

С.Ю. Беляєва, Донбаський державний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ Й ДЕФОРМАТИВНОСТІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ЯКІ АРМОВАНО СТАЛЕВИМ
ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ**

Беляєва С.Ю.

Дослідження міцності й деформативності залізобетонних плит, які армовано сталевим профільованим настилом

Наведено результати експериментальних і теоретичних досліджень залізобетонних плит, які армовано сталевим профільованим настилом; виконано зіставлення й аналіз отриманих результатів.

Ключові слова: залізобетонна плита, сталевий профільований настил, міцність, деформативність, реальні діаграми деформування.

Беляєва С.Ю.

Исследование прочности и деформативности железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом.

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом, выполнены сопоставление и анализ полученных результатов.

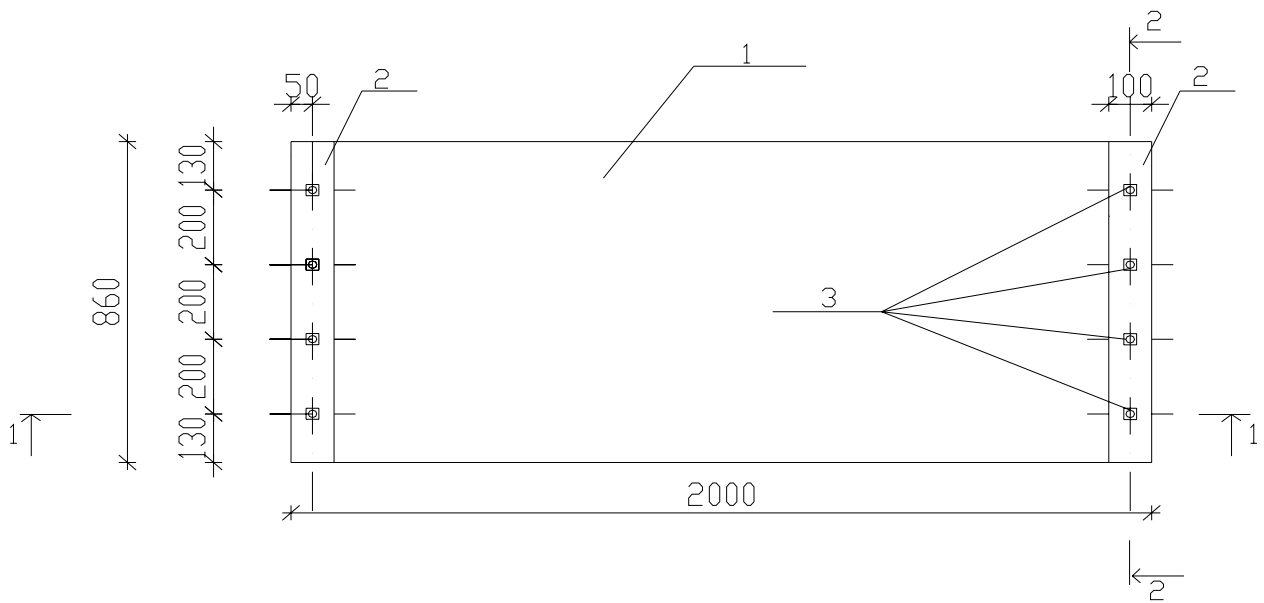
Ключевые слова: железобетонная плита, стальной профилированный настил, прочность, деформативность, реальные диаграммы деформирования.

Підвищення ефективності залізобетонних конструкцій, які армовано сталевим профільованим настилом (СПН), пов'язано з удосконаленням методів розрахунку на основі чітких фізичних передумов, що дозволяють найбільш повно використовувати властивості бетону і арматури. Діючі нормативні матеріали не включають питання проектування плит, які армовано сталевим профільованим настилом. Існуючі методичні рекомендації [1] засновані на ідеалізованих епюрах розподілу напружень у бетоні й арматурі і припущенні утворення пластичного шарніра [1, 2, 3, 4, 5 і ін.], що припускає необмежену пластичність бетону в граничному стані за умови досягнення межі плинності по всій висоті профнастилу. Стосовно до шарнірно-обпертих статично визначених залізобе-

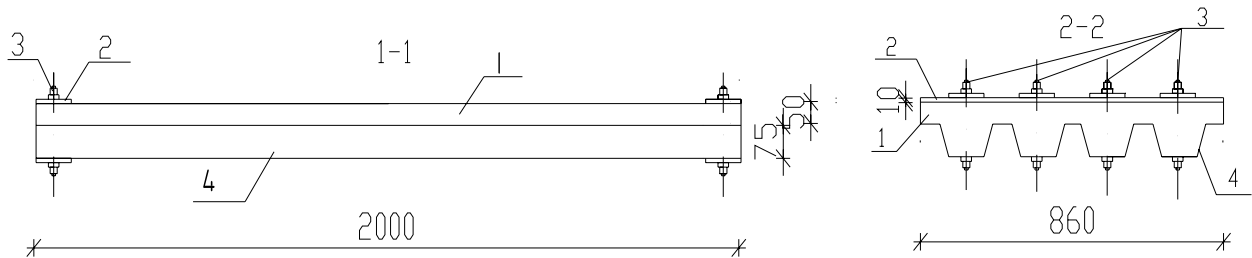
тонних плит, армованих СПН, такий підхід приводить до неточностей у визначенні несучої здатності і до перевитрати матеріалів. Поширення його на статично невизначені конструкції приводить до завищення несучої здатності. Таким чином, найбільш перспективним напрямком розвитку методів розрахунку залізобетонних конструкцій, армованих СПН, є методи, засновані на використанні реальних діаграм деформування бетону і профнастилу, що мають чіткі фізичні передумови.

Як показують дослідження монолітних перекриттів із зовнішнім армуванням [1, 2, 3, 4, 5 і ін.], міцність плит забезпечується лише за умови надійного зчеплення бетону з профільованим настилем. Анкерівка профнастила з бетоном, відповідно до існуючих рекомендацій і в більшості досліджень, виконується за допомогою торцевих анкерів на опорі, а в прольоті плити рекомендується в кращому випадку рифлення профнастила, що не забезпечує повного зчеплення з бетоном при поперечному згині. У зв'язку з цим здається раціональним використання поперечного стрижневого армування як для забезпечення сумісної роботи бетону і СПН, так і для сприйняття зосередженого навантаження.

Для визначення достатнього кроку поперечної гнучкої арматури в прольоті, його впливу на міцність і деформативність плит, а також перевірки запропонованих методик розрахунку нормальних перерізів плит, армованих СПН, з використанням повних і трапецеїдальних діаграм деформацій бетону і СПН при короткочасному навантаженні [6, 7], були проведені експериментальні дослідження залізобетонних плит, армованих СПН. Зразки були розділені на три серії (рис. 1). Перