

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ГОРНИКОВСЬКА ІРИНА БОГДАНІВНА

УДК 666.793.6:625

**НЕАВТОКЛАВНИЙ ПІНОБЕТОН ДЛЯ ШАРІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник

Каганов Вадим Оскарович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри будівельного виробництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

Мартинів Володимир Іванович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
доцент кафедри виробництва будівельних виробів та
конструкцій;

кандидат технічних наук

Мельник Андрій Ярославович,
ТзОВ «Ферозіт» (м. Львів),
головний технолог сухих будівельних сумішей.

Захист відбудеться «27» квітня 2020 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, навчальний корпус ІІ, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1) та на сайті <https://lpnu.ua/research/disscoun/d-3505217>.

Автореферат розісланий «26» березня 2020 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.17
к.т.н., доцент

П.Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах постійно зростаючого транспортного навантаження, збільшення інтенсивності та швидкості руху по автомагістралях підвищуються витрати на капітальні та поточні ремонти автомобільних доріг для забезпечення безпеки руху по них. Якщо порівняти довговічність дорожнього одягу на вітчизняних та закордонних об'єктах транспортної інфраструктури, то в Україні відзначається у 1,5–2,0 рази менший міжремонтний термін при практично ідентичних кліматичних умовах експлуатації. Крім того, норми розрахунку та якість виконання дорожнього одягу в Україні та країнах світу і Євросоюзу мають певні розбіжності. Типи та властивості будівельно-дорожніх матеріалів, що застосовуються в будівництві та проектуванні автомобільних доріг, також відрізняються.

Одним із шляхів зниження вартості експлуатації та витрат на утримання дорожньо-транспортної інфраструктури є впровадження в проектну та будівельну практику нових конструктивних рішень дорожнього одягу, які б забезпечували високу якість дорожнього покриття протягом нормативного експлуатаційного періоду. Цього можна досягнути за рахунок введення в конструкцію дорожнього одягу в якості протиморозного прошарку ефективного теплоізоляційного матеріалу з метою виключення ефекту морозного здимання дорожнього полотна автомобільних доріг нежорсткого типу.

Пінобетон є універсальним і ефективним теплоізоляційним матеріалом, який широко і давно використовується в цивільному і промисловому будівництві України та закордоном. Влаштування теплоізоляційного прошарку з неавтоклавного пінобетону дає змогу повністю або частково запобігти промерзанню або перегріву основи дорожнього одягу, знизити вплив періодичних температурних коливань навколишнього середовища, що забезпечує підвищення довговічності конструкції дорожнього полотна.

Методики розрахунку параметрів влаштування ефективного теплоізоляційного прошарку дорожнього одягу, яка б враховувала фактичні показники теплопровідності усіх шарів дорожнього одягу та виключала ефект морозного здимання дорожнього полотна, в практиці проектування та будівництва автодоріг на території України на даний момент відсутня. У зв'язку з цим, проблема розроблення пінобетонів з підвищеними експлуатаційними властивостями як ефективного теплоізоляційного прошарку для проектування довговічних багат шарових конструкцій дорожнього одягу є практично значимою та актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Комплексної державної програми енергозбереження України та Концепції науково-технічної політики в дорожньому господарстві України, затвердженої Державною службою автомобільних доріг України, Постанови Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2004 року № 684 «Про затвердження програм розвитку виробництва ніздрюватих бетонних виробів та їх використання на 2005-2020 роки», відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки, вказаних в Законі України від 11 липня 2001 року № 2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки». Дисертація виконувалась в межах

держбюджетної науково-дослідної роботи «Основи технології створення наномодифікованих надшвидкотверднучих портландцементів та високоміцних дисперсно-армованих композитів з підвищеною ударною в'язкістю на їх основі» (номер держреєстрації 0117U004446) згідно з тематичним планом Міністерства освіти і науки України, де автор дисертації була виконавцем.

Мета роботи і завдання дослідження. Розроблення конструкційно-теплоізоляційних дисперсно-армованих пінобетонів неавтоклавного тверднення для використання в протиморозних прошарках багат шарових дорожніх одягів автомобільних доріг, а також розвиток принципів раціонального проектування ефективного за теплотехнічними параметрами теплоізоляційного прошарку дорожнього одягу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- встановити вплив технологічних факторів та дисперсного армування на міцнісні та деформаційні параметри конструкційно-теплоізоляційних фібропінобетонів неавтоклавного тверднення;
- розробити ефективні склади дисперсно-армованих конструкційно-теплоізоляційних (D600–D1000) неавтоклавних пінобетонів;
- виявити фізико-хімічні особливості гідратації розроблених пінобетонів, армованих дисперсними поліпропіленовими волокнами;
- провести експериментальні дослідження фізико-механічних та теплофізичних характеристик пінобетону неавтоклавного тверднення і дослідити їх будівельно-технічні властивості;
- запропонувати багат шарову конструкцію дорожнього одягу з використанням монолітного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону для застосування в якості теплоізоляційного прошарку автомобільних доріг;
- розробити методику розрахунку величини теплоізоляційного прошарку з використанням монолітного пінобетону з метою підвищення довговічності дорожнього одягу та усунення впливу ефекту морозного здимання дорожньої основи автомобільних доріг;
- провести практичну апробацію розроблених складів неавтоклавних пінобетонів, армованих дисперсними волокнами поліпропіленової фібри, та обґрунтувати їх техніко-економічну ефективність.

Об'єкт дослідження: процеси направленої регулювання технологічних та будівельно-технічних властивостей пінобетонів неавтоклавного тверднення, дисперсно-армованих волокнами поліпропіленової фібри, для теплоізоляційних шарів дорожнього одягу.

Предмет дослідження: конструкційно-теплоізоляційні дисперсно-армовані пінобетони неавтоклавного тверднення з підвищеними експлуатаційними властивостями для використання в шарах дорожнього одягу автомобільних доріг.

Методи досліджень. Виконання експериментальних досліджень проведено із застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу, зокрема рентгенівської дифрактометрії, растрової електронної мікроскопії та ін. Визначення фізичних, фізико-механічних та будівельно-технічних властивостей дисперсно-армованих пінобетонів здійснено згідно з діючими нормативними документами,

стандартизованими і оригінальними методиками досліджень. Оптимізацію робочих складів конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів, дисперсно-армованих волокнами поліпропіленової фібри, проведено із застосуванням експериментально-статистичних методів математичного планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість одержання конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів неавтоклавного тверднення з підвищеними експлуатаційними характеристиками шляхом тривимірного зміцнення дисперсними поліпропіленовими волокнами фібри та його застосування в якості протиморозного прошарку багатошарового дорожнього одягу автомобільних доріг;
- подальший розвиток отримали закономірності дисперсного армування пінобетону поліпропіленовими волокнами, які інтегруючись в єдину систему, підвищують її мікрооднорідність та сприяють зростанню границь розділу, на яких відбувається перерозподіл внутрішніх напружень, а також забезпечують впорядкування субмікроструктури, в результаті чого в 1,5 рази підвищується опір руйнуванню та в 2,2 рази зростають показники тріщиностійкості матеріалу;
- вперше розроблені принципи проектування дорожнього одягу з використанням в якості протиморозного прошарку монолітного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону, які базуються на визначенні опору теплопередачі конструктиву автодороги та виключенні ефекту морозного здимання, з пропозиціями щодо технології застосування розроблених конструктивних рішень;
- вперше встановлено розрахункові величини необхідного опору теплопередачі дорожнього одягу для природно-кліматичних районів України та розроблено номограми з метою практичного визначення оптимальних параметрів теплоізоляційного прошарку з монолітного конструкційно-теплоізоляційного неавтоклавного фібропінобетону марок за густиною D600, D800 та D1000.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено ефективні склади конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів неавтоклавного тверднення для теплоізоляційних шарів дорожнього одягу з метою вирішення завдань підвищення показників довговічності, скорочення виробничого циклу, інтенсифікації продуктивності праці, економії трудових та енергетичних ресурсів;
- результати роботи використані Державним дорожнім науково-дослідницьким інститутом імені М.П. Шульгіна «ДерждорНДІ» у процесі розроблення «Рекомендацій з використання в дорожньому будівництві пінобетону» (Р В.2.7-218-03450778-681-2007) та під час будівництва дослідно-промислових ділянок магістральних автомобільних доріг в Одеській обл. Результати досліджень впроваджені в будівельну практику при будівництві нових і реконструкції існуючих автомобільних доріг України будівельними компаніями «Трембіта», ТзОВ «Галичина», ТзОВ «Балмікс», ЖБК «Уманський дім» та ПВКТИ КиївДіпротрас».

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментальних досліджень, інтерпретації одержаних результатів та у впровадженні результатів роботи в реальну будівельно-дорожню практику.

Особистий внесок здобувача відображено в наступних наукових роботах:

- проведено дослідження тріщиностійкості пінобетону неавтоклавного тверднення, армованого та неармованого волокнами поліпропіленової фібри [1, 12, 13];
- запропоновано багат шарову конструкцію дорожнього одягу з використанням монолітного конструкційно-теплоізоляційного пінобетону неавтоклавного тверднення природньої вологості в якості теплоізоляційного прошарку [2, 4, 14];
- проведено експериментальні дослідження основних фізико-механічних характеристик монолітного неавтоклавного пінобетону марок за густиною D600, D800 та D1000 [3, 5, 7];
- розроблено методику розрахунку величини теплоізоляційного прошарку з використанням монолітного пінобетону та встановлено величини необхідного опору теплопередачі конструктиву дорожнього одягу для природно-кліматичних районів України [6, 9];
- встановлено математичні залежності міцності пінобетону на центральний розтяг для зразків призм і проаналізовано отримані результати міцності та деформативності пінобетонів відповідної густини [8, 10, 11];
- розроблено номограми для практичного визначення необхідної величини протиморозного прошарку при проектуванні дорожнього одягу автомобільних доріг з монолітного конструкційно-теплоізоляційного пінобетону на різних ґрунтах дорожньої основи [9, 14].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково-технічних конференціях: Всеукраїнській Інтернет-конференції молодих учених та студентів «Проблеми сучасного будівництва» (Полтава, 2012); VIII науково-практичному семінарі «Структура, властивості та склад бетону» (Рівне, 2013); XI науково-практичному семінарі «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (Рівне, 2015); Міжнародній конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (Одеса, 2018) і на науково-технічних семінарах та конференціях професорсько-викладацького складу Національного університету «Львівська політехніка» в період з 2008 по 2020 рр.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 14 наукових праць, з яких 10 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття в науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз, 2 – у матеріалах і тезах конференцій та семінарів, 1 наукова праця, яка додатково відображає отримані наукові результати виконаної дисертації.

Структура та обсяг роботи. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 132 сторінках друкованого тексту і складається із вступу, п'яти розділів та загальних висновків. Повний обсяг дисертації становить 178 сторінок, що включає 26 таблиць, 52 рисунки, список використаних джерел із 158 найменувань на 17 сторінках та 7 додатків на 9 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, зазначено основні теоретичні положення, що отримані автором і мають наукову новизну та практичну цінність. Встановлено об'єкт та предмет досліджень, наведено дані про публікації та апробацію результатів дисертації.

У першому розділі зроблено аналітичний огляд літературних джерел, присвячених проблематиці забезпечення довговічності автомобільного дорожнього полотна, його конструктивно-технологічним особливостям, а також сучасним будівельно-дорожнім матеріалам, що використовуються для влаштування конструктивних шарів; розглянуто питання, пов'язані з дослідженнями дисперсного армування пінобетонів неавтоклавного тверднення, а також проаналізовано теоретичні передумови проведення наукових досліджень.

Дослідження та застосування різних теплоізоляційних матеріалів для використання у дорожньому будівництві було розпочате ще у середині ХХ ст., оскільки проблема зниження величини промерзання земляного полотна дорожнього одягу була важливою для експлуатації автомобільних доріг в цілому світі.

Вітчизняний та закордонний досвід будівництва автомобільних доріг свідчить про високу ефективність застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів у конструкції дорожнього одягу. В останні роки в Україні з'явився підвищений інтерес до використання неавтоклавного пінобетону не лише у будівництві житлових та громадських споруд, але і для застосування в дорожньому будівництві як новітнього та високоефективного теплоізоляційного матеріалу дорожнього одягу. У конструкціях дорожнього одягу неавтоклавний пінобетон може виконувати одразу дві функції: теплоізоляційного прошарку та елемента, що створює умови для розподілення навантажень в масиві дорожнього одягу автомобільної дороги.

Наукові дослідження в галузі структуроутворення неавтоклавних ніздрюватих бетонів проводилися за межами України (Крилов Б.А., Лобанов І.А., Лесовик В.С., Моргун Л.В., Орлов Д.А., Сулейманова Л.О., Шахова Л.Д., Awang H., Dhir R. K., Dolton B., Fukang D., Kadela M., Kozłowski M., Newlands M. D. та ін.), а також представниками основних українських наукових шкіл, а саме ОДАБА (м. Одеса) (Вознесенський В.А, Вировой В.М., Мартинов В.І.); КНУБА (м. Київ) (Гоц В.І., Рунова Р.Ф., Кривенко П.В., Пушкарьова К.К.); НУВГП (м. Рівне) (Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Бордюженко О.М.); ПДАБА (м. Дніпро) (Дерев'янка В.М., Мартиненко В.А.); Львівської політехніки (Демчина Б.Г., Саницький М.А., Соболев Х.С., Якимечко Я.Б., Позняк О.Р., Мельник А.Я.), УкрДУЗТ (м. Харків) (Плугін А.А.).

Армування дисперсними волокнами поліпропіленової фібри дозволяє використовувати нові принципи проектування та сучасні методи виготовлення виробів, які базуються на тому, що матеріал та виріб створюються одночасно в рамках одного і того ж технологічного процесу. У результаті суміщення армувальних елементів та цементної матриці утворюється новий матеріал з комплексом властивостей композиту, який не тільки має початкові характеристики його вихідних компонентів, але й отримує нові експлуатаційні якості, якими окремі компоненти не

наділені. Зокрема поява низки властивостей у композитах пов'язана з формуванням в останніх гетерогенної структури, що обумовлює наявність значної поверхні розділу на контактї між волокнами та матрицею неавтоклавного пінобетону.

Більшість дослідників дисперсного армування цементобетону та пінобетону (Дерев'янку В.М., Дорошенко О.Ю., Коротких Д.М., Мішутін А.В., Солодкий С.Й., Mehta P. K., Пейроу П. та ін.) приділяли увагу його підвищеним характеристикам міцності порівняно з неармованими бетонами. Проте цементобетони можуть мати низьку тріщиностійкість одночасно з високим ступенем крихкості руйнування. Станом на сьогодні означені вище характеристики досліджено в недостатній мірі, особливо для дисперсно-армованих пінобетонів неавтоклавного тверднення конструкційно-теплоізоляційного призначення.

У заключній частині огляду літератури сформульовано мету дисертаційної роботи, визначено наукові завдання, які необхідно вирішити в ході її виконання.

У другому розділі наведено характеристики вихідних матеріалів та представлено основні методики досліджень, що були використані в роботі.

При проведенні експериментальних досліджень використано портландцементи загальнобудівельного призначення ПЦ І-500 ПрАТ ПрАТ «Івано-Франківськцемент» та «Миколаївцемент». Дисперсне армування пінобетону проводили волокнами поліпропіленової фібри довжиною 6, 12 та 18 мм, діаметром 18-20 мкм. Для виготовлення дисперсно-армованих пінобетонів використовували кварцовий пісок Жовківського ($M_{кр}=1,62$) та Ясинецького ($M_{кр}=1,18$) родовищ Львівської області і Славутського кар'єру Хмельницької області ($M_{кр}=1,34$).

Фізико-механічні властивості та будівельно-технічні характеристики розроблених конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів, визначали згідно з чинними стандартами України та традиційних нормативних методик досліджень. Моделювання складів дисперсно-армованих пінобетонів проводили за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання з використанням дисоціативно-крокового методу оптимізації.

Вивчення фазового складу продуктів гідратації дисперсно-армованої цементуючої матриці пінобетону проводили за допомогою комплексу методів фізико-хімічного аналізу, зокрема рентгенофазового, диференційно-термічного та ін. Для дослідження морфології поверхні каменю на основі цементуючої матриці та мікрозондового рентгеноспектрального аналізу використано скануючий електронний мікроскоп марки SEM FEI Quanta 250 FEG з системою енергодисперсійного мікроаналізу (EDS).

В третьому розділі наведено основні результати розроблення конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів, армованих поліпропіленовою фіброю, і дослідження їх будівельно-технічних та експлуатаційних властивостей.

Результати впливу довжини поліпропіленової фібри на міцність цементного тіста показали, що оптимальними показниками міцності на стиск та розтяг при згині характеризуються зразки, армовані дисперсним волокном довжиною 12 мм (міцність на стиск при цьому зростає на 6–12% у всі терміни тверднення, а міцність на розтяг згині – на 12,0–20,5 %). Введення поліпропіленової фібри довжиною 18 мм призводить до деякого зниження міцності при стиску цементного каменю, що

зумовлено неоднорідністю розподілення фібри в об'ємі матеріалу. Підвищення ступеня армування до 0,25 мас.% призводить до утворення в цементному тісті комкуватих включень, які спричиняють створення нерівномірної структури, що в результаті впливає на зниження показників міцності на стиск і розтяг при згині (таблиця 1).

Таблиця 1 – Вплив довжини поліпропіленової фібри на властивості портландцементу ПЦ І–500 (тісто 1:0, НГТ=0,31)

Довжина волокон фібри, мм	Ступінь армування, %	Границя міцності на стиск/розтяг при згині, МПа, у віці, діб,		
		2	7	28
-	-	36,7/7,5	56,4/9,1	70,3/11,2
6	0,15	38,9/8,6	60,2/11,6	75,3/13,5
12	0,15	41,2/9,2	61,2/15,2	77,8/18,2
18	0,15	42,1/9,8	62,6/16,2	78,9/19,6
6	0,25	43,7/10,0	79,7/12,8	84,2/16,5
12	0,25	44,5/12,4	81,9/16,4	86,4/19,1
18	0,25	38,3/10,9	71,2/16,5	82,6/19,4

Дослідженнями рухливості фібропінобетонів доведено, що введення волокон поліпропіленової фібри довжиною 6 мм до складу пінобетонної суміші спричиняє зниження рухливості суміші з 300 мм до 290 мм, збільшення довжини фібри до 12 мм зумовлює зменшення розпливу до 270 мм, а при використанні фібри з довжиною волокон 18 мм розплив зменшується до 255 мм. У процесі проведених досліджень густини дисперсно-армованих пінобетонів виявлено, що зростання вмісту волокон спричиняє збільшення їхньої середньої густини, викликане зменшенням стійкості піни при загальному зростанні вмісту дисперсної фази. Так, введення 0,2 мас.% фібри довжиною 6 мм до складу пінобетонної суміші спричиняє зростання густини від 630 до 635 кг/м³, у той час, як збільшення довжини волокна до 18 мм зумовило зростання густини пінобетону до 650 кг/м³. Збільшення густини та наявність дисперсного армування поліпропіленовою фіброю призводить до зростання міцності, як на стиск, так і на розтяг при згині пінобетонів.

Виявлено, що із зростанням модуля крупності використовуваного кварцового заповнювача знижується рухливість, що спричинено підвищенням водоцементного відношення пінобетонної суміші. Так, рухливість суміші з використанням Жовківського піску становила 280 мм, у той час як використання Ясинецького піску забезпечувало одержання пінобетонної суміші з рухливістю до 300 мм. При цьому середня густина пінобетону становила 630 кг/м³. Пінобетон на основі Жовківського піску характеризується підвищенням середньої густини до 720 кг/м³, що відповідає марці за середньою густиною D700.

Аналіз отриманих математично-статистичних залежностей, а також їх графічна інтерпретація дозволяють визначити оптимальне співвідношення рецептурних факторів для одержання необхідної рухливості пінобетонної суміші, а також регламентованих показників середньої густини, міцності на стиск і розтяг при згині

дисперсно-армованих конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів (рисунок 1). Використання 1,5 кг фібри на 1 м³ пінобетонної суміші при відношенні заповнювача 0,3, забезпечує одержання екстремумів значень міцності на стиск (1,9–2,3 МПа), що задовольняє нормативні вимоги стандарту для марки за густиною D600.

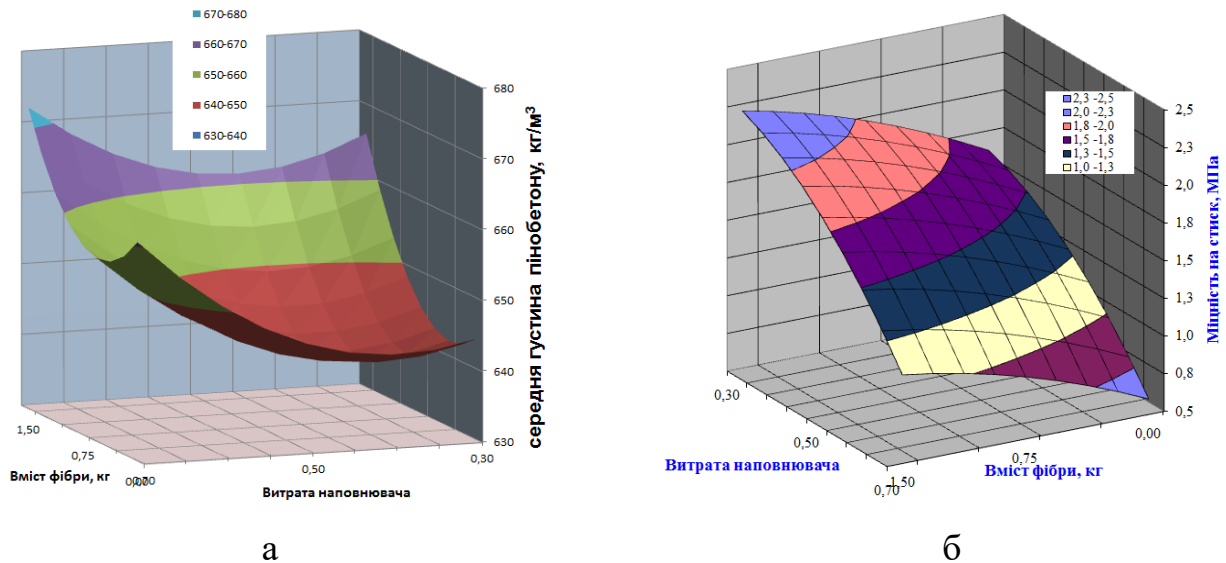


Рисунок 1 – Ізопараметричні діаграми середньої густини (а) та міцності на стиск (б) через 28 днів дисперсно-армованих пінобетонів марки за густиною D600

Методами фізико-хімічного аналізу встановлено, що високі показники міцності на стиск та згин дисперсно-армованих пінобетонів забезпечуються за рахунок направленою формування мікроструктури цементуючої матриці з утворенням гідратних новоутворень, ущільнення цементного каменю внаслідок кольматації пор гідросилікатами і гідроалюмінатами кальцію, а також спільної ефективної роботи поліпропіленової фібри та цементної матриці (рисунок 2).

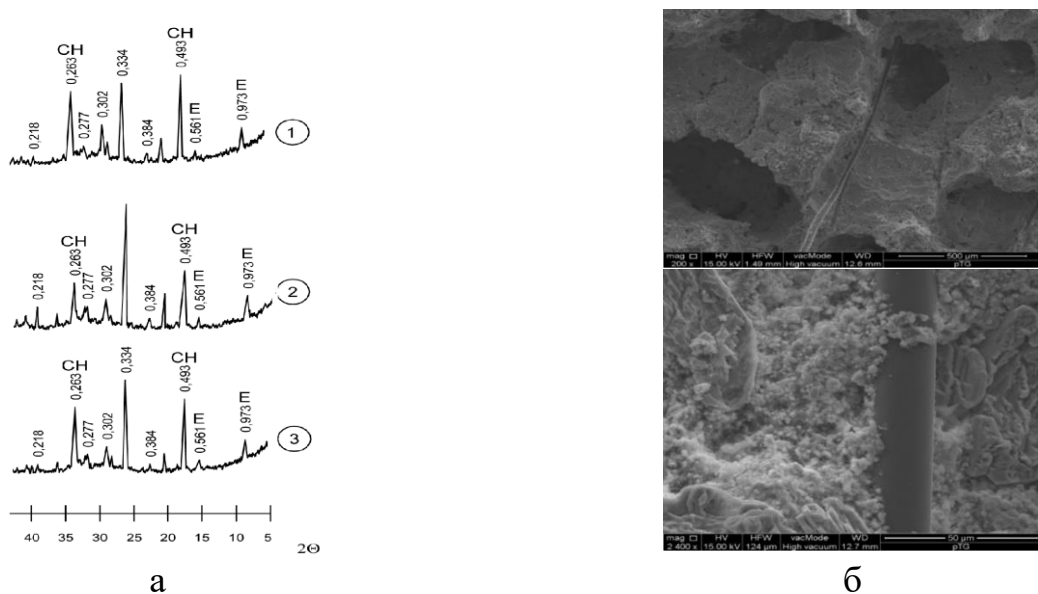


Рисунок 2 – Фазовий склад (а) та мікроструктура (б) цементного каменю пінобетонної матриці через 28 днів гідратації в нормальних умовах на основі:
 1 – портландцементу ПЦ I-500; 2 – цементуючої матриці пінобетону;
 3 – дисперсно-армованої цементуючої матриці

На основі експериментально-статистичних моделей запроєктовано ефективні склади дисперсно-армованих конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів за критеріями рухливості, середньої густини, міцності на стиск та розтягу при згині. Отримані пінобетони характеризуються середньою густиною для марок D600–D1000 та класом за міцністю C1,5–C5, водопоглинанням 59,3–24,9 мас.%, коефіцієнтом розм'якшення 0,81–0,89 (таблиця 2). Коефіцієнти теплопровідності розроблених пінобетонів становлять 0,14; 0,20 та 0,27 Вт/(м·К) для марок за середньою густиною D600, D800 та D1000 відповідно.

Таблиця 2 – Будівельно-технічні властивості дисперсно-армованих конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення показника для пінобетону марок за густиною		
		D600	D800	D1000
Діаметр розпливання пінобетонної суміші	мм	160–200	160–200	160–200
Середня густина бетонної суміші, ρ	кг/м ³	690	905	1030
Середня густина бетону, ρ	кг/м ³	630	825	990
Пористість, P	%	76,0	68,5	62,2
Міцність на стиск, f_{cm28}	МПа	1,9	2,5	6,7
Клас за міцністю		C1,5	C2	C5
Міцність на розтяг при згині, f_{ctd}	МПа	0,69	1,02	1,3
Модуль пружності, E_{cm}	ГПа	1,94	3,40	5,74
Призмova міцність, $f_{ck, prism}$	МПа	1,12	1,57	2,40
Коефіцієнт Пуассона, ν		0,16	0,20	0,27
Усадка бетону, ϵ_y	мм/м	1,2	1,0	0,9
Водопоглинання за масою, W_m	%	59,3	35,8	24,9
Марка за морозостійкістю		F15	F25	F35
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·К)	0,14	0,20	0,27
Коефіцієнт розм'якшення		0,81	0,82	0,89
Коефіцієнт конструктивної якості (ККЯ)	МПа	3,0	3,0	6,8
Коефіцієнт крихкості (f_{ctd}/f_{cm28})		0,36	0,41	0,19
Енерговитрати на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини, $W_L \cdot 10^{-2}$	Н·м	6,29	15,32	25,62
Питомі ефективні енерговитрати на статичне руйнування, G_F	Дж/м ²	16,75	33,25	53,4
Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень, K_C	МПа·м ^{1/2}	0,01	0,03	0,11
Критерій крихкості, $X_{tb}=(G_f E_{tb}/R_{tb}^2) \times 10^{-3}$	м	139	225	258

Дослідженнями деформативних властивостей розроблених пінобетонів встановлено, що модуль пружності матеріалу зростає від 2,5 до 5,74 ГПа, коефіцієнт Пуассона знижується від 0,21 до 0,17, а деформації усадки через 28 діб в повітряно-сухих умовах зменшуються у 2,3 рази порівняно із неармованим пінобетоном. Встановлено, що дисперсне армування забезпечує зростання напруження σ при сталому значенні відносних деформацій дисперсно-армованих ніздруватих бетонів. Так, при введенні 0,2 мас.% поліпропіленової фібри при значенні відносних деформацій $\varepsilon=(2-3)\times 10^{-5}$ забезпечується збільшення напружень σ на 7,3–10,1% порівняно з бетонами без фібри. Дослідження фібропінобетонів неавтоклавного тверднення густиною від 600 до 1000 кг/м³ показали, що стабільні міцнісні та деформативні характеристики отримано при їх вологості в межах 2,6–7,3%.

Характеристики тріщиностійкості пінобетонів визначали при рівноважних механічних випробуваннях із записом повної діаграми «навантаження–деформації» (F–V). Результати випробувань показали, що введення до складу пінобетонів волокон поліпропіленової фібри зумовлює зростання граничних навантажень, при яких відбувається руйнування зразків. Так, для дисперсно-армованого пінобетону марки за густиною D800 значення граничних навантажень в 1,58 рази вищі порівняно з неармованим пінобетоном (рисунок 3). Граничні деформації, при яких відбувається дефрагментація зразків, перевищують 1600×10^{-6} м та приблизно однакові для усіх марок пінобетонів.

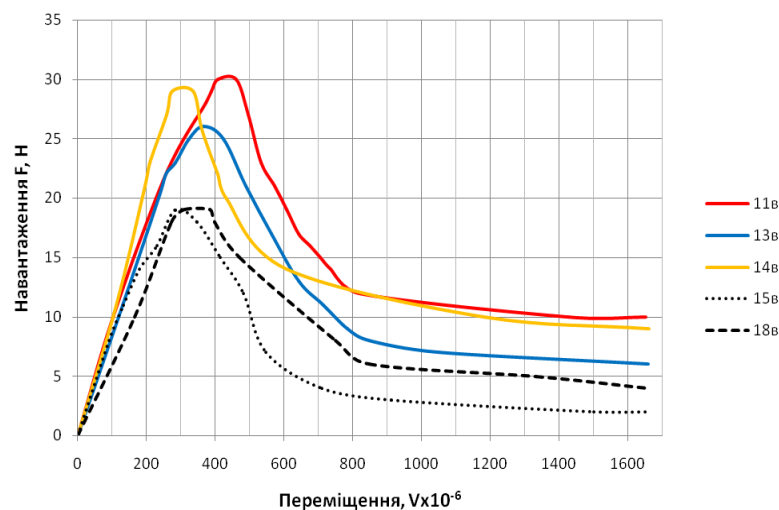


Рисунок 3 – Повна діаграма деформування пінобетону марки D800:
15в, 18в – пінобетон без фібри; 11в, 13в, 14в – пінобетон армований фіброю

Аналізом силових та енергетичних показників тріщиностійкості за методами і критеріями механіки руйнування встановлено, що за показниками енерговитрат на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W_L) та питомих ефективних витрат енергії на статичне руйнування (G_F) дисперсно-армовані поліпропіленовою фіброю пінобетони перевищують аналогічні показники для неармованих бетонів у 1,5–1,8 рази. Аналіз докритичної та закритичної стадій руйнування пінобетону показує значну перевагу пінобетону, армованого фіброю. Так, значення енерговитрат на пружне деформування (W_e) та загальних енерговитрат на

локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W_i) у 1,39 рази перевищують показники неармованого пінобетону.

Армування пінобетону волокнами поліпропіленової фібри сприяє підвищенню тріщиностійкості, зростанню статичних критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень, що дає змогу витримувати більші навантаження до моменту поширення макротріщини та підвищує ефективність роботи пінобетону в закритичній стадії руйнування. При дослідженні модуля пружності за методикою, що базується на рівності значень модуля пружності бетону при стисканні і розтягу з використанням діаграмної залежності «навантаження–деформація», встановлено, що величина деформацій неармованого пінобетону до настання критичної точки руйнування коливається в межах $(420-510) \times 10^{-6}$ м (рисунок 4, а).

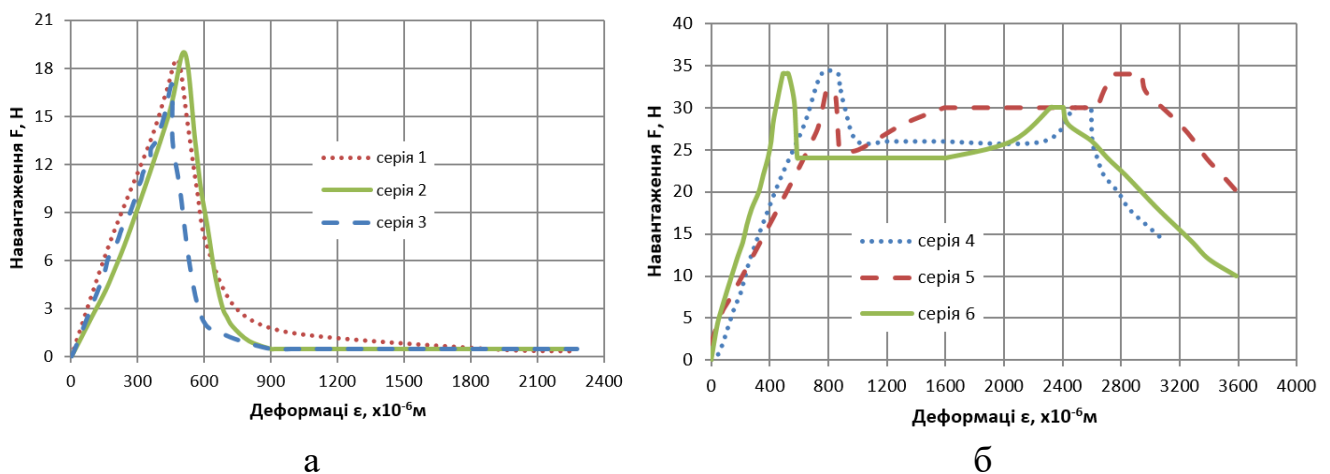


Рисунок 4 – Діаграма «навантаження–деформація» розтягнутої поверхні зразка пінобетону неармованого (а) та армованого поліпропіленовою фіброю (б), марки за середньою густиною D800

Характер деформацій пінобетону, армованого волокнами поліпропіленової фібри, відрізняється від дослідних зразків, у складі яких не використовували дисперсні волокна. Максимальна величина деформацій під навантаженням до критичної точки руйнування коливається в межах $(2420-2940) \times 10^{-6}$ м і настає на другому піку навантаження, після чого спостерігається фрагментація зразків (рисунок 4, б). При цьому величина граничних деформацій дисперсно-армованого неавтоклавного пінобетону в 4,7-5,7 рази вища порівняно з деформаціями пінобетонів без волокон.

Основний ефект введення поліпропіленової фібри до складу пінобетонів спостерігається в закритичній стадії руйнування, коли фібра стримує процес руйнування зразків з моменту розвитку магістральної тріщини (з моменту, коли вже прикладено максимальне руйнівне навантаження) і до повної його фрагментації, що забезпечує стійкість розроблених бетонів в умовах граничних навантажень.

Четвертий розділ присвячено розробленню методу підвищення довговічності дорожнього одягу і усуненню впливу морозного здимання на довговічність покриття автомобільних доріг нежорсткого типу за рахунок введення в конструктив дорожнього одягу розрахункової величини ефективного теплоізоляційного

прошарку. Розроблено методику розрахунку величини теплоізоляційного прошарку з використанням монолітного пінобетону, армованого поліпропіленовою фіброю, та номограми для визначення необхідної товщини теплоізоляційного прошарку з монолітного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону для різних ґрунтів дорожніх основ.

З метою досягнення стійкості конструкції дорожнього одягу морозному здиманню необхідно забезпечити в основі ґрунту земляного полотна дорожнього одягу стабільно додатню температуру, що гарантує уникнення процесу замерзання води в ґрунті і з подальшим утворенням кристаликів льоду, що, збільшуючись в об'ємі, спричиняють процес зимового здимання. Конструкція дорожнього одягу з використанням пінобетонного теплоізоляційного прошарку буде залишатись рівною протягом цілого року, що дає змогу суттєво покращити якість дорожнього покриття автодоріг.

З метою захисту конструкції дорожнього одягу від дії зимового здимання, тепловий потік, що проходить через дану дорожню конструкцію повинен бути рівним або меншим за тепловий потік, який проходить через масив ґрунту до рівня глибини промерзання. За результатами проведених математичних обчислень на основі одержаної аналітичної залежності та виведених усереднених розрахункових значень отримано величини необхідного термічного опору теплопередачі для конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг, що розташовуються в тому чи іншому природньо-кліматичному районі України згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 (таблиця 3).

Таблиця 3 – Розрахункова величина термічного опору конструкції дорожнього одягу

Кліматичний район	Глибина промерзання ґрунту, $H_{\text{мрз}}$, см	Мінімально необхідне значення опору теплопередачі дорожньої конструкції $R_{\text{необ}}$, що розташовується на наступному типі ґрунту, $\text{м}^2\text{К/Вт}$		
		пісок	супісок	суглинок і глина
I	165	1,054	1,455	1,598
	150	0,958	1,323	1,453
II	130	0,843	1,164	1,279
	110	0,714	0,985	1,082
IIIА	95	0,628	0,867	0,952
	80	0,529	0,730	0,801
IIIБ	95	0,642	0,886	0,973
	80	0,541	0,746	0,820
IV	95	0,650	0,898	0,986
	80	0,548	0,756	0,831
IV	95	0,685	0,945	1,038
	80	0,577	0,796	0,874

З метою спрощення розрахунків з підбору величини теплоізоляційного шару з монолітного пінобетону запропоновано номограми для трьох основних варіантів основи в земляному полотні (рисунок 5).

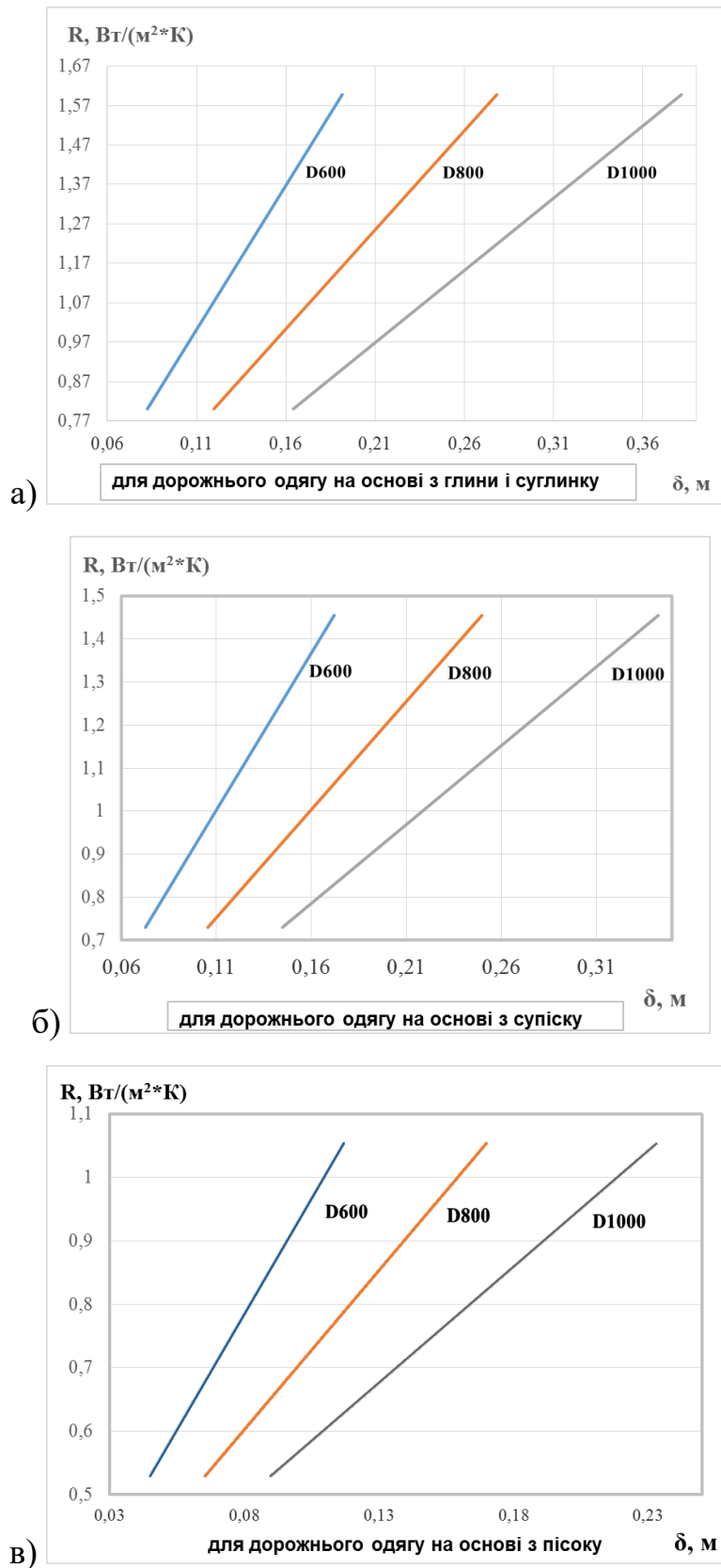


Рисунок 5 – Номограми для підбору величини теплоізоляційного шару з пінобетону для основи з піску (а); з супіску (б); з глини та суглинку (в)

У п'ятому розділі представлені результати дослідно-промислового впровадження конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів, дисперсно-армованих волокнами поліпропіленової фібри, на об'єктах транспортної інфраструктури при влаштуванні автомобільних доріг, внутрішньоквартальних проїздів та пішохідних доріжок.

Проведено промислову апробацію розроблених пінобетонів при влаштуванні дослідно-промислових ділянок автодоріг в Одеській обл. силами Державного дорожнього науково-дослідницького інституту імені М.П. Шульгіна «ДерждорНДІ». Результати спостережень та контролю якості дорожнього покриття даних ділянок впродовж семи років показали високу ефективність використання пінобетону в якості протиморозного прошарку дорожнього одягу автомобільних доріг.

Технологія влаштування протиморозного прошарку з неавтоклавного пінобетону, армованого волокнами поліпропіленової фібри, в конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг, внутрішньоквартальних проїздів та пішохідних доріжок передбачає влаштування гідроізоляційних шарів (геотекстилю, гідроізоляційної плівки чи мембрани) (таблиця 4).

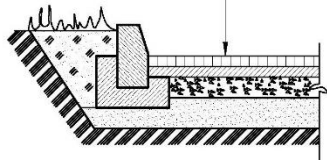
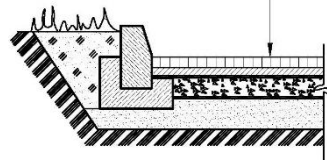
Результати дисертаційної роботи використані Державним дорожнім науково-дослідницьким інститутом імені М.П. Шульгіна «ДерждорНДІ» при розробленні „Рекомендацій з використання в дорожньому будівництві пінобетону” (Р В.2.7-218-03450778-681-2007).

Промислова апробація розроблених дорожніх одягів автомобільних доріг з протиморозним прошарком з монолітного неавтоклавного конструкційно-теплоізоляційного пінобетону, армованого волокнами поліпропіленової фібри, виконано при влаштуванні під'їзних та внутрішньоквартальних доріг і пішохідних майданчиків будівельною компанією «Трембіта», ТзОВ «Балмікс», ЖБК «Уманський дім» при влаштуванні благоустрою на таких об'єктах будівництва: котеджне містечко «Сонячна поляна», дачний кооператив «Сонечко», багатоквартирний житловий будинок у м. Умань, а також при капітальному ремонті ділянки міської автомобільної дороги на вул. Півколо у м. Львові.

Промислову апробацію результатів дисертаційної роботи також виконано у співпраці з проектно-вишукувальним та конструкторсько-технологічним інститутом «КиївДіпроТранс» у процесі розроблення конструктивних рішень примикання типу «м'який в'їзд» в місці переходу від земляного полотна (щебеневої основи) до верхньої будови залізничної колії до залізобетонних штучних споруд під'їзних колій на об'єктах ТЦ «Епіцентр» (м. Київ, вул. Кільцева дорога, 1Б) та виробничої бази Київського управління механізації та будівництва МО України (м. Київ, вул. Бориспільська, 181).

Економічний ефект від впровадження протиморозного прошарку необхідної величини з монолітного неавтоклавного фібропінобетону полягає у збільшенні до 2,5 разів міжремонтного циклу при експлуатації автомобільних доріг нежорсткого типу. Результати порівняння економічного ефекту від впровадження протиморозного прошарку дорожнього одягу автомобільних доріг нежорсткого типу з монолітного неавтоклавного пінобетону, армованого поліпропіленовою фіброю наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняння вартості влаштування дорожнього одягу автомобільних доріг з різними теплоізоляційними прошарками

Назва показника	Влаштування піщаного теплоізоляційного прошарку	Влаштування теплоізоляційного прошарку з монолітного пінобетону
Конструкція дорожнього одягу	<ul style="list-style-type: none"> - асфальтобетон дрібнозернистий - 5 см - асфальтобетон крупнозернистий - 7 см - чорний щебінь - 10 см - щебінь фракціонований - 24 см - пісок середній - 30 см - ущільнений ґрунт 	<ul style="list-style-type: none"> - асфальтобетон дрібнозернистий - 5 см - бетонна підготовка - 12 см (В 12,5, W8) - плівка будівельна - 150 мкм - пінобетон D800 (D1000) - 25 см - геотекстиль щільністю 160 г/см² - пісок середній - 20 см - ущільнений ґрунт 
Технологічні операції, що необхідно виконати при влаштуванні теплоізоляційного прошарку	<ol style="list-style-type: none"> 1) транспортування піску і його складування в штабеля; 2) розподіл і планування піску автогрейдером або бульдозером по підготовленому земляному полотну відповідно до проекту; 3) ущільнення піщаного шару з його поливанням; 4) заливка піщаного підстиляючого шару водою, що дозволяє виявити і виправити ділянки, що вимагають додаткової підсіпки; 5) остаточне планування і детальна геодезична перевірка відміток профілів піщаного підстиляючого шару 	<ol style="list-style-type: none"> 1) прокладання захисної поліетиленової плівки; 2) встановлення опалубки; 3) транспортування пінобетонної суміші; 4) вкладання пінобетонної суміші; 5) профілювання поверхні шару та його загладжування
Комплект машин, що необхідно задіяти	автомобілі-самоскиди, бульдозери, автогрейдери, поливальні машини, катки на пневматичних шинах	автомобілі-самоскиди, автобетоновоз (або бетононасос)
Трудомісткість люд-год	17 767	32 358
Загальна вартість влаштування 1 км, грн	22 512 860	42 531 040
Довговічність (міжремонтний термін), роки	2-7	15-20
Вартість ремонтних робіт протягом 25 років, грн	8 000 000×5 = 32 000 000	8 000 000
Загальна вартість за 25 років експлуатації, грн	54 512 860	50 531 040
Економічна ефективність		7,3%

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи вирішено науково-прикладне завдання розроблення пінобетонів, армованих поліпропіленовою фіброю, з покращеними будівельно-технічними властивостями для використання в дорожньому одязі автомобільних доріг. Внаслідок проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано наступне:

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість одержання конструкційно-теплоізоляційного пінобетону неавтоклавного тверднення з підвищеними будівельно-технічними характеристиками для влаштування теплоізоляційного прошарку в конструкції дорожнього одягу за рахунок тривимірного дисперсного армування поліпропіленовою фіброю.

2. На основі результатів досліджень впливу технологічних факторів на властивості пінобетону встановлено оптимальний вміст (до 0,25% від маси цементу) і довжину (12 мм) армувальних поліпропіленових волокон, що дозволяє отримати високі показники міцності дисперсно-армованого цементного каменю на згин (збільшення на 12–20 %) і на стиск (збільшення на 6–12 %) порівняно з неармованим цементним каменем пінобетону неавтоклавного тверднення.

3. Проведено аналіз процесу структуроутворення дисперсно-армованого пінобетону з позицій системного підходу на основі багатфакторних поліноміальних моделей впливу співвідношення наповнювача та в'язучого, а також кількості дисперсних армувальних волокон, який визначається оптимальними умовами розподілення твердої та газової фаз, а також армування суміжних міжпорових перегородок пінобетону, зв'язуючи їх в один асоціат, що забезпечує спільну роботу матеріалу при різного роду зовнішніх впливах.

4. На основі експериментально-статистичних моделей запроєктовано ефективні склади дисперсно-армованих конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів за критеріями рухливості, середньої густини, міцності на стиск та згин. Отримані ніздрюваті бетони характеризуються середньою густиною для марок за густиною D600–D1000 та класом за міцністю C1,5–C5, водопоглинанням 59,3–24,9 мас.%, коефіцієнтом розм'якшення 0,81–0,89. Дослідженнями деформативних властивостей розроблених пінобетонів встановлено, що модуль пружності бетону зростає від 2,5 до 5,74 ГПа, коефіцієнт Пуассона знижується від 0,27 до 0,17, а деформації усадки через 28 діб в повітряно-сухих умовах зменшуються у 2,3 рази порівняно із неармованим пінобетоном. Встановлено, що дисперсне армування забезпечує зростання напруження σ при сталому значенні відносних деформацій дисперсно-армованих пінобетонів. Так, при введенні 0,2 мас.% поліпропіленової фібри при значенні відносних деформацій $\varepsilon=(2-3)\times 10^{-5}$ забезпечується збільшення напружень σ на 7,3–10,1% порівняно з пінобетонами без фібри.

5. Аналізом силових та енергетичних показників тріщиностійкості за методами і критеріями механіки руйнування встановлено, що за показниками енерговитрат на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W_L) та питомих ефективних витрат енергії на статичне руйнування (G_F) дисперсно-армовані пінобетони перевищують аналогічні показники для неармованих пінобетонів у 1,5–1,8 рази. Аналіз докритичної та закритичної стадій руйнування пінобетону показує

перевагу пінобетону армованого фіброю: значення енерговитрат на пружне деформування (W_e) та загальних енерговитрат на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W_i) у 1,39 рази перевищують показники неармованого пінобетону. Введення до складу пінобетону волокон поліпропіленової фібри веде до зростання в'язкості руйнування (K_i) та критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (K_c). В'язкість руйнування фібропінобетонів у докритичній стадії (K_i) та на стадії поширення тріщин (K_c) в 1,5–3,0 рази перевищує відповідний показник для неармованих пінобетонів.

6. Розроблено метод підвищення довговічності дорожнього одягу і усунення впливу ефекту морозного здимання на якість дорожнього покриття за рахунок введення в конструкцію дорожнього одягу необхідної величини ефективного теплоізоляційного прошарку. Проведено аналіз закономірності процесу теплопередачі в масиві ґрунту земляного полотна та багат шаровому дорожньому одязі. На основі проведеного аналізу встановлено величини необхідного опору теплопередачі дорожнього одягу для природно-кліматичних районів України та запропоновано методику розрахунку величини теплоізоляційного (морозозахисного) шару дорожнього одягу.

7. Розроблено методику розрахунку величини теплоізоляційного прошарку з використанням монолітного фібропінобетону та номограми для визначення необхідної величини теплоізоляційного прошарку з монолітного неавтоклавного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону класів D600-D1000.

8. Результати дослідно-промислового впровадження підтверджують ефективність використання монолітного неавтоклавного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону необхідної товщини в якості протиморозного прошарку конструкції дорожнього одягу. Ефективність від впровадження розроблених фібропінобетонів у конструктиви дорожнього одягу автомобільних доріг становить 3981,820 тис. грн на 1 км автодороги та дозволяє збільшити до 2,5 разів міжремонтний цикл в процесі експлуатації автомобільних доріг нежорсткого типу порівняно з автодорогами з піщаним теплоізоляційним прошарком.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

1. A study of fracture toughness of heavy-weight concrete and foam concrete reinforced by polypropylene fiber for road construction / Solodkyu S., Kahanov V., Hornikovska I., Turba Y. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. № 4/5 (76). P. 40–46. ISSN 1729-3774, Scopus.
2. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Шляхи використання безавтоклавного пінобетону в дорожньому будівництві // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». № 27. 2008. С. 116–121. ISSN 0321-0499.
3. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Дослідження фізико-механічних та експлуатаційних властивостей безавтоклавного пінобетону для дорожнього будівництва // Вісник Донецької національної академії будівництва та архітектури.

- «Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва». Вип. 6(80). 2009. С. 63-69. ISSN 1814–3296.
4. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Новітні підходи до використання пінобетону в дорожньому будівництві // Бетон і залізобетон. 2009. №5. С. 21–24.
 5. Горніковська І.Б., Демчина Х.Б., Ковальчик Я.І. Дослідження фізико-механічних властивостей пінобетону, армованого фіброю // Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури. № 37. 2010. С. 100–112.
 6. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Забезпечення морозостійкості конструкції дорожнього одягу та земляного полотна автомобільних доріг // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». № 662. 2010. С. 2010–204. ISSN 0321-0499.
 7. Каганов В.О., Горніковська І.Б., Івасів І.С. Експлуатаційні характеристики морозозахисного прошарку дорожнього одягу нежорсткого типу з монолітного безавтоклавного пінобетону // Будівельні матеріали та вироби. №3. 2010. С. 21–23.
 8. Взаємний зв'язок міцнісних та деформаційних характеристик безавтоклавного пінобетону / В.Б. Верба, І.Б. Горніковська, Х.Б. Демчина, В.В. Волоцюга, П.О. Голик // Вісник Донецької національної академії будівництва і архітектури «Сучасне промислове та цивільне будівництво». Т. 8. № 1. 2012. С. 28–35. ISSN 1819-432X.
 9. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Методика розрахунку величини теплоізоляційного прошарку автомобільних доріг нежорсткого типу // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». №737. 2012. С. 71–78. ISSN 0321-0499.
 10. Дослідження міцності неавтоклавного пінобетону на розтяг при згині / В.В. Волоцюга, Х.Б. Демчина, І.Б. Горніковська, О.А. Гаврилко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 5(35). Полтава, 2012. С. 161–165.
 11. Горніковська І.Б., Каганов В.О. Деформативні характеристики безавтоклавного пінобетону для шарів дорожнього одягу // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». 2013. № 755. С. 95–99. ISSN 0321-0499.
 12. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Тріщиностійкість пінобетонів безавтоклавного виробництва. Збірник наукових праць «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Вип. 26. Рівне: НУВГП. 2013. С. 179–185. ISSN 2218-1873.
 13. Горніковська І.Б., Каганов В.О. Тріщиностійкість пінобетонів для дорожнього будівництва // Збірник наукових праць «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Вип. 31. Рівне: НУВГП. 2015. С. 305–312.
 14. Каганов В.О., Горніковська І.Б., Позняк О.Р. Підвищення експлуатаційних властивостей дорожніх одягів автомобільних доріг // Збірник тез доповідей Міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса, 2018. С. 20–22.

АНОТАЦІЯ

Горніковська І.Б. Неавтоклавний пінобетон для шарів дорожніх одягів автомобільних доріг. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2020.

Дисертаційна робота присвячена питанням розроблення теоретичних основ технології дисперсно-армованого пінобетону неавтоклавного тверднення з регламентованими будівельно-технічними і деформаційними характеристиками для можливості його використання в якості теплоізоляційного шару дорожнього одягу. Запроектовано ефективні склади пінобетонів, досліджено будівельно-технічні властивості, здійснено промислово-дослідну апробацію та розраховано техніко-економічну ефективність використання фібропінобетонів неавтоклавного тверднення.

Здійснено дослідження тріщиностійкості пінобетону неавтоклавного тверднення, неармованого та армованого волокнами поліпропіленової фібри. Дослідження проводилися за критеріями механіки руйнування з метою визначення міцнісних та деформативних характеристик досліджуваних пінобетонів. Встановлено, що армування пінобетону неавтоклавного тверднення поліпропіленовою фіброю підвищує міцнісні та деформативні характеристики, силові та енергетичні параметри тріщиностійкості. Показано, що у закритичній стадії руйнування фібра стримує процес руйнування з моменту розвитку магістральної тріщини і до повної дефрагментації.

Запропоновано методику розрахунку величини теплоізоляційного (протиморозного) прошарку з використанням монолітного неавтоклавного фібропінобетону та номограми для визначення необхідної величини протиморозного прошарку з монолітного неавтоклавного конструкційно-теплоізоляційного фібропінобетону марок за густиною D600-D1000.

Ключові слова: конструкційно-теплоізоляційний пінобетон неавтоклавного тверднення, дисперсне армування, будівельно-технічні властивості, тріщиностійкість, теплоізоляційний шар, дорожній одяг.

АННОТАЦИЯ

Горниковская И.Б. Неавтоклавный пенобетон для слоев дорожной одежды автомобильных дорог. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2020.

Диссертация посвящена вопросам разработки теоретических основ технологии дисперсно-армированного ячеистого бетона неавтоклавного твердения с регламентированными строительными-техническими и деформационными

характеристиками для возможности его использования в качестве теплоизоляционного слоя дорожной одежды. Запроектированы эффективные составы пенобетонов неавтоклавного твердения, исследованы строительно-технические свойства, осуществлено промышленную апробацию и рассчитана технико-экономическая эффективность их использования.

Проведено исследование трещиностойкости пенобетонов неавтоклавного твердения, неармированных и армированных волокнами полипропиленовой фибры. Исследования проводили по критериям механики разрушения с целью установления характеристик прочности и деформативности, а также силовых и энергетических показателей трещиностойкости исследуемых бетонов. Установлено, что армирование пенобетона неавтоклавного твердения полипропиленовой фиброй увеличивает прочностные показатели, силовые и энергетические характеристики трещиностойкости пенобетонов неавтоклавного твердения, а также сдерживает процесс разрушения с момента развития магистральной трещины и до полной дефрагментации.

Предложен алгоритм расчёта толщины теплоизоляционного (противоморозного) слоя с использованием монолитного неавтоклавного фибропенобетона и номограммы для расчёта необходимой толщины противоморозного слоя из монолитного неавтоклавного конструкционно-теплоизоляционного фибропенобетона марок по плотности D600–D1000.

Ключевые слова: конструкционно-теплоизоляционный пенобетон неавтоклавного твердения, дисперсное армирование, строительно-технические свойства, трещиностойкость, теплоизоляционный слой, дорожная одежда.

ANNOTATION

Hornikovska I. B. Non-autoclaved foam concrete for layers of road surface dressing. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Engineering Science according to speciality 05.23.05 “Building Materials and Products” – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

The dissertation is devoted to the development of the theoretical foundations of the technology of dispersed reinforced non-autoclaved foam concrete with specified construction, technical and stress-related properties for the possibility of its use as a heat-insulating layer of road surface dressing.

In the course of the research the following results were achieved: the effective foam concrete compositions were designed; the construction and technical properties of foam concrete were investigated; the industrial-research and practical approval was carried out; the technical and economic efficiency of using non-autoclaved fiber-reinforced foamed concrete in highways surface dressing was calculated.

The thesis studies the matters of improving the performance properties of non-rigid roads by replacing the frost-resistant layer made of building sand with a layer of monolithic

non-autoclaved foam concrete reinforced with polypropylene fiber grades of density D600, D800 and D1000. The existing approaches to the use of non-autoclaved foam concrete as road surface dressing layers are analyzed in order to eliminate the effect of frost lift of the subgrade in Ukraine.

According to the developed block diagram of studies, the basic physical, mechanical, thermotechnical, power and energy characteristics of the fracture strength of non-reinforced foam concrete and dispersed non-autoclaved foam concrete reinforced with polypropylene fiber grades of density D600, D800, D1000 were analyzed in stages. The method of mathematical and statistical modeling was used to determine the optimum composition of fiber-reinforced foamed concrete.

The research of the fracture strength of non-autoclaved foam concrete of unreinforced and reinforced with polypropylene fibers was done. The studies were carried out according to the criteria of fracture mechanics in order to determine the strength and stress-related properties of the developed foam concrete. In addition, the study of the elasticity coefficient by the method based on the equality of the values of concrete elasticity coefficient under compression and tension using the dependency diagram "load-deformation" was performed. It has been established that reinforcing non-autoclaved foam concrete with polypropylene fiber increases both the strength and stress-related properties, as well as the power and energy parameters of the fracture strength of the material, and also inhibits the fracture process from the moment of the development of the highway cracks to its complete defragmentation.

In the dissertation, it is proposed the methodology for calculating the value of the antifreeze layer using a monolithic non-autoclave fiber-reinforced foam concrete and nomograms to determine the required value of the antifreeze layer made of a monolithic non-autoclave structural-heat-insulating fiber-reinforced foam concrete of grades of density D600–D1000. Research and industrial approval of the use of monolithic non-autoclave structural and heat-insulating fiber-reinforced foam concrete of the calculated thickness as an antifreeze layer of road surface dressing for the construction of individual sections of highways, access roads and internal development roads, pedestrian areas at the objects of construction and reconstruction of the transport infrastructure was performed.

It was calculated the economic effect of replacing the antifreeze layer of road surface dressing made of building sand with non-autoclaved fiber-reinforced foam concrete of the corresponding class which amounts to 7,3% of the cost savings. It has been established that the use of this material as an antifreeze layer of road surface dressing 2.5 times increases the overhaul cycle of operation of a non-rigid road transport network.

Key words: non-autoclave structural and heat-insulating fiber-reinforced foam concrete, dispersed reinforcement, construction and technical properties, fracture toughness, heat-insulating layer, road surface dressing.