

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

ЦЕЛІКОВА АЛІНА СЕРГІЇВНА



УДК 624.011.9:624.072.2

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БЕТОННИХ БАЛКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ,
АРМОВАНИХ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ОДЕСА – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Карпюк Василь Михайлович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, с.н.с.
Мар'єнков Миколай Григорович,
Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», завідувач відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель та споруд, м. Київ;

кандидат технічних наук, доцент
Безушко Денис Іванович,
Одеський національний морський університет, завідувач кафедри «Інженерні конструкції і водні дослідження», м. Одеса.

Захист відбудеться «09» лютого 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд. а360.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, та на сайті академії <http://odaba.edu.ua>.

Автореферат розісланий «29» грудня 2020 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01, д.т.н., доцент



С.О. Кровяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Завдяки високій міцності, стійкості до хімічної та фізичної корозії, діелектричним та дімагнетичним властивостям, малій вазі та низькій теплопровідності неметалева композитна арматура (НКА) все частіше заміняє сталеву. Проте, більш широке застосування НКА для армування бетонних конструкцій стримується недостатнім вивченням особливостей їх сумісної роботи, обмеженим нормативним забезпеченням та малим досвідом експлуатації відповідних об'єктів.

Практика показала перспективність та економічну доцільність використання НКА в дорожньому, гідротехнічному, транспортному будівництві, при зведенні прогонових будов мостів, очисних споруд, об'єктів хімічної та харчової промисловості, а також будівель спеціального призначення і улаштуванні фундаментів в агресивному ґрунтовому середовищі. При цьому, перспективність використання базальтопластикової арматури обумовлена невисокою вартістю основної сировини – базальтових волокон внаслідок наявності у світі значних запасів базальту, а також унікальними їх фізико-хімічними властивостями.

В Україні розвідані значні поклади легкодоступного базальту і ряд заводів Харківської та Хмельницької областей України вже випускають високоякісну базальтопластикову арматуру (BFRP). Характерно, що виробництво такої арматури, порівняно зі сталеву, є менш шкідливим для навколишнього середовища і більш дешевим.

Виходячи з наведеного, проведення експериментально-теоретичних досліджень несучої здатності конструкцій, армованих базальтопластиковою арматурою, з метою накопичення банку даних, вдосконалення існуючих та розробки нових нормативних документів є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем «Розрахункові моделі силового опору складнонапружених прогінних залізобетонних конструкцій з урахуванням дії малоциклового навантаження високих рівнів» (номер державної реєстрації – 0116U002340) та «Розробка розрахункових моделей прогінних залізобетонних конструкцій при складному напружено – деформованому стані приопорних ділянок» (номер державної реєстрації – 0108U000559). Вона відповідає глобальним цілям сталого розвитку України, європейської та світової спільноти до 2030 року.

Мета роботи – визначення впливу статичного навантаження на несучу здатність, тріщиностійкість та деформативність конструкцій, армованих BFRP, з урахуванням зміни конструктивних чинників, вдосконалення деформаційного методу їх розрахунку, що базується на фізичній нелінійності деформування бетону і арматури та розвиток інженерної методики розрахунку їхньої несучої здатності.

Завдання дослідження:

– виконати комп'ютерне моделювання складного напружено – деформованого стану базальтобетонних балок шляхом нелінійних скінчено – елементних розрахунків у сучасному програмному комплексі з урахуванням їхніх

конструктивних особливостей з метою прогностичних оцінок несучої здатності, виявлення особливостей їх деформування та руйнування;

- виготовити та випробувати балки, армовані BFRP, на дію ступенево зростаючого статичного навантаження за стандартною чотирьохточковою схемою;
- дослідити напружено-деформований стан, несучу здатність, ширину розкриття нормальних і похилих тріщин, прогинів та характер руйнування балкових базальтобетонних елементів у процесі їх навантаження з використанням теорії планування експерименту;
- вивчити вплив основних конструктивних чинників на несучу здатність приопорних ділянок дослідних елементів, їхню тріщиностійкість та деформативність за допомогою експериментально-статистичних залежностей, отриманих у процесі обробки одержаних даних;
- експериментально перевірити можливість використання найбільш поширених нормативних і авторських методик для визначення несучої здатності похилих перерізів згинальних базальтобетонних конструкцій за дії статичного навантаження;
- розробити інженерну методику розрахунку несучої здатності їхніх приопорних ділянок.

Об'єкт досліджень – сумісна робота бетону і BFRP у балках, що зазнають впливу короткочасного статичного навантаження.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан, несуча здатність, тріщиностійкість та деформативність базальтобетонних балкових конструкцій за дії статичного навантаження.

Методи дослідження: ознайомлення з досвідом використання BFRP в Україні та розвинених країнах світу, вивчення та аналіз літературних джерел, розробка методики виконання натурних та числових експериментів із застосуванням теорії планування, загальних методів механіки залізобетону, обробка та аналіз отриманих результатів, математичне і комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану дослідних елементів та порівняння результатів розрахунків з експериментальними даними, формулювання основних висновків, абстрагування, аналіз, синтез, індукція, дедукція.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

вперше:

- встановлений комплексний вплив на деформативність, тріщиностійкість та несучу здатність похилих і нормальних перерізів базальтобетонних балок, прольоту зрізу, класу бетону та кількості поперечної арматури як зокрема, так і при їхній взаємодії; побудовані адекватні експериментально-статистичні залежності основних параметрів їхньої працездатності з достатньою інформаційною корисністю;
- розкриті особливості деформування, тріщиноутворення та руйнування приопорних ділянок базальтобетонних балок з малим, середнім та великим прольотами зрізу з урахуванням їх складного напружено-деформованого стану. Встановлено, що заміна сталеві арматури на більш податливу BFRP при всіх інших однакових конструктивних чинниках і характері навантаження призводить до зменшення несучої здатності похилих перерізів дослідних елементів, в середньому, на 47%, збільшення прогинів на 50 % і зменшення тріщиностійкості на 23%;

вдосконалена:

– фізична модель роботи похилих перерізів прогінних бетонних конструкцій з BFRP, яка суттєво відрізняється від фізичних і розрахункових моделей існуючих нормативних документів і авторських методик, що базуються на фермовій аналогії та аналогії полів стиску;

отримала подальший розвиток:

– розрахункова модель несучої здатності приопорних ділянок балкових базальтобетонних конструкцій, яка ураховує їхній реальний напружено-деформований стан при високих рівнях статичного навантаження та передбачає найбільш вірогідні схеми руйнування цих ділянок:

- за похилою небезпечною тріщиною від переважної дії поперечної сили в балках з великими ($a/h_0 = 3$) і середніми ($a/h_0 = 2$) прольотами зрізу;
- за похилою стислою смугою між опорою і зосередженою силою в балках з малими ($a/h_0 = 1$) прольотами зрізу.

Практичне значення отриманих результатів роботи:

- поповнений банк дослідних та теоретичних даних, корисних для вдосконалення існуючих методів розрахунку несучої здатності як залізобетонних, так і базальтобетонних елементів за дії статичного навантаження;

- запропонована інженерна методика розрахунку несучої здатності приопорних ділянок прогінних базальтобетонних конструкцій;

- перевірена можливість та експериментально встановлені межі застосування відомих нормативних методів розрахунку міцності приопорних ділянок прогінних базальтобетонних конструкцій за дії вказаного навантаження;

- розроблені нелінійні деформаційні скінчено-елементні розрахункові моделі дозволяють за допомогою сучасного програмного комплексу «Ліра-САПР» анімувати процеси на всіх стадіях роботи прогінних базальтобетонних конструкцій з урахуванням їх складного напружено-деформованого стану, реальних фізико-механічних і реологічних властивостей використаних матеріалів;

- дана робота сприятиме більш широкому впровадженню BFRP у будівництві;

- результати досліджень за дисертаційною роботою впроваджені у навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове та цивільне будівництво», а також у проектній практиці провідних будівельних організацій м. Одеси, зокрема ТОВ «Стікон».

Особистий внесок здобувача полягає у:

- плануванні та проведенні комплексних експериментальних досліджень роботи базальтобетонних елементів 6-ої серії за дії статичного навантаження;

- аналізі отриманих результатів експериментів з визначення несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності дослідних зразків – базальтобетонних балок за дії статичного навантаження;

- в пошуку та аналізі існуючих нормативних і авторських методик розрахунку дослідних елементів;

- внесенні пропозицій щодо розрахунку несучої здатності базальтобетонних згинальних елементів на основі проведених досліджень.

Всі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на таких конференціях: 73-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА, 16-17 травня 2017 р.), Міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (Одеса, ОДАБА, 11-13 квітня 2018 р.), 9-ій науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (Рівне, НУВГП 16-19 жовтня 2018 р.), Міжнародній науковій конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (Одеса, ОДАБА, 23-24 квітня 2019 р.), 75-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА, 16-17 травня 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Одеса, ОДАБА, 30 травня 2019 р.), VII Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, ОДАБА 12-15 травня 2020 р.), 76-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА 21-22 травня 2020 р.).

Публікації. Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковані у 14 наукових працях, в тому числі у 3 наукових публікаціях у спеціалізованих фахових виданнях України, 2 – у періодичних закордонних виданнях, 1 – у виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз (індексується Scopus).

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота викладена на 218 сторінках, які включають 119 сторінок основного тексту, 18 таблиць та 44 рисунки, 5 додатків на 28 сторінках та список використаних літературних джерел з 217 найменувань, викладений на 23 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* роботи наведене обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовані мета та задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, представлена її загальна характеристика та зв'язок з науковими програмами.

У *першому розділі* дисертації наводиться детальний аналіз існуючих досліджень несучої здатності прогінних бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою (НКА). Особливу увагу приділено розгляду існуючих нормативних та авторських методів розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності балкових бетонних конструкцій, армованих композитною арматурою (КА). Розглядається вітчизняний та зарубіжний досвід проектування та застосування

бетонних конструкцій, армованих КА, в агресивних середовищах експлуатації. Визначені переваги та недоліки КА.

Наводиться критичний аналіз нормативних документів різних країн світу щодо розрахунку бетонних конструкцій, армованих КА. Розгляд цих норм та розрахунки дозволили зробити висновок, про те, що всі вони базуються на двох підходах: північноамериканському та європейському. В усіх нормах використовуються такі ж методики розрахунку, як і для залізобетонних елементів з урахуванням особливостей застосування КА.

Роботу бетонних конструкцій з КА вивчали: Альперин В.П., Асланова Л.Г., Барашиков А.Я., Безушко Д.І., Бліхарський З.Я., Бондарев А.Б., Вільдавський Ю.М., Волга В.С., Гримак О.Я., Кваша В.Г., Кербер М. Л., Климов Ю.А., Коваль П.М., Куліш В.І., Кузенів Д.В., Кустикова Ю.О., Лешкевич О.Н., Литвинов Р.Г., Михайлов К.В., Меттьюз Ф., Моргун В.Н., Піскунов В.Г., Рахманов А.Д., Савін В.Ф., Солдатченко О.С., Таран В. В., Устінов Б.В., Aly A., Brik V.B., Boyd C. B., Carter J., Clarke J.L., Dolan C.W., Elgabbas F., Hofmann S., Nanni A., Fico R., Urbanski M., Wolf B. та ін.

Вивченню можливості застосування КА у стислій зоні армованих бетонних конструкцій присвячені роботи: Альперіної О. Н., Геніної Е.Е., Долголаптева В.М., Климова Ю.А., Ковалю П.М., Мурина А. Я., Солдатченкова О. С., Фролова Н.П., Altalmas A., Attia K., Atutis M., Cosenza E. , Elavenil S., Elgabbas F., Kampmann R., Kowalik T., Machanzi T., та ін.

Також розглядається використання бетонних конструкцій з КА в агресивних середовищах, наводиться аналіз досліджень їхньої хімічної стійкості та фізико-механічних властивостей, що вказує на доцільність використання BFRP, зокрема в цивільному і дорожньому будівництві та для гідротехнічних споруд.

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

У *другому розділі* описаний план експериментальних досліджень, наведено обґрунтування та передумови вибору дослідних факторів, зроблений детальний опис методики проведення випробувань, конструкцій дослідних зразків-балок з КА тощо.

Означені дослідження входили до складу комплексних досліджень кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд вказаних держбюджетних тем, планом яких передбачено виконання семи серій дослідів. Комплексність цих і раніше проведених досліджень полягає в тому, що всі дослідні зразки-балки за серіями можна порівняти за конструкцією. А відрізняються вони видом армування та навантаження. Разом вони створюють складну мозаїку цілісної картини несучої здатності дослідних елементів.

Так, в першій серії дослідні зразки – залізобетонні балки випробовували всі виконавці теми (Албу К.І., Даниленко Д.С., Сьоміна Ю.А.) на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження для встановлення руйнівного зусилля. У другій серії аналогічні зразки випробовували на дію знакозмінного циклічного навантаження (Албу К.І.). У третій серії дослідів (Сьоміна Ю.А.) такі ж зразки випробовували на дію знакопостійного малоциклового навантаження високих рівнів. А у наступних двох серіях здійснювали випробування пошкоджених і доведених до граничного стану в другій і третій серіях залізобетонних балок, підсилених

металевими (Даниленко Д.С.) і вуглепластиковими (Антонова Д.В.) обоями. В шостій серії (Целікова А.С.) дослідні зразки, замість сталеві, були армовані BFRP та випробовували на дію статичного пропорційно зростаючого навантаження. А в сьомій серії (Худобич А.О.) дослідні зразки, армовані BFRP, випробовували на дію повторного малоциклового навантаження високих рівнів.

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.

Таблиця 1

Характеристика дослідних факторів та рівнів їх варіювання

№ п/п, код	Натуральні значення	Рівні варіації		
		«-»	«0»	«+»
X ₁	Відносний проліт зрізу, a/h_0	1	2	3
X ₂	Клас бетону, С, МПа	C16/20(B20)	C30/35(B35)	C40/50(B50)
X ₃	Коефіцієнт поперечного армування, ρ_{fw}	0,0014 (2ø4 АКБ800)	0,0032 (2ø6 АКБ800)	0,0057 (2ø8 АКБ800)

Дослідні зразки – це вільно обпери однопрогінні балки прямокутного перерізу з номінальними розмірами 1975×200×100мм і розрахунковою довжиною прольоту $L = 9 \cdot h_0 = 1575\text{мм}$, де h_0 – робоча висота перерізу, що дорівнює 175мм. Балки були армовані двома плоскими каркасами з поздовжньою верхньою і нижньою (по 2ø14 АКБ800) арматурою. Поперечна арматура на приопорних ділянках складається з 2ø4, 6, 8 АКБ800 з кроком 87,5мм. Відносна довжина прольоту зрізу (a / h_0) становить 1, 2, 3.

Конструкція і армування дослідних зразків-балок наведена на рис. 1.

Для випробування дослідних зразків-балок була запроектована та виготовлена спеціальна універсальна силова установка (рис. 2).

Плоский поперечний згин дослідної балки в силовій 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 кожний 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 0,001мм, встановлених з базою 400мм на відповідних металевих рамках.

Вертикальні переміщення балки вимірювали посередині прольоту, під зосередженими силами і на опорах за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01мм, встановлених на виносних консолях. Посередині балки

прогини зразка вимірювали за допомогою прогиноміра Аїстова. Схема розташування вимірювальних приладів показана на рис. 3. Для визначення ширини розкриття похилих і нормальних тріщин використовували мікроскоп марки МПБ-2 з ціною поділки 0,05мм. Ширину розкриття нормальних тріщин заміряли на рівні розташування нижньої розтягнутої арматури, а похилих – в прольоті зрізу в місці, де вона візуально здавалася найбільшою.

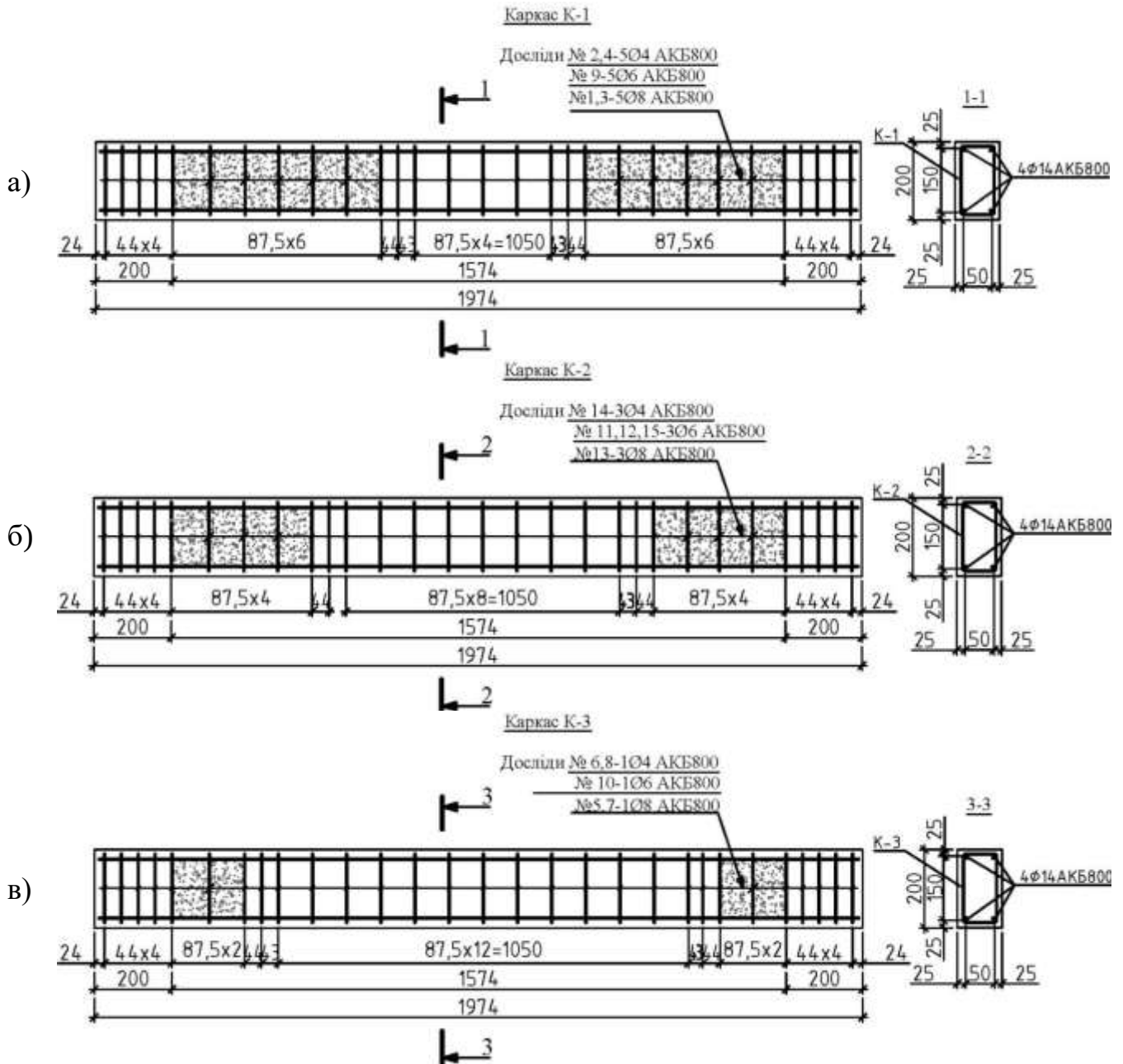


Рис.1 Конструкція та армування дослідних зразків – базальтобетонних балок з великим (а), середнім (б) та малим (в) прольотами зрізу

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.



Рис. 2 Схема випробувальної універсальної силової установки

Дослідні призми з розмірами 400x100x100мм і куби 100x100x100мм випробовували на пресі марки ЗІМ П-125 за стандартною методикою.

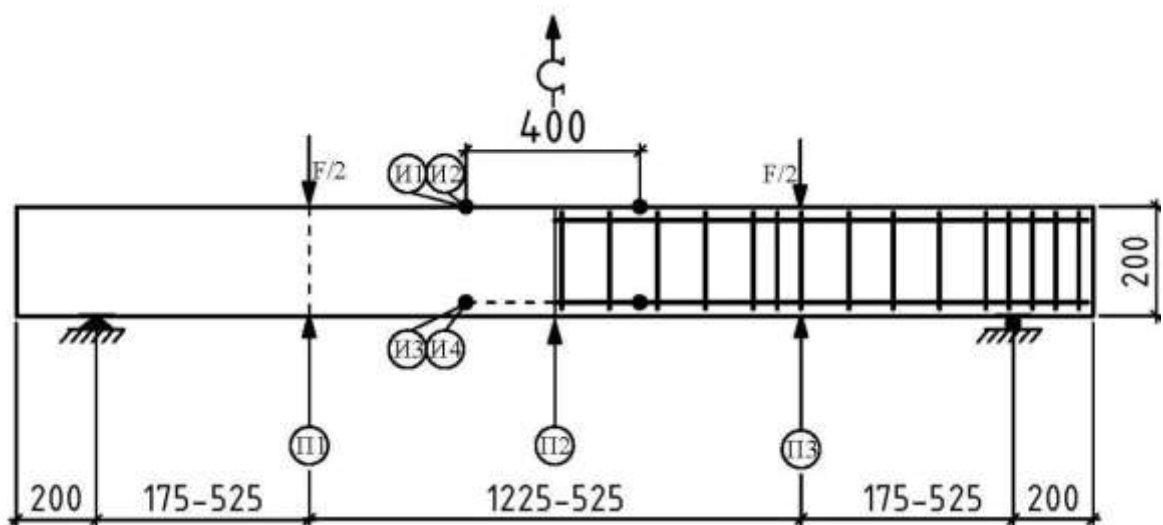


Рис. 3 Схема розташування вимірних приладів у дослідних зразках – балках

У *третьому розділі* дисертації наведені результати експериментальних досліджень несучої здатності дослідних зразків-балок, армованих сталевую (для порівняння) і базальтопластиковою арматурою, після обробки яких були отримані адекватні експериментально – статистичні залежності міцності, тріщиностійкості та деформативності дослідних елементів з високою інформаційною корисністю, які дозволили оцінити вплив на вихідні параметри кожного дослідного фактора як зокрема, так і у взаємодії один з одним:

$$\hat{Y}(V_{us}) = 98 - 41x_1 + 12x_2 + 6x_3 + 16x_1^2 - 7x_2^2 - 7x_1x_2, \text{ кН}, \bar{U} = 5,1\%; \quad (1)$$

$$\hat{Y}(V_{uf1}) = 51,8 - 30,1x_1 + 11,8x_2 + 5,5x_3 + 15,9x_1^2 - 5,5x_2^2 - 2,3x_3^2 - 10,6x_1x_2 - 4,8x_1x_3, \text{ кН}. \quad (2)$$

Коефіцієнт варіації $\bar{U} = 5,0\%$.

Для порівняння з результатами досліджень інших авторів вказані залежності можна привести до ефективної площі поперечного перерізу, а практичного використання у розрахункових моделях – замінити кодовані значення факторів на натуральні.

Серед конструктивних чинників найбільший вплив на несучу здатність приопорних ділянок дослідних елементів має величина відносного прольоту зрізу (рис. 4, а). В цілому, підтверджується виявлена О.С. Залесовим, Ю.А. Климовим, В.М. Карпюком та іншими дослідниками закономірність зменшення міцності похилих перерізів балок, армованих як сталевую, так і базальтопластиковою арматурою, зі збільшенням прольоту зрізу за нелінійним законом.

Наступним за величиною впливу є клас бетону (рис.4,б). При цьому, при його збільшенні від С16/20 до С40/50 несуча здатність похилих перерізів зростає.

Аналогічна картина спостерігається з підвищенням коефіцієнту поперечного армування як сталевую, так і базальтопластиковою арматурою (рис. 4,в).

Обробка даних максимальної ширини розкриття нормальних тріщин в зоні «чистого» згину дозволила отримати наступні експериментально – статистичні залежності:

$$\hat{Y}(W_{ks}^\perp) = 0,14 + 0,02x_1 + 0,03x_2 + 0,01x_3 + 0,01x_1^2 - 0,03x_2^2 + 0,01x_1x_3, \text{ мм}, \quad (3)$$

$$\bar{U} = 6,2\%;$$

$$\hat{Y}(W_{kf1}^\perp) = 0,35 + 0,06x_1 + 0,10x_2 + 0,05x_3 + 0,02x_1x_3, \text{ мм}, \quad (4)$$

$$\bar{U} = 11,5\%.$$

Максимальна ширина розкриття похилих тріщин може бути охарактеризована наступними залежностями:

$$\hat{Y}(W_{ks}') = 0,35 - 0,06x_1 - 0,03x_2 - 0,01x_3 - 0,01x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 10,4\%; \quad (5)$$

$$\hat{Y}(W_{kf1}') = 0,30 - 0,08x_1 + 0,15x_2 + 0,07x_3 + 0,03x_1^2 + 0,03x_2x_3, \text{ мм}, \quad (6)$$

$$\bar{U} = 13,7\%.$$

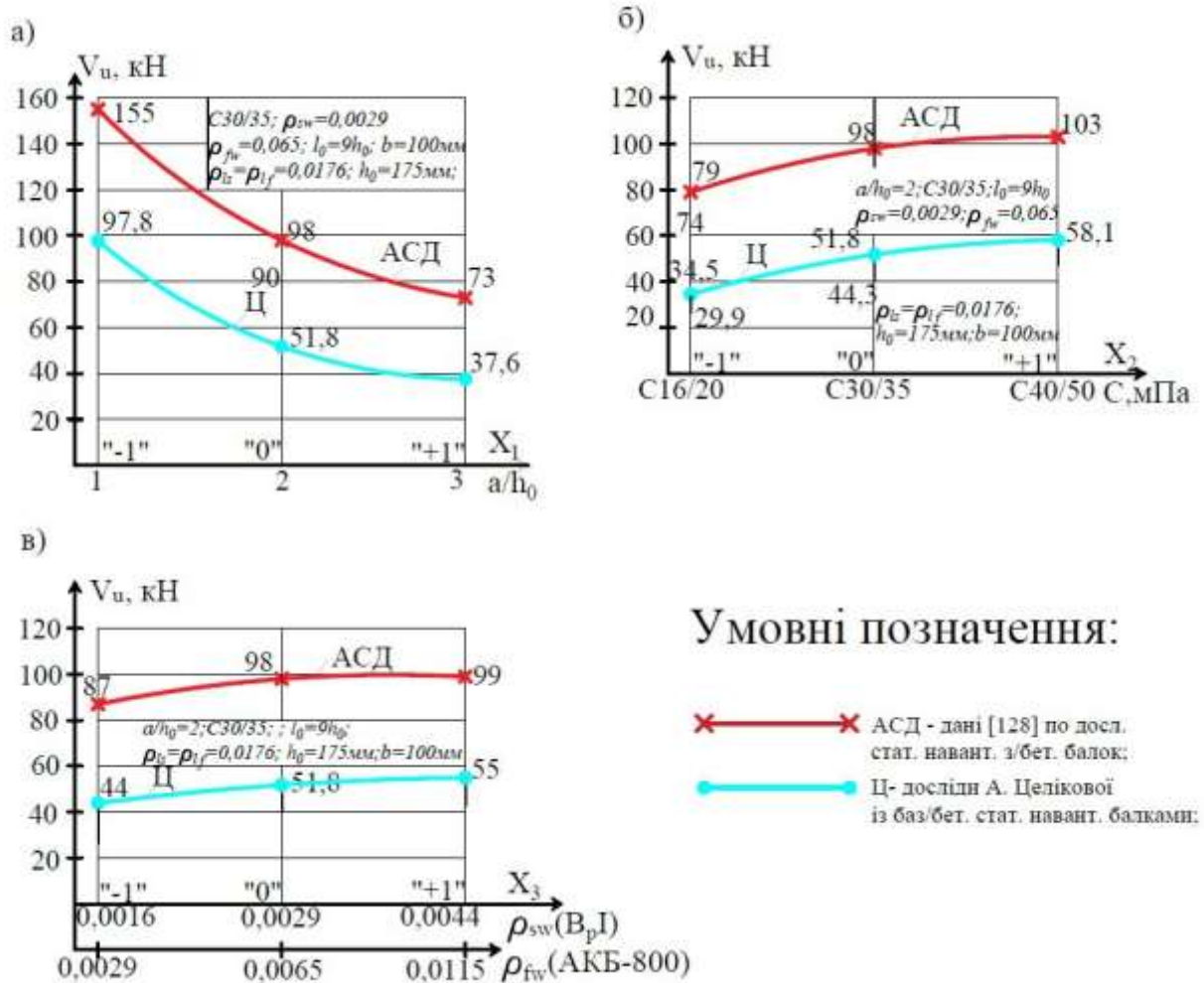


Рис. 4 Вплив відносного прольоту зрізу (а), класу бетону (б), кількості поперечної арматури (в) на несучу здатність приопорних ділянок дослідних елементів

Процес розвитку нормальних та похилих тріщин у залізобетонних балках відбувався прогнозовано: з ростом величини внутрішніх зусиль утворювалися нові тріщини, збільшувалася довжина і ширина розкриття існуючих тріщин, а подальший їх розвиток визначала інтенсивність поперечного армування в прольотах зрізу. При достатній його кількості руйнування дослідних зразків відбувалося за нормальними перерізами, а при недостатній – раніше утворені похилі тріщини зливалися в одну магістральну або декілька майже паралельних, утворюючи смугу, за якою, власне, і відбувалося руйнування або роздробленням стиснутої зони бетону. Основний вплив на характер руйнування базальтобетонних балок має кількість поздовжньої арматури BFRP. При $\rho_{lf} > \rho_{fb} = 0,005$ їх руйнування відбувалося по стиснутій зоні бетону над вершиною небезпечної похилої тріщини незалежно від кількості поперечної арматури. Середнє значення ширини розкриття похилих тріщин у залізобетонних балках становить 0,35 мм, а базальтобетонних – 0,30 мм при аналогічному навантаженні.

Експериментально – статистичні залежності проекції довжини небезпечних похилих тріщин на поздовжню вісь балки від дослідних конструктивних чинників мають вигляд:

$$\hat{Y}(l'_{crs}) = 210 + 53x_1 - 19x_3 - 4x_1x_2 - 23x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 8,5 \%; \quad (7)$$

$$(l'_{crf1}) = 176 + 25x_1 + 9x_2 - 16x_3 - 9x_1^2 + 8x_2^2 - 9x_3^2 - 9x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 5,4 \%. \quad (8)$$

Довжина проекції небезпечної похилої тріщини збільшується, насамперед, при збільшенні прольоту зрізу та класу бетону, а зменшується при з одночасному збільшенні прольоту зрізу і зменшенні кількості поперечного армування.

Експериментально – статистичні залежності, що характеризують відстані між нормальними (первинними і вторинними) тріщинами в зоні «чистого» згину, мають вигляд:

$$\hat{Y}(l_{crs}^{\perp\perp}) = 68 - 5x_1 + 2x_2 + 4x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 5,1 \%; \quad (9)$$

$$\hat{Y}(l_{crf1}^{\perp\perp}) = 76 - 3x_1 - 3x_1x_2 + 3x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 5,2 \%. \quad (10)$$

Вказані відстані зі збільшенням кількості поперечної арматури в обох серіях залишаються незмінними.

Стріла прогинів у дослідних залізобетонних і базальтобетонних елементах перед їх руйнуванням може бути охарактеризована залежностями:

$$\hat{Y}(f_{us}) = 6,00 + 1,50x_1 + 0,65x_2 + 0,70x_3 - 0,50x_1^2 + 0,20x_1x_3, \text{ мм}, \bar{U} = 5,8\%; \quad (11)$$

$$\hat{Y}(f_{uf1}) = 14,28 + 1,34x_1 + 1,46x_2 + 1,01x_3 - 1,03x_1^2, \text{ мм}, \bar{U} = 5,6\%. \quad (12)$$

Прогини бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, більше, ніж у два рази перевищують прогини аналогічних залізобетонних елементів з такими ж 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 ($0,95F_u$). Очевидно, для зменшення прогинів доцільно застосовувати попередньо напружену BFRP.

Виконані дослідження дозволили встановити 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 BFRP і сталевую арматурою.

Експериментально встановлено, що заміна сталеві арматури на більш податливу BFRP при всіх інших однакових конструктивних чинниках призводить до зменшення несучої здатності похилих перерізів дослідних зразків – балок при їх статичному навантаженні, в середньому, на 47%, а прогини збільшує в 2,4 рази перед їх руйнуванням.

У **четвертому розділі** дисертації виконане порівняння фактичної несучої здатності похилих перерізів базальтобетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, та розрахункових її значень, обчислених за рекомендаціями норм проектування 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, вказані 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. Залесова, О.Ф. Ільїна, Ю.А. Климова та ін., які краще відображають фізичну картину роботи дослідних елементів під навантаженням (рис.5, 6).

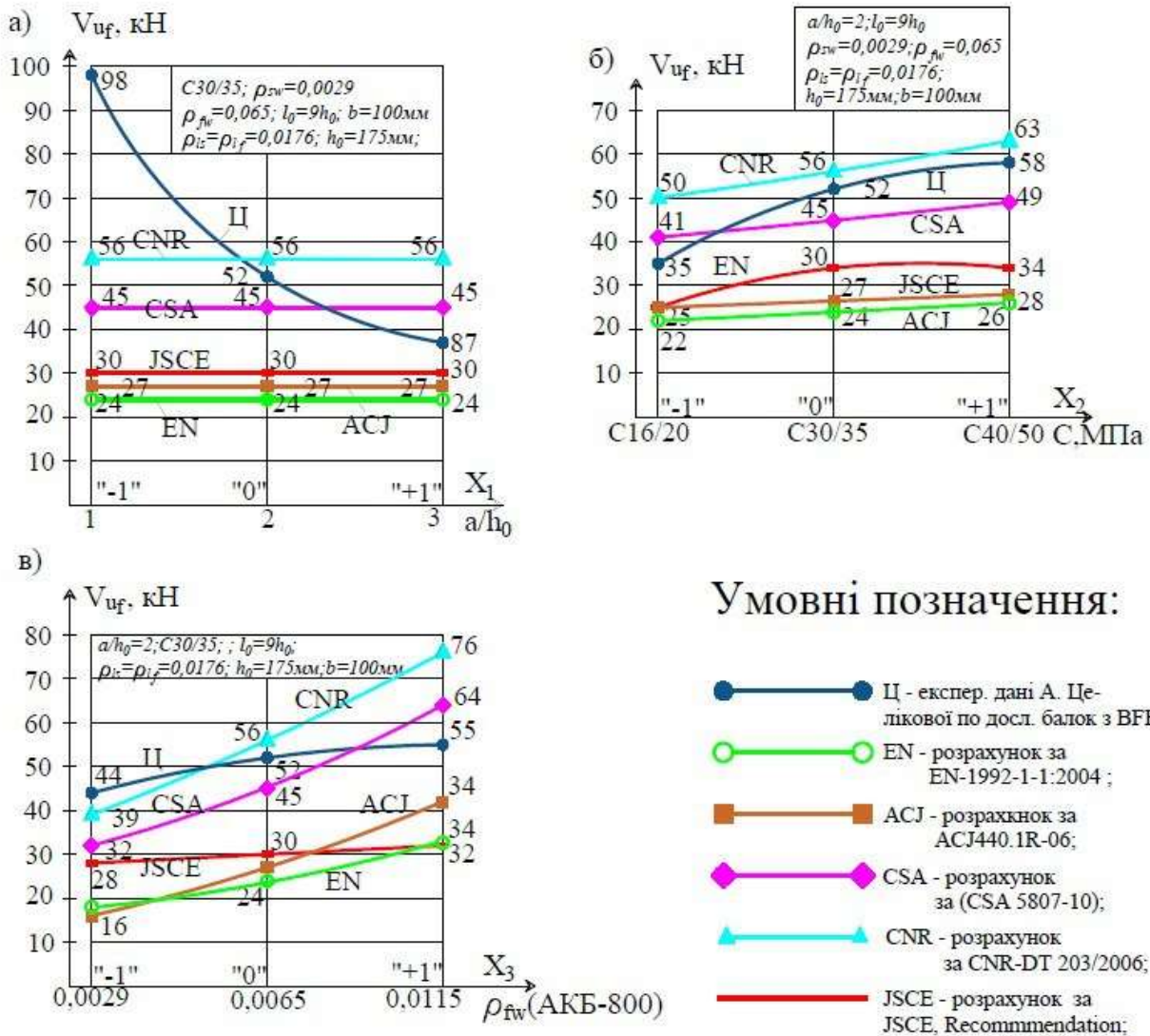


Рис.5 Вплив відносного прольоту зрізу (а), класу бетону (б), кількості поперечної арматури (в) на дослідну і розрахункові значення несучої здатності похилих перерізів бетонних балок з BFRP, визначені за існуючими будівельними нормами іноземних держав

Порівняльний аналіз фактичної несучої здатності похилих перерізів залізобетонних експериментальних балок (першої серія) з аналогічними конструктивними чинниками та використанням сталеві поздовжньої і поперечної арматури замість базальтопластикової і розрахованих її значень за методикою О.С. Залесова і його учнів у редакції СНиП 2.03.01-84* та діючим в Україні Eurocode – 2 у вигляді ДСТУ Б.В.2.6 – 156: 2010 показав, що раніше діючий вітчизняний СНиП

забезпечує значно кращу їх збіжність (коефіцієнт варіації $\bar{U} = 17,5\%$) порівняно з Eurocode – 2 ($\bar{U} = 64,4\%$) тому, що він краще від європейських та інших, як показали проведені дослідження, зарубіжних норм відображає фізичну картину роботи дослідних балок під навантаження (рис.6).

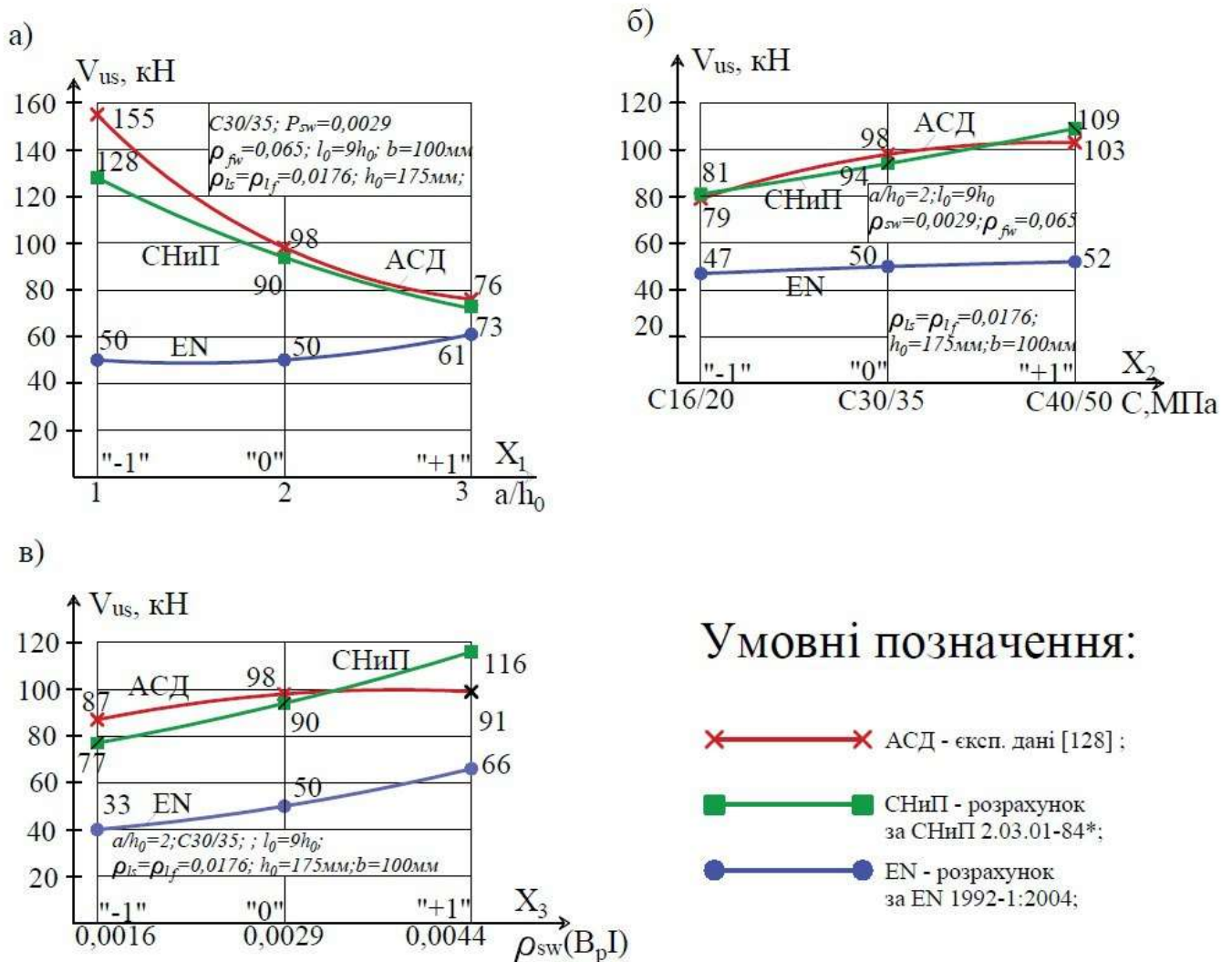
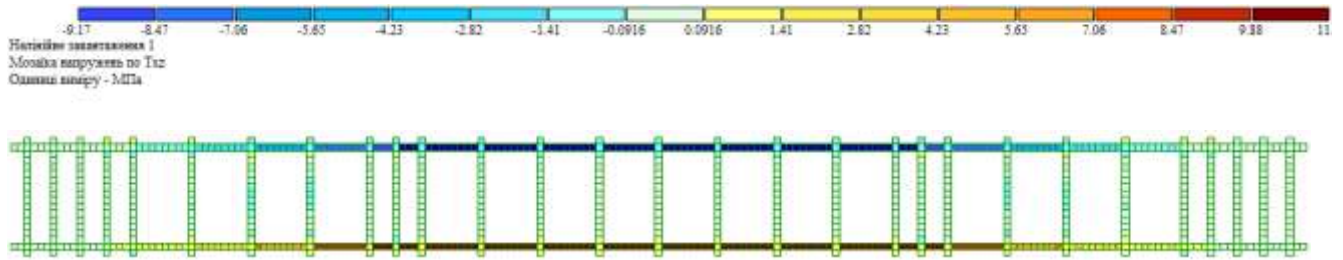


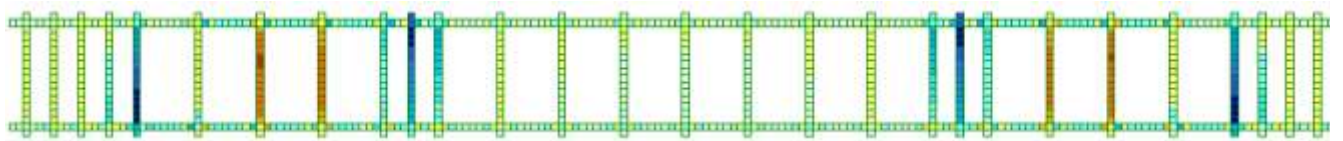
Рис.6 Вплив конструктивних чинників на дослідну і розрахункову несучу здатність похилих перерізів залізобетонних балок [128], визначену за розрахунковими схемами О. С. Залесова, О. Ф. Ільїна, Ю. А. Клімова (нормами проектування СНиП 2.03.01 – 84*[191]) та EN 1992 – 1:2004 [22]

Моделювання складного напружено-деформованого стану дослідних конструкцій шляхом нелінійних скінчено-елементних розрахунків за допомогою сучасного програмного комплексу «Ліра-САПР» дало можливість зробити прогнозні оцінки їхньої несучої здатності, величини напружень, зокрема в поперечних стержнях, передбачити найбільш вірогідну схему їх роботи під навантаженням, деформування і руйнування. Балку умовно розбивали на об'ємні восьмишестигранні ізопараметричні скінчені елементи №236 з розмірами $1 \times 1 \times 1$ см для зручності моделювання арматури, а також у зв'язку з тим, що в якості крупного заповнювача використовували гранітний щебінь фракції 5...10 мм. У розрахунках застосовували

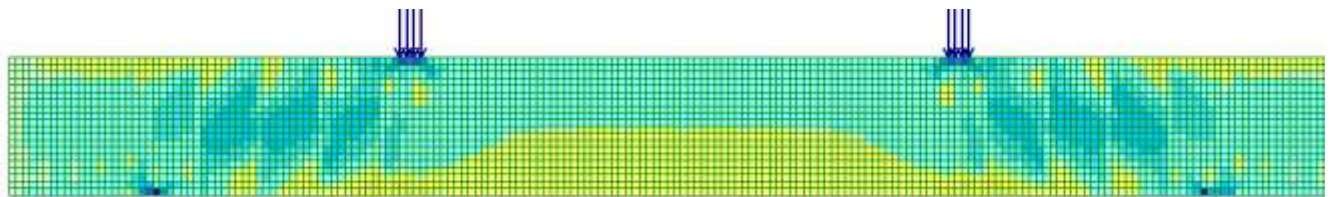
кроковий і кроково-ітераційний методи з використанням кусочно-лінійної залежності №14 бібліотеки з відповідним алгоритмом (рис.7).



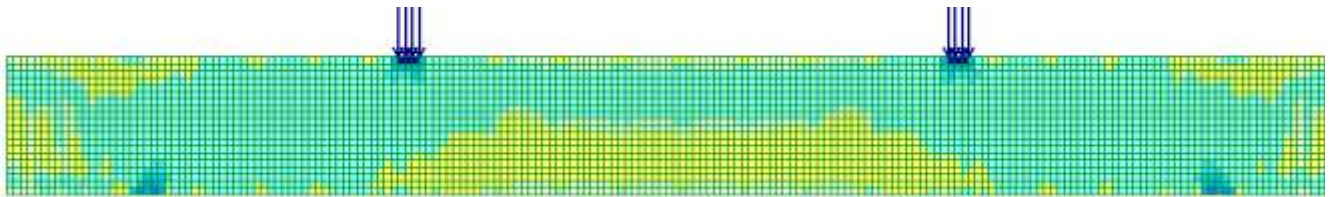
Ізополя горизонтальних напружень σ_{fx} в поздовжній BFRP по довженні балки



Ізополя вертикальних напружень σ_{fwz} в поперечній BFRP по довженні балки



Ізополя вертикальних напружень σ_{cz} в бетоні по довженні балки



Ізополя горизонтальних напружень σ_{cx} в бетоні по довженні балки



Ізополя дотичних напружень τ_{xz} на бічній грані балки

Рис.7 . Напружено – деформований стан бетону та базальтопластикової арматури в балці з середнім прольотом зрізу ($a/h_0 = 2$) перед її руйнуванням ($\eta \approx 0,95F_u$, дослід №15)

Суть вдосконаленої розрахункової моделі несучої здатності похилих перерізів балкових конструкцій, армованих BFRP, полягає у необхідності урахування їхніх 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 стернях до $(0,10 - 0,15)f_{fk}$ (рис. 8).

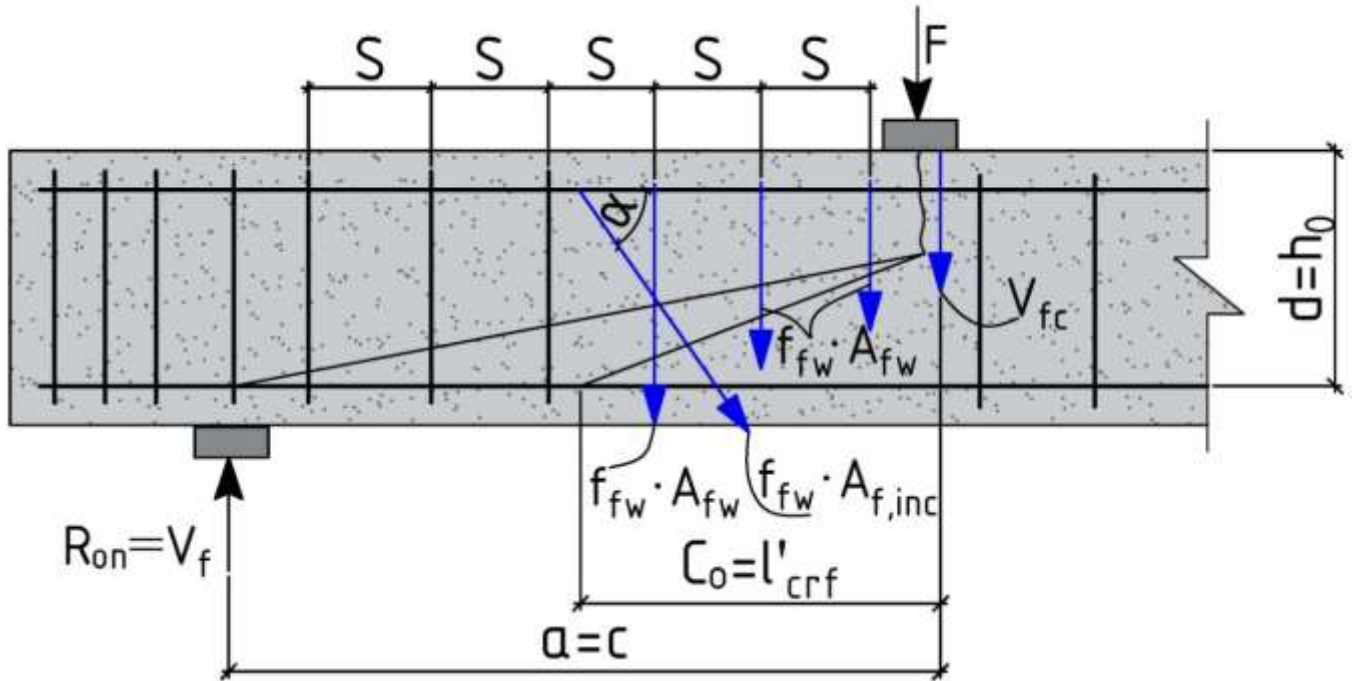


Рис.8 Розрахункова схема припорної ділянки базальтобетонної балки при визначенні його несучої здатності за дії поперечної сили

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:

$$V_{fc} = \frac{\varphi_{c2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{a}, \quad (13)$$

Експериментально-статистична залежність змінного коефіцієнта φ_{c2} має вигляд:

$$\hat{Y}(\varphi_{c2}) = 1,38 - 0,25X_1 - 0,12X_2 - 0,22X_1X_3, \quad U = 5,2\%, \quad (14)$$

яка після заміни кодованих змінних на натуральні значення конструктивних чинників перетворюється до виду:

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

Довжину C_0 проекції небезпечної похилої тріщини на поздовжню вісь елемента СНиП [191] рекомендує визначати із мінімума 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 [191] для залізобетонних конструкцій слід було прийняти не більшим від величини $2h_0$ і не більшим від величини C , а також не меншим від величини h_0 , якщо $C > h_0$.

Проте, багаточисельні натурні експерименти; в тому числі [128], виявили значну розбіжність дослідних і розрахованих за СНиП [191] величин C_0 , що ставить від сумнів доцільність такого підходу, в т.ч., прийняття $Q_{sw} = Q_b$.

Виходячи із наведеного вище і ураховуючи наявні дослідні дані, довжину проекції 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:

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

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

$$V_{fw} = q_{fw} \cdot l'_{crf1}, \quad (17)$$

де q_{fw} – інтенсивність поперечного армування, яка визначається з урахуванням реальних значень $f_{fw} = (0,10 - 0,15)f_{fk}$.

Несучу здатність приопорних ділянок з малими прольотами зрізу ($a \leq h_0$) необхідно визначати за похилою стислою смугою між зосередженою силою і опорою як для коротких консолей за розрахунковою схемою Т.І. Баранової у редакції СНиП 2.03.01-84*[191] із застосуванням змінного коефіцієнта k_f (рис.9).

