

са: ОДАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 82–86.

9. Земельний кодекс України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/print1359097722408914>.

10. Міністерство екології та природних ресурсів України. Інформаційно-аналітичний центр Державної системи моніторингу довкілля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecobank.org.ua/About/Pages/InformationScheme.aspx>

11. Ковтун В.Я., Войтенко С.П. Тенденції використання багатомірного розподілу при аналізі результатів геодезичних вимірювань / Інженерна геодезія. Науково-техн. збірник -2008 р. - Вип. 54. – с. 27-31.

Рукопис подано до редакції 26.04.2018

УДК 691.175; 69.04

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА, Є.В. ЛЮЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доценти, К.В. ЧОРНА, аспірант, Криворізький національний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АРМОВАНИХ СКЛОПЛАСТИКОВОЮ І МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

**Мета.** Метою роботи є аналіз прогинів дослідних балок армованих склопластиковою і металевою арматурою.

**Методи дослідження.** Математичне моделювання дослідних зразків у розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану.

**Наукова новизна.** Визначені деформації нормального перерізу дослідних балок в залежності від матеріалу робочої арматури, а при комбінованому армуванні - відсотка склопластикової та металевої арматури.

**Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та виготовленні згинальних будівельних конструкцій армованих склопластиковою арматурою.

**Результати.** При використанні в якості робочої арматури склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металевою 3Ø10 А 400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 % відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800.

Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металевого стежня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів дослідних балок на 36-36,7 % у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони.

Більш значні прогини балок армованих у розтягнутій зоні склопластиковою арматурою і комбінованим армуванням, у порівнянні з металевим армуванням, пояснюються модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металевої арматури.

Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурального експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

**Ключові слова:** склопластикова арматура, деформації, прогин, переріз, навантаження, вузол, модуль пружності.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-7-12

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Композитна арматура набуває широкого застосування у будівельній галузі України. Фізико-механічні властивості композиту дозволяють частково або повністю замінити сталеву арматуру. Однією з основних переваг цього матеріалу є висока корозійна стійкість, що дає змогу збільшити період експлуатації бетонних конструкцій, які піддаються впливу агресивного середовища [1-3,5-6].

Найбільше поширення скло- і базальтопластикова арматура набула у конструкціях, що працюють на пружній основі, наприклад, фундаментах [1-3]. В згинальних будівельних конструкціях її використання обмежене, оскільки модуль пружності композиту значно менший ніж у металевої арматури [1-3,9,13].

Визначення необхідних передумов використання композитної арматури в згинальних елементах є актуальним завданням, що дозволить значно розширити сферу її використання і зменшити кошторисну вартість будівництва.

Наукове дослідження проводиться в рамках науково-дослідної роботи НР/П-81-17 (РК№ 0118U000118) "Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах

виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів".

**Аналіз досліджень і публікацій.** Науковці останнім часом приділяють підвищену увагу аналізу напружено-деформованого стан будівельних конструкцій армованих скло- і базальтопластиковою арматурою. Особливо досліджуються умови анкерування композитної арматури і використання полімерних матеріалів у якості зовнішнього армування [1-15].

Вирішенню вказаних проблемних питань присвятили свої роботи: Ю.А. Клімов, О.С. Солдатченко, Д.О. Орішкін, Л.А. Мурашко, П.М. Коваль, О.Я. Гримак, І.П. Гамеляк, В.С. Дорофєєв, М.В. Заволока, Д.Р. Маїлян, А.Я. Мурін, В.В. Малиха та ін.

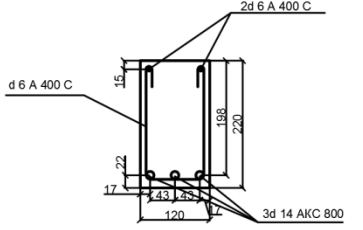
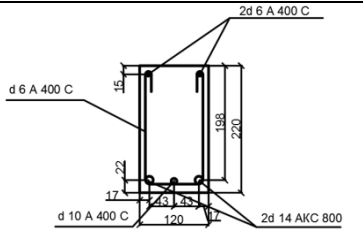
**Постановка завдання.** Перед авторами стоять наступні завдання: визначити прогини дослідних балок зі склопластиковим, металевим і комбінованим армуванням розтягнутої зони; виявити залежність між площею склопластикової робочої арматури і зміною рівня деформацій (прогинів).

**Викладення матеріалу та результати.** Згідно програми наукового дослідження (табл. 1) планується визначити напружено-деформований стан дослідних балок армованих склопластиковою, металевою арматурою і комбінованим армуванням у розтягнутій зоні.

Таблиця 1

Програма наукового дослідження

Серії балок	Найменування серії	Поперечний переріз, мм	Примітки
Б1	Балки з металевою арматурою 3Ø10 A400C у розтягнутій зоні (контрольна серія)		Бетон C20/25
Б2	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні		АКС - арматура композитна склопластиковою
Б3	Балки з металевою арматурою Ø10 A400C і склопластиковою арматурою 2Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		
Б4	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні		
Б5	Балки з металевою Ø10 A400C і склопластиковою арматурою 2Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		

<p>Б6</p>	<p>Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні</p>		
<p>Б7</p>	<p>Балки з металевою Ø10 А400С і склопластиковою арматурою 2Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)</p>		

Робота дослідних зразків відбувається за схемою однопролітної вільнолежачої балки завантаженої двома зосередженими силами у третинах розрахункового прольоту (рис. 1).

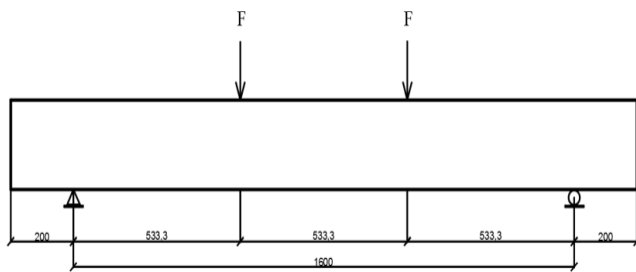


Рис. 1. Схема завантаження дослідних балок

Для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) дослідних зразків використане математичне моделювання в розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office. Дослідження НДС бетонних балок виконане в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану. Бетон балки представлений об'ємними кінцевими елементами типу жорсткості 31. При моделюванні металевої і композитної арматури, на основі скляного ровінгу, був прийнятий кінцевий елемент типу 10 (рис. 2).

При моделюванні металевої і композитної арматури, на основі скляного ровінгу, був прийнятий кінцевий елемент типу 10 (рис. 2).

a)

7828	7929	8030	8131	8232	8333	8434
7121	7222	7323	7424	7525	7626	7727
6414	6515	6616	6717	6818	6919	7020
5707	5808	5909	6010	6111	6212	6313
5000	5101	5202	5303	5404	5505	5606
4293	4394	4495	4596	4697	4798	4899
3586	3687	3788	3889	3990	4091	4192
2879	2980	3081	3182	3283	3384	3485
2172	2273	2374	2475	2576	2677	2778
1465	1566	1667	1768	1869	1970	2071
758	859	960	1061	1162	1263	1364
51	152	253	354	455	556	657

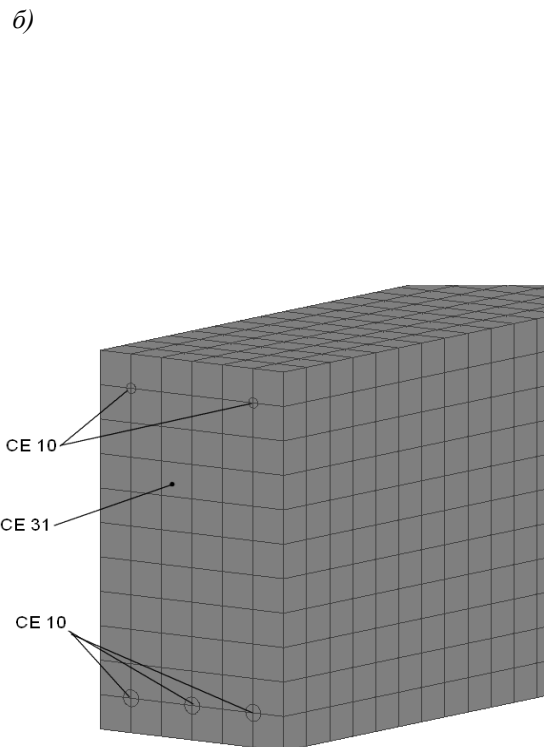


Рис. 2. Математичне моделювання в розрахунковому комплексі SCAD Office: а - розрахунковий переріз; б - модель досліджуваних балок

Аналізу підлягали деформації вузла № 1061 (рис. 2а), що знаходиться на рівні робочої арматури в нормальному перерізі середньої третини розрахункового прольоту балок. Аналіз деформацій проводився до рівня навантаження 1 т, від дії однієї зосередженої сили, оскільки деформації на більш значному рівні навантажень показували абсолютно симетричний розвиток для всіх серій балок.

Деформації на рівні навантаження "0,00" виникають від власної ваги дослідних серій балок. На рис. 3, 4 і в табл. 2 наведені результати математичного моделювання деформацій.

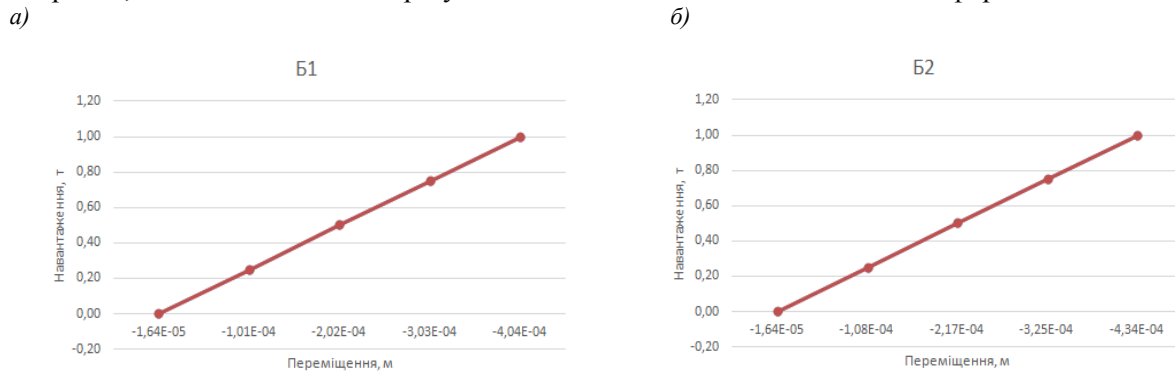


Рис. 3. Графіки "навантаження-переміщення" вузла № 1061: а - серія Б1 (контрольна); б - серія Б2

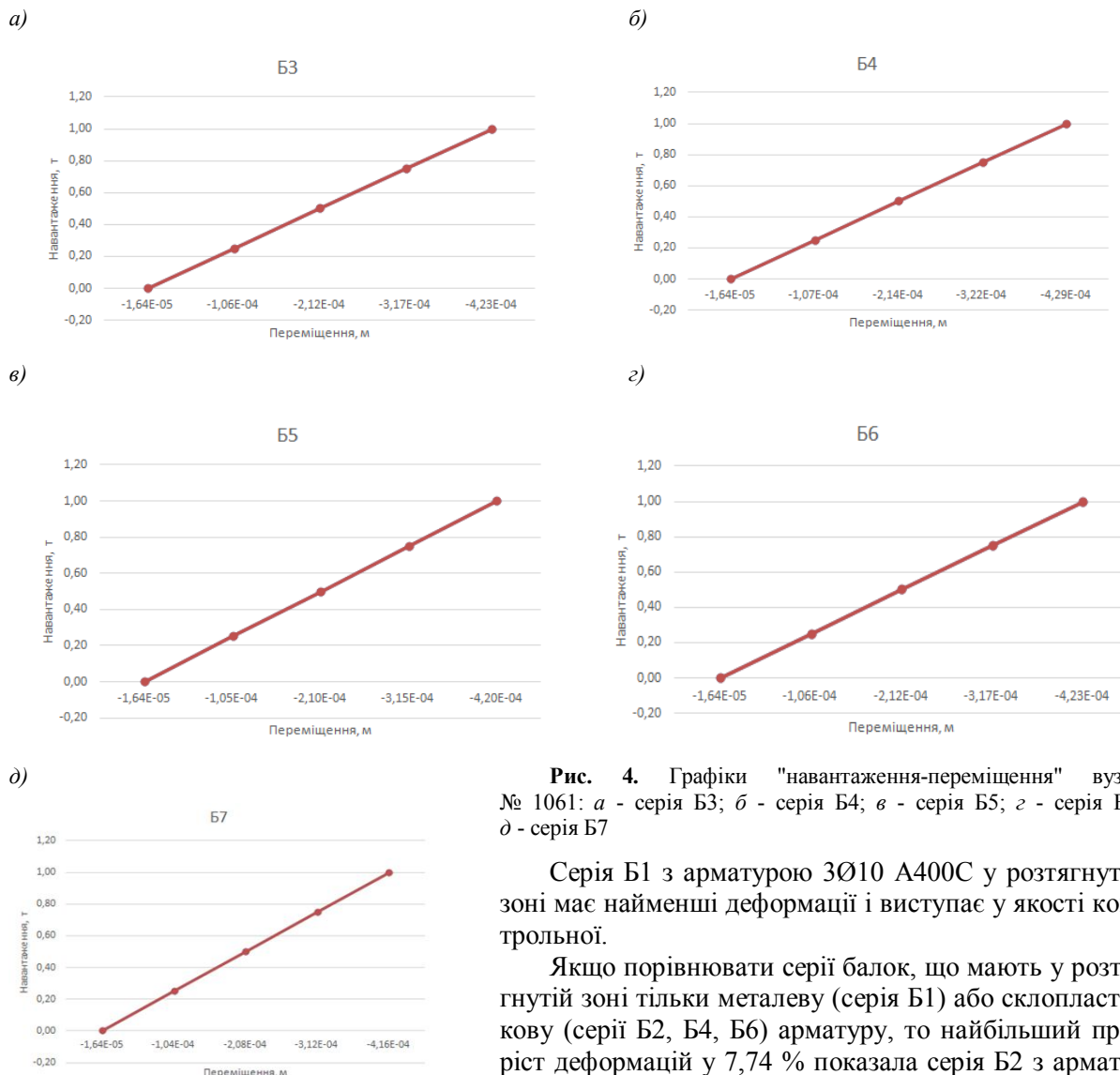


Рис. 4. Графіки "навантаження-переміщення" вузла № 1061: а - серія Б3; б - серія Б4; в - серія Б5; г - серія Б6; д - серія Б7

Серія Б1 з арматурою 3Ø10 А400С у розтягнутій зоні має найменші деформації і виступає у якості контрольної.

Якщо порівнювати серії балок, що мають у розтягнутій зоні тільки металеву (серія Б1) або склопластикову (серії Б2, Б4, Б6) арматуру, то найбільший приріст деформацій у 7,74 % показала серія Б2 з армату-

рою 3Ø10 АКС800 у розтягнутій зоні.

Підвищення площі розтягнутої склопластикової арматури, у порівнянні з серією Б2, на 23,43% (серія Б4 з арматурою 3Ø12 АКС800) призводить до зменшення деформацій прогинів до рівня 6,45%.

Підвищення площі розтягнутої склопластикової арматури, у порівнянні з серією Б2, на 77,83 % (серія Б6 з арматурою 3Ø14 АКС800) призводить до зменшення деформацій прогинів до рівня 4,90 %.

Серії Б3, Б5 і Б7 мають комбіноване (комполитно-металево) армування розтягнутої зони. В якості металевої використана арматура Ø10 А400С. Серія Б3, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø10 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %. Серія Б5, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø12 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 4,13 %. Серія Б7, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø14 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 3,10 %.

Таблиця 2

Результати математичного моделювання

Серія балок	Деформації вузла № 1061, м	Деформації відносно серії Б1, %	Перевищення деформацій відносно серії Б1, %	Відсоток армування склопластикової/ металевої арматурою робочої зони, %	Площа робочої арматури, мм <sup>2</sup>
Б1	0,0003876	100	0	-/100	235,5
Б2	0,0004176	107,74	+7,74	100/-	190,8
Б3	0,0004066	104,90	+4,90	61,8/38,2	205,7
Б4	0,0004126	106,45	+6,45	100/-	235,5
Б5	0,0004036	104,13	+4,13	66,6/33,3	235,5
Б6	0,0004066	104,90	+4,90	100/-	339,3
Б7	0,0003996	103,10	+3,10	74,2/25,8	304,7

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Під час використання в якості робочої композитної склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металевою 3Ø10 А400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 %, відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800.

Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металевого стержня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони. Балки серії Б3, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø10 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше ніж серія Б2 з робочою арматурою 3Ø10 АКС800.

Балки серії Б5, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø12 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 4,13 %, тобто на 36 % менше ніж серія Б4 з робочою арматурою 3Ø12 АКС800.

Балки серії Б7, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø14 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 3,10 %, тобто на 36,7 % менше ніж серія Б6 з робочою арматурою 3Ø14 АКС800.

Балки армовані у розтягнутій зоні склопластиковою і комбінованою арматурою показали деформації на 3,10-7,74 % більші ніж контрольна серія з металевим армуванням. Це пояснюється модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металевої арматури.

Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурального експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

## Список літератури

1. Попруга Д. В. Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / Д.В. Попруга, О.І. Валовой // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 147-150.
2. Валовой О. І. Характеристики міцності та жорсткості балок армованих базальтовою арматурою / О.І. Валовой, О.Ю. Єрмоєнко, М.О. Валовой // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 142-146.
3. Валовой О. І. Особливості використання композитної арматури в згинальних бетонних елементах / О.І. Валовой, Д.В. Попруга, К.В. Чорна // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - Луцьк: ЛНТУ, 2017. - Випуск 8. - С. 58-64.
4. Клімов Ю. А. Експериментальні дослідження зчеплення композитної неметалевої арматури з бетоном / Ю. А. Клімов, О. С. Солдатченко, Д. О. Орішкін // Вісн. нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 662. - С. 237-241.
5. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу : ДСТУ-Н В.2.6-185:2012. - [Чинний від 2013-04-01]. - Київ: Мінрегіон України, 2012. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
6. Коваль П. М. Перспективи використання базальтобетонних конструкцій в будівництві / П. М. Коваль, О.Я. Гримак // Наукові нотатки. – 2014. – Випуск 46. – С. 262-269. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2014\\_46\\_44](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_46_44).
7. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. Технічні умови.
8. ТУ У В.2.7-25.2-21191464-024:2011 Арматура композитна «Екібар» для армування конструкцій з бетону. Технічні умови.
9. Хишмах М. Прочность и деформативность изгибаемых элементов из тяжелого бетона, армированных стеклопластиковой и стальной арматурой / М. Хишмах, Д.Р. Маилян, П.П. Польской, А.М. Блягоз // Новые технологии. – Майкоп: МГТУ, 2012. – Випуск 4. - С.147-152.
10. Садин Эбраим Ягуб. Совместная работа бетона и стеклопластиковой арматуры с различными видами периодического профиля: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / Садин Эбраим Ягуб. – Минск, 2017. – 28 с.
11. Селяев В. П. Расчёт композиционных слоистых конструкций по предельным состояниям второй группы / В. П. Селяев, В. И. Солomatov // Изд. вузов строительство и архитектура. - Новосибирск, 1981. - № 2. - С. 88-91.
12. Антипов А. С. Влияние полимерных покрытий на свойства железобетонных конструкций / А. С. Антипов // Труды МИИТа. - 1996. - вып. 219. - С. 35-46.
13. Ильин Д.А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ильин Дмитрий Анатольевич. – М., 2017. – 141 с.
14. RILEM/CEB/FIP Recommendations RC 5: Bond test for reinforcing steel, 1. Beam Test, 1978.
15. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures General rules and rules for building.

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

УДК 624.137.5

О.Б. НАСТИЧ, канд. техн. наук, доц., І.В. ХОРУЖЕНКО, асистент  
Криворізький національний університет

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПІРНИХ СТІН З УРАХУВАННЯМ РОЗДІЛЕННЯ НА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ КОЕФІЦІЄНТІВ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ

**Мета.** Метою даної роботи є узагальнення та уточнення основних методів проектування та розрахунку підпірних стін. Важливим у розрахунках є врахування коефіцієнтів запасу. Існуючі методи недостатньо висвітлені в сучасній навчально-технічній літературі та, як правило, не знаходять належного відображення в курсах лекцій з опору матеріалів та будівельної механіки, що читаються в технічних вузах. Дана стаття має на меті заповнити цю прогалину, що, в свою чергу, послужить раціональному конструюванню підпірних стін, що застосовуються при виявленні дефектів і пошкодженні будівель і споруд, причиною яких є нестабільність основи.

**Методи дослідження.** Існують основні принципи розрахунку підпірних стін. Виходячи з граничних станів повинні бути зроблені наступні розрахунки: на стійкість до перекидання; на стійкість до зсуву-ковзання; на міцність самої конструкції підпірної стіни; на міцність ґрунту основи; на деформацію ґрунту основи; на тріщиностійкість елементів конструкції.

**Наукова новизна.** Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. В статті проаналізовано та досліджено публікації, де було застосовано нову методику перевірок стійкості підпірної стіни, яка враховує міцність і деформацію її основи і яка відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу.

**Практична значимість.** Найбільшу величину активного тиску ґрунту при наявності на горизонтальній поверхні засипки рівномірно розподіленого навантаження необхідно визначати при розташуванні цього навантаження в