

ВПЛИВ ВІДСОТКУ АРМУВАННЯ НА ВТРАТУ ЗУСИЛЬ ОБТИСКУ В ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКАХ АРМОВАНИХ ПАКЕТОМ АРМАТУР

THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT PERCENTAGE ON THE LOSS OF CRIMPING FORCE IN PRESTRESSED BUNDLED REINFORCED CONCRETE BEAMS.

Фамуляк Ю.С., к.т.н., доцент, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

Волинець М.Е., старший викладач, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0009-0007-4120-4340>

Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>; **Volynets M., assistant professor** (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0009-0007-4120-4340>

Пакет арматур в сталобетонних попередньо напружених конструкціях включає листове армування у вигляді штаби та арматурні стрижні періодичного профілю. Для балочних конструкцій найбільш ефективним є армування змінного перерізу за довжиною у відповідності до епюри моментів. Застосування пакету арматур дозволяє більш ефективно використовувати арматуру у сталобетонних конструкціях.

The issue of reducing the material consumption of structures and construction time is currently one of the most pressing challenges for builders. Many different structural solutions have been proposed. One such solution is the use of steel-concrete structures with external plate or strip reinforcement. The reinforcement bundle in prestressed concrete comprises sheet metal and periodically profiled rebars. For beam structures, the most effective approach is variable cross-sectional reinforcement along the length of the beam, corresponding to the moment diagram. For sheet reinforcement, changing the cross-section along the length requires additional efforts to cut, weld, and so on. This study examines the influence of different ratios between prestressed sheet and non-prestressed rebar reinforcements within the reinforcement bundle on stress losses in the prestressed sheet reinforcement. In the reinforcement bundle, the prestressed sheet reinforcement maintains a constant cross-sectional profile along the entire length of the beam, while the non-prestressed bar reinforcement has a variable cross-section relatively to the bending moment diagram. The use of reinforcement bundles allows for more efficient utilization

of reinforcement in concrete structures. This is due to the fact that there is often an issue of uneven load distribution on structures within a single building; for beam floors, such beams must be reinforced with different frameworks accordingly. In the case of steel-concrete beams, this creates additional difficulties because the range of plate reinforcement is limited. One solution to this problem, as mentioned earlier, is the use of a reinforcement package — plates and rebars within a single beam. The area of the plate remains constant in all beams, while the quantity (area) of rebar varies according to the need. The effect is further enhanced when prestressing is applied.

Ключові слова: сталобетонні конструкції, листове армування, пакет арматур, втрати напружень.
reinforced concrete structures, sheet reinforcement, reinforcement bundle, stress losses.

Вступ. Проблема зниження матеріалоемкості конструкцій, тривалості будівництва на даний час для будівельників є однією з найактуальніших. Запропоновано багато різних конструктивних рішень. І одним з таких рішень є використання сталобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням.

Ефективність використання сталобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням неодноразово була відзначена на міжнародних симпозіумах і конференціях з питань будівництва.

При однаковій висоті сталобетонні елементи потребують на 12-16% сталі менше ніж аналогічні залізобетонні. Відкритий з однієї сторони лист дозволяє без проблем підсилювати конструкцію в разі потреби, а також може використовуватися як закладна деталь [1-5].

Аналіз останніх досліджень. Близько 45 роки тому у Національному університеті "Львівська політехніка" вперше запропонували та запатентували звичайні та попередньо напружені залізобетонні балки із зовнішньою штабовою (стрічковою) арматурою, які одержали авторську назву – *сталобетонні* (автор професор, д.т.н. Ф.Є. Клименко) [1-5].

За цей період вагомий внесок в розвиток сталобетонних конструкцій внесли працівники кафедр будівельних конструкцій Національного університету "Львівська політехніка" та Львівського національного університету природокористування (Гайдаш М.Л., Шеховцов А.Я., Барабаш Вол. М., Крамарчук П.П., Барабаш Вас. М., Гавриляк А.І., Храмцов В.П., Лісоцький Р.В., Левчик В.В., Мельник І.В., Демчина Б.Г., Кархут І.І., Боднарчук Б.І., Крочак О.В., Добрянський І.М., Стецький В.В., Бліхарський З.Я., Кінаш Р.І., Мазурак А.В., Цимбровський О.Д., Федурко Я.М., Павловська М.А., Джевала Н.М., Добуш І.М., Штендера Ю.А., Волинець М.Є., Бобало Т.В., Шмиг Р.А., Фамуляк Ю.Є., Боднарчук Т.Б., Борис І.М. та ін.).

Постановка мети і задач досліджень. Предметом дослідження є попередньо напружені сталобетонні балки, армовані пакетом арматур з різним співвідношенням листової та стрижневої арматур.

Дуже часто виникає проблема нерівномірного розподілу навантажень на конструкції в межах однієї споруди, якщо це балкове перекриття, то такі балки слід відповідно армувати різними каркасами. При застосуванні сталобетонних балок це зумовлює додаткові труднощі, бо сортамент листової (штабової) арматури обмежений. Одним із виходів з цієї ситуації є застосування пакету арматур – листа чи штаби та стрижнів в межах однієї балки. Площа листа є незмінною у всіх балках, а кількість (площа) стрижневої арматури змінюється залежно від потреби.

При застосуванні пакету арматур спрощується та пришвидшується виготовлення сталобетонних елементів, а також більш повноцінно використовується арматура. Ефект ще більше посилюється при використанні попереднього напруження.

Мета роботи – визначити вплив співвідношення між листовою і стрижневою арматурами на втрату зусиль попереднього напруження у попередньо напружених сталобетонних балках армованих пакетом арматур.

Методика досліджень. Для виконання поставлених завдань, як дослідні зразки, використовувались балки перерізом 135x270 мм, з робочим прольотом 2700 мм та загальною довжиною 3000 мм.

Стенд (рис. 1) представляв собою масивну по периметру прямокутну форму, в середині якої розміщувались чотири опалубки для експериментальних зрізків. Масивна станина розроблена з умови передачі на неї через систему траверс і домкратів зусиль попереднього натягу арматур верхньої і нижньої зон балок.

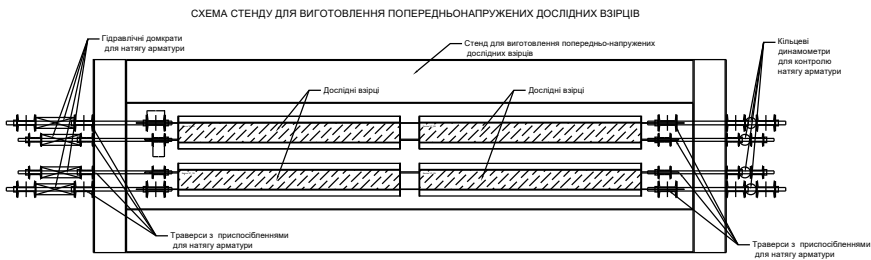


Рис. 1. Схема стенду для виготовлення попередньо напружених сталобетонних балок, армованих пакетом арматур

Найбільш раціональним способом армування сталевим листом була би схема зі зміною ширини листа за довжиною балки, коли зайвий обрізався б в місцях, визначених розрахунком.

Але у зв'язку з недосконалістю сортаменту листової арматури (мала кількість типорозмірів) та великою трудомісткістю і тривалістю в часі робіт щодо різання металу найдоцільніше є використовувати пакет арматур. Згідно вимог норм у згинаних елементах до опор повинно бути доведено не менше 50% всієї поздовжньої арматури. У даній роботі запропоновано лист постійного перерізу по всій довжині у всіх балках та стрижні різного перерізу,

що обірвані згідно розрахунку. При виготовленні дослідних зрізів лист попередньо напружується і фіксується у стенді для виготовлення попередньо напружених конструкцій, а стрижні у всіх – ненапружені і вільно розмищуються поверх листа.

Наявність попередньо напруженої арматури в верхній зоні балок передбачено для забезпечення тріщиностійкості цієї зони при передачі зусиль попереднього натягу листової арматури з силового стенду на затверділий бетон (передача зусилля попереднього натягу виконувалася через 28 днів після бетонування).

В кожній з балок в стиснутій зоні було запроєктовано повздовжній стрижень $\varnothing 16$ класу А400С. Розтягнута зона армована листом періодичного профілю 105x6 мм. Анкерування листової арматури забезпечується за рахунок зчеплення її з бетоном і поперечних стрижнів-анкерів. Анкерами виступають стрижні поперечної арматури $\varnothing 8$ А400С, попарно розміщені за довжиною балки. Крок поперечних стрижнів за довжиною балки змінювався. В зоні чистого згину у всіх балках крок прийнято конструктивно, чисельно рівним 180 мм. В зоні дії поперечних сил залежно від рівня майбутнього завантаження крок прийнято: 135 мм (балка Б-1), 110 мм (балка Б-2) та 80 мм (балка Б-3). На опорах у всіх балках для покращення анкерування згущено розміщено три пари поперечних стрижнів з кроком 50 мм. Характеристики дослідних зрізів подані в табл. 1, а схеми каркасів – на рис.2.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків

Позначення балок	Б-1	Б-2	Б-3
Ширина b , см	13,5	13,5	13,5
Висота h , см	27	27	27
A , см ²	364,5	364,5	364,5
Клас бетону	С40/50	С40/50	С45/55
$f_{ck, cube}$, МПа	50	50	55
Арматура розтягнутої зони – стрічкова повздовжня 16Г2АФ			
$b_s x t_s$, см	10,5x0,6	10,5x0,6	10,5x0,6
A_s , см ²	6,3	6,3	6,3
ρ стрічки, %	1,77	1,77	1,77
Арматура розтягнутої зони – стрижнева повздовжня А400С			
\varnothing , мм	2 $\varnothing 12$	2 $\varnothing 16$	3 $\varnothing 16$
A_s , см ²	2.26	4.02	6.03
ρ стрижня, %	0,65	1,16	1,75
$\sum \rho$, %	2,45	2,99	3,57
$\sigma_{sp}^0 = 0.95 f_{yk}$, МПа	427,5	427,5	427,5
Арматура стиснутої зони - стрижнева повздовжня А400С			
\varnothing , мм	1 $\varnothing 16$	1 $\varnothing 16$	1 $\varnothing 16$
A_s , см ²	2.011	2.011	2.011
$\sigma_{sp}^0 = 0.95 f_{yk}$, МПа	513	513	513

Арматура стрижнева поперечна А240С			
\varnothing , мм	1 $\varnothing 8$	1 $\varnothing 8$	1 $\varnothing 8$
A_{sw} , см ²	0.503	0.503	0.503
Крок, мм	180 (50)	180 (50)	180 (50)

СХЕМИ КАРКАСІВ ДОСЛІДНИХ ВЗІРЦІВ

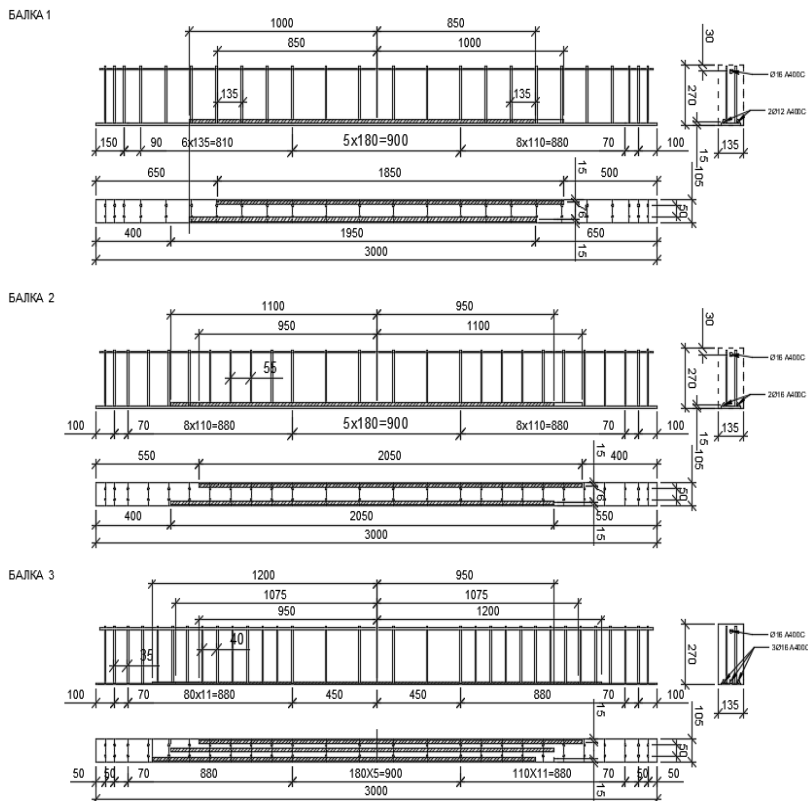


Рис. 2. Схеми каркасів дослідних зразків балок

Стрижнева арматура розміщувалася поверх листа і фіксувалася в проектному положенні на період бетонування в'язальним дротом (в декількох місцях за довжиною, для забезпечення конструктивного положення при бетонуванні). Характеристика дослідних зразків наведена в табл. 1.

Значення зусиль попереднього напруження листової арматури призначались з умови, щоб величина попереднього обтиску не перевищувала $0,95f_{yk}$ листової арматури. В стрижневій стиснутій арматурі зусилля натягу назначалось з умови забезпечення тріщиностійкості балки в процесі обтиску і

також щоб величина попереднього обтиску не перевищувала $0,95f_{yk}$ стрижневої арматури. Призначені таким чином зусилля попереднього натягу для даних балок складали: для листа $N_0 = 240$ кН, для стрижня $N_0 = 100$ кН.

Контролюючи напруження в арматурах відповідно прийнятим зусиллям прийняли значення:

$$\text{в листі } \sigma_{sp}^0 = 0,95f_{yk} = 0,95 \cdot 450 = 427,5 \text{ МПа};$$

$$\text{в стрижневій арматурі стиснутої зони } \sigma_{sp}^0 = 0,95f_{yk} = 0,95 \cdot 540 = 513 \text{ МПа}.$$

Для даних балок втрати попереднього напруження від деформацій анкерних пристроїв і втрати попереднього напруження від релаксації виключались трьохразовою перетяжкою арматури на 10% вище зусилля натягу. Так як силовий стенд знаходиться в приміщенні закритої лабораторії (анкерні пристрої мали ту саму температуру, що і напружувана арматура), тому втрати попереднього напруження від температурного перепаду приймали рівні нулю.

Результати досліджень. В результаті випробувань, залежно від різного співвідношення площ листової попередньо напруженої та стрижневої ненапруженої арматур в пакеті армування дослідних взірців, отримано значення втрат зусиль в листовій попередньо напруженій арматурі у числових величинах (таблиця 2), у відсотковому відношенні від попереднього напруження перед бетонуванням (таблиця 3).

Таблиця 2

Експериментальні значення втрат зусиль в листовій арматурі

	$\sigma_{p,i-1}^+$ 1-й день, МПа	$\sigma_{p,i}$ 28-й день, МПа	$\sigma_{p,i}^+$ 28-й день, МПа	$\Delta\sigma_{p,i}$	$\sigma_{p,i}^{++}$ 56-й день, МПа	$\Delta\sigma_{pr,i}$
Б-1	194,33	181,66	130,34	51,32	112,14	18,20
Б-2	206,50	209,66	160,00	49,66	138,38	21,62
Б-3	208,00	200,71	161,86	38,85	142,43	19,43

$\sigma_{p,i-1}^+$ – напруження розтягу в листовій арматурі після бетонування;

$\sigma_{p,i}^-$ – напруження розтягу в листовій арматурі після відпуску стержневої верхньої арматури ;

$\sigma_{p,i}^+$ – напруження розтягу в листовій арматурі після її повного відпуску ;

$\Delta\sigma_{p,i}$ – втрата напружень в листовій арматурі після її відпуску;

$\Delta\sigma_{pr,i}$ – абсолютне значення втрат від релаксації.

Таблиця 3

Значення втрат зусиль в листовій арматурі у відсотках

	$\rho_{p,i-1}^+$ 1-й день, %	$\rho_{p,i}^-$ 28-й день, %	$\rho_{p,i}^+$ 28-й день, %	$\Delta\rho_{p,i}$ %	$\rho_{pr,i}^+$ 56-й день, %	$\Delta\rho_{pr,i}$ %
Б-1	100	93,5	69,6	23,8	58,3	11,3
Б-2	100	97,0	76,0	21,0	66,0	10,0
Б-3	100	96,5	82,0	14,5	74,8	7,8

$\rho_{p,i-1}^+$ – початковий відсоток напруження розтягу в листовій арматурі після бетонування;

$\rho_{p,i}^-$ – залишковий відсоток напруження в листовій арматурі після відпуску верхньої стрижневої арматури;

$\rho_{p,i}^+$ – залишковий відсоток напруження розтягу в листовій арматурі після повного відпуску;

$\Delta\rho_{p,i}$ – відсоток втрат обтиску;

$\Delta\rho_{pr,i}$ – відсоток втрат від релаксації.

У балці Б-1, у якій відсоток армування стрижневою арматурою становив 26,9% від загального відсотку армування розтягнутої зони, втрата зусиль обтиску становила 23,8%.

У балці Б-2, у якій відсоток армування стрижневою арматурою становив 39,6%, від загального відсотку армування розтягнутої зони, втрата зусиль обтиску становила 21,0%.

У балці Б-3, у якій відсоток армування стрижневою арматурою становив 49,7% від загального відсотку армування розтягнутої зони, втрата зусиль обтиску становила 14,5%.

За результатами експериментальних досліджень побудовано графічну залежність (рис. 3) відсотку втрат попереднього напруження від відсотку армування ненапруженими стрижнями.

Втрати зусиль попереднього напруження в листовій арматурі від збільшення відсотку армування ненапруженою стрижневою арматурою носить нелінійний характер. При армуванні сталобетонних балок пакетом арматур в якому стрижневої ненапруженої арматури більше 39,6% від загальної кількості арматури в пакеті, спостерігається приріст зменшення втрат попереднього напруження в листовій арматурі.

Висновки. 1. Зовнішня листова попередньо напружена арматура у поєднанні з стрижневою ненапруженою арматурою (пакет арматур) дозволяє ефективно конструювати сталобетонні конструкції.

2. Втрати зусиль попереднього напруження в листовій арматурі від збільшення відсотку армування ненапруженою стрижневою арматурі носить нелінійний характер. При армуванні сталобетонних балок пакетом арматур в якому стрижневої ненапруженої арматури більше 39,6% від загальної кількості

арматури в пакеті, спостерігається приріст зменшення втрат попереднього напруження в листовій арматурі, а при відсотку армування менше 26,86% згідно характеру графіка ненапружені стрижні практично перестають впливати на втрату зусиль попереднього напруження у листовій арматурі.

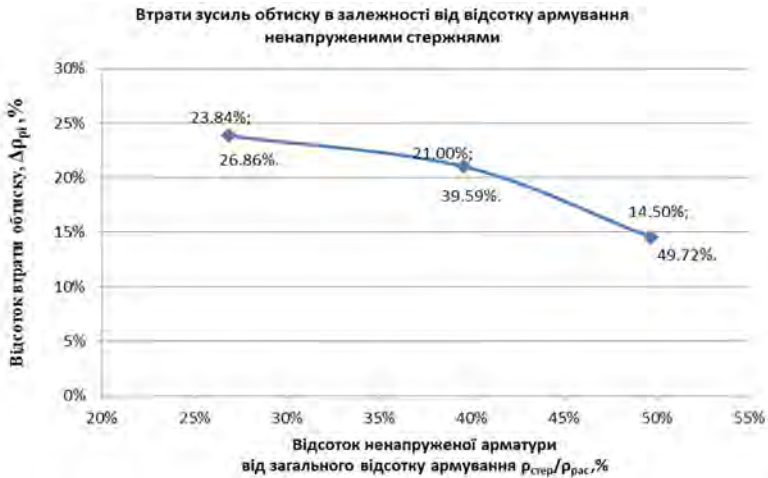


Рис 3 Втрати зусиль попереднього напруження в листовій арматурі в залежності від відсотку армування ненапруженими стрижнями

3. Збільшення відсотку армування ненапруженої стрижневої арматури у пакеті арматур з листовою попередньо напруженою арматурою на 22,86% зменшує деформації від обтиску (втрати зусиль попереднього напруження) на 37,5%, що підтверджує ефективність комбінованого армування.

1. Bobalo, T., Volynets, M., Blikharsky, Y., Dankevych, I. Prestress Losses of Steel-Concrete Beams with Different Percent of Reinforcement / Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, 290 LNCE, pp. 40–47.

2. Blikharsky, Y., Selejdak, J., Bobalo, T., Khmil, R., Volynets, M. Influence of the percentage of reinforcement by unstressed rebar on the deformability of pre-stressed RC beams / Production Engineering Archives. 2021, 27(3), pp. 212–216.

3. Фамуляк Ю.Є., Грищевич А.Ю. Визначення напружено-деформованого стану сталобетонної балки із врахуванням впливу циклічної дії знакозмінної температури / Зб. наук. праць НУВГП //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 43 – Рівне: Вид-во НУВГП. 2023. – С. 128 – 136.

Famuliak Yu.Ie., Hrvtsevych A.Iu. Vvznachennia napruzhenno-deformovanoho stanu stalebetonnoi balky iz vrakhuvanniam vplyvu tsyklichnoi dii znakovminnoi temperatury / Zb. nauk. prats NUVHP //Resursoekonomni materialy, konstruktssii

4. Kramarchuk A., Ilnytsky B., Lytvyniak O., Famulyak Yu. Strengthening prefabricated rein-forced concrete roof beams that are damaged by corrosion of concrete and reinforcement / TRANSBUD-2019. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 708 (2019), 012060, doi:10.1088/1757-899X/708/1/012060.

5. Hryczewych A., Famulyak Yu., Sobczak-Piąstka Ju. Wpływ temperatury na nośność belek betonowo-stalowych / VI międzynarodowa konferencja mostowa im. Rudolfa Modrzejewskiego „Mosty. Tradycja i nowoczesność. 15 listopada 2018 r. Monografia. – Bydgoszcz. 2019. Polska. – S. 29 – 35.