Несуча здатність стислої похилої смуги вказаного елемента визначається за умовою:

$$V_f \approx F \leq k_f \cdot \varphi_{w2} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot l_c \cdot \sin \theta \leq 3,5 f_{ctd} \cdot b \cdot h_0, \\ k_f \cdot \varphi_{w2} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot l_c \cdot \sin \theta \geq \frac{\varphi_{c4}(1 + \varphi_n) f_{ctd} \cdot b \cdot d^2}{a}, \quad (18)$$

де θ – кут нахилу розрахункової стислової смуги до горизонталі;

l_c – ширина розрахункової стислової смуги.

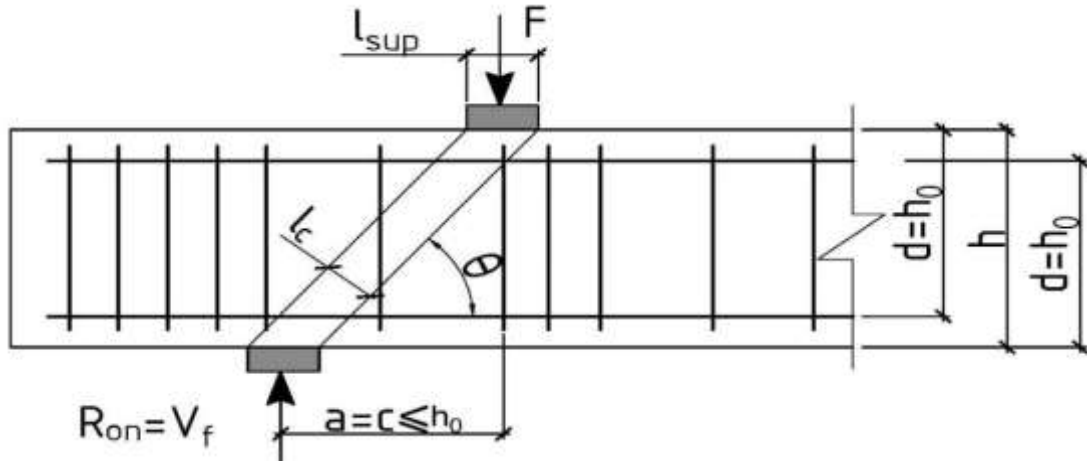


Рис.9 Розрахункова схема несучої здатності приопорної ділянки базальтобетонної балки з малим прольотом зрізу ($a < h_0$) за похилою стислою смугою між зосередженою силою і опорою.

Ширина розрахункової стислої смуги визначається за формулою:

$$l_c = l_{sup} \cdot \sin \theta, \quad (19)$$

де l_{sup} – довжина площадки передачі навантаження вздовж прольота балки;

φ_{w2} – коефіцієнт, який урахує вплив поперечних стержнів або хомутив, якщо такі є, по висоті балки та визначається за формулою:

$$\varphi_{w2} = 1 + 5\alpha \cdot \mu_{w1}, \quad (20)$$

де $\alpha = E_f/E_c$; $\mu_{w1} = \frac{A_{fw}}{b \cdot S_w}$;

A_{fw} – площа перерізу хомутив в одній горизонтальній площині (якщо вони є);

S_w – відстань між вказаними хомутами (якщо вони є) по нормалі до них. При цьому, ураховуються хомути горизонтальні та нахилені під кутом не більше 45° до горизонталі з дотриманням загальновідомих вимог.

Для представлених конструкцій базальтобетонних балок коефіцієнтів $\varphi_{w2} = 1 + 0 = 1$.

Коефіцієнт k_f у методиці Т.І. Баранової [191] 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 у дослідях № 5,6,7,8,10 за формулою:

$$k_f = V_{uf} / (\varphi_{w2} \cdot f_{ck} \cdot b \cdot l_c \cdot \sin \theta) \quad (21)$$

з дотриманням умов (18).

Обробка отриманих значень коефіцієнта k_f дозволила одержати адекватну експериментально – статистичну залежність для вказаних елементів:

$$\hat{Y}(k_f) = 1,67 - 0,25X_2 - 0,21X_3 - 0,08X_2X_3, U = 2,5\%, \quad (22)$$

заміна кодованих змінних, в якій на натуральні значення конструктивних чинників у рамках проведеного натурного 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 ($\rho_{fw} = 0,0018 - 0,0126$):

$$k_f = 1,67 - 0,25 \left(\frac{C - 35 \text{ МПа}}{15 \text{ МПа}} \right) - 0,21 \left(\frac{\rho_{fw} - 0,0072}{0,0043} \right) - 0,08 \left(\frac{C - 35 \text{ МПа}}{15 \text{ МПа}} \right) \left(\frac{\rho_{fw} - 0,0072}{0,0043} \right). \quad (23)$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Розкриті особливості напружено – деформованого стану дослідних базальтобетонних зразків – балок. Встановлена якісна і кількісна картина 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 представленої конструкції становить 0,40 мм, а базальтобетонних – 0,45 мм при експлуатаційному рівні навантаження. Прогини бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, більше, ніж у два рази перевищують прогини аналогічних залізобетонних елементів з такими ж 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 ($0,95F_u$), що свідчить про доцільність виготовляти їх з попередньо напруженою BFRP.

2. 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 коефіцієнта поперечного армування ρ_{fw} .

3. Використання найбільш поширених нормативних і авторських методик для визначення несучої здатності похилих перерізів балкових базальтобетонних конструкцій за дії статичного навантаження є недоцільним, оскільки порівняння розрахункових і дослідних значень несучої здатності приопорних ділянок дослідних елементів, обчислених за рекомендаціями існуючих норм проектування, показало незадовільну їх збіжність. В основному, вказані 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, які краще відображають фізичну картину роботи дослідних елементів під навантаженням.

4. Несучу здатність похилих перерізів базальтобетонних балок з великими ($a/h_0 = 3$) і середніми ($a/h_0 = 2$) прольотами зрізу слід визначати за похилою тріщиною із застосуванням змінних коефіцієнтів φ_{c2} , φ_{c3} , φ_{c4} , урахуванням реальної довжини небезпечної похилої тріщини l'_{crf1} і суттєвого зменшення розтягуючих напружень до $(0,10 - 0,15)f_{fk}$ у поперечній арматурі. Несучу здатність приопорних ділянок з малими прольотами зрізу ($a \leq h_0$) доцільно визначати як для коротких консолей за похилою стислою смугою між зосередженою силою і опорою з використанням змінного коефіцієнта k_f . Такий підхід забезпечує задовільну збіжність ($U = 7,9\%$) розрахункових і експериментальних значень несучої здатності похилих перерізів базальтобетонних балок прямокутного перерізу.

5. Запропонований варіант моделювання складного напружено-деформованого стану дослідних елементів шляхом нелінійних скінчено-елементних розрахунків з використанням реальних діаграм стану матеріалів, сучасного феноменологічного критерію міцності дає можливість зробити достовірні прогностичні оцінки їхньої несучої здатності, очікуваних величин напружень у поздовжній та поперечній BFRP, передбачити найбільш вірогідні схеми їх деформування та руйнування в апробованому ПК «Ліра-САПР».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Дорофєєв В., Зінченко А., Целікова А. Вплив технологічної пошкодженості матеріалу на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів. Вісник Львівського національного аграрного університету, 2017, №18. С. 75-82.

(Внесок здобувача: аналіз впливу технологічної пошкодженості бетону на напружено-деформований стан залізобетонних елементів).

2. Карпюк В.М., Петров Н.Н., Целикова А.С. Совершенствование деформационной модели расчета изгибаемых внецентренно растянутых железобетонных балок. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. 2018, Випуск №36. С. 108-113.

(Внесок здобувача: адаптація деформаційно-силової моделі залізобетонної конструкції при дії статичного розтягуючого навантаження).

3. Karpiuk I., Karpiuk V., Klimenko E., Tselikova A., Khudobych A. 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. 2020, № 80. С. 43-49. *(індексується базою Index Copernicus).*

(Внесок здобувача: порівняльний аналіз дослідних і розрахункових значень несучої здатності залізобетонних та базальтобетонних балок за національними нормами проектування).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

4. Rusu I., Khudobych A., Tselikova A., Karpiuk V., Karpiuk I., Zavoloka M. Features of the stress-strain behaviour of the basalt fibre reinforced concrete beam structures. Journal of Engineering Science, Kishinev, Moldova, 2020, Vol. XXVII, no (3) p. 186-202.

(Внесок здобувача: аналіз результатів експериментальних досліджень особливостей напружено – деформованого стану базальтобетонних балкових конструкцій).

5. Karpiuk V., Karpiuk I., Tselikova A., Khudobych A. 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, Budapest, 2020, Vol. VI (29) p. 16-22. *(індексується базою Index Copernicus).*

(Внесок здобувача: апробація розрахункової моделі несучої здатності приопорних ділянок балкових базальтобетонних конструкцій).

Стаття у виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази

6. V. Karpiuk, A. Tselikova, A. Khudobych, I. Karpiuk, A. Kostyuk Study of strength, deformability property and crack resistance of beams with BFRP. Eastern-European journal of enterprise technologies. Харків, Vol. 4/7 (106) 2020. С. 42-53. *(індексується базами Scopus, EBSCO, DOAJ, Google Scholar, Index Copernicus).*

(Внесок здобувача: характеристика впливу дослідних факторів на несучу здатність балок, армованих базальтопластиковою арматурою, за дії статичного навантаження).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

7. Карпюк В.М., Петров Н.Н., Целикова А.С. Трещиностойкость изгибаемых внецентренно растянутых железобетонных балок. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій», Одеса, 2018. С. 55 – 57.

(Внесок здобувача: узгодження методики проведення експериментальних досліджень несучої здатності базальтобетонних балкових елементів).

8. Карпюк В.М., Целикова А.С., Худобич А.А. Современная арматура для обычного железобетона. Збірник тез міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій», Одеса, 2019. С. 50 – 52.

(Внесок здобувача: планування та підготовка експериментальних досліджень по використанню базальтопластикової арматури для прогінних бетонних конструкцій).

9. Карпюк В.М., Целикова А.С., Худобич А.О. Переваги конструкцій з неметалевою композитною арматурою. Тези доповідей 75-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії, Одеса, 2019. С. 87.

(Внесок здобувача: планування та підготовка експериментальних досліджень несучої здатності балкових конструкцій з базальтопластиковою арматурою).

10. Карпюк В.М., Худобич А.О., Целікова А.С. Розрахунок бетонних конструкцій, армованих неметалевою композитною арматурою (НКА), за національними нормами проектування. Тези доповідей 75-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії, Одеса, 2019. С. 75.

(Внесок здобувача: аналіз результатів експериментальних досліджень за обраною темою).

11. Худобич А.О., Целікова А.С., Карпюк В.М., Техніко-економічне обґрунтування застосування базальтопластикової арматури в гідротехнічному будівництві на прикладі конструкцій сухого доку. Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво», Одеса, 2019. С. 126 – 128.

(Внесок здобувача: аналіз результатів експериментальних досліджень за обраною темою).

12. Целікова А.С., Худобич А.О., Карпюк В.М. Применение неметаллической арматуры для дорожных покрытий. Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво», Одеса, 2019. С. 129 – 131.

(Внесок здобувача: аналіз наявних результатів експериментальних досліджень за обраною темою).

13. Целікова А.С., Худобич А.О., Карпюк В.М., Карпюк І.А. Особливості утворення нормальних та похилих тріщин у базальтобетонних балкових конструкціях. Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки», Одеса, 2020. С. 360 – 361.

(Внесок здобувача: апробація досліджень тріщиностійкості балкових базальтобетонних конструкцій).

14. Целікова А.С., Карпюк В.М., Карпюк І.А. Дослідження несучої здатності базальтобетонних балкових конструкцій. Тези доповідей 76-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії, Одеса, 2020. С. 88.

(Внесок здобувача: апробація досліджень несучої здатності приопорних ділянок балкових базальтобетонних конструкцій).

АНОТАЦІЯ

Целікова А.С. Несуча здатність бетонних балкових конструкцій, армованих базальтопластиковою арматурою. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – Архітектура та будівництво). – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

Дисертація присвячена вивченню напружено – деформованого стану базальтобетонних балок і комплексного впливу конструктивних чинників на їх несучу здатність, тріщиностійкість та деформативність за дії статичного навантаження.

Експериментально встановлені особливості деформування, тріщиноутворення та руйнування вказаних балок.

Вдосконалена фізична модель роботи похилих перерізів прогінних бетонних конструкцій з BFRP, яка суттєво відрізняється від фермової аналогії та аналогії полів стиску, закладених у зарубіжні норми проектування та авторських методиках.

Отримала подальший розвиток розрахункова модель несучої здатності приопорних ділянок балкових базальтобетонних конструкцій з різними прольотами зрізу.

Ключові слова: сталеві і базальтопластикові арматури (BFRP), статичне навантаження, тріщиностійкість, деформативність, напружено-деформований стан, балка, приопорна ділянка, несуча здатність, бетон, розрахункові схема і модель.

АННОТАЦИЯ

Целикова А.С. Несущая способность бетонных балочных конструкций армированных базальтопластиковой арматурой. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения» (19 – Архитектура и строительство). – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2020.

Диссертация посвящена изучению напряженно - деформированного состояния базальтобетонных балок и комплексного влияния конструктивных факторов на их несущую способность, трещиностойкость и деформативность при действии статической нагрузки.

Експериментально установлені особливості деформування, тріщиноутворення та руйнування вказаних балок.

Усовершенствованная физическая модель работы наклонных сечений пролетных бетонных конструкций с BFRP, которая существенно отличается от фермовой аналогии и аналогии полей сжатия, заложенных в зарубежные нормы проектирования и авторских методиках.

Получила дальнейшее развитие расчетная модель несущей способности приопорных участков балочных базальтобетонных конструкций с различными пролетами среза.

Ключевые слова: стальная и базальтопластиковая арматура (BFRP), статическая нагрузка, трещиностойкость, деформативность, напряжено - деформированное состояние, балка, приопорный участок, несущая способность, бетон, расчетные схема и модель.

ABSTRACT

Tselikova A.S. Bearing capacity of concrete beam structures reinforced with basalt-plastic reinforcement. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on a specialty 05.23.01 "Building constructions, buildings and constructions" (19 - Architecture and construction). - Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2020.

The dissertation research is devoted to the study of the influence of static sign - constant loading on the strength, crack resistance and deformability of the supporting sections of the deflection basaltoplastic beam elements.

The dissertation provides a detailed analysis of existing research on girder concrete structures with non-metallic composite reinforcement. Particular attention is paid to the consideration of existing normative and author's methods of calculation of bearing capacity, crack resistance and deformability of deflected concrete structures reinforced with composite reinforcement. Domestic and foreign experience in the design and application of concrete structures reinforced with composite reinforcement in aggressive environments is considered in detail. The advantages and disadvantages of composite reinforcement are considered.

Of the work provides justifications and prerequisites for the selection of experimental factors, a plan of experimental research and a detailed description of the test methods of experimental samples-beams.

As part of the planned research, tests of the 1st and 6th series of experiments were conducted, each of which consisted of 30 reinforced concrete specimens-beams of rectangular cross-section. Samples of both series were subjected to a short-term step-by-step static load almost to failure and were used in subsequent tests as a reference, on the basis of which the bearing capacity of the experimental beams was established. Samples of the 1st series of experiments were reinforced with A500C steel reinforcement, and samples of the 6th series were reinforced with AKB800 basalt reinforcement.

Also of the dissertation implements a systematic approach to the experimental - theoretical study of the stress - strain state of beam structures reinforced with steel and basalt - plastic reinforcement. This approach allowed to make a reliable quantitative and qualitative assessment of the impact of design factors and external factors on their bearing capacity, rigidity, crack resistance and other performance parameters. The influence of static load and research factors on the strength of normal and inclined sections of samples, width of opening of normal and inclined cracks, maximum lengths of projections of inclination of dangerous inclined cracks to the longitudinal axis of research elements, distances between normal and inclined cracks is considered in detail. and the values of the deflections of the prototype beams. Adequate mathematical models are also derived and graphs of their dependences are constructed, with the help of which the analysis of experimental data is made.

During the analysis of the experimental data it was found that the change of steel reinforcement to basalt-plastic with all other identical design factors leads to a decrease in the bearing capacity of the inclined sections of the test specimens of beams - at a static load of 47%. It is also experimentally established that the deflections of concrete beams reinforced with basalt-plastic reinforcement are more than twice the deflections of similar reinforced concrete beams and reach, on average, 1/154 of the design span length at the operating level ($0.65F_u$) load and increase to 1/110 before destruction ($0.95F_u$).

Of the dissertation presents a comparative analysis of the actual load-bearing capacity of inclined sections of basalt-concrete beams reinforced with BFRP and their calculated values which were calculated according to the recommendations of existing design standards of foreign countries.

In this section were developed the calculated finite-element nonlinear deformation models with the use of the tested software complexes ("LIRA - CAD"), in which the experimental diagrams of deformation of reinforcement and concrete under the action of static loading were applied.

Recommendations for calculating the bearing capacity of inclined sections of basalt-concrete beams with large, medium and small span of the section with the use of a variable coefficient k , which provides satisfactory convergence of calculated and experimental values of bearing capacity of inclined sections of basalt-concrete beams of rectangular beams.

Keywords: steel and basaltoplastic reinforcement, static load, crack resistance, deformability, stress-strain state, beam, support section, bearing capacity, concrete, design scheme and model.

Підписано до друку 29.12.2020 р.
Формат 60 X 84/16 Папір офісний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 1,51.
Наклад 70 прим. Зам. №20-74Е

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА