість відкрита, %

Показник критерію якості пор складу газобетону марки D500 відповідає максимальному значенню 1,92. Під час витрати шлаку меленого 20 % та цементу 50 % пористість відкрита складає 39,3 % згідно рецептури №8 (рис. 3).

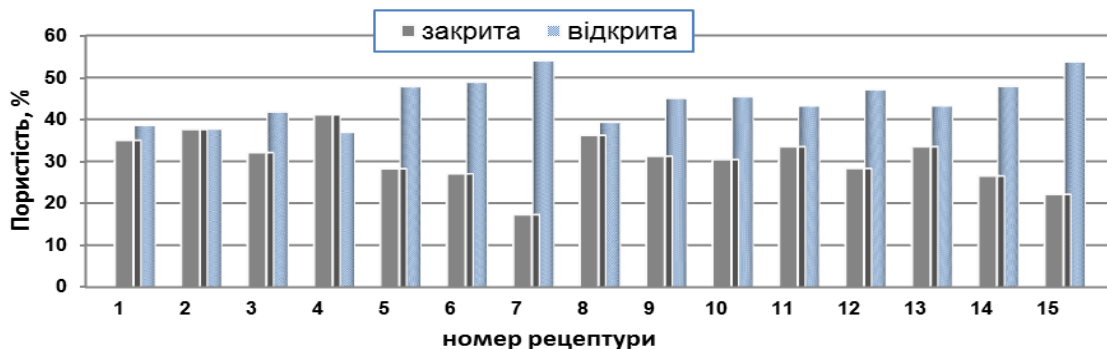


Рис. 3. Пористість газобетону відкрита та закрита

Експериментальні дані довели ефективність введення до складу газобетону шлаку грубомеленого за питомою поверхнею $1500 \text{ см}^2/\text{г}$. Введення шлаку у кількості до 20 % не знижує міцність газобетону, але водночас покращує показники пористості та є одним із чинників зниження собівартості бетону. Однак отриманий ніздрюватий бетон має невисоку міцність.

Тому для підвищення міцності газобетону на другому технологічному етапі проводили експеримент із встановлення закономірності впливу шлаку грубомеленого, модифікованого вапняно-карбонатним тонкодисперсним наповнювачем та добавками пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії на характер структури (напруженість екіпотенціального поля) та основні властивості неавтоклавного газобетону із застосуванням математичних методів планування експерименту.

Технологічний етап 2. Під час експериментальних досліджень були визначені наступні фізико-механічні характеристики: міцність на стиск газобетону у віці 28 діб. Також виявлено закономірності впливу досліджуваних факторів на характер структури (напруженість екіпотенціального поля) ніздрюватого бетону. За отриманими результатами експерименту розраховані математичні моделі досліджуваних властивостей та побудовані графічні залежності.

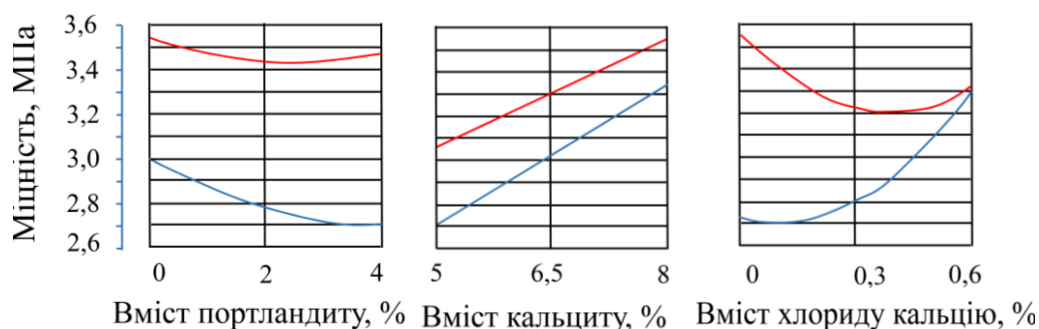
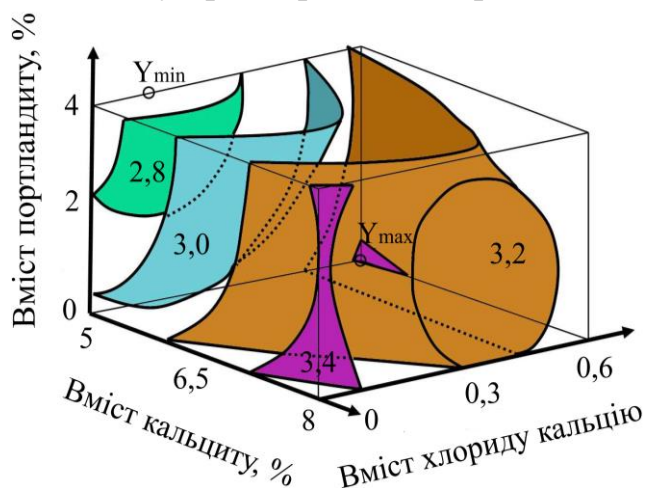


Рис. 4. Закономірності впливу змінних факторів на міцність газобетону

На рис. 4 однофакторні залежності свідчать, що введення карбонату кальцію (кальцит) – змінний фактор X_4 – має найбільший вплив на міцність газобетону, додавання якого призводить до його підвищення. Введення гідроксиду кальцію (портландиту) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – фактор X_5 – у зоні максимальних значень практично не впливає на міцність газобетону, а у зоні мінімальних значень призводить до незначного його зменшення. Введення хлориду кальцію CaCl_2 – фактор X_6 – до 0,3 % від маси цементу призводить до зниження міцності ніздрюватого бетону (у зоні максимальних значень). Під час додавання більшої кількості прискорювача тверднення до складу бетону міцність зростає незначними темпами.

На рис. 5 у тривимірному рецептурному полі зображені ізоповерхні міцності на стиск газобетону. Проаналізувавши отримані у процесі експерименту результати, необхідно зазначити, що міцність газобетону зростає до 3,47 МПа у разі використання максимальної кількості кальциту до 8 % незалежно від кількості портландиту на всьому діапазоні його витрат до 4 %. За максимальної кількості в складі прискорювача тверднення 0,6 % – міцність на стиск газобетону зростає до 3,37 МПа за умови повної відсутності портландиту або з додаванням максимальної його кількості – 4 %. За вмісту кальциту 8 % за відсутності прискорювача тверднення міцність газобетону також зростає до 3,53 МПа. Аналогічну ситуацію з приростом міцності маємо за умови вмісту в складі бетону прискорювача тверднення 0,6 % та кальциту відповідно 5 %.



$$Y_{\min} = 2,7$$

$$X_4 = -1; X_5 = 1; X_6 = -0,66$$

$$Y_{\max} = 3,47$$

$$X_4 = -1; X_5 = 1; X_6 = 1$$

Рис. 5. Ізоповерхні міцності на стиск газобетону у віці 28 діб

Отже, внаслідок модифікації твердої складової вапняно-карбонатною добавкою отримали найбільшу міцність при стиску 3,53 МПа, що належить до складу газобетону за максимальним вмістом кальциту та портландиту за відсутності прискорювача тверднення. Одержаний газобетон з середньою густиною 500 кг/м^3 відповідає класу бетону за міцністю С2.

Окрім цього була визначена залежність міцності отриманого газобетону від напруженості екіпотенціального поля. Ця характеристика прогнозує появу внутрішньої поверхні розділу між двома сусідніми порами. Для розрахунку

напруженості еквіпотенціального поля в кожному рядку експерименту відбирали зразки газобетону, ретельно зачищали поверхню та за допомогою фотокамери та мікроскопу здійснювали фотофіксації структури газобетону. Далі кожен з фотофіксацій обробляли у спеціальній програмі, яка у підсумку розраховувала кількісний показник напруженості еквіпотенціального поля. За результатами дослідження побудована залежність між показником характеру структури та міцністю газобетону (рис. 6).

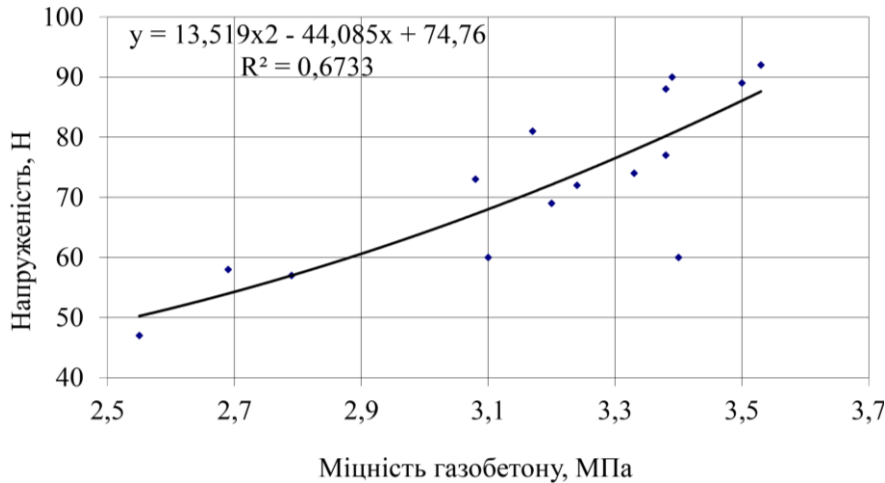


Рис. 6. Залежність між напруженістю еквіпотенціального поля та міцністю неавтоклавного газобетону

Варто звернути увагу на певну кореляцію між міцністю на стиск газобетону та напруженістю еквіпотенціального поля. Зростання міцності газобетону та напруженості еквіпотенціального поля можливо тільки за наявності кальциту в складі газобетону.

Фазовий склад газобетону вивчали за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-4-07 в умовах відфільтрованого нікелем Cu K_α ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) випромінюванні при кутовому інтервалі 2Θ від 5 до 80° , що відображений на рис. 7.

На рис. 7 відображені дифрактограми складів газобетону, які отримані згідно з першим технологічним етапом – склад №8 на основі цементу, шлаку грубомеленого, золи-винесення, пластифікуючої та лужної добавки. Згідно з другим технологічним етапом розроблений склад №4 на основі цементу, шлаку грубомеленого, золи-винесення, кальциту, портландиту, добавок пластифікуючої і лужної дії, а також склад №5 на основі цементу, шлаку грубомеленого, золи-винесення, кальциту, добавок пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії.

Фазовий склад №4 газобетону густиною 500 кг/м^3 на основі шлаку доменного грубомеленого з додаванням вапняно-карбонатного наповнювача (кальцит; портландит) та добавок пластифікуючої і лужної дії представлено карбонатом кальцію (CaCO_3), фатерітом (ватеріт) – μ -форма CaCO_3 і арагонітом – метастабільної форми CaCO_3 , а також новоутвореннями у вигляді тоберморітового гелю та збільшеної кількості аморфної складової і невеликої кількості не ідентифікованої фази (фаз).

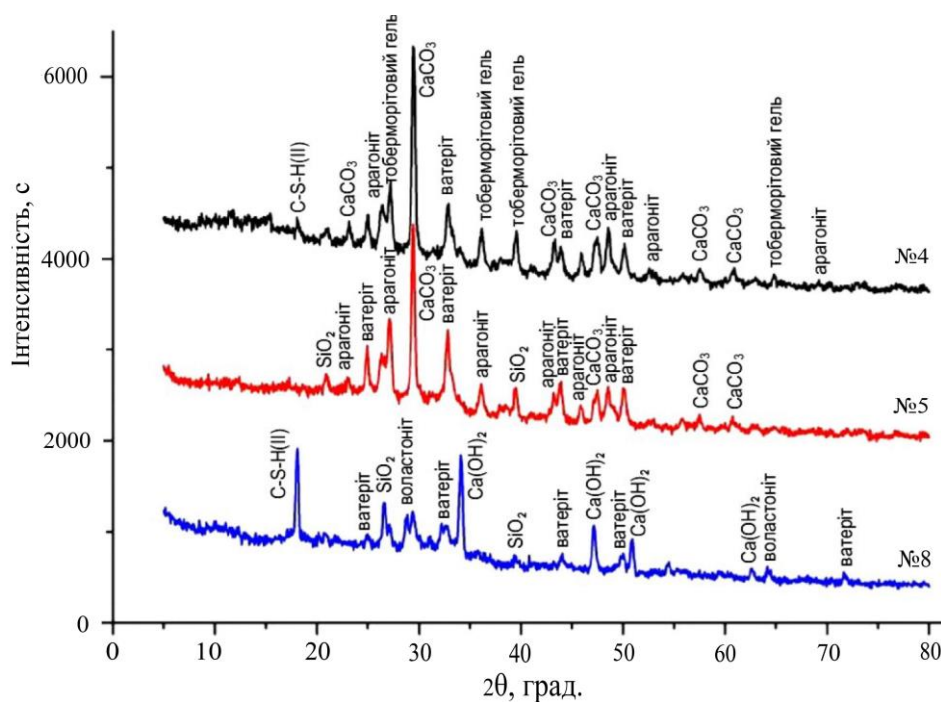


Рис. 7. Дифрактограми порошкових складів ніздрюватого бетону №8 (перший технологічний етап); №4 та №5 (другий технологічний етап)

Виявлені рентгенофазовим аналізом утворені мінерали ніздрюватого бетону у вигляді поліморфних модифікацій карбонату кальцію (CaCO_3) та гідросилікатів тоберморітової групи підтвердили робочу гіпотезу дисертаційної роботи та сприяли покращенню основних властивостей ніздрюватого газобетону шляхом розкриття та реалізації закономірностей, що супроводжують процес модифікації твердої складової неавтоклавного газобетону.

У п'ятому розділі розроблено проект технологічного регламенту на виготовлення неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою. Проект складається з характеристики продукції, переліку сировинних матеріалів та вимог до них, принципової технологічної схеми виготовлення виробів, контролю якості готової продукції, вимог безпеки та охорони довкілля, а також поопераційного контролю.

Техніко-економічна ефективність виробництва партії неавтоклавного газобетону об'ємом 3000 м^3 внаслідок зниження вартості сировинних матеріалів становила 36,4 тис. грн або 12,1 грн/ м^3 ніздрюватого бетону.

Виробництво газобетону неавтоклавного тверднення впроваджено на виробничих потужностях ТОВ «Нові будівельні матеріали» у м. Обухів, Київської області.

Розроблений газобетон з модифікованою твердою складовою має наступні технічні показники: марка за середньою густиною – D500; клас бетону за міцністю на стиск – C2; марка за морозостійкістю – F35; коефіцієнт теплопровідності у сухому стані не більше $0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; відпускна вологість –

35 %; усадка під час висихання – не більше 3 мм/м; загальна пористість – не менше 74 %.

Результати експериментальних досліджень показують, що газобетон марки D500 за фізико-механічними властивостями задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.7-45.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість підвищення міцності неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою. У результаті отримано неавтоклавний газобетон марки D500 з підвищеною міцністю – 3,53 МПа, що належить до класу ніздрюватого бетону С2. Підвищення фізико-механічних показників газобетону здійснено шляхом модифікації його твердої складової, до складу якої входить вапняно-карбонатний тонкодисперсний наповнювач, внаслідок чого утворюються поліморфні модифікації карбонату кальцію (CaCO_3) та гідросилікатів тоберморітової групи.

2. На підставі аналізу літературних джерел про технологічні особливості виготовлення ніздрюватих бетонів, поетапного формування структури розроблено методики проведення експериментів і випробувань газобетону та блок-схему експериментальних досліджень з управління властивостями неавтоклавного газобетону шляхом модифікації твердої складової, що дозволило систематизувати процес досліджень та виявити вплив рецептурно-технологічних факторів на фізико-механічні властивості неавтоклавного газобетону з модифікованою твердою складовою. Такий підхід сприяв розв'язанню завдань досліджень та досягненню мети дисертаційної роботи.

3. Визначено, що водопотреба розчинової складової не повинна перевищувати 0,42 для створення сприятливих умов газоутворення поризованої маси, уникнення просідання ніздрюватобетонної суміші та отримання стійкої однорідної структури газобетону із забезпеченням його максимальної міцності. Зафіксовано у подальших дослідженнях розплив розчинової складової на постійному рівні 230 ± 10 мм для одержання газобетону із середньою густиною 500 кг/м^3 .

4. Експериментально визначено вплив шлаку доменного меленого (900; 1500 та $2750 \text{ см}^2/\text{г}$), золи-винесення, добавок пластифікуючої та лужної дії на міцність і коефіцієнт тріщиностійкості затверділої розчинової складової. З 14 досліджуваних варіацій визначено склад, який забезпечує отримання затверділої розчинової складової з наступними характеристиками: міцність на стиск – 25,4 МПа, міцність при згині – 8,3 МПа, коефіцієнтом тріщиностійкості 32,6 % та В/Т відношенням 0,410. Прийнято базовий склад на основі сировинних компонентів: портландцемент, шлак доменний мелений (питома

поверхня $1500 \text{ см}^2/\text{г}$), зола-винесення, добавок пластифікуючої та лужної дії – для подальшого дослідження впливу модифікаційних перетворень на властивості неавтоклавного газобетону.

5. Проведені експериментальні дослідження, під час яких визначено вплив шлаку грубомеленого доменного ($1500 \text{ см}^2/\text{г}$) та його кількості, на закономірності зміни міцності затверділої розчинової складової, а також пористості та характер розподілу твердої складової неавтоклавного газобетону. За додавання до складу 20 % шлаку меленого від маси твердих складових отримані наступні показники затверділої розчинової складової: міцність при стиску – 21,5 МПа та В/Т відношення 0,374. Одержано газобетон марки D500 за міцністю на стиск – 1,35 МПа, що відповідає класу ніздрюватого бетону C1, за якого враховано пористість відкриту – 39,3 % та характер розподілу твердої складової.

6. Встановлено закономірності впливу модифікованої твердої складової неавтоклавного газобетону, до складу якої входять вапняно-карбонатний тонкодисперсний наповнювач та добавки пластифікуючої, прискорюючої та лужної дії. За методами математичного планування шляхом реалізації 3-х факторного експерименту отримано газобетон марки D500 з відповідною міцністю на стиск – 3,53 МПа. Структурними дослідженнями встановлено зв'язок фізико-механічних властивостей газобетону з напруженістю екіпотенціального поля.

7. Розроблено проект технологічного регламенту на виготовлення неавтоклавного газобетону густиною $500 \text{ кг}/\text{м}^3$ з модифікованою твердою складовою. Розраховано техніко-економічну ефективність виробництва газобетону, яка становила 36,4 тис. грн. на 3000 м^3 або 12,1 грн/ м^3 ніздрюватого бетону. Шляхом оцінки економічної ефективності здійснено впровадження газобетону неавтоклавного тверднення на основі модифікованої твердої складової на виробничих потужностях ТОВ «НОВІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ».

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Крилов Є. О. Водопотреба розчинової суміші на основі комплексного в'язучого з додатком меленого доменного шлаку для неавтоклавного газобетона / Є. О. Крилов, В. І. Мартинов, Т. В. Бойко // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури, 2014, Випуск 53. – С. 220–226. *Особистий внесок здобувача – проведені експериментальні дослідження визначення водопотреби розчинової суміші із шлаком меленим доменним завдяки змінним факторам.*

2. Крылов Е. А. Критерий качества эффективного порового пространства ячеистого бетона неавтоклавного твердения на основе комплексного вяжущего с применением молотого доменного шлака / Е. А. Крылов, Д. В. Зелинский, В. И. Мартынов. // Наук-техн. збірник «Комунальне господарство міст». – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2015. Випуск 118. – С. 21–24. *Особистий внесок здобувача – визначена пористість газобетону – закрита і відкрита на основі шлаку меленого доменного та визначений критерій якості порового простору.*

3. Крылов Е. А. Формирование ячеистой структуры и свойств, характеризующих долговечность неавтоклавного газобетона плотностью 500 кг/м³ на комплексном вяжущем с применением доменного шлака / Е. А. Крылов, В. И. Мартынов, В. М. Виноградский. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, Випуск 57. – С. 251–258. *Особистий внесок здобувача – визначені фізико-механічні характеристики газобетону на основі комплексного в'язучого під впливом основних технологічних факторів.*

4. Мартинов В. І. Підбір складу в'язучого для неавтоклавного газобетона / В. І. Мартинов, Є. О. Крилов. // Наук-техн. збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». – К.: КНУБА. 2015. Випуск 7. – С. 167–173. *Особистий внесок здобувача – розробка складу комплексного в'язучого з покращеними фізико-механічними властивостями.*

5. Крылов Е. А. Комплексное активированное вяжущее для неавтоклавного ячеистого бетона с применением молотого доменного шлака и известково-карбонатной добавки / Е. А. Крылов, В. И. Мартынов, А. М. Ветох. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, Випуск 60. – С. 166–172. *Особистий внесок здобувача – проведені дослідження затверділої розчинової складової із застосуванням вапняно-карбонатної добавки на властивості комплексного в'язучого.*

6. Крылов Е. А. Применение вторичных продуктов в производстве газобетона неавтоклавного твердения / Е. А. Крылов, В. И. Мартынов. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, Випуск 62. – С. 101–105. *Особистий внесок здобувача – наведений аналіз вибору змінних факторів та їх співвідношень з послідуєчим впливом на основні властивості твердої розчинової складової та газобетону. Приведений технологічний процес приготування неавтоклавного газобетону густиною 500 кг/м³.*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

7. Krylov E. A., Martynov V. I. Analysis of Solid Phase Impact on Cellular Concrete Properties. Meridian ingenieresc. // Journal of technical university of Moldova and Moldavian engineering association, 2014, №2(57), P. 35–37. *Особистий внесок здобувача – вивчено вплив пористості та водотвердого відношення на характер структури твердої фази. Наведена протяжність внутрішніх поверхонь розподілу представлених у вигляді моделей.*

8. Martynov V., Martynov E., Krylov I., Herega A. Influence of the Structure of a Material Solid Phase on the Properties of Cellular Concrete. // International Journal of Composite Materials. 2015. Vol. 5, No. 4, P. 79–80. doi: 10.5923 / j.comaterials.20150504.02. *Особистий внесок здобувача – наведена гіпотеза, яка пов'язує властивості матеріалів високопористої будови з характером розподілу його твердої фази. Наведені етапи утворення елементів внутрішніх поверхонь розподілу на ранніх стадіях формування структури матеріалу.*

Стаття у виданні, яке включено до міжнародних наукометричних баз:

9. Krylov E., Martynov V., Mykolaiets M., Martynova O., Vietokh O. Influence of modification of the solid component on the properties of non-autoclaved aerated concrete. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol.3. No.6 (99). P.53–59. doi: 10.15587 / 1729-4061.2019.171012 (*індексується наукометричною базою Scopus*). *Особистий внесок здобувача – наведені результати експериментальних досліджень модифікації твердої складової неавтоклавного газобетону вапняно-карбонатною добавкою, що містить кальцит, портландит та добавки пластифікуючої і прискорюючої дії з метою підвищення його міцності. На основі отриманих даних побудовані експериментально-статистичні моделі досліджуваних властивостей.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Мартынов В. И. Выбор критерия и оценки трещиностойкости неавтоклавного ячеистого бетона на основе комплексного вяжущего с применением молотого доменного шлака / В. И. Мартынов, Е. А. Крылов, Д. В. Зелинский // Сборник науч-техн. конф. «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций». – Саранск: Мордов. ун-та. – 2014. – С. 74–80. *Особистий внесок здобувача – надано оцінку тріщиностійкості газобетону із застосуванням шлаку меленого та наведені особливості структуроутворення цементного каменю під впливом технологічних факторів.*

11. Крилов Є. О. Використання карбонатного наповнювача в газобетоні неавтоклавного тверднення / Є. О. Крилов, В. І. Мартинов. // Збірник тез міжнар. наук-техн. конф. «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій». – Одеса: ОДАБА. – 2018. – С. 76–79. *Особистий внесок здобувача – наведені фізико-механічні властивості газобетону під час використання карбонатного наповнювача.*

12. Крилов Є. О. Неавтоклавний газобетон на комплексному активованому в'язучому / Є. О. Крилов, В. І. Мартинов, Г. Г. Ткаченко // Мат-ли міжнар. сем. «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». – Одеса: ОДАБА. – 2018. – С. 71–73. *Особистий внесок здобувача – наведені тези щодо використання комплексних активованих мінеральних добавок в складі газобетону та наведені методи експериментальних досліджень.*

АНОТАЦІЯ

Крилов Є.О. Вплив модифікації твердої складової на властивості неавтоклавного газобетону. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробництво – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

Дисертаційна робота присвячена покращенню властивостей ніздрюватого бетону шляхом розкриття та реалізації закономірностей, що супроводжують процес модифікації твердої складової неавтоклавного газобетону. Твердою складовою є шлак доменний та вапняно-карбонатний наповнювач.

У якості об'єкта досліджень обрано затверділу розчинову складову та неавтоклавний газобетон густиною 500 кг/м^3 . Визначено оптимальну кількість портландцементу, шлаку доменного грубомеленого, а також пластифікуючої добавки. Однак отриманий ніздрюватий бетон має невисоку міцність, що відповідає класу ніздрюватого бетону С1. У якості твердих складових відібрані карбонат кальцію (кальцит) та гідроксид кальцію (портландит). Газобетон характеризується міцністю на стиск – $3,53 \text{ МПа}$, що відповідає класу ніздрюватого бетону С2. Фазовий склад бетону представлений карбонатом кальцію та його модифікації у вигляді фазеріту – μ -форма CaCO_3 , арагоніту – метастабільної форми CaCO_3 та тоберморітового гелю.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на виробничих потужностях ТОВ «НОВІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ».

Ключові слова: Вапняно-карбонатна добавка, кальцит, міцність неавтоклавного газобетону, модифікація твердої складової, портландит, розчинова складова, характер структури, шлак доменний грубомелений.

АННОТАЦИЯ

Крылов Е.А. Влияние модифицированной твёрдой составляющей на свойства неавтоклавного газобетона. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2020.

Диссертационная работа посвящена улучшению свойств ячеистого бетона путем раскрытия и реализации закономерностей сопровождающих процесс модификации твердой составляющей неавтоклавного газобетона. Твердой составляющей является шлак доменный и известково-карбонатный наполнитель.

В качестве объекта исследований выбрана затвердевшая растворная составляющая и неавтоклавный газобетон плотностью 500 кг/м^3 . Определено оптимальное количество портландцемента, шлака доменного грубомолотого, а также пластифицирующей добавки. Изготовленный неавтоклавный бетон имеет невысокую прочность соответствующую классу ячеистого бетона С1. В качестве твердых составляющих выбраны карбонат кальция (кальцит) и гидроксид кальция (портландит). Газобетон характеризуется прочностью на сжатие – 3,53 МПа, что соответствует классу ячеистого бетона С2. Фазовый состав газобетона представлен карбонатом кальция и его модификации в виде фатерита – μ -форма CaCO_3 , арагонита – метастабильной формы CaCO_3 и тоберморитового геля.

Результаты диссертационной работы внедрены на производственных мощностях ООО «НОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ».

Ключевые слова: Известково-карбонатная добавка, кальцит, прочность неавтоклавного газобетона, модификация твердой составляющей, портландит, растворная составляющая, характер структуры, шлак доменный грубомолотый.

ABSTRACT

Krylov E. O. Influence of Solid Component Modification on the Properties of Non-Autoclaved Aerated Concrete. – Qualifying scientific work as manuscript.

Ph.D. Thesis in Engineering Science majoring in 05.23.05 – Building Materials and Products – Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, 2020.

The thesis is devoted to improvement of the properties of porous concrete by disguising and realization of regularities accompanying the process of solid component modification of non - autoclaved aerated concrete. The blast furnace slag and the calcareous carbonate filler constitute the solid component.

A block diagram of experimental researches which promotes the formulated goal on the management of properties of non-autoclaved aerated concrete by modification of the solid component is presented. D500 mortar component and non-autoclaved aerated concrete were selected as the research object.

The characteristics of the raw materials used in the experimental studies are discussed, as well as the method of conducting experiments and tests on aerated concrete are described. Experimental studies of the effect of water demand of the mortar component on its strength have found that to obtain a stable homogeneous structure W/T ratio should not exceed 0,42, which corresponds to the mortar spread with a diameter of 240 mm. The composition of the hardened mortar component with a bending strength of 8,3 МПа and compression strength of 25,4 МПа with a corresponding crack resistance factor of 32,6 % has been determined. The influence of solid components was studied, which accompanied the modification of the solid

component of non-autoclaved aerated concrete and contributed to the strength of the hardened mortar component.

To determine the regularity of the influence of the solid component modification on the basic properties of non-autoclaved aerated concrete, two three-factor experiments were carried out using the mathematical method of experiment planning.

In the first stage, according to the task, the regularities of change in the strength of the hardened mortar component, as well as the porosity and distribution pattern of the solid component of non-autoclaved aerated concrete due to the influence of coarse blast furnace slag and its amount have been determined. The optimum amount of the following components has been defined: Portland cement – 50 %, blast furnace slag – 20 % of dry materials weight, and plasticizing additive – 0,6 % of cement weight. Increasing the amount of blast furnace slag up to 20 % allowed to obtain an open porosity of 39,3 % and to improve the structural characteristics of non-autoclaved aerated concrete. However, D500 concrete was obtained with a low compressive strength of 1,35 MPa, which corresponds to the aerated concrete of C1 grade class.

In the second stage, the regularities of the influence of the solid component modified by calcareous carbonate fine filler and additives with plasticizing, accelerating and alkaline action on the structure pattern (equipotential field strength) and the basic properties of non-autoclaved aerated concrete have been determined. Calcium carbonate – 8 % (calcite), calcium hydroxide – 4 % (portlandite), but without the use of calcium chloride, were selected as a solid component. The obtained aerated concrete based on calcareous carbonate filler has the following physical and mechanical properties: D500 grade; the compressive strength of aerated concrete is 3,53 MPa, which corresponds to C2 class.

On the basis of the experimental test results obtained in the first and second technological stages, mathematical models of non-autoclaved aerated concrete properties were built using such calculation and graphical programs as Microsoft Excel and COMPEX. The one-factor dependences constructed in the COMPEX system and the three-dimensional isosurfaces of the aerated concrete structure pattern indicator characterize the increase in aerated concrete compression strength and equipotential field strength.

The results of physicochemical studies of non-autoclaved aerated concrete based on the modified solid component were determined using a ДРОН-4-07 diffractometer. The characteristic of the phase composition of concrete is represented by calcium carbonate and its modification in the form of vaterite – μ -form of CaCO_3 , aragonite which is a metastable form of CaCO_3 and tobermorite gel. The complex of experimental studies has revealed the influence of recipe-technological factors on the basic properties of non-autoclaved aerated concrete.

The draft technological regulation has been developed, the basic technological scheme of aerated concrete manufacture by using cutting technology has been presented. The technical and economic efficiency of structural and thermal insulating aerated concrete with a density of 500 kg / m^3 has been calculated. The thesis results have been realized on the production facilities of «NEW BUILDING MATERIALS» LLC.

Keywords: Limestone-carbonate additive, calcite, strength of non-autoclaved aerated concrete, polymorphic modifications of solid component, portlandite, mortar component, nature of structure, blast furnace slag.