

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Карпюк Ірина Анатоліївна

УДК 624.011.9:624.072.2

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ КОНСТРУКЦІЇ,
ЩО ВЗАЄМОДІЮТЬ З ҐРУНТАМИ ОСНОВ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди
Галузь знань 19 – архітектура та будівництво

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук



Одеса – 2024

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Клименко Євгеній Володимирович,

Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Азізов Талят Нуредінович,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичин, завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін, охорони праці та безпеки життєдіяльності, м. Умань;

доктор технічних наук, професор

Бамбура Андрій Миколайович, Державне Підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», завідувач відділу надійності конструкцій будівель і споруд, м. Київ;

доктор технічних наук, професор

Бліхарський Зіновій Ярославович,

Національний університет «Львівська політехніка», заступник директора з науково-педагогічної роботи інституту будівництва та інженерних систем, м. Львів.

Захист дисертації відбудеться 18 лютого 2025 року, о 12⁰⁰, на засіданні спеціалізованої вченої ради 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65052, м. Одеса, вулиця Дідріхсона, 4, ауд. а360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65052, м. Одеса, вулиця Дідріхсона, 4 та на сайті академії <http://odaba.edu.ua>.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю.С. Крутій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Генеральною Асамблеєю ООН у 2000 році були прийнята програма розвитку тисячоліття до 2015 року. У 2015 році документ був затверджений на Саміті ООН з остаточним формулюванням 17 цілей сталого розвитку. Серед них №12 – забезпечення раціональних моделей споживання та виробництва, №13 – прийняття термінових заходів по боротьбі зі змінами клімату і його наслідками. Концепція «зеленої економіки» стає провідною у всьому світі. Найбільш актуальні сьогодні – економічно безпечні технології виробництва. Слід чітко усвідомлювати, що будь-яке будівництво не повинне забруднювати оточуюче середовище.

В ході розвитку світова економіка пережила декілька енергетичних переходів: від деревного вугілля до кам'яного вугілля, потім домінувала нафта, а зараз стрімко розвивається споживання природного газу. Перед лицем глобальної кліматичної кризи з метою декарбонізації енергетичних систем світова економіка розвертається в бік низьковуглецевого майбутнього, тобто відновлювальних джерел енергії. Нинішній рівень технологій не дозволяє повністю відказатися від традиційних енергоносіїв. Проте, підвищити енергоефективність їх використання з метою зменшення викидів можливо вже зараз.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є збільшення використання базальтового волокна і базальтопластикової арматури (BFRP) у будівництві, яке зумовлене її екологічними властивостями, хорошою сумісністю з бетоном, високими механічними властивостями, необхідними для будівництва в екстремальних умовах, і за значно нижчу ціну порівняно з іншими лугостійкими волокнами і арматурою. Базальтопластиковою арматурою має унікальні технічні характеристики: вона майже у 3 рази міцніша за сталеву і в 7-9 разів легша при рівномірній заміні; має високу корозійну стійкість; не теплопровідна, не гігроскопічна, не потребує зварювальних робіт на об'єкті, а в'язеться звичайним в'язальним дротом або пластиковими хомутами. Базальтопластиковою арматурою порівняно зі сталевую має такі переваги: вона діамагнітна та має діелектричні властивості, її коефіцієнт теплового розширення, близький до аналогічного коефіцієнта бетону; є 10-30% є дешевшою від сталевої арматури; її виробництво, порівняно зі сталевую, є екологічно менш шкідливим.

Разом з тим, широке застосування неметалевої композитної арматури (НКА-FRP) для армування бетонних конструкцій, які працюють у несприятливих складних умовах, стримується недостатнім вивченням їх сумісної роботи, обмеженим нормативним забезпеченням та малим досвідом експлуатації відповідних об'єктів. Недостатня вивченість взаємодії широкого класу конструкцій (пальових, пале-плитних фундаментів, високих і низьких ростверків, оправ тунелів, підпірних споруд і стінок з розвантажувальними елементами тощо) з ґрунтами основ, що експлуатуються за агресивної дії оточуючого середовища, а

також необхідність проєктування їх енергоефективними, екологічними та економічними створює перед науковцями та інженерами складну науково-технічну проблему, вирішення якої є важливим і актуальним.

Постановка проблеми. Не дивлячись на масове застосування призматичних паль при улаштуванні фундаментів та підсиленні існуючих, особливо в умовах щільної міської забудови, не до кінця вивченим залишається питання розрахунку несучої здатності по-різному заглиблених паль, залежність їх осідань від способу заглиблення, визначення зони деформування та ущільнення ґрунту навколо вдавлених і забивних паль.

Особливий інтерес переставляє взаємодія вказаних паль з ґрунтами основ, складання достовірного прогнозу основних і додаткових осідань вдавлених паль з урахуванням їх сумісної роботи, визначення основних параметрів працездатності одиночних вдавлених паль та у складі пального і пале-плитного фундаментів.

Потребують вивчення особливості розрахунку, конструювання та проєктування палевих фундаментів з НКА, що працюють в умовах агресивної дії оточуючого середовища.

Потребує уточнення розв'язок контактної задачі взаємодії оправ тунелів та горизонтальних виробок з ґрунтами основ, особливо у південних регіонах України, та вивчення особливостей визначення внутрішніх зусиль в них за допомогою аналітичного, чисельного і статистичного методів.

Значний інтерес представляє вивчення впливу процесу будівництва підземних транспортних споруд на нерівномірні осідання та деформації поверхні землі, оцінки несучої здатності, особливостей конструювання та армування бетонних оправ тунелів з НКА.

Потребують суттєвого уточнення та вдосконалення існуючі інженерні методи розрахунку взаємодії підпірних споруд на основі технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища з урахуванням «прямого» та «зворотного» напрямку сил контактної тертя, різних кутів нахилу площин ковзання при активному і пасивному тиску для похилої стінки з похилою поверхнею засипки і різними кутами тертя по ній, за наявності розвантажувальних балок і плит та дії складних експлуатаційних навантажень.

Значний інтерес представляє встановлення меж допустимості визначення коефіцієнтів активного і пасивного бічного тиску ґрунту на підпірні стінки за класичною теорією Кулона і за технічною теорією граничного напруженого стану, уточнення розрахунку споруд на кам'яній постелі, інтеграція плитно-пального огороження глибокого котловану у конструктивну схему будівлі.

Постала проблема глибокого переосмислення та вдосконалення розрахункової нелінійної деформаційно-силової моделі стержневої бетонної конструкції з НКА у загальному випадку напруженого стану з формулюванням задачі та основних передумов, уточненням розрахункових формул для визначення дотичних і

нормальних напружень при вільному і стисненому крученні, встановленням зв'язку між дотичним напруженнями та кутовими деформаціями, визначенням несучої здатності при заданому співвідношенні крутного і згинального моментів, розробкою алгоритму визначення несучої здатності її розрахункових нормальних прямокутних перерізів.

Давно існує потреба в розробці уточнених методів взаємодії конструкцій пальових і плитно-пальових фундаментів, оправ тунелів, підпірних стінок з розвантажувальними елементами тощо з ґрунтовим середовищем, які експлуатуються у несприятливих умовах, з метою визначення реального навантаження на них, встановлення оптимальних розмірів та заміни сталеві вуглецевої арматури на неметалеву композитну, зокрема BFRP.

Потребують суттєвого уточнення та вдосконалення методи розрахунків несучої здатності нормальних і похилих перерізів бетонних конструкцій з НКА, що взаємодіють з ґрунтовим середовищем, за дії статичного і малоциклового повторного і знакозмінного навантаження високих рівнів.

Існує реальна необхідність комплексного дослідження пошкоджених наскрізними нормальними і перехресними похилими силовими тріщинами бетонних конструкцій зі сталеві і неметалевою композитною арматурою, підсилених попередньо напруженими металевими і вуглепластиковими обоймами.

Сутність науково-прикладної проблеми, що розглядається у дисертаційній роботі, полягає в розробці наукових методів розрахунку та проектування бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, що взаємодіють з ґрунтами основ, з урахуванням реальних фізико-механічних характеристик матеріалів та параметрів екологічного впливу на навколишнє середовище і економічних показників.

Вирішення цієї проблеми здійснюється шляхом розробки та обґрунтування енергоефективних, екологічних та економічних конструктивних рішень, які відповідають глобальним цілям сталого розвитку суспільства та циркуляторної економіки, проведення аналітичних і чисельно-експериментальних досліджень напружено-деформованого стану вказаних конструкцій та вузлів з урахуванням реальних властивостей матеріалів, оцінки екологічного впливу на усіх етапах їх роботи.

Практичне значення вирішення вказаної проблеми полягає в подальшому розвитку та створенні конкурентоздатних конструктивних рішень, які забезпечують трансфер інновацій у практику вітчизняного будівництва при одночасній мінімізації впливу будівельної галузі на навколишнє середовище та використання місцевих матеріалів для їх виготовлення.

Можливість розробки і реалізації енергоефективних, екологічних та економічних бетонних конструкцій з FRP, виготовлених з урахуванням суттєво уточнених і розвинених методів їх взаємодії з агресивним оточуючим ґрунтовим

середовищем, утворює **основну наукову гіпотезу**.

Практичним результатом вирішення розглянутої проблеми є розробка нових і вдосконалення існуючих конструктивних рішень пальово-плитних фундаментів, опор транспортних тунелів та горизонтальних виробок, підпірних споруд, стержневих бетонних конструкцій з FRP, що зазнають складного напружено-деформованого стану та агресивного впливу оточуючого середовища, а також пропозицій щодо унормування запропонованих уточнених методів розрахунку нормальних і похилих перерізів звичайних і підсилених балкових конструкцій за дії статичного і малоциклового навантаження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота підготовлена згідно з: Планом дій Європейського Союзу щодо циркулярної економіки від 2 грудня 2015 року, Указом Президента України №722/2019 «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 року №932-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року», а також відповідно до напрямку науково-дослідної роботи кафедри Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури за темами: «Енергоефективні, екологічні та економічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ» (номер державної реєстрації 0121U114597. Авторка – головний виконавець), «Особливості взаємодії нескельних ґрунтів основ з пальово-плитними фундаментами будівель з урахуванням можливого утворення в них гірничих виробок для підземних споруд або карстових провалів» (номер державної реєстрації 011U000899. Авторка – керівник теми), «Розрахункові моделі міцності, тріщиностійкості та деформативності приопорних ділянок прогінних залізобетонних елементів при дії повторних навантажень» (номер державної реєстрації 0114U000896. Авторка – виконавець), «Розрахункові моделі силового опору складнонапружених прогінних залізобетонних конструкцій з урахуванням дії малоциклового навантаження високих рівнів» (номер державної реєстрації 0116U002340. Авторка – виконавець).

Метою роботи є розвиток наукових основ та сучасних методів розрахунку енергоефективних, екологічних та економічних бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою з урахуванням реальних властивостей матеріалів та розробкою суттєво уточнених і розвинених методів їх взаємодії з оточуючим ґрунтом для зменшення витрат матеріально-технічних ресурсів при їх виготовленні та негативних показників екологічного впливу.

Для досягнення вказаної мети були поставлені та вирішені наступні **основні завдання дослідження**:

- аналіз існуючого досвіду розрахунку, проектування і виготовлення бетонних енергоефективних, екологічних і економічних конструкцій з FRP, які експлуатуються в агресивних умовах оточуючого середовища, в т.ч. ґрунтового;

- експериментально-теоретичне вивчення особливостей взаємодії пальових фундаментів, опор тунелів та горизонтальних виробок, а також підпірних споруд з ґрунтами основ і удосконалення їх конструктивних рішень;

- розробка нелінійної деформаційно-силової моделі стержневої бетонної конструкції з FRP у загальному випадку напруженого стану за агресивної дії оточуючого середовища;

- експериментально-теоретичне дослідження особливостей напружено-деформованого стану (НДС), механізму деформування та руйнування нормальних і похилих перерізів бетонних конструкцій з FRP, в т.ч. підсилених металевими і композитними обоймами пошкоджених наскрізними силовими тріщинами балкових елементів зі сталевую і композитною арматурою. Розробка загальних підходів, положень та принципів їх проектування з урахуванням реальних властивостей та сумісної роботи композитної арматури і бетону за дії статичного і циклічного навантажень;

- чисельно-експериментальне моделювання, аналітичні дослідження і прогностичні оцінки НДС елементів та вузлів бетонних конструкцій з FRP з урахуванням реологічних властивостей використаних матеріалів;

- прогностичні оцінки та дослідження вуглецевого сліду енергоефективних, екологічних та економічних бетонних конструкцій з FRP.

Об'єкт дослідження – робота (формування) енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, що взаємодіють з ґрунтами основ.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій з ґрунтами основ, напружено-деформований стан вказаних конструкцій та їхніх вузлів з урахуванням особливостей сумісної роботи бетону і неметалевої композитної арматури в умовах статичного і малоциклового навантаження, агресивного впливу оточуючого середовища, накопичених пошкоджень силового характеру, визначенням показників екологічного впливу.

Методи дослідження: Методи моделювання взаємодії зазначених конструкцій з ґрунтами основ та їх напружено-деформованого стану, що базуються на методі скінчених елементів; теоретико-аналітичні методи будівельної механіки та механіки армованого бетону; методи раціонального проектування; методи експериментальних досліджень в лабораторних умовах з використанням теорії планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання; загальні методи емпіричних і теоретичних досліджень: аналіз, абстрагування, індукція, дедукція, синтез.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні науково-методологічних основ розрахунку та проектування енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій, що взаємодіють з ґрунтами основ, з урахуванням

особливостей сумісної роботи бетону і FRP, складного навантаження, агресивного впливу оточуючого середовища, накопичених пошкоджень силового характеру, визначенням показників екологічного впливу на навколишнє середовище, а саме:

вперше:

- запропоновано загальний методологічний підхід, основні положення та принципи розрахунку бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, які взаємодіють з ґрунтами основ з урахуванням реальних фізико-механічних характеристик матеріалів та параметрів екологічного впливу на навколишнє середовище;

- встановлені закономірності зміни основних параметрів напружено-деформованого стану енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій залежно від виду їх взаємодії з ґрунтами основ, характеру механічних і силових пошкоджень та інших впливів;

- обґрунтовано вибір неметалевої композитної арматури і спосіб забезпечення працездатності зазначених конструкцій залежно від характеру агресивності оточуючого середовища та їх напружено-деформованого стану;

- розроблені основні конструктивні рішення улаштування пальових і пальово-плитних фундаментів, оправ тунелів та гірничих виробок, підпірних стінок з розвантажувальними елементами, армованих неметалевою композитною арматурою;

- запропоновано чисельно-аналітичний метод (варіант) оцінювання і моделювання напружено-деформованого стану енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій, що взаємодіють з ґрунтами основ, з урахуванням реальних діаграм деформування матеріалів, ефективної взаємодії FRP з бетоном, отриманих пошкоджень;

удосконалено:

- метод розрахунку основних і додаткових осідань одиночних вдавлених паль у процесі їх почергового вдавлювання та сумісної роботи;

- метод визначення основних параметрів працездатності вдавлених висячих паль;

- експериментально-статистичний метод визначення внутрішніх зусиль в оправах тунелів та додаткових осідань (зрушень) поверхні землі в процесі їх улаштування;

- метод взаємодії підпірних споруд з розвантажувальними елементами з ґрунтами засипки з урахуванням складаного експлуатаційного навантаження на її поверхні та можливого сейсмічного впливу;

- спосіб інтеграції пальово-плитного огороження глибокого котловану в конструктивну схему будівлі, що зводиться;

- нелінійну деформаційно-силову модель стержневої бетонної конструкції з неметалевою композитною арматурою у загальному випадку напруженого стану;

отримали подальший розвиток:

- методологія оцінювання впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на несучу здатність, тріщиностійкість та деформативність дослідних конструкцій з різними видами їх армуванням та характером зовнішнього навантаження;

- методологія розрахунку несучої здатності нормальних і похилих перерізів бетонних конструкцій з урахуванням можливого їх руйнування по розтягнутій неметалевій арматурі або стиснутому бетону;

- метод розрахунку несучої здатності приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок і високих ростверків;

- методологія та способи підсилення пошкоджених наскрізними силовими нормальними і перехресними похилими тріщинами бетонних балок зі сталевую і композитною арматурою попередньо напруженими металевими і вуглепластиковими обоймами за дії статичного і малоциклового навантаження;

- методологія оцінювання впливу будівельного об'єкту (споруди) на навколишнє середовище шляхом аналізу вуглецевого сліду на усіх стадіях його (її) житлового циклу;

- конструктивне рішення контрфорсної обойми – ростверку для підсилення стрічкових фундаментів значної ширини та утримання крутих ґрунтових схилів.

Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечується:

- використанням фундаментальних положень теорії споруд, закономірностей будівельної механіки, механіки армованого бетону, сучасних методів оцінювання показників;

- виконаними натурними експериментально-теоретичними дослідженнями та збіжністю дослідних даних з результатами розрахунків та аналітичними даними;

- використанням в проведених дослідженнях загальноприйнятих теоретичних положень та методів проведення наукових досліджень, використанням сертифікованих вимірювальних приладів та обладнання, сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення;

- впровадженням отриманих результатів у практику будівництва, а також апробацією отриманих результатів роботи.

Практичне значення отриманих результатів:

- створено методологічні основи для розроблення проєктів енергоефективних, екологічних та економічних бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, що взаємодіють з ґрунтами основ, та їх реалізації у вітчизняній практиці будівництва;

- розроблено та впроваджено практичні рекомендації щодо розрахунку вказаних конструкцій з урахуванням реальних властивостей використаних матеріалів, діаграм їх деформування, агресивного впливу оточуючого середовища та характеру зовнішнього навантаження;

- розроблено алгоритм розрахунку стержневої бетонної конструкції з неметалевою композитною арматурою у загальному випадку її напруженого стану з урахуванням реальних діаграм деформування матеріалів, сучасних критеріїв міцності та можливих пошкоджень, набутих у процесі її експлуатації в агресивному середовищі;

- впроваджено методологію та результати експериментально-теоретичних досліджень несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності балкових нормальних і похилих перерізів прогінних конструкцій зі сталевую і композитною арматурою, взаємодії пальово-плитних фундаментів, оправ тунелів, підпірних стінок з розвантажувальними елементами та їх вузлів в практику розрахунку та проектування зазначених споруд;

- запропоновано спосіб та пристрій підсилення пошкоджених балкових конструкцій попередньо напруженими металевими, а також вуглепластиковими обоймами;

- запропоновано методика визначення вуглецевого сліду конструкції (споруди) з урахуванням вимог європейського стандарту EN15978;

- результати виконаних досліджень використовуються в навчальному процесі Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове та цивільне будівництво» при викладанні відповідних спеціальних курсів, а також будуть використані при підготовці навчального посібника «Проектування енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій за Єврокодами та національними нормами» і наукової монографії.

Особистий внесок здобувача полягає у конструктивному аналізі основних властивостей та досвіду використання неметалевої композитної арматури для армування бетонних конструкцій, детальному аналізі існуючих досліджень стосовно прогінних бетонних конструкцій з НКА, використання бетонних конструкцій, армованих КА, в агресивних середовищах, наводиться аналіз досліджень хімічної стійкості та фізико-механічних властивостей НКА [7, 35, 47, 71, 76].

Усі основні результати дисертаційної роботи одержані самостійно. У публікаціях у співавторстві здобувачеві належить: вирішення змішаної задачі числовими методами із застосуванням комп'ютерної техніки, де розглянута модель ідеального пружнопластичного ґрунтового середовища, а також пружно в'язкопластична модель ґрунтового середовища. Представлено розрахунок пологого склепіння що обпирається на ґрунт і стіни який проводять з урахуванням пружних деформацій п'ят у вигляді кута повороту β і зсуву в напрямку осі облицювання Δ [2, 19, 20, 23, 24, 81, 89, 90].

Виконано розрахунок взаємодії масивних підземних споруд з ґрунтовим середовищем з позиції технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового

середовища. Указані особливості визначення активного і пасивного тиску на круті підпирні споруди за технічною теорією при безперервному напруженому стані в ґрунті зацепки. Особливість даного розрахунку в сейсмічних умовах полягає в необхідності урахування зміни за величиною і напрямком об'ємної сили.

У розрахунку активного тиску і пасивного опору ґрунту при його взаємодії зі спорудами з крутою задньою гранню з розривом у напруженому стані засипки врахована: інтегральна форма методу визначення активного тиску за наявності або відсутності сейсмічних впливів; безрозмірна форма методу визначення активного тиску за наявності або відсутності сейсмічних впливів; визначення пасивного опору ґрунту за наявності або відсутності сейсмічних впливів. Критерії для встановлення розрахункового випадку. Висвітлено розрахунок бічного тиску гутну напірної стінки з пологою задньою гранню. Представлено порівняльний аналіз активного і пасивного сейсмічного тиску на підпирні стіни за Кулоном, за технічною теорією граничного напруженого стану ґрунту та нелінійних скінчено-елементних розрахунків з використанням сучасних програмних комплексів GEO5, PLAXIS і класичного методу Кулона для порівняння отриманих результатів з експериментальними даними та оцінки їхньої достовірності [8, 15, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 41, 44, 54, 57, 75, 78, 80].

Реалізований комплексний підхід до експериментально-теоретичного вивчення напружено деформованого стану балкових конструкцій, армованих сталевую та базальтопластиковою арматурою. Розглянутий вплив статичного навантаження та дослідних факторів на несучу здатність нормальних та похилих перерізів зразків, ширину розкриття нормальних і похилих тріщин, максимальні довжини проєкцій небезпечних похилих тріщин на поздовжню вісь дослідних елементів, відстані між нормальними і похилими тріщинами, відносні деформації стиснутого бетону і розтягнутої арматури та величини прогинів дослідних зразків-балок. Виведені адекватні експериментально-статистичні залежності указаних параметрів працездатності вказаних елементів від дослідних факторів та побудовані відповідні графіки, за допомогою яких зроблений ґрунтовний аналіз на основні показники їх впливу несучої здатності залізобетонних і базальтобетонних балок [1, 4, 11, 12, 17, 31, 37, 38, 40, 45, 56, 61, 64, 69, 91].

Запропонований розрахунок несучої здатності нормальних перерізів бетонних конструкцій з НКА-FRP і розрахунок бетонних елементів з НКА при роздробленні бетону стиснутої зони та внаслідок розриву розтягнутої НКА.

Розроблений розрахунок збалансованого непереармованого поперечного перерізу бетонного елемента, руйнування якого можливе від одночасного розриву композитної арматури і роздроблення бетону стиснутої зони [3, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 30, 32, 33, 34, 35, 39, 43, 46, 49, 50, 60, 62, 86].

Представлені підсумовані положення щодо розрахунку на зсуву для елементів, що згинаються. Узагальнено статистичні результати, що стосуються

співвідношення експериментальної та прогнозованої граничної сили зсуву, $V_{\text{exp}}/V_{\text{pred}}$.

Авторкою зроблено порівняння отриманих лабораторних даних з результатами розрахунків несучої здатності дослідних балок за наявними національними нормами проектування та авторськими даними, яке показало суттєву розбіжність між ними. Це дає підстави стверджувати, що існуючі нормативні та авторські методи підсилення пошкоджених прогінних ЗБК можна використовувати, в основному, при сталому та знакопостійному навантаженнях. А при зміні знаку навантаження змінюється їх схема руйнування і, відповідно, методи розрахунку [2, 14, 48, 49, 90].

Авторкою дана оцінка екологічного впливу на навколишнє середовище і екологічні показники споруди життєвого циклу бетонних опор транспортних тунелів зі сталеву і неметалевою композитною арматурою [2, 48, 49, 80].

Апробація результатів дисертаційної роботи. Головні положення і результати роботи доповідались на наступних міжнародних та всеукраїнських конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини» (Одеса: ОДАБА, 2021); Міжнародні науково-практичні конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій» (Харків: НУЦЗУ, 2021, 2022); VII міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса: ОДАБА, 2020); XIV міжнародна науковотехнічна конференція «Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану» (Полтава: НУПП, 2022); V міжнародна науково-практична конференція «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Одеса: ОДАБА, 2023); V Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні дослідження в науці та освіті» (BoScience. Чикаго, США. 2024); Міжнародних науково-методичних конференціях «Управління якістю підготовки фахівців» (Одеса: ОДАБА, 2024, 2023); Міжнародних науково-технічних конференціях «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Одеса: ОДАБА, 2021, 2023, 2024); Науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Одеса: ОДАБА, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024); Міжнародна наукова конференція «Current Challenges and New Opportunities in Science and Education: Proceedings of the International Scientific Conference» (Nottingham, UK: Bookmundo, 2024).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані у 88 наукових працях, у тому числі 2 монографіях, 2 навчальних посібниках, 28 статтях у фахових виданнях України, 11 статтях у виданнях інших держав (7 з яких у виданнях, проіндексованих НМБД Scopus і WOS), 1 патент України на винахід, 2 патенти України на корисну модель, розділі у колективній монографії, 44 друкованих тезах за матеріалами наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести

розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Робота викладена на 537 сторінках машинописного тексту, з яких 303 сторінок основного тексту, що включають 107 рисунків і 45 таблиць, 54 сторінки списку використаних джерел із 525 назв та 54 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, сформульовано мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено відомості про особистий внесок та апробацію матеріалів дисертації, представлено її загальну структуру та обсяг.

У **першому розділі** наведена характеристика, описані основні властивості та досвід використання неметалевої композитної арматури для армування бетонних конструкцій, наведений детальний аналіз існуючих досліджень стосовно прогінних бетонних конструкцій з НКА. Особливу увагу приділено розгляду існуючих нормативних та авторських методів розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності прогінних бетонних конструкцій, армованих композитною арматурою. Відмічено, що залишилося ще багато нерозв'язаного в цій проблемі.

Значний вклад у розвиток науки по вивченню особливостей НДС, звичайних, пошкоджених та підсилених ЗБК зробили: Азізов Т.Н., Альперін В.П., Асланова Л.Г., Бабич Є.М., Баженов В.А., Бамбура А.М., Барашиков А.Я., Безушко Д.І., Белятинський А.О., Бліхарський З.Я., Бондарев А.Б., Ватуля Г.Л., Вільдавський Ю.М., Волга В.С., Гримаєв О.Я., Голоднов О.І., Дорофєєв В.С., Єгупов К.В., Кваша В.Г., Кербер М. Л., Клименко Є.В., Клімов Ю.А., Коваль П.М., Куліш В.І., Кузенов Д.В., Кустикова Ю.О., Кочкарьов Д.В., Лапенко О.І., Лешкевич О.Н., Литвинов Р.Г., Лучко Й.Й., Мальганова А.І., Мар'єнков М.Г., Масюк Г.Х., Мартем'янова В.І., Міхеєва І.І., Михайлов К.В., Метьюз Ф., Моргун В.Н., Онуфрієва М.М., Пінаджяна В.В., Піскунов В.Г., Пашинський В.А., Рахманов А.Д., Рімшина В.І., Ромашко В.М., Савін В.Ф., Савицький М.В., Семенюка С.Д., Солдатченко О.С., Стороженко Л.І., Таран В.В., Устінов Б.В., Чеканович М.Г., Яковенко І.А. Aly A., Brik V.B., Boyd C.B., Carter J., Clarke J.L., Dolan C.W., Elgabbas F., Hofmann S., Nanni A., Fico R., Wolf B. та ін.

Представлені основи інженерних споруд та їх розрахункові моделі. Зазначено, що основою сучасної механіки ґрунтів є модель суцільного середовища, яка дозволяє широко застосовувати наявні теорії пружності, теорії пластичності, гідромеханіки тощо. Розглянута модель ґрунтового середовища теорії пружності та фази деформації ґрунту (залежність між деформаціями і напруженнями), умови застосування теорії пластичності, а також модель граничної рівноваги.

У розділі розглянуто розрахункові моделі основ підземних транспортних

споруд, де здебільшого використовують модель Фусеа-Вінклера або модель пружного однорідного ізотропного напівпростору. Проаналізовано дію пружної відсічі, яка проявляється на підземні конструкції глибокого і мілкового закладення, що споруджені в ґрунтах із пружними властивостями, здатних чинити опір деформаціям конструкції.

Представлено розрахунок пологого склепіння, що обпирається на ґрунт і стіни, який проводять з рахуванням пружних деформацій п'ят у вигляді кута повороту β і зсуву в напрямку осі облицювання Д. Оправу у вигляді підйомистого склепіння розраховують як статично невизначені безшарнірні арки, пружно защемлені в ґрунт. Розглянуто методика, яка розроблена Г.Г. Зурабовим і О.С. Бугаєвою на основі результатів числових розрахунків тунельних обробок. В розділі також розглянутий алгоритм розрахунку контактної задачі взаємодії оправи тунелю кільцевого перерізу однорідним ґрунтом основи.

Представлено розрахунок взаємодії масивних підземних споруд з ґрунтовим середовищем з позиції технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища, в якому вказані особливості визначення активного і пасивного тиску на круті підпірні споруди за технічною теорією при безперервному напруженому стані в ґрунті засипки. У розрахунку активного тиску і пасивного опору ґрунту при його взаємодії зі спорудами з крутою задньою гранню з розривом у напруженому стані засипки врахована інтегральна форма методу визначення активного тиску та пасивного опору ґрунту за наявності або відсутності сейсмічних впливів. Висвітлено розрахунок бічного тиску ґрунту напірної стінки з пологою задньою гранню.

В огляді літературних джерел за результатами сучасних досліджень взаємодії підпірних стінок з ґрунтами основ відзначено, що найбільшого застосування у практиці проєктування знайшли вдосконалений та класичний методи Кулона. Цим питанням займалися Babu G.L.S., Basha B.M., Capon, M.J.F., Carder D.R., Cattoni E., Chandler R.J., Chen Z.Y., Cossio, R.D., Cui L., Fall M., Frolov N.P., Jung H, Li S. ML, Powrie W., Tamagnini C., Wang Y. Z., Watson G. V. R., Xu. P, Yoo C., Карпюк В.М., Муратова Е.Л., Яковлев П.І. та ін.

Невирішені частини означеної проблеми лягли в основу сформульованих мети та завдань дисертаційного дослідження авторки.

У другому розділі представлена методика визначення екстремальних внутрішніх силових факторів в монолітних залізобетонних склепінчастих оправах тунелів за допомогою числового планованого експерименту з використанням сучасного програмного комплексу «PLAXIS-8». Наведені обґрунтування та передумови вибору дослідних факторів, план експериментальних досліджень та детальний опис методики проведення чисельних експериментів.

На підставі аналізу наявної інформації з літературних джерел і з урахуванням

реальних нашарувань ґрунтів основи південного регіону України як досліджувані фактори обрано: номінальний (серединний) діаметр облицювання тунелю (X_1), рівень підземних вод (початок координат (рис. 1) від денної поверхні ґрунту за віссю Y , фактор X_2), наведений тип ґрунтових умов характерного для південного регіону нашарування (X_3), який інтегрально враховує вплив питомої ваги ґрунту на ґрунтові умови (X_2), наведені типи ґрунтових умов характерного для південного регіону нашарувань (X_3), який інтегрально враховує вплив питомої ваги ґрунту (γ_{unsat} або γ_{sat}), коефіцієнтів горизонтальної (k_x) та вертикальної (k_y) фільтрації (проникності), модуля Юнга (деформацій, E_{ref}), коефіцієнта Пуасона (ν), зчеплення (c_{ref}), кута внутрішнього тертя (φ) і дилатансії ψ ґрунту, а також коефіцієнта його пружного відпору (K). Тунелі, що розглядається, в чисельному експерименті, мають номінальні (серединні) діаметри 5,10 і 15 м, а центри їх розташовані, відповідно, на глибинах 20,0; 22,5 і 25,0 м.

У процесі опрацювання даних отриманих чисельним шляхом з використанням апробованого програмного комплексу COMPEX, після виключення незначущих і перерахунку коефіцієнтів, які залишилися в рівняннях регресії, було отримано адекватні математичні моделі, які мають достатню інформаційну корисність:

$\hat{Y}_{(M_{max}^+)} = 604 + 419X_1 - 140X_2 + 88X_3 + 14X_3^2 - 113X_1X_2 + 73X_1X_3, \frac{\text{кНм}}{\text{м.п.}}$	(1)
$\hat{Y}_{(M_{min}^-)} = -(611 + 466X_1 - 126X_2 + 86X_3 + 31X_1^2 + 6X_2^2 - 106X_1X_2 + 73X_1X_3), \frac{\text{кНм}}{\text{м.п.}}$	(2)
$\hat{Y}_{(Q_{max}^+)} = 187 + 53X_1 - 38X_2 + 22X_3 - 17X_1^2 + 7X_3^2 - 18X_1X_2 + 11X_1X_3, \text{кН/м.п.};$	(3)
$\hat{Y}_{(Q_{min}^-)} = -(259 + 82X_1 - 49X_2 + 32X_3 - 21X_1^2 - 23X_1X_2 + 16X_1X_3), \text{кН/м.п.};$	(4)
$\hat{Y}_{(N_{min}^-)} = -(1888 + 1044X_1 + 132X_2 + 58X_3 + 39X_1^2 + 20X_2^2 - 12X_3^2 + 66X_1X_2), \text{кН/м.п.}$	(5)

Проведений аналіз математичних моделей (1)...(5) показав, що збільшення діаметра тунелю і значень типу ґрунтових умов призводить до нелінійного, як правило, збільшення усіх внутрішніх зусиль у його обшивці в той час, як пониження рівня підземних вод – тільки згинальних внутрішніх зусиль, тобто екстремальних згинальних моментів і поперечних сил. Наведені математичні моделі (1)...(5) зручно використовувати як для оцінювання впливу того чи іншого чинника окремо, так і у взаємодії один з одним, а також для розв'язування оптимізаційних задач. Збільшення рівномірно розподіленого навантаження від розташованої праворуч від майбутньої споруди-тунелю будівлі вчетверо (від $w=25$ до 100кНм/м , дослід № 16*) призведе до збільшення внутрішніх зусиль в оздобленні лише до 12% за середніх значень досліджуваних факторів. Реалізація чисельного експерименту дала змогу за допомогою ПК "PLAXIS-8" визначити природні та додаткові осідання характерних точок поверхні ґрунту (рис. 1), з урахуванням власної ваги ґрунтів основи, навантаження від будівлі та утворення в них поздовжньої виробки.

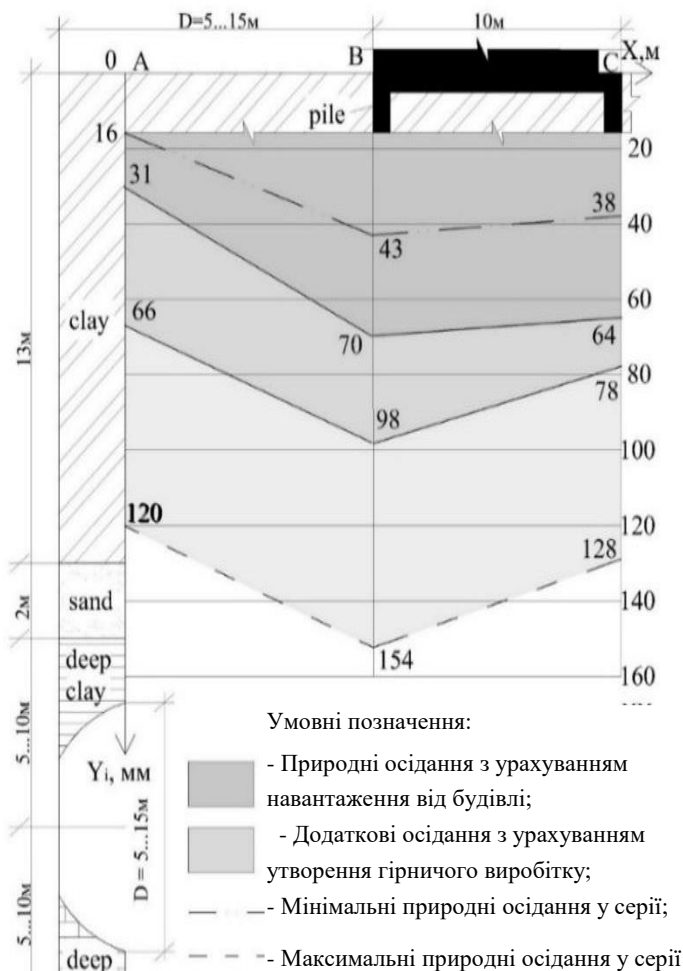


Рис. 1. Середні природні та додаткові осідання (зсуви) поверхні ґрунту з урахуванням утворення підземної виробки в навантаженій основі (дослід №15)

експерименту ($v=18...36\%$), що є цілком прийнятним для практичних інженерних розрахунків і дає змогу рекомендувати до використання також уточнений авторами наближений метод Є.А. Демешка та В.А. Ходоша.

У третьому розділі *представлено розроблений інженерний (статистичний) метод розрахунку активного тиску і пасивного опору ґрунту засипки масивних підпірних споруд*, який об'єднує наявні аналітичні методи розрахунку підпірних стінок із крутою задньою гранню за умови безперервного та розривного напружених станів ґрунту засипки, а також споруд із пологою задньою гранню з урахуванням сейсмічних впливів, де враховано: узагальнений метод визначення активного і пасивного тиску ґрунту засипки на масивні підпірні споруди за методикою В.В. Соколовського, а також П.І. Яковлева.

Обрано такі дослідні чинники: X_1 – кут відхилення від нормалі ω рівнодійних маси ґрунтового масиву та навантаження (кут сейсмічності Г.М. Ломізе); X_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту φ ; X_3 – кут нахилу задньої грані стінки до вертикалі α ; X_4 – кут нахилу поверхні ґрунтової засипки за задньою гранню стінки до горизонталі β ; X_5 – кут відхилення рівнодійної активного тиску (пасивного опору)

Отримані моделі, які описують природні та додаткові осідання поверхні ґрунту з урахуванням навантаження від будівлі та утворення гірничої виробки в ґрунтах основи. Математичні моделі, що характеризують додаткові осідання (зсуви) поверхні ґрунту, зумовлені утворенням гірничої виробки в ґрунтах основи. Також були отримані моделі, які описують відношення додаткових осідань поверхні ґрунту, спричинених утворенням гірничої виробки в навантажених ґрунтах основи, до загальних осідань. Порівняння результатів розрахунку осідань поверхні ґрунту в мульдї зсуву показало, що прогнозовані наближеним аналітичним методом осідання в характерних точках А, В, С у головному поперечному перерізі мульдї осідань мають добру збіжність із даними чисельного

грунту від нормалі до стінки δ (кут тертя ґрунту засипки по задній грані стінки). Дослідні та розрахункові значення коефіцієнтів активного тиску і пасивного опору ґрунту засипки підпірних споруд, визначенні за майже Д – оптимальним планом типу На5. Обробка масивів зазначених дослідних числових даних з використанням ефективної програми СОМРЕХ дозволила отримати адекватні експериментально-статистичні залежності коефіцієнтів активного тиску ґрунту $\xi_{akt,\gamma}^{calc}$ (6) та навантаження $\xi_{akt,q}^{calc}$ (7) і пасивного опору ґрунтового середовища засипки $\xi_{pas,\gamma}^{calc}$ (8) з урахуванням навантаження на її поверхні $\xi_{pas,q}^{calc}$ (9)

$$\hat{Y}(\xi_{akt,\gamma}^{calc}) = 0,318 + 0,044X_1 - 0,162X_2 + 0,180X_3 + 0,157X_4 + 0,023X_1^2 + 0,044X_2^2 + 0,049X_3^2 + 0,065X_4^2 + 0,030X_1X_4 - 0,063X_2X_4 + 0,022X_2X_5 + 0,094X_3X_4, v = 8,52\%; \quad (6)$$

$$\hat{Y}(\xi_{akt,q}^{calc}) = 0,318 + 0,040X_1 - 0,146X_2 + 0,150X_3 + 0,120X_4 + 0,011X_1^2 + 0,031X_2^2 + 0,057X_3^2 + 0,073X_4^2 + 0,019X_1X_3 + 0,025X_1X_4 - 0,051X_2X_4 + 0,019X_2X_5 + 0,024X_3X_4, v = 8,23\%; \quad (7)$$

$$\hat{Y}(\xi_{pas,\gamma}^{calc}) = 4,11 + 1,23X_1 + 4,70X_2 - 2,62X_3 + 4,55X_4 + 2,59X_5 + 1,67X_2^2 + 1,39X_3^2 + 1,23X_4^2 + 1,53X_1X_2 + 0,49X_1X_4 - 1,69X_2X_3 + 2,78X_2X_4 + 1,90X_2X_5 - 0,093X_3X_4 + 1,25X_2X_4, v = 8,23\%; \quad (8)$$

$$\hat{Y}(\xi_{pas,q}^{calc}) = 3,71 + 0,66X_1 + 3,30X_2 - 1,67X_3 + 2,91X_4 + 1,45X_5 - 0,17X_1^2 + 1,39X_2^2 + 0,79X_3^2 + 0,18X_4^2 - 0,18X_5^2 + 0,80X_1X_2 + 0,38X_1X_4 - 1,09X_2X_3 + 1,71X_2X_4 + 1,20X_2X_5 - 0,52X_3X_4 + 0,45X_4X_5, v = 7,2\%. \quad (9)$$

Аналіз поліноміальних експериментально-статистичних залежностей (6)...(9) показує, що усі дослідні чинники здійснюють свій вплив на величини безрозмірних коефіцієнтів активного тиску чи пасивного опору ґрунту ξ_γ та навантаження ξ_q . При цьому, найбільший вплив на коефіцієнти активного тиску має кут нахилу задньої грані стінки до вертикалі α (чинник X_3), потім – з кут внутрішнього тертя ґрунту φ (X_2), далі – кут нахилу поверхні ґрунтової засипки до горизонталі β (X_4) і, наостанок, – кут сейсмічності Г.М. Ломізе ω (X_1). Характерно, що кут тертя ґрунту засипки δ (X_5) по задній грані стінки здійснює прямий вплив на вказані коефіцієнти. У реальних проєктах масивних підпірних споруд потрібно мінімізувати активний тиск ґрунту та навантаження на них і одночасно збільшити його пасивний опір, в тому числі навантаженню, наприклад, від навали суден, що швартуються. Очевидно, що впливати на сейсмічність майданчика забудови у проєктувальників немає можливості (чинник X_1). Проте, знаючи про вплив дослідних чинників, вони можуть і повинні передбачити у проєкті достатньо щільний ґрунт засипки за задньою гранню стінки з прийнятним кутом внутрішнього тертя (чинник X_2). Ураховуючи технологічні фактори будівництва, а також необхідність улаштування на поверхні засипки доріг, складських майданчиків, кранового обладнання тощо, очевидно є також

доцільність їх зведення з вертикальною задньою гранню (чинник X_3) та горизонтальною поверхнею засипки за нею (чинник X_4). При цьому, задню грань стінки бажано улаштувати шершавою (чинник X_5) для збільшення пасивного опору ґрунту. З урахуванням середнього («нульового») значення чинника X_1 ($\omega=2^\circ50'$ із сейсмічністю прилеглої території в 8 балів) геометрична інтерпретація експериментально-статистичних залежностей представлена на рис. 2. Із цього рисунка і викладеного вище видно, що раціональним інтервалом зміни коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту засипки є $\varphi=30^\circ\dots40^\circ$, при якому з одного боку, спостерігаються значне зниження коефіцієнтів його активного тиску та навантаження на підпірну споруду, а, з другого боку – збільшення коефіцієнтів пасивного опору ґрунтового середовища засипки за задньою гранню стінки та навантаження на її поверхні.

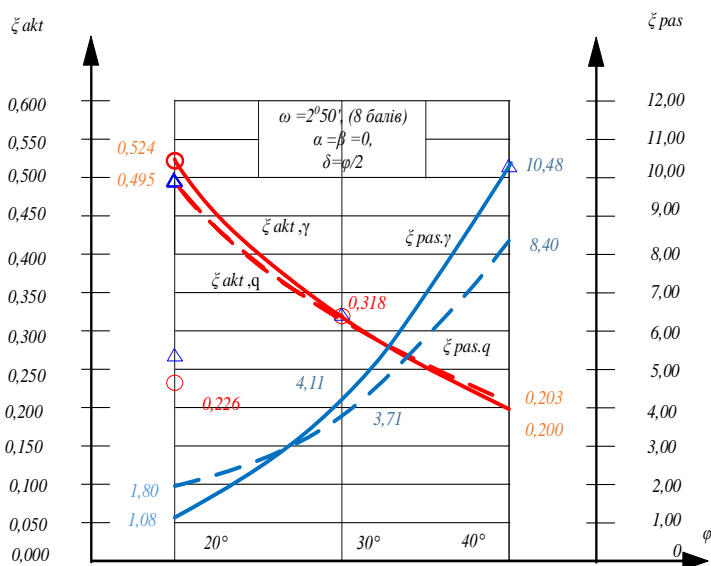


Рис. 2. Залежність величини безрозмірних коефіцієнтів активного тиску на масивну підпірну стінку з вертикальною задньою гранню, а також пасивного опору ґрунту засипки та рівномірно розподіленого навантаження на її горизонтальній поверхні від величини коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту φ

розвантажувальними балками, балками і плитою, нижче плити і визначення тиску на балки і плиту. Взаємодію між стінки з ґрунтом засипки можна звести до розгляду наступних питань: тиск на верхню частину стінки, тиск на балки і тиск на нижню частину стінки з плитою. Виконані розрахунки показали, що застосування розвантажувальних пристроїв у вигляді балкової системи і плити дозволяє не тільки істотно знизити бічний тиск ґрунту на споруду, а й значно зменшити її вагу.

На основі проведених експериментів розроблено метод розрахунку підпірної стінки з розвантажувальними плитами в двох рівнях. Мета даної роботи полягає в розробці інженерного способу визначення бічного тиску ґрунту на підпірні стінки з розвантажувальними балками і плитами на основі методів технічної теорії граничного напруженого стану та результатів проведених експериментальних досліджень (рис. 3). Виконанні розрахунки показали, що застосування розвантажувальних плит у двох рівнях дозволяє суттєво знизити бічний тиск ґрунту на підпірні стінки. Особливістю розрахунку є побудова епюри бічного тиску над

Експериментально встановлено, що розподіл напружень у засипці за підпірною стінкою від тимчасового навантаження не узгоджується з теорією Кулона.

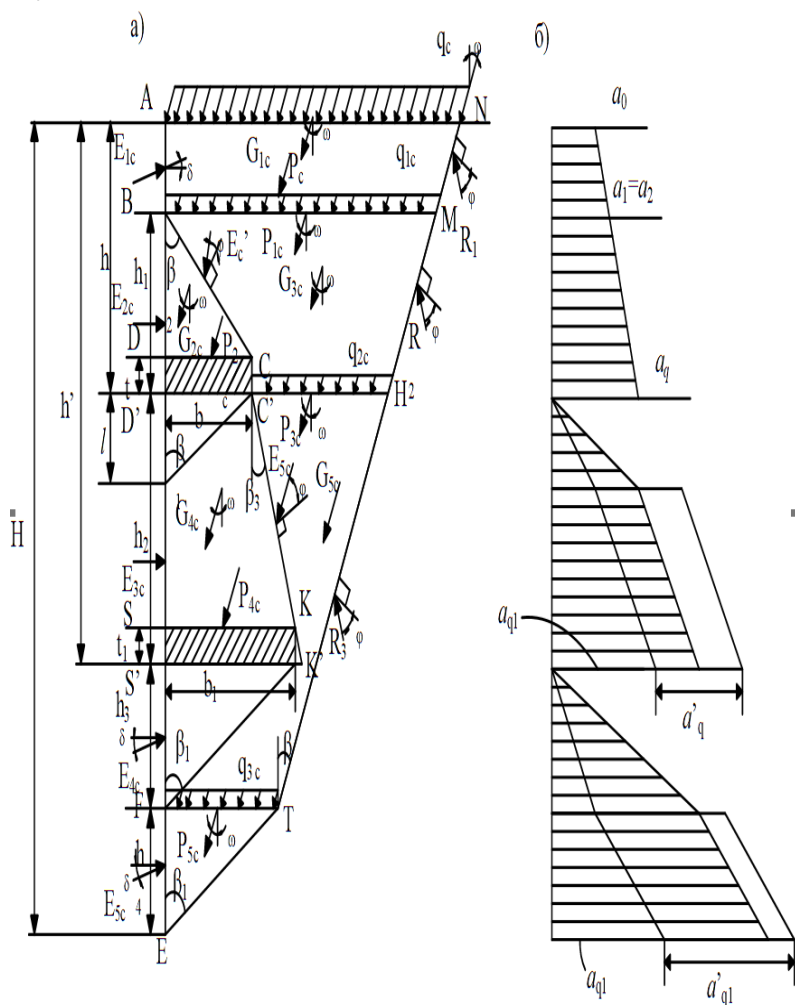


Рис.3. Розрахункова схема визначення бічного тиску ґрунту на підпірну стінку з розвантажувальними плитами у двох рівнях на основі гіпотези про плоскі поверхні ковзання

методу Кулона для порівняння отриманих результатів з експериментальними даними та оцінки їх достовірності. Порівняльні розрахунки показали, що найбільш близькі до експериментальних даних результати, що отримані за пропонуваною методикою. Представлені основні принципи інтеграції плитно-палевого огороження глибокого котловану у конструктивну схему будівлі що зводиться. Наведено приклад впровадження у центральній частині м. Одеси на ділянці, що примикає до вул. Жуковського з природним перепадом висот між вулицями Польським та Деволанівським узвозами. Отриманий в результаті розрахунку за методом пружної лінії згинальний момент, на нашу думку, має завищене значення через можливий перерозподіл тиску ґрунту, що викликається гнучкістю стінки. При цьому тиск зменшується в прольоті та збільшується на анкерній опорі. Тому, з урахуванням жорсткості стінки та характеристик ґрунту,

Зокрема, були виявлені закономірності розподілу бічного тиску ґрунту засипки на підпірну стінку при різних положеннях і розмірах розвантажувальних плит за дії по-різному розташованого тимчасового навантаження на її поверхні. Отримані нові дані про величину і розподіл тиску ґрунту засипки на розвантажувальні плити в залежності від інтенсивності та положення навантаження. Представлено порівняльний аналіз активного і пасивного сейсмічного тиску на підпірні стіни, по Кулону за технічною теорією граничного напруженого стану ґрунту та нелінійних скінчено-елементних розрахунків з використанням сучасних програмних комплексів GEO5, PLAXIS і класичного

максимальний момент у стінці скоригований відповідними коефіцієнтами. Вказаний житловий будинок, збудований з використанням описаних рішень, нормально експлуатується протягом вісімнадцяти років. Визначено вплив вуглепластикового армування та полотна з BFRP, що огортає палю на її несучу здатність з наведеними табличними даними та графіками залежності осідань від навантаження. Експериментальні дослідження було виконано на 9 палях. З них три палі залізобетонні, три – бетонні армовані вуглепластиковою арматурою, і останні три бетонні армовані вуглепластиковою арматурою та обклеєні вуглепластиковим полотном. За результатами аналізу експериментальних випробувань встановлено, що осідання коротких призматичних залізобетонних палей і коротких призматичних палей армованих вуглепластиковою арматурою у піщаних ґрунтах є майже однаковими. А короткі палі, армовані вуглепластиковою арматурою і обклеєні вуглепластиковим полотном, мають більше осідання, ніж попередньо розглянуті палі при однаковому навантаженні в аналогічних ґрунтових умовах. Аналіз експериментальних випробувань показує, що у коротких залізобетонних палей і коротких палей армованих вуглепластиковою арматурою у піщаних ґрунтах здатність сприймати вертикальне навантаження майже однакова. А палі обклеєні вуглепластиковим волокном мають у 1,1 рази меншу несучу здатність, ніж палі представлені вище в аналогічних ґрунтових умовах.

У четвертому розділі *реалізований комплексний підхід до експериментально-теоретичного вивчення напружено-деформованого стану балкових конструкцій, армованих сталеву та базальтопластиковою арматурою.* В Одеській державній академії будівництва та архітектури проводилися комплексні експериментальні дослідження несучої здатності приопорних ділянок залізобетонних прогонових конструкцій. Дослідження склалися з таких частин: перша серія – дослідні зразки (залізобетонні балки) випробовували на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження для встановлення руйнівного зусилля; друга серія – аналогічні зразки випробовували на дію знакозмінного циклічного навантаження (Ал); третя серія – такі ж зразки випробовували на дію знакопостійного малоциклового навантаження високих рівнів (С); четверта і п'ята серії – здійснювали випробування пошкоджених і доведених до граничного стану в другій і третій серіях залізобетонних балок, підсилених металевою (Д) її вуглепластиковою обіймами (Ан); шоста серія – дослідні зразки замість сталеві були армовані BFRP та випробовували на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження (Ц); сьома серія – дослідні зразки, армовані BFRP, випробовували на дію повторного малоциклового навантаження високих рівнів (Х); восьма серія – здійснювали випробування пошкоджених і доведених до граничного стану в шостій серії балки армовані BFRP, підсилених вуглепластиковим полотном (Г). Аналіз апріорної інформації показав, що найбільший вплив на несучу здатність дослідних елементів мають фактори,

представлені в табл. 1.

Оскільки вони можуть впливати на функцію виходу нелінійно, то для здійснення експериментів по даній темі був прийнятий D-оптимальний план Бокса В₃. Дослідні зразки – це вільно обперті однопрогінні балки прямокутного перерізу з номінальними розмірами 1975×200×100 мм і розрахунковою довжиною прольоту $L=9 \cdot h_0=1575$ мм, де h_0 – робоча висота перерізу, що дорівнює 175 мм. Балки були армовані двома пласкими каркасами з поздовжньою верхньою і нижньою (по 2Ø14 АКБ800) арматурою. Поперечна арматура на приопорних ділянках (I-III серій) складається з 2Ø3, 4, 5 ВрІ з кроком 87,5 мм, а на інших ділянках – 2Ø6 А240С. Поперечна арматура на приопорних ділянках (IV-VIII серій) складається з 2Ø4, 6, 8 АКБ800 з кроком 87,5 мм. Відносна довжина прольоту зрізу (a / h_0) становить 1, 2, 3.

Таблиця 1

Характеристика дослідних факторів та рівнів їх варіювання

Серія	Код	Найменування фактору	Рівні варіювання		
			« -1 »	« 0 »	« +1 »
I- VIII	X ₁	Відносний проліт зрізу, a/h_0	1	2	3
I- VIII	X ₂	Клас бетону, С, МПа	С16/20	С30/35	С40/50
IV	X ₃	Коефіцієнт поперечного армування зовнішньої металевої обійми ρ_{fw} , (А240С)	0,0046	0,0105	0,0263
I- V	X _{3*}	Коефіцієнт поперечного армування балок ρ_{sw} , (ВрІ)	0,0016	0,0029	0,0044
IV	X ₄	Рівні попереднього напруження в елементах обійми $\eta\sigma_f$, (4 серія)	0,25	0,50	0,75
IV, VI	X _{4*}	Рівні навантаження балок, η	0,5	0,65	0,8
VI- VIII	X ₃	Коефіцієнт поперечного армування, ρ_{fw}	0,0014 2Ø4АКБ800	0,0032 2Ø6АКБ800	0,0057 2Ø8АКБ800

Металеві обійми (III серій) містять поздовжні елементи підсилення (кутики 25×4), до кінців яких приварені металеві стержні Ø18 А240С з різьбою для притягування опорних елементів-пластин 30×210×270 мм, за допомогою гайок. З боків, зверху і знизу пошкодженої залізобетонної балки розташовані поперечні вертикальні та горизонтальні елементи підсилення, стержні – 2Ø6, 8, 14 А240С, з відповідними кроком, котрі з одного кінця були приварені до поздовжніх елементів підсилення, а з іншого – мають різьбу для створення попереднього напруження в них. В реальності при підсиленні конструкцій значних розмірів замість гайок будуть використовуватися стяжні муфти [86-88].

Пошкоджені після випробувань бетонні балки з ВFRP були підсилені знизу у розтягнутій зоні на всю їхню довжину (1575 мм) і ширину ($b = 100$ мм) та на

припорних ділянках у вигляді замкнених сорочок довжиною, відповідно, 150, 300 і 450 мм вуглепластиковим полотном Sika®Wrap®-230C, приклеєним двокомпонентною смолою Sikadur-300 за встановленою технологією з попередньою підготовкою поверхні дослідних зразків – балок і використанням дрібнозернистих ремонтних сумішей для зароблення вибоїн, каверн і надмірно

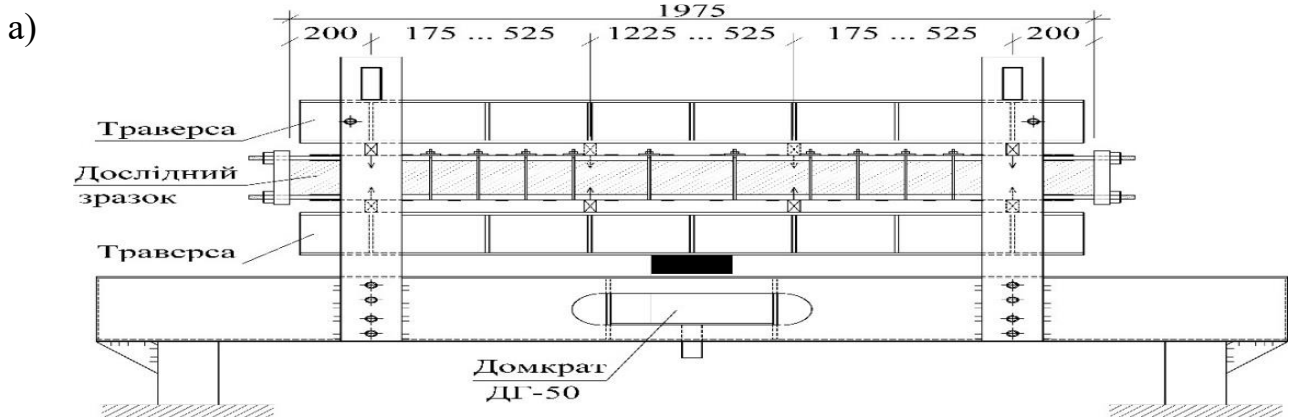


Рис. 4 Схема (а), фото (б) універсальної силової установки



Рис. 5 Підсилення балки вуглепластиковим полотном Sika®Wrap®-230C на двокомпонентній смолі Sikadur-300

розкритих тріщин (рис.5). Для випробування дослідних зразків-балок була запроєктована та виготовлена спеціальна універсальна силова установка (рис. 4). Плоский поперечний згин дослідної балки в силівій установці створювався за допомогою гідравлічного домкрату ДГ-50 і розподільчої

металевої двотаврової балки-траверси, яка передає від нього на дослідну базальтобетонну балку дві однакові зосереджені сили, контрольовані манометром насосної станції домкрата і силовим динамометром, установленим на місці однієї з опор. Витримка навантаження на кожному ступені складала 10...15 хвилин з усіма вимірами на початку і в кінці кожного ступеня навантаження, в тому числі ширини розкриття тріщин. Контроль деформацій бетону стиснутої зони і розтягнутої арматури посередині прольоту здійснювали за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, встановлених з базою 400 мм на

відповідних металевих рамках. Вертикальні переміщення балки вимірювали посередині прольоту, під зосередженими силами і на опорах індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, встановлених на виносних консолях. Посередині балки прогини зразка вимірювали за допомогою прогиноміра Аістова.

Дослідження особливостей напружено-деформованого стану базальтобетонних балкових конструкцій. Перед основним експериментом спочатку були випробувані 30 дослідних балок (зразків-близнюків) першої серії зі сталеву арматурою на дію одноразового короткочасного ступінчасто зростаючого статичного навантаження практично до руйнування, коли ширина розкриття похилих тріщин і стріла прогинів перевищували допустимі значення ($w_k > 0,8$ мм, $f \geq \ell / 150$). Після цього випробовували аналогічні дослідні балки, армовані базальтопластиковою арматурою шостої серії при впливі аналогічного статичного навантаження. Цей підхід дозволив зробити достовірну кількісну і якісну оцінку впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на їх несучу здатність, деформативність, тріщиностійкість та інші параметри працездатності. В ході аналізу даних експерименту встановлено, що заміна сталеву арматури на базальтопластикову при усіх інших однакових конструктивних чинниках призводить до зменшення несучої здатності похилих перерізів дослідних зразків балок при їх статичному навантаженні на 47%. Представлене експериментально-теоретичне вивчення несучої здатності пошкоджених у попередніх дослідженнях і доведених до руйнування бетонних балок з BFRP, підсилених вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках, за дії малоциклового знакоповторного поперечного навантаження високих рівнів з розробкою вихідних даних до фізичної моделі методики розрахунку міцності їхніх нормальних і похилих перерізів.

Дослідження несучої здатності пошкоджених залізобетонних балок з BFRP, підсилених попереднього напруженими металевими обойми виконували в наступній послідовності. Перед основним експериментом спочатку по черзі випробовували 28 дослідних балок (зразків-близнюків) першої серії на дію одноразового короткочасного ступінчасто зростаючого навантаження, практично, до граничного стану, коли ширина розкриття похилих тріщин та/або стріла прогинів перевищували допустимі значення ($w_k \geq 0,8$ мм, $f \geq \ell / 150$). Після цього випробовували аналогічні дослідні балки другої серії при впливі знакозмінного малоциклового поперечного навантаження зазначених рівнів з базою випробувань $N=20$ циклів. Далі відбувалося довантаження зразка практично до руйнування або досягнення граничного стану, якщо цього не відбулося раніше на попередніх циклах. Після цього пошкодженні або доведені до граничного стану балки другої

серії підсилювалися металевими попередньо напруженими обоймами, й піддавалися знакозмінному навантаженню з базою $N=20$ циклів. Далі відбувалося довантаження зразків до руйнування або досягнення ними граничного стану. Відновлення та посилення пошкоджених у другій серії балок за допомогою заявлених у [86-88] способу та пристрою дозволило спочатку їх вирівняти і надати їм первісну форму, потім їх посилити, що в результаті, як показали досліди третьої (Д) серії, дозволило значно підвищити їх несучу здатність та підтвердити доцільність використання зазначеного винаходу на практиці. Після обробки результатів експериментальних досліджень несучої здатності дослідних зразків-балок були отримані адекватні експериментально-статистичні залежності несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності дослідних елементів з достатньою інформаційною корисністю, які дозволили оцінити вплив на вихідні параметри кожного дослідного конструктивного чинника та фактора зовнішньої дії як зокрема, так і у взаємодії один з одним. Несуча здатність підсилених зразків є значно вищою від міцності похилих перерізів звичайних балок. Серед конструктивних факторів найбільший вплив на здатність приопорних ділянок досліджуваних несучих елементів має величина відносного прольоту зрізу. В цілому, підтверджується виявлена О.С. Залесовим, Ю.А. Клімовим, В.М. Карпюком та іншими дослідниками закономірність зменшення несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балкових конструкцій зі збільшенням прольоту зрізу за нелінійним законом. Наступним за величиною впливу є клас бетону. При збільшенні класу від C16/20 до C40/50 несуча здатність зростає також за нелінійним законом. Аналогічна картина спостерігається підвищенням коефіцієнта поперечного армування ρ_{sw} . Ширина розкриття нормальних тріщин у експериментальних зразках при експлуатаційному рівні навантаження не перевищує допустимих рівнів.

Дослідження несучої здатності доведених до граничного стану (ULS) пошкоджених бетонних балок з BFRP підсиленням них зовнішніми фіброармований пластинками (CFRP) виконували в наступній послідовності.

Для досягнення поставленої мети така ж кількість балок другої, шостої і сьомої серій була випробувана за вказаною у попередньому пункті методикою. Після чого відбувалося довантаження зразка, практично до руйнування або досягнення граничного стану, якщо цього не відбулося раніше на попередніх циклах. Пошкоджені після випробувань бетонні балки з BFRP були підсилені (рис. 6) знизу у розтягнутій зоні на всю їхню довжину (1575 мм) і ширину ($b=100$ мм) та на приопорних ділянках у вигляді замкнутих сорочок довжиною, відповідно, 150, 300 і 450 мм вуглепластиковим полотном Sika®Wrap®-230C, приклеєним двокомпонентною смолою Sikadur-300 за встановленою технологією з попередньою підготовкою поверхні дослідних зразків – балок і використанням дрібнозернистих полімерцементних ремонтних сумішей для зароблення вибоїн,

каверн і надмірно розкритих тріщин.

Після повної полімеризації двокомпонентної смоли раніше пошкоджені, а потім підсилені вуглепластиком бетонні балки з базальтопластиковою арматурою повторно були випробувані на дію ступенево зростаючого знакопостійного малоциклового поперечного навантаження до руйнування (рис. 7).

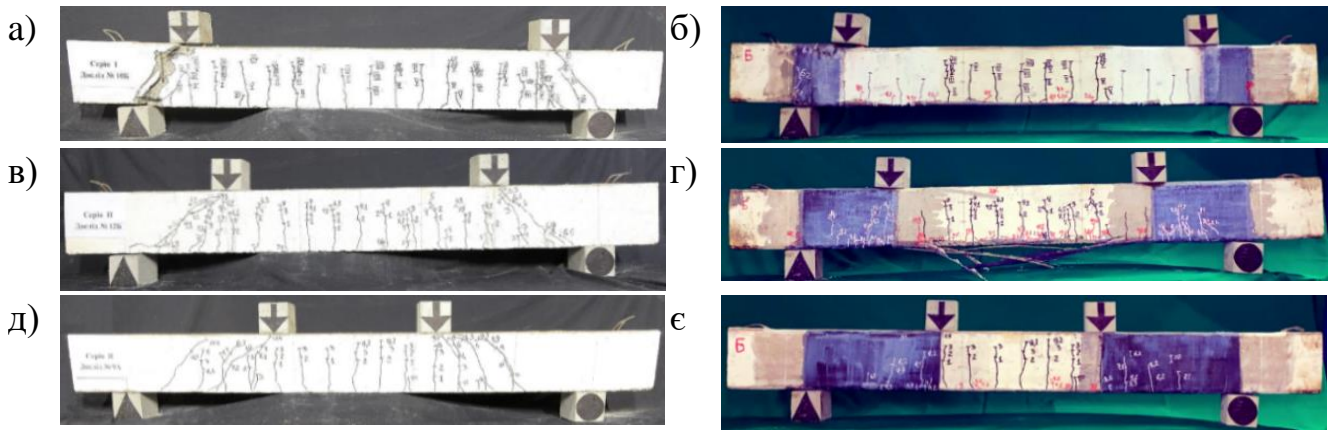


Рис. 6. Характер тріщиноутворення та руйнування бетонних балок з VFRP до (а, в, д) і після (б, г, е) їх підсилення вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та на приопорних ділянках з малим, середнім та великим прольотами зрізу

Кількість повторних навантажень на даній ступені, як правило, не перевищувала 10 і зростала до тих пір, поки не наступала стабілізація деформацій у бетоні, елементах підсилення та балках, в цілому. На завершальному етапі випробувань за нестабілізованих деформацій підсилених балок знімали з них вимірювальні прилади і доводили їх до руйнування. Коефіцієнт зміцнення пошкоджених (ULS) бетонних балок з VFRP, підсилених одношаровим вуглепластиковим полотном (CFRP) у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках характеризується виразом: $k_{fx/f}^{amp} = F_{fx,ult}^{appr} / V_{f_1,ult}^{ref}$. Аналіз



Рис. 7. Етап проведення експериментального дослідження дослідних зразків-балок

отриманих експериментально-статистичних залежностей показує, що вони є подібними за побудовою, а отже, однотипними за впливом конструктивних чинників на величину руйнуючих поперечних сил підсилених зовнішнім вуглепластиком пошкоджених і еталонних бетонних балок з VFRP. Аналіз

залежності показує, що несуча здатність нормальних перерізів підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок, як і слід було очікувати, залежить тільки від класу використаного бетону. Із аналізу отриманих виразів видно, що прийнята конструкція підсилення еталонних балок дозволила зміцнити їх, в середньому, в 1,35 разів. Усі дослідні чинники мають нелінійний вплив на величину $k_{f_{x1}/f}^{amp}$. При цьому, найбільший нелінійний вплив (18%) на величину цього коефіцієнта має клас бетону. Окрім того, усі чинники взаємодіють між собою на всьому діапазоні зміни $k_{f_{x1}/f}^{amp}$ від 1,26 до 2,08.

У п'ятому розділі представлено розрахунок несучої здатності нормальних перерізів бетонних конструкцій з НКА-FRP

Розрахунок бетонних елементів з НКА при роздробленні бетону стиснутої зони. Несуча здатність вказаних елементів визначається розв'язанням системи рівнянь з п'ятьма невідомими. Система складається з рівняння суми проєкцій сил в перерізі на вісь X, рівняння суми моментів відносно центра мас розтягнутої арматури, гіпотези плоских перерізів та діаграми стану бетону і арматури. Невідомими системи рівнянь є напруження в стиснутому бетоні (σ_c), напруження (σ_f) і деформації (ε_f) в розтягнутій арматурі, висота стиснутої зони (X) і несуча здатність (M_u). Наявність стиснутої арматури у необхідних випадках враховується рівняннями сума проєкцій сил в перерізі на вісь X і суми моментів відносно центра мас, де деформації у стиснутій арматурі знаходяться за гіпотезою плоских перерізів. Перехід від фактичної криволінійної епюри напружень до розрахункової прямокутної виконується шляхом введення коефіцієнта λ ефективною висотою стиснутої зони. Згідно ENV 10080:1995 коефіцієнт залежить від міцності бетону і для класів C50/60 і нижче $\lambda=0,8$, а для вищих класів визначається за формулою $\lambda = 0,8$ при $f_{ck} \leq 50$ МПа

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck}-50}{400} \quad \text{для } 50 < f_{ck} < 90 \text{ МПа.} \quad (10)$$

Після вирішення системи рівнянь знаходимо

$$x = \frac{\rho_f \cdot d}{2 \cdot \lambda} \cdot \frac{E_f \cdot \varepsilon_{cu}}{f_{ck}} \left(\sqrt{1 + \frac{4\lambda}{\rho_f} \cdot \frac{f_{ck}}{E_f \cdot \varepsilon_{cu}}} - 1 \right), \quad (11)$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{b \cdot d}. \quad (12)$$

Розрахунок нормальних перерізів бетонних елементів при їх руйнуванні внаслідок розриву розтягнутої НКА. При руйнуванні бетонних конструкцій через розрив розтягнутої НКА-FRP слід урахувувати два можливі випадки їх напружено-деформованого стану: перший характеризується досягненням у розтягнутій НКА деформацій граничних значень $\varepsilon_f \rightarrow \varepsilon_{fu}$ і роботою стиснутого бетону при деформаціях $\varepsilon_c < \varepsilon_{c1}$. Другий випадок НДС елемента характеризується такими ж значеннями $\varepsilon_f \rightarrow \varepsilon_{fu}$ і роботою стиснутого бетону де $\varepsilon_{c1} \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$.

Несуча здатність бетонних елементів, які руйнуються внаслідок розриву композитної арматури, визначається вирішенням системи рівнянь з п'ятьма невідомими. Системи рівнянь складається з: суми проєкцій сил в перерізі на вісь X , суми моментів відносно центру мас стиснутого бетону, гіпотези плоских перерізів, діаграм стану бетону і арматури. Невідомими є: напруження в бетоні (σ_c) стиснутому, напруження (σ_f) і деформації в розтягнутій арматурі, висота стиснутої зони (X) і (ϵ_f) несуча здатність (M_u). Після вирішення системи рівнянь знаходимо

$$x = \frac{\rho_f \cdot d}{2 \cdot \lambda} \cdot d_e \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{2 \cdot \lambda}{\rho_f} \frac{1}{d_e}} - 1 \right]. \quad (13)$$

Для умови $\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$ з урахуванням умови висота стиснутої зони бетону знаходиться з рівняння

$$x = (\sigma_{fu} \cdot A_f) / (f_c \cdot \lambda \cdot b). \quad (14)$$

Розрахунок збалансованого непереармованого поперечного перерізу бетонного елемента, руйнування якого можливе від одночасного розриву композитної арматури і роздроблення бетону стиснутої зони. У міжнародній практиці такий напружено-деформований стан нормального перерізу бетонного елемента з НКА-FRP отримав назву збалансованого поперечного перерізу і відповідає досягненню стиснутому бетонні і розтягнутої арматури граничних значень деформації ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$, $\epsilon_f = \epsilon_{fu}$), а руйнування елемента відбуваються при одночасному розриві розтягнутої арматури і роздробленні бетону стиснутої зони. Збалансований поперечний переріз виражений збалансованим коефіцієнтом армування ρ_f^{bal} , який є критерієм, відносно якого визначаються вид руйнування елемента.

При визначенні несучої здатності бетонних елементів з НКА, які руйнуються одночасно внаслідок розриву композиції арматури і роздроблення бетону стиснутої зони, висота стиснутої зони визначається за допомогою гіпотези плоских перерізів

$$x = \frac{\epsilon_{cu}}{(\epsilon_{fu} - \epsilon_{cu})} \cdot d. \quad (15)$$

Розрахунок похилих перерізів бетонних елементів зі сталевую і композитною арматурою. Розрахунок несучої здатності приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок і високих ростверків. Виконане порівняння фактичної несучої здатності похилих перерізів базальтобетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, та розрахункових її значень, обчислених за рекомендаціями норм проєктування зарубіжних країн, показало незадовільну їх збіжність: коефіцієнт варіації за Eurocode-2 складав $\bar{U} = 85,2\%$, японськими нормами JSCE – $\bar{U} = 77,9\%$, американськими ACI – $\bar{U} = 81,7\%$, канадськими CSA – $\bar{U} = 61,1\%$, італійськими CNR – $\bar{U} = 59\%$. В основному

указані норми недооцінюють до декількох разів реальну несучу здатність дослідних балок, армованих як сталевую, так і базальтопластиковою арматурою. Вказане порівняння показало, що краща збіжність цих величин характерна для тих норм, які базуються не на модифікованій фермовій аналогії чи модифікованій теорії полів стиску, а на експериментально підтверджених розрахункових схемах, О.С. Залєсова, О.Ф. Ільїна, Ю.А. Клімова та ін., які краще відображають фізичну картину роботи дослідних елементів під навантаженням. Суть вдосконаленої розрахункової моделі несучої здатності похилих перерізів балкових конструкцій, армованих BFRP, полягає у необхідності урахування їх конструктивних особливостей. Зокрема, несучу здатність похилих перерізів у балках з великими ($a/h_0 = 3$) і середніми ($a/h_0 = 2$) прольотами зрізу слід визначати за небезпечною похилою тріщиною за розрахунковою схемою О.С. Залєсова і О.Ф. Ільїна у редакції СНиП 2.03.01-84* із застосуванням змінних коефіцієнтів φ_{c2} , φ_{c3} , φ_{c4} , урахуванням реальної довжини небезпечної похилої тріщини l'_{crf1} і суттєвого зменшення розтягуючих напружень f_{fw} у поперечних стержнях до $(0,10 - 0,15)f_{fk}$ (рис. 8).

Поперечна сила V_f , визначається від зовнішнього навантаження, розташованого по один бік від похилого перерізу, що розглядається. Складова поперечної сили, яка сприймається бетоном стиснутої зони, визначається за вдосконаленою формулою О.С. Залєсова і О.Ф. Ільїна

$$V_{fc} = \frac{\varphi_{c2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{a} \quad (16)$$

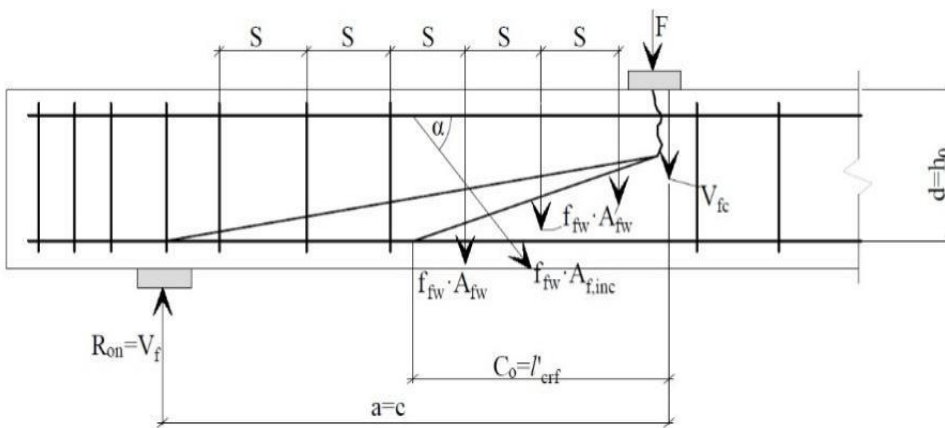


Рис. 8.
Розрахункова
схема припорної
ділянки бетонної
балки, армованої
BFRP, під час
визначення
несучої здатності
її похилого
перерізу

Експериментально-статистична залежність змінного коефіцієнта φ_{c2} після заміни кодованих змінних на натуральні значення конструктивних чинників має вигляд

$$\varphi_{c2} = 1,38 - 0,25 \left(\frac{a}{h_0} - 2 \right) - 0,12 \left(\frac{C - 35 \text{ МПа}}{15 \text{ МПа}} \right) - 0,22 \left(\frac{a}{h_0} - 2 \right) \left(\frac{\rho_{fw} - 0,0072}{0,0043} \right). \quad (17)$$

Довжину C_0 проєкції небезпечної похилої тріщини на поздовжню вісь елемента

СНиП 2.03.01 – 84* рекомендує визначати із мінімуму виразу $Q_b + Q_{sw} + Q_{s,inc}$, у якому при обчисленні Q_b замість довжини прольоту зрізу $a = c$ використовується значення C_0 . Отримане таким шляхом значення C_0 за СНиП 2.03.01 – 84* для залізобетонних конструкцій слід було прийняти не більшим ніж величина $2h_0$ і не більшим ніж величина C , а також не меншим ніж величина h_0 , якщо $C > h_0$.

Проте, багаточисельні натурні експерименти виявили значну розбіжність дослідних і розрахованих за СНиП 2.03.01 – 84* величин C_0 , що ставить під сумнів доцільність такого підходу, в т.ч., прийняття $Q_{sw} = Q_b$.

Виходячи із наведеного вище і ураховуючи наявні дослідні дані, довжину проєкції небезпечної похилої тріщини у бетонних елементах, армованих композитною арматурою, в т.ч. BFRP, при їх статичному навантаженні (серія 1) рекомендується визначати за експериментально-статистичною залежністю (8), яка після заміни кодованих змінних на натуральні має вид

$$l'_{crf1} = \left[176 + 25(a/h_0 - 2) + 9 \left(\frac{C-35\text{МПа}}{15\text{МПа}} \right) - 16 \left(\frac{\rho_{fw}-0,0072}{0,0043} \right) - 9(a/h_0 - 2)^2 + 8 \left(\frac{C-35\text{МПа}}{15\text{МПа}} \right)^2 - 9 \left(\frac{\rho_{fw}-0,0072}{0,0043} \right)^2 - 9(a/h_0 - 2) \left(\frac{\rho_{fw}-0,0072}{0,0043} \right) \right] \text{мм}, U = 5,4\% \quad (18)$$

Зусилля у поперечній арматурі V_{fw} традиційно визначаємо за формулою:

$$V_{fw} = q_{fw} \cdot l'_{crf1}, \quad (19)$$

Несучу здатність приопорних ділянок з малими прольотами зрізу ($a \leq h_0$) необхідно визначати за похилою стислою смугою між зосередженою силою і опорною як для коротких консолей за розрахунковою схемою Т.І. Баранової у редакції СНиП 2.03.01-84* із застосуванням змінного коефіцієнта k_f (рис. 9).

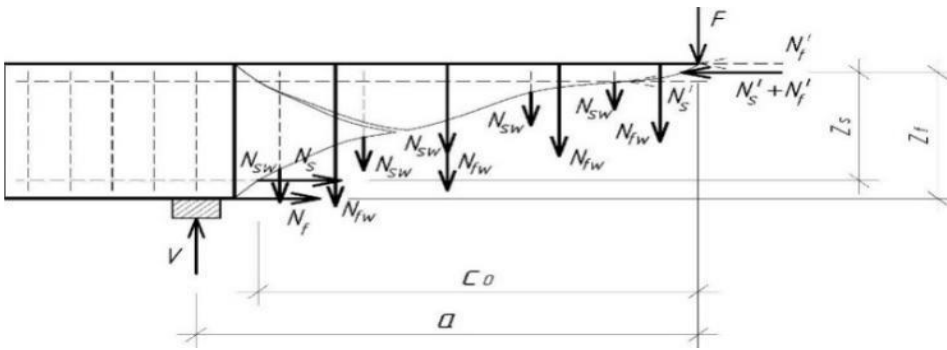


Рис. 9. Схема внутрішніх зусиль в похилому перерізі при розрахунку його на дію згинального моменту

Несуча здатність стиснутої похилої смуги вказаного елемента визначається за умовою

$$V_f \approx F \leq k_f \cdot \varphi_{w2} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot l_c \cdot \sin\theta \leq 3,5f_{ctd} \cdot b \cdot h_0, \quad (20)$$

$$k_f \cdot \varphi_{w2} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot l_c \cdot \sin\theta \geq \frac{\varphi_{c4}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b \cdot d^2}{a}$$

Коефіцієнт k_f у методиці Т.І. Баранової рекомендовано приймати сталим і таким, що дорівнює 0,8. Для базальтобетонних балок з малим прольотом зрізу і коротких консолей $a < h_0$ зворотнім шляхом було знайдено експериментальне значення k_f . Обробка отриманих значень коефіцієнта k_f дозволила одержати

адекватну експериментально–статистичну залежність для вказаних елементів

$$\hat{Y}(k_f) = 1,67 - 0,25X_2 - 0,21X_3 - 0,08X_2X_3, \sigma = 2,5\%, \quad (21)$$

заміна кодованих змінних, в якій на натуральні значення конструктивних чинників у рамках проведеного натурального експерименту дозволяє отримати емпіричну формулу для визначення коефіцієнта k_f з урахуванням зміни класу бетону від C12/15 до C45/55 і коефіцієнта поперечного армування в межах $\rho_{fw} = 0,0018 - 0,0126$. Отримуємо

$$k_f = 1,67 - 0,25 \left(\frac{C - 35 \text{ МПа}}{15 \text{ МПа}} \right) - 0,21 \left(\frac{\rho_{fw} - 0,0072}{0,0043} \right) - 0,08 \left(\frac{C - 35 \text{ МПа}}{15 \text{ МПа}} \right) \left(\frac{\rho_{fw} - 0,0072}{0,0043} \right). \quad (22)$$

Таким чином, використання експериментально встановлених коефіцієнтів для балок, армованих BFRP, з великими ($a/d=3$), середніми ($a/d=2$), а також k_f для елементів з малими ($a/d \leq 1$) прольотами зрізу дозволило зблизити експериментальні та розрахункові значення несучої здатності їх приопорних ділянок до задовільної збіжності ($\nu=7,9\%$).

Розрахунок бетонних таврових та двотаврових балок, армованих BFRP, при спільній дії поперечної сили та згинального моменту виконується для забезпечення міцності похилих смуг між похилими тріщинами в їх стінах на приопорних ділянках за формулою

$$V_f \approx F \leq 0,3 \varphi_{wl} \cdot \varphi_{cl} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d. \quad (23)$$

Вдосконалений інженерний метод розрахунку міцності круглих перерізів бетонних буронабивних паль та опор мостів з НКА-FRP. У дослідженнях останніх років при розробці положень проектування зсуву армованого FRP бетону розглядалися елементи з прямокутним поперечним перерізом. Окрім вітчизняних норм, були проаналізовані нормативні документи інших країн. У тому числі ACI 440.1R (2015), CSA S6 (2014), CSA-S806 (2012). Жодні із вищезгаданих норм і правил не стосуються конкретно оцінки круглих елементів, армованих спіралями з вуглепластику. Параметри конструкції зсуву, такі як ефективна глибина та ширина зсуву, а також обмеження міцності та деформації для спіралей FRP, не визначені.

На основі традиційної ферменної моделі напруга в спіралях при руйнуванні f_{fv}

визначалося наступним чином:

$$f_{fv} = \frac{(V_{\text{exp}} - V_{\text{cr}})s}{\lambda_1 \lambda_2 A_{fv} d_v (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha}.$$

Результати аналізу показують, що вищезазначені методи проектування дозволили отримати прогнози, ближчі до експериментальних результатів, які є досить консервативними. Низький ступінь консерватизму не виправдовує точність та обґрунтованість припущень у цих методах

Вплив зсуву спіралей із вуглепластику можна розглядати як:

$$V_{sf} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \frac{A_{fv} f_{fv} d_v (1 + \sin \alpha) \sin \alpha}{s} \quad (24)$$

Вдосконалений інженерний метод розрахунку пошкоджених бетонних елементів із сталевую і неметалевою композитною арматурою, підсилених попередньо напруженими металевими обоймами або зовнішніми фіб्रो-армованими пластинами. Зроблене порівняння несучої здатності дослідних пошкоджених наскрізними силовими тріщинами залізобетонних балок, підсилених попередньо напруженими металевими обоймами, з результатами розрахунків за національними нормами проєктування України, Білорусі і Росії, а також найбільш розповсюдженими авторськими методами В.В. Пінаджяна, Н.М. Онуфрієва, А.І. Мальганова та ін. показало, в цілому, незадовільну їх збіжність. За поперечною силою ця розбіжність у національних нормах проєктування коливається в межах від 22,9% до 47,5%, а за авторськими методами – від 15% до 26,3%. Родзинкою у даному питанні є: урахування (більшість авторських методів) чи не урахування (норми проєктування) роботи пошкодженого силовими тріщинами бетону у складі підсилюваної конструкції. Виконане у цьому ж розділі моделювання напружено-деформованого стану елементів попередньо напруженої металеві обойми, бетону з наскрізними перехресними похилими і нормальними тріщинами, також стержнів поздовжньої і поперечної арматури балок за допомогою нелінійного скінчено-елементного програмного комплексу "Ліра - САПР" версії 2018 року дозволили чисельно його відтворити та більш повно розкрити механізм деформування і руйнування системи "пошкоджена балка – металева обойма підсилення", виявити критерії руйнування вказаної системи і достовірно прогнозувати її несучу здатність. Розрахунок несучої здатності підсилених попередньо напруженими металевими обоймами в ушкоджених залізобетонних балках з невеликими (відношенням прольоту до висоти балки $a/h_0=0,75\dots 1,25$) прольотами зрізу на вплив поперечних сил з метою гарантування міцності у стиснутих похилих смугах бетону балки між похилими тріщинами проводиться на основі методології О.С. Залесова і О.Ф. Ільїна, виконується за умови: $V < 0,3 \cdot \phi_{w1} \cdot \phi_{c1} \cdot f_{ck} \cdot b \cdot h_{red}$.

У шостому розділі об'єктом дослідження є масивні бетонні конструкції підземних транспортних споруд-тунелів глибокого розташування, армовані сталевую і неметалевою композитною арматурою. З метою узагальнення отриманих результатів для даного класу споруд розглядаються тунелі кільцевих перерізів з найбільш поширеними номінальними діаметрами 5, 10 і 15 м до серединних поверхонь їх оправ. Будівництво тунелів здійснюється щитовим методом у ґрунтах середньої щільності і міцності південного регіону України шляхом виїмки ґрунту прохідницьким комбайном і улаштуванням за ним його

оправи. Предметом дослідження є оцінювання усередненого вуглецевого сліду в обох варіантах конструктивного вирішення зазначених споруд (монолітного залізобетонного і базальтобетонного) протягом усього їхнього життєвого циклу, починаючи від доексплуатаційної стадії (постачання сировини і виготовлення необхідних елементів) аж до його завершення з можливим повторним використанням (рециклінгом) матеріалів, а також встановлення критеріїв його (сліду) зменшення.

Екологічний вплив обох варіантів транспортних тунелів виражений у вигляді вуглецевого сліду, як еквіваленту викидів вуглекислого газу, який обчислюється окремо для кожної стадії їх існування згідно чинних Європейських Норм з урахуванням рекомендацій авторських методик. Характеристика інформаційних модулів та утворених ними стадій життєвого циклу споруд проведена за European Committee for Standardization, 2011.

Згідно вище вказаних рекомендацій, вуглецевий слід від викидів вуглекислого газу на протязі всього життєвого циклу доцільно обраховувати за виразом

$$CF = CF_{A1-A3} + CF_{A4-A5} + CF_{B1-B7} + CF_{C1-C4} - CF_D. \quad (25)$$

Складові формули (25) обчислюються як сума розрахункових викидів для i -го елемента споруди для кожної інформаційної групи.

Осереднені за трьома різними діаметрами та узагальнені викиди вуглекислого газу протягом життєвого циклу еталонної (варіант 1) і запропонованої (варіант 2) конструкції підземної транспортної споруди-тунелю довжиною 1 м. п. становили, відповідно, 15,9740 т CO₂екв і 11,551 т CO₂екв, тобто зменшилися майже в 1,4 рази. Зазначені викиди можна ще зменшити до 25% також на стадії експлуатації під час капітального ремонту або заміни, за необхідності, горизонтальної плити перекриття проїзної частини та підтримуючих її конструкцій тільки за рахунок використання замість сталеві неметалевої композитної арматури та рециклінгу матеріалів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В процесі аналізу літературних джерел встановлена недостатня вивченість взаємодії широкого класу конструкцій, зокрема палювих і палеплитних фундаментів, низьких і високих ростверків, оправ тунелів, підпірних споруд і стінок з розвантажувальними елементами та ін. з ґрунтами основ, які експлуатуються в умовах агресивної дії оточуючого середовища, а також необхідність проєктування їх енергоефективними, екологічними та економічними.

2. Доведено, що на довговічність та можливість застосування інноваційних матеріалів в конструкції фундаменту впливає модель роботи «ґрунт – паля». Показано, що на несучу здатність палі з точки зору сумісної роботи ґрунт – паля армування вуглепластиковою арматурою майже не впливає. Поверхня міцності на зсув покращується шляхом збільшення шорсткості поверхні зразка.

3. Запропонована методика, яка дозволяє швидко визначати внутрішні зусилля в оправі тунелю при його проектуванні та осідання поверхні землі без виконання громіздких розрахунків в ґрунтових умовах південного регіону України, а також спрогнозувати можливі наслідки в процесі його прокладання. Розраховані математичні моделі (2.1) ... (2.32), які зручно використовувати як для оцінювання впливу того чи іншого фактора зокрема, так і у взаємодії один з одним на величину внутрішніх зусиль в оправі тунелів, осідання поверхні землі, а також для вирішення оптимізаційних задач, в яких використовуються математично обґрунтовані стохастичні залежності розглянутих вихідних параметрів від зазначених дослідних факторів.

4. Доведена можливість і доцільність зведення підпірних споруд, у т.ч. гідротехнічних, з вертикальною задньою гранню, горизонтальною поверхнею засипки із щільних та залишково міцних ($\varphi=30-40^\circ$) ґрунтів, що дозволить одночасно мінімізувати активний тиск на них та підвищити пасивний опір ґрунту, в т.ч. від навали суден, що швартуються, в сформованих інженерно-геологічних і сейсмічних умовах.

На основі технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища з урахуванням отриманих результатів експериментів, розроблений метод розрахунку підпірної стінки з розвантажувальними елементами в двох рівнях та запропонований спосіб визначення бічного тиску на неї, що сприятиме раціональному проектуванню таких стінок та економії матеріально-технічних ресурсів.

Експериментально встановлено, що розподіл напружень у засипці за підпірною стінкою від тимчасового навантаження не узгоджується з теорією Кулона. Зокрема, були виявлені закономірності розподілу бічного тиску ґрунту засипки на підпірну стінку при різних положеннях і розмірах розвантажувальних плит за дії по-різному розташованого тимчасового навантаження на її поверхні.

5. Виконане моделювання складного напружено-деформованого стану дослідних конструкцій шляхом нелінійних скінчено-елементних розрахунків за допомогою програмного комплексу «Ліра-Сапр», що дає можливість прослідити за усіма етапами їхньої роботи під навантаженням і чисельно відтворити результати виконаного експерименту, зробити достовірний прогноз їх міцності та характеру руйнування.

Запропонований інженерний метод розрахунку міцності приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок і високих ростверків дозволяє зробити достовірний прогноз їхньої несучої здатності із задовільною для практичних цілей точністю (коефіцієнт варіації $v \leq 9\%$).

6. Встановлені особливості напружено-деформованого стану дослідних зразків-балок. Їх якісну і кількісну картину деформування, тріщиноутворення та руйнування дослідних балок, вперше представлених у вигляді експериментально-

статистичних залежностей за дії одноразового статичного навантаження. Дана комплексна характеристика основних параметрів несучої здатності однакових балкових елементів, армованих базальтопластиковою і сталевую арматурою.

Експериментально встановлено, що середнє значення ширини розкриття похилих тріщин у залізобетонних балках становить 0,40 мм, а у базальтобетонних – 0,45 мм при аналогічному навантаженні. Прогини бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, більше, ніж у два рази перевищують прогини аналогічних залізобетонних елементів з такими же конструктивними чинниками і досягають, в середньому, 1/154 від розрахункової довжини прольоту при експлуатаційному рівні ($0,65F_u$) навантаження і збільшуються до 1/110 перед руйнуванням ($0,95F_u$).

Отримані експериментальні дані та суттєво уточнені фізичні моделі роботи похилих перерізів прогінних базальтобетонних конструкцій за дії статичного навантаження, в результаті чого вперше визначений комплексний вплив на тріщиностійкість, деформативність та міцність дослідних зразків-балок величини прольоту зрізу a/h_0 , класу бетону C та коефіцієнту поперечного армування ρ_{fw} .

7. Експериментально доведена можливість і доцільність використання на практиці розробленого оригінального способу відновлення та посилення пошкоджених (у тому числі під час бойових дій) наскрізними нормальними і похилими тріщинами, що перетинаються, розділених ними на окремі блоки залізобетонних балкових конструкцій за рахунок тристороннього обтиснення та пристрою для його здійснення, закріпленого патентом, при дії зростаючого статичного, циклічного знакозмінного, сейсмічного, пульсуючого та іншого динамічного навантаження.

Застосування металевої попередньо напруженої обойми для підсилених пошкоджених балок збільшує їхню несучу здатність в 1,5 і прогини в 1,8 разів, а максимальну ширину розкриття похилих тріщин зменшує в 1,2 рази.

Реалізований комплексний підхід до експериментально-теоретичного вивчення НДС звичайних, відновлених та підсилених балок (вказаним способом) вперше дозволив зробити кількісну і якісну оцінку впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на несучу здатність, жорсткість, тріщиностійкість та інші параметри працездатності балок, як зокрема, так і у взаємодії один з одним, а також уточнити фізичну модель їх роботи. Також було встановлено, що несуча здатність дослідних елементів за I групою граничних станів нелінійно збільшується:

- зі збільшенням класу бетону від C16/20 до C40/50 на 23-33%;
- у двох серіях дослідів, де балки випробовували на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження для встановлення руйнівного зусилля і на дію знакозмінного циклічного навантаження, та у серії, де здійснювали випробування пошкоджених і доведених до граничного стану в попередніх

дослідженнях підсилених металевою обоймою балок на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження;

- зі збільшенням кількості поперечної арматури ρ_{sw} від 0,0016 до 0,0044 на 12-15%;

- при зменшенні рівня малоциклового знакозмінного навантаження η від 0,8 до 0,5 на 5%;

- при одночасному зменшенні відносного прольоту зрізу a/h_0 і збільшенні класу бетону до 9 %.

8. Виконаними експериментально-теоретичними дослідженнями встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану (ULS) бетонних конструкцій з ВНКА зовнішніми фіброармованими пластиками (СНКА) при дотриманні встановленої технології. При цьому несуча здатність підсилених вказаним способом бетонних балок з ВНКА з наявними силовими пошкодженнями збільшилася до 2,0 разів порівняно з еталонними зразками.

9. Виконаний аналіз викидів вуглекислого газу CO_2 в атмосферу дозволив систематизувати наявні чинники і фактори негативного екологічного впливу будівельної споруди чи будівлі на довкілля, які характеризуються процесами від видобутку сировини для виготовлення необхідних матеріалів до її ліквідації з повторним використанням отриманих матеріалів та рециклінгом.

При цьому, осереднений для трьох різних діаметрів транспортних тунелів глибокого розташування вуглецевий слід одного метра погонного у запропонованому варіанті конструкції становив 11,551т CO_2 екв проти 15,977т CO_2 екв у традиційному (еталонному) варіанті залізобетонної конструкції, тобто зменшився приблизно в 1,4 рази.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографії

1. Карпюк І.А., Целікова А.С., Клименко Є.В., Карпюк В.М. (2022). *Несуча здатність бетонних балкових конструкцій з базальтопластиковою арматурою*: Монографія. Одеса : ОДАБА. 175 с.
2. Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2016). *Розрахунок оправ тунелів та горизонтальних виробок*: Монографія. Одеса : ОДАБА. 147 с.

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Даниленко Д.С., Карпюк М.В. (2023). Порівняльний аналіз несучої здатності дослідних пошкоджених залізобетонних елементів, підсилених металевими обоймами. *Центральноукраїнський науковий*

вісник: Технічні науки, 8(39), 98-115.

4. Somina Yu.A., Karpiuk I.A., Antonova D.V. (2023). Deformability of steel reinforcement of damaged CFRP-strengthened beams under the action of cyclic loading. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*, 27, 35-40.
5. Karpiuk I.A., Karpiuk V.M., Klymenko Ye.V., Hlibotskyi R.V. (2022). Carbon footprint of a concrete transport structure - a deep tunnel. *Сучасне будівництво та архітектура*, 2, 27-36.
6. Карпюк І.А., Карпюк В.М., Костюк А.І., Глібоцький Р.В., Постернак О.О. (2022). Деформативність і тріщиностійкість пошкоджених балок з базальтопластиковою арматурою, армованою вуглепластиковим листом. *Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки*, 7(38), 56-76.
7. Карпюк І.А., Карпюк В.М., Костюк А.І., Глібоцький Р.В., Постернак О.О. (2022). Несуча здатність доведених до граничного стану (ULS) пошкоджених бетонних балок з CFRP, підсилених фіброармованими пластиками (CFRP). *Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки*, 6(37), 127-141.
8. Карпюк І.А., Глібоцький Р.В., Карпюк В.М., Целікова А.С., Костюк А.І. (2022). Порівняльний аналіз несучої здатності еталонних та пошкоджених бетонних балок з базальтопластиковою арматурою підсилених вуглепластиковим полотном. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 282-345.
9. Карпюк І.А. (2022). Особливості деформування, руйнування та розрахунку пошкоджених базальтобетонних балок, підсилених вуглепластиковим полотном. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*, 21, 9-14.
10. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Карпюк В.М., Карпюк М.В. (2021). Нелінійна деформаційно-силова модель бетонного стержня з неметалевою композитною арматурою у загальному випадку напруженого стану. *Механіка та математичні методи*, 1, 6-26.
11. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Худобич А.О., Целікова А.С., Карпюк В.М. (2021). Сумісна робота сталеві і базальтової пластикові арматури з бетоном у складі балкових конструкцій. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*, 25, 37-47.
12. Karpiuk I.A., Tselikova A.S., Karpiuk V.M., Khudobych A.A., Korchevnyi D.S., Kravchuk V.G. (2021). Design models of the bearing capacity of the support sections of basalt-concrete beam structures. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 82, 27-36.
13. Karpiuk V., Tselikova A., Khudobych A., Karpiuk I., Kostyuk A. (2020). Calculating model of the property and crack resistance of beams with CFRP. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 4(7), 42-53. (Індексується наукометричною базою Scopus)
14. Карпюк В., Карпюк І., Целікова А., Малахов В., Худобич А. (2020).

Моделювання напружено-деформованого стану базальтобетонних балок. *Вісник Луганського національного аграрного університету*. 21, 9-14.

15. Karpiuk I., Karpiuk V. (2020). Surface subsidence ground during tunnel construction. *Central Ukrainian Scientific Bulletin Technical Sciences. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.*, 3(34), 194-200.

16. Карпюк В. М., Даниленко Д.С., Карпюк І.А., Даниленко А.В., Сьоміна Ю.А. (2020). Фізична модель роботи системи «металева попередньо напружена обойма підсилення - пошкоджена залізобетонна балка». *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*, 24, 53-70.

17. Karpiuk I., Karpiuk V., Klimenko E., Tselikova A., Khudobych A. (2020) Comparative analysis of research and calculated values of bearing capacity of reinforced concrete and basalt concrete beams according to recommendations. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 80, 43-49.

18. Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2019). Визначення основних параметрів працездатності вдавнених висячих паль. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 69, 151-158.

19. Карпюк І.А., Карпюк В.М. (2016). Нерівномірні осідання поверхні землі в процесі улаштування склепінчастих тунелів з урахуванням нашарувань ґрунтів південного регіону України. *Будівельні конструкції*, 83(1), 381-389.

20. Карпюк І.А., Карпюк В.М. Взаємодія висячих призматичних паль з піщаними ґрунтами. (2016) *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 61, 137-141.

21. Карпюк І.А., Криштопа С.Н., Николюк В.Н.. (2015). Зона уплотнення вокруг коротких призматических свай в песчаных грунтах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 60, 154-159.

22. Мовчан О.М., Труфін М.Д., Карпюк І.А. (2015). Особливості взаємодії моделей висячих призматичних паль з піщаними ґрунтами. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 60, 202-206.

23. Менайлюк А.И., Карпюк І.А., Карпюк В.М., Сурду А.В. (2014). Узагальнена оцінка впливу конструктивних чинників і чинників зовнішньої дії на внутрішні зусилля в залізобетонних оправах тунелів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2(17), 103-112.

24. Карпюк І.А. (2014). Влияние геотехнических и конструктивных факторов на изгибаемые и осевые усилия в круговой обделке тоннелей, а также сдвижения поверхности земли. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 56, 75-76.

25. Карпюк І.А., Карпюк В. М. (2013). Прогноз основних та додаткових осідань одиночних вдавнених паль з урахуванням їх сумісної роботи. *Вісник Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*,

3 (38), т.2. 133-138.

26. Карпюк І.А., Карпюк В. М. (2013). Дослідження взаємодії моделей висячих призматичних паль з піщаними ґрунтами. *Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). ДП НДІБК*, 79, 133-138.
27. Шикалович Н.С. Карпюк В.М., Карпюк Ф.Р., Кушак С.И., Голубев А.Ю., Карпюк І.А. (2011). Усиление фундаментов административного корпуса ЧАО «Ильичевский топливный терминал» буроинъекционными сваями в илистых грунтах. *Вісник Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій*, 75 (1), 195-202.
28. Карпюк І.А. (2010). Деформации песчаного грунта вокруг вдавленных и забивных призматических свай. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 39 (1), 292-297.
29. Карпюк І.А. (2010). Зависимость осадок моделей свай от способа их погружения. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 37, 151-155.
30. Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2006). Особенности расчета несущей способности свай, погруженных вдавливанием. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 22, 99-105.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

31. Karpiuk I., Klymenko Ye., Karpiuk V., Posternak A., Maistrenko O., Tselikova A. (2021). Determination of the strength of the support sections of concrete beams with BFRP under the action of shear forces. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1164, 012031
32. Karpyuk I., Karpyuk V., Hlibotskyi R., Posternak O. (2022). Load-bearing capacity of damaged concrete beams with basalt plastic fittings, reinforced with external fiber-reinforced plastics. *Lecture Notes in Civil Engineering* 290, 124–135 (Індексується наукометричною базою Scopus)
33. Kos Z., Klymenko Y., Karpiuk I., Grynyova I. (2022). Bearing Capacity near Support Areas of Continuous Reinforced Concrete Beams and High Grillages. *Applied sciences*, 12(2), 685 (Індексується наукометричними базами Scopus і Web of Science)
34. Karpiuka V., Sominaa Yu., Karpiuka F., Karpiuk I.. (2021). Peculiar aspects of cracking in prestressed reinforced concrete t-beams. *Acta Polytechnica. Journal of Advanced Engineering*, 61(5), 633 - 643. (Індексується наукометричними базами Scopus і Web of Science)
35. Karpiuk I., Danilenko D., Karpiuk V., Danilenko A., Lyashenko T. (2021). Bearing capacity of damaged reinforced concrete beams strengthened with metal casing. *Acta Polytechnica*, 61(6), 703–721 (Індексується наукометричними базами Scopus і Web of Science)
36. Karpiuk, I.A., Karpiuk V.I M., Karpiuk F.R.. (2020). Calculation of Lateral Soil

Pressure at the Hydraulic Construction and Its Sustainability on the Stone Bed. *Materials Science Forum* 1006, 149–157. (Індексується наукометричною базою Scopus)

37. Karpiuk V., Karpiuk I., Tselikova A., Khudobych A. (2020). Calculating model of the bearing ability of the substructured areas of baltic basalt concrete structures. *Science and education a new dimension: Natural and Technical Science*, 8(29), 16-22.

38. Rusu I., Khudobych, A., Tselikova A., Karpiuk V., Karpiuk I., Zavoloka M. (2020). Michael Features of stress-strain behaviour of basalt fibre reinforced concrete beam structures. *Journal of Engineering Science*, 2, 186-202.

39. Danilenko D., Zavoloka M., Karpiuk V., Karpiuk I., Rusu I. (2020). Load-bearing capacity of damaged reinforced concrete span structures strengthened with prestressed metal casings. *Journal of Engineering Science*, 2, 106–127.

40. Antonova D., Zavoloka M., Karpiuk V., Karpiuk I., Rusu I. (2020). Strength, cractic resistance and deformativity of reinforced concrete beams damaged by through cracks, reinforced carbon fiber. *Journal of Engineering Science*, 27 (1), 50–63.

41. Karpiuk I., Marchenko M., Karpiuk V., Mosicheva I. (2015). An experience of designing and construction of residential building in the straitened urban environment. *Scientific professional journal of University North: Technical journal*, 14(3), 307-310. (Індексується наукометричною базою Web of Science).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

42. Karpyuk I.A., Sverdlenko A.L. (2024). Performance of carbon fiber reinforced concrete beams reinforced with prestressed cages. *Тези доповідей у Міжнародній науковій конференції Current Challenges and New Opportunities in Science and Education: Proceedings of the International Scientific Conference*. Nottingham, UK: Bookmundo, 7-12.

43. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Даніленко Д.С. (2024) Вдосконалений інженерний метод розрахунку пошкоджених бетонних елементів із сталевую і неметалевою композитною арматурою, підсилених попередньо напруженими металевими обоймами. *Тези доповідей 79-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса: ОДАБА, 63

44. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Мішутін А.В. (2024) Сприйняття бічного тиску ґрунту підпірними стінами. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво»*. Одеса: ОДАБА, 65.

45. Карпюк І, Глібоцький Р. (2024) Напружено-деформований стан пошкоджених бетонних балок, підсилених вуглепластиковим полотном. *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference*. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 394-398.

46. Karpyuk I., Gluboksky R. V. (2024) Performance of concrete beams reinforced with

carbon fiber after damage. Modern research in science and education. *Proceedings of the 5th International scientific and practical conference*. BoScience Publisher. Chicago, USA. 224-227.

47. Карпюк І.А., Клименко Е.В., Карпюк М.В. (2023) Освіта і суспільство. *Тези доповідей Міжнародної науково-методичної конференції «Управління якістю підготовки фахівців»*, Одеса: ОДАБА, 13.

48. Клименко Є.В., Карпюк І.А., Даниленко Д.С. (2023). Енергоефективні та екологічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ. *Тези доповідей V міжнародної науково-практичної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд»*. Одеса: ОДАБА, 65.

49. Карпюк І.А., Клименко Є.В., Карпюк В.М. (2023). Визначення викидів парникових газів при зведенні транспортних споруд. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво»*. Одеса: ОДАБА, 65.

50. Карпюк І.А. Клименко Є.В. Карпюк В.М. Глібоцький Р.В. Постернак О.О. (2022). Застосування фібро армованих пластиків для підсилення пошкоджених прогінних конструкцій. Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науковотехнічної конференції.: *Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану. (CSCS-2022)*, Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 62-67.

51. Карпюк І.А., Карпюк В.М., Глібоцький Р.В., Пастернак О.О., Свердленко О.Л., Корчевний Д.С. (2022) Експериментальна перевірка можливості та доцільності застосування фіброармованих пластиків для підсилення пошкоджених балкових конструкцій. *Тези доповідей міжн. наук.-техн. конф.: Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса: ОДАБА, 27-31.

52. Клименко Є.В., Карпюк І.А., Глібоцький Р.В., Карпюк В.М., Постернак О.О. (2022) Особливості граничного стану та розрахунку міцності пошкоджених бетонних балок з базальтопластиковою арматурою, підсилені вуглепластиковим полотном. *Тези доповідей 78 наук.-технічн. конф. професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : ОДАБА, 69.

53. Карпюк І., Клименко Є., Карпюк В., Глібоцький Р., Постернак О. (2022) Застосування фібро армованих пластиків для підсилення пошкоджених прогінних конструкцій. *Тези доповідей XIV міжнародної науково-технічної конференції «Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану»*. С. 97-114.

54. Karpyuk I., Karpyuk V., Klimenko Y., Karpyuk F., Posternak A.. (2022) Активний тиск та пасивний опір ґрунту засипки підпірних споруд у загальному випадку його напруженого стану. *Міжнародна наук.-практична конф.: Проблеми*

надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ, 22–23.

55. Клименко Е.В., Карпюк И.А., Карпюк В.М., Карпюк Ф.Р. (2021). Статистический метод расчета активного давления и пассивного сопротивления грунта засыпки подпорных сооружений. *Тези 4 міжнародної конференції: Експлуатація та реконструкція будівель і споруд*. Одеса: ОДАБА, 65-68.
56. Карпюк І.А., Клименко Е.В., Карпюк В.М., Целикова А.С., Худобич А.О., Глібоцький Р.В. (2021). Сумісна робота сталеві і базальтопластикові арматури з бетоном у складі балкових конструкцій. *Тези наук.-техн. конф.: Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса: ОДАБА, 22-24.
57. Карпюк І.А., Карпюк В.М., Клименко Є.В. (2021). Визначення бічного тиску ґрунту на масивні гідротехнічні підпірні споруди з розвантажувальними елементами. *Тези доп. міжн. наук.-технічної конф.: Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Одеса: ОДАБА, 33-35.
58. Сьоміна Ю.А., Карпюк В.М., Карпюк І.А., Даниленко Д.С. (2021) До розрахунку похилих перерізів прогінних залізобетонних конструкцій. *Тези 3 всеукраїнської наук.-практична конф.: Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси*. Одеса: ОДАБА, 187.
59. Карпюк І.А., Карпюк В.М. (2021) НКА в конструюванні бетонних конструкцій. *Тези доповідей 77-ї наук.-техніч. конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : ОДАБА, 59.
60. Карпюк І.А., Карпюк В. М., Клименко Є. В. (2021). Розрахункова модель силового опору нерозрізних залізобетонних балок і ростверків державна служба України з надзвичайних с ситуацій. *Міжнародна науково-практична конференція: Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ, 370-375
61. Карпюк І. А., Антонова Д. В., Глібоцький Р. В., Карпюк В. М. (2021). Результати експериментальних досліджень несучої здатності бетонних балок зі сталеві і базальтопластикові арматурою, підсилених вуглепластиковим полотном. *Тези міжнародної науково-технічної конференції: Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса: ОДАБА, 20-22.
62. Карпюк В.М., Даниленко Д.С., Карпюк І.А. (2020) Напружено-деформований стан підсилених металеві обіймою, залізобетонних балок за дії циклічного знакозмінного навантаження. *Тези доповідей 7 міжн. наук.-практичної конференції: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 88.
63. Целікова А.С., Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020). Дослідження несучої здатності базальтобетонних балкових конструкцій. *Тези доповідей 76 наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : ОДАБА, 88.
64. Карпюк И. А., Клименко Е. В., Карпюк В. М., Постернак А. А.,

- Майстренко О.Ф., Целикова А. С. (2020) Расчет прочности наклонных сечений бетонных балок с BFRP. *Тези доповідей 7 міжн.і наук.-практичної конференції: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 187-197.
65. Карпюк В.М., Карпюк І.А., Целікова А.С., Худобич А.О. (2020) Дослідження міцності, деформативності та тріщиностійкості балок, армованих базальтопластиковою арматурою. *Тези 3 всеукраїнської наук.-практичної конференції: Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси*. Одеса: ОДАБА, 140.
66. Целікова А.С., Худобич А.О., Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020). Особливості утворення нормальних та похилих тріщин у базальтобетонних балкових конструкціях. *Тези доповідей 76 наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : ОДАБА, 360-361.
67. Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020). До питання про визначення додаткових осідань поверхні землі під час улаштування підземних транспортних споруд. *Тези доповідей 76 наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса : ОДАБА, 59.
68. Карпюк В.М., Семина Ю.А., Карпюк Ф.Р., Карпюк І.А. (2020) Особенности трещинообразования предварительно напряженных тавровых железобетонных балок. *Тези доповідей 7 міжн.і наук.-практичної конференції: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 332-336.
69. Карпюк І.А., Карпюк В. М., Клименко Є. В., Сьоміна Ю.А., Постернак О.О. (2020) Розрахункова модель силового опору нерозрізних залізобетонних балок і ростверків. *Тези доповідей 7 міжнародної наук.-практичної конференції: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 138-143.
70. Даниленко Д.С., Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020) Тріщиностійкість залізобетонних балок, посилені металевими обоймами. *Тези доповідей міжн. наук.-техн. конф.: Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса: ОДАБА, 19-21
71. Даниленко Д.С., Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020) Деформативність пошкоджених залізобетонних балок, посилені металевими обоймами. *Тези доповідей 7 міжн. наук.-практичної конференції: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 81-84.
72. Карпюк В. М., Даниленко Д. С., Карпюк І. А., Даниленко А. В.. (2020) Напружено-деформований стан підсилені металевою обоймою, залізобетонних балок за дії циклічного знакозмінного навантаження. *Тези доповідей 76 наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса: ОДАБА, 91.
73. Карпюк І.А., Карпюк В. М. (2020). Расчет бокового давления грунта на

гидротехническое сооружение и его устойчивости на каменной постели. *Тези доповідей міжн. наук.-практ. конф.: Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ.

74. Целікова А.С., Худобич А.О., Карпюк В.М., Карпюк І.А. (2020). Особливості утворення нормальних та похилих тріщин у базальтобетонних балкових конструкціях. *Тези доповідей 7 міжн. наук.-практ.конф.: Актуальні проблеми інженерної механіки*, Одеса, ОДАБА, 360 - 361.

75. Karpyuk I.A., Karpyuk V.M., Pancheva N.V. (2019). File foundations in the constructed conditions of the city. *Sciences of Europe, Czech Republic.*, 35 (1), 49-51.

76. Карпюк І, Карпюк В. (2017) Визначення основних параметрів працездатності вдавнених висячих паль. *Тези доповідей міжн. наук. конф.: Сgall in Geotechnical TnginiringqCGE*, 152

77. Карпюк І.А., Карпюк В. (2019) Устройство свайных фундаментов в стесненных условиях города Одессы. *Зб. тез наук. пр. XXXVIII Міжн. наук.-практ. конф.: Актуальні проблеми сучасної науки*. Харків – Вена – Берлін – Астана, 82-84.

78. Карпюк І.А., Карпюк В.М. (2018). Особливості взаємодії почергово вдавнених та навантажених висячих призматичних паль із ґрунтом основи. *Зб. тез наук. практ. конф: Актуальні наукові дослідження у сучасному світі*, 2(34) 6, 55-78.

79. Карпюк І.А., Карпюк В.М. (2018) Визначення основних параметрів працездатності вдавнених висячих паль. *Тези доповідей 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса: ОДАБА.

80. Karpiuk I. (2015). Determination of internal power factors in the reinforce-concrete shirt of tunnels by means of numeral and statistical methods. *Proceedings of the 4th International Academic Congress "Scientific and Educational in the Modern World"*, 2, 1052.

81. Karpiuk I.A, Karpyuk V.M. (2014). Moving the earth's surface the formation of underground excavation in the bases loaded. *Proceedings of the International Academic Congress: Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries*, 2, 403-413

82. Karpyuk I.A., Karpyuk V.M., (2014). Moving the earth`s surface the formation of underground excavation in the bases loaded. *Fundamental and Applied Studios in the Pacific and Atlantic Oceans Countries*, 2, 403-413

83. Karpiuk I. Karpiuk V., Meneulyuk A. (2014). Internal efforts in shirt of circular tunnels and fallouts of terrene in the process of their arrangement in tense founding. *French Journal of Scientific and Educational Research*, 2 (12), 554-571.

84. Карпюк І.А., Карпюк В. (2013) Дослідження залежності осідань моделей призматичних паль від способу їх заглиблення. *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-*

прак. конф.: Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів. Кіровоград, ПП «Ексклюзив-Систем», 308-311.

85. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Колесников Л.И., Карпюк И.А. (2006) Расчет основных параметров работоспособности вдавненных призматических свай. *Зб. тез доповідей Міжнародної наук.-техн. конф.: Проблеми механіки ґрунтів и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях.* «Башнистрой», 63-68.

Патенти на винаходи, корисні моделі

86. Пат. 119294 Україна, МПК E04B 1/18, E04B 1/20, E04BG 23/02. Спосіб відновлення та підсилення пошкоджених залізобетонних балок і пристрій для його здійснення / Карпюк В.М., Даниленко Д.С., Карпюк І.А., Даниленко А.В.; заявник та патентовласник Одеська державна академія будівництва та архітектури. – № а2018 00651 ; заявл. 23.01.2018 ; опубл. 27.05.2019, Бюл. №10.

87. Патент на корисну модель №128762 Україна, МПК(2018.01) E1/100 E04G23/02. Спосіб відновлення та підсилення пошкоджених залізобетонних балок. / Карпюк В.М., Даниленко Д.С., Карпюк І.А., Даниленко А.В. –Бюл. 19 від10.100.2018р. МПК(2018.01) E1/100 E04G23/02(2006.01)

88. Патент на корисну модель №128763 Україна, МПК(2018.01) E1/100 E04G23/02. Пристрій для відновлення та підсилення пошкоджених залізобетонних балок. / Карпюк В.М., Даниленко Д.С., Карпюк І.А., Даниленко А.В. –Бюл. 19 від10.100.2018р. МПК(2018.01) E1/100 E04G23/02(2006.01) 10.10.2018.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

89. Карпюк В.М., Митинский В.М., Карпюк И.А., Мосичева И.И. / **Навчальний посібник:** Основи та фундаменти транспортних споруд. Одеса, 2018. с.128.

90. Карпюк В.М., Дорофеев В.С., Карпюк І.А., Діордієнко Л.Д., Семчук П.П., Майстренко О.Ф., Варич Г.С.; **Проектування тунелів глибокого розташування: навчальний посібник** Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2015. – 98 с

91. Карпюк І.А. (2024) Розрахунок бічного тиску ґрунту на гідротехнічну споруду та його стійкості на кам'яній постелі. *Розділ колективної монографії «Сучасні аспекти науки».* Чеська Республіка. 2024. Вип. 39. С. 597-604.

АНОТАЦІЯ

Карпюк І.А. Енергоефективні, екологічні та економічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2024.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, сформульовано

мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено відомості про особистий внесок та апробацію матеріалів дисертації, представлено її загальну структуру та обсяг.

У **першому розділі** дисертації дана характеристика, описані основні властивості та досвід використання неметалевої композитної арматури (НКА) для армування бетонних конструкцій, наведений аналіз існуючих досліджень стосовно прогінних бетонних конструкцій з НКА. Особливу увагу приділено розгляду існуючих нормативних та авторських методів розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності прогінних бетонних конструкцій, армованих композитною арматурою (КА). Представлені основи інженерних споруд та їх розрахункові моделі, де зазначено, що основою сучасної механіки ґрунтів є модель суцільного середовища, яка дозволяє широко застосовувати наявні теорії пружності, теорії пластичності, гідромеханіки тощо. Представлено розрахунок взаємодії масивних підземних споруд з ґрунтовим середовищем з позиції технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища. В якому вказані особливості визначення активного і пасивного тиску на круті підпирні споруди за технічною теорією при безперервному напруженому стані в ґрунті засипки. Невирішені частини означеної проблеми лягли в основу сформульованих мети та завдань дисертаційного дослідження авторки.

У **другому розділі** представлена методика визначення екстремальних внутрішніх силових факторів в монолітних залізобетонних склепінчастих оправах тунелів за допомогою числового планованого експерименту з використанням сучасного програмного комплексу «PLAXIS-8». Представлені дослідження взаємодії ґрунтів основ пальових фундаментів із приведеним тунелем із застосуванням математичної теорії планування експерименту з урахуванням реальних нашарувань ґрунтів основи південного регіону України.

У **третьому розділі** дисертації представлено розроблений інженерний (статистичний) метод розрахунку активного тиску і пасивного опору ґрунту засипки масивних підпирних споруд, який об'єднав наявні аналітичні методи розрахунку підпирних стінок із крутою задньою гранню за умови безперервного та розривного напружених станів ґрунту засипки, а також споруд із пологою задньою гранню з урахуванням сейсмічних впливів. Представлені основні принципи інтеграції плитно-палевого огородження глибокого котловану у конструктивну схему будівлі що зводиться. Представлений приклад впровадження. Визначено вплив вуглепластикової арматури та полотна з BFRP.

У **четвертому розділі** реалізований комплексний підхід до експериментально-теоретичного вивчення напружено деформованого стану балкових конструкцій, армованих сталевую та базальтопластиковою арматурою. Цей підхід дозволив зробити достовірну кількісну і якісну оцінку впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на їх несучу здатність, деформативність, тріщиностійкість

та інші параметри працездатності. В ході аналізу даних експерименту встановлено, що заміна сталеві арматури на базальтопластикову при всіх інших однакових конструктивних чинниках призводить до зменшення несучої здатності похилих перерізів дослідних зразків балок при їх статичному навантаженні на 47%. Представлене експериментально-теоретичне вивчення несучої здатності пошкоджених у попередніх дослідженнях і доведених до руйнування бетонних балок з BFRP, підсилених вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках за дії малоциклового знакоповторного поперечного навантаження високих рівнів з розробкою вихідних даних до фізичної моделі методики розрахунку міцності їхніх нормальних і похилих перерізів.

П'ятий розділ присвячений розробці нових і вдосконалення існуючих методів розрахунку бетонних конструкцій зі сталеві і неметалевої композитної арматури. В даному розділі були виконані нелінійні скінчено-елементні розрахунки напруженого стану дослідних елементів, випробуваному ПК «Ліра-САПР», з використанням реальних діаграм деформування матеріалів та сучасних критеріїв їх міцності, які дали можливість чисельно відтворити результати експериментів, вказати найбільш вірогідну схему роботи і руйнування дослідних зразків – балок, зробити достовірний прогноз їхньої несучої здатності. В роботі виконано порівняння отриманих лабораторних даних з результатами розрахунків несучої здатності дослідних балок за наявними національними нормами проектування та авторськими даними, яке показало значну розбіжність між ними.

У **шостому розділі** дисертації дана оцінка екологічного впливу на навколишнє середовище і екологічні показники споруди життєвого циклу бетонних оправ транспортних тунелів зі сталеві і неметалевою композитною арматурою. Вуглецевий слід можна виразити як еквівалент вуглекислого газу, а його оцінка для конкретної будівельної споруди повинна урахувувати всі викиди, що відбуваються не лише протягом терміну експлуатації. Запропонована методологія визначення вуглецевого сліду при улаштуванні підземного транспортного тунелю з бетону, сталеві і неметалевої композитної арматури.

Ключові слова: базальтобетонні балки, пошкоджена залізобетонна балка, наскрізні силові нормальні та перехресні похилі тріщини, попередньо напружена металева обойма, малоциклове знакозмінне і короткочасне ступенево зростаюче навантаження, несуча здатність, тріщиностійкість, деформативність, напружено-деформований і граничний стани, активний і пасивний тиск, ґрунт, підпірна стінка, вуглецевий слід, ростверк, паля, руйнування, розрахунок.

ABSTRACT

Karpiuk I.A. Energy efficient, environmental and economic structures that interact with foundation soils. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.23.01 - building structures, buildings and structures (19 - architecture and construction) – Odesa state academy of civil engineering and architecture, Odesa, 2024.

The ***Introduction*** substantiates the relevance of the problem to be solved, formulates the goal, research tasks, scientific novelty and practical significance of the obtained results, provides the information on the personal contribution and testing of the dissertation materials, and presents its overall structure and volume.

In the ***First Chapter*** of the Dissertation, the characteristics, main properties and experience of using non-metallic composite reinforcement (NCR) for reinforcing concrete structures are presented. A detailed analysis of existing studies on span concrete structures with NCR is also provided. Particular attention is paid to the examination of existing regulatory and authorial methods for calculating the bearing capacity, crack resistance, and deformability of span concrete structures reinforced with composite reinforcement (CR). The fundamentals of engineering structures and their calculation models are presented. The basis of modern soil mechanics is noted to be a continuous medium model, which allows for the wide application of the existing theories of elasticity, plasticity, hydromechanics, etc. The calculation of the interaction between the massive underground structures and the soil medium from the perspective of the technical theory of the ultimate stress state of the soil medium is presented. This approach highlights the peculiarities of determining the active and passive pressure on steep retaining structures according to the technical theory under the continuous stress state of the backfill soil. The unresolved aspects of this problem formed the basis for the formulation of the author's dissertation research goals and objectives.

In the ***Second Chapter***, a methodology for determining the extreme internal force factors in monolithic reinforced concrete vaulted tunnel frames by means of a numerical planned experiment using the modern software package "PLAXIS-8" is presented. The interaction between the foundation soils of pile foundations and thin-walled circular cylindrical tunnel lining The considering the real layers of foundation soils in the southern region of Ukraine.

The ***Third Chapter*** of the Dissertation there is the developed engineering (statistical) method for calculating the active pressure and passive resistance of the backfill soil of massive retaining structures, which combines the existing analytical methods for calculating retaining walls with a steep back face under the condition of continuous and discontinuous stress states of the backfill soil, as well as the structures with a sloping back face, considering seismic actions. The basic integration principles of the deep combined piled-raft ditch sheeting into the structural diagram of a building are presented. The effect of CFRP reinforcement and BFRP wraps the piles on their bearing

capacity is determined.

The *Fourth Chapter* implements a comprehensive approach to the experimental and theoretical study of the stress-strain state of beam structures reinforced with steel and BFRP. This approach made it possible to make a reliable quantitative and qualitative assessment of the influence of structural factors and external factors on their bearing capacity, deformability, crack resistance, and other performance parameters. The analysis of the experimental data revealed that the replacement of steel reinforcement with BFRP, keeping all other structural factors identical, leads to 47% reduction in the bearing capacity of the inclined sections of the test beam specimens under the static loading. The experimental and theoretical study of the bearing capacity of BFRP concrete beams damaged in previous tests and brought to destruction, strengthened by CFRP web in the bottom tensile area and CFRP jackets in the bearing areas under the action of low-cycle, high-level, alternating transverse loading with the development of initial data for the physical model of the calculation method for the strength of their normal and inclined cross-sections is presented.

The *Fifth Chapter* is devoted to the development of new methods and the improvement of existing methods for the calculation of concrete structures with steel and non-metallic composite reinforcement. This Chapter includes nonlinear finite-element calculations of the stress state of the prototype elements tested by the Lira-SAPR software using real material deformation diagrams and modern strength criteria. This made it possible to reproduce numerically the results of the experiments, to indicate the most likely scheme of operation and destruction of the prototypes – beams, and to make a reliable prediction of their bearing capacity. The research compares the obtained laboratory data with the results of calculations of the bearing capacity of the experimental beams according to the existing national design standards and the author's data.

The *Sixth Chapter* of the Dissertation evaluates the environmental impact and ecological indexes of the life cycle of concrete lining of transport tunnels with steel and non-metallic composite reinforcement. The carbon footprint can be expressed as the equivalent of carbon dioxide, and its assessment for a particular building structure should consider all emissions that occur not only during its service life. The methodology for determining the carbon footprint of an underground transport tunnel made of concrete, steel and non-metallic composite reinforcement is proposed.

Keywords: basalt concrete beams, damaged reinforced concrete beam, through force normal and cross inclined cracks, prestressed metal cage, low-cycle alternating and short-term stepwise increasing load, bearing capacity, crack resistance, deformability, stress-strain and limit states, active and passive pressure, liner, retaining wall, carbon footprint, grillage, pile, fracture, calculation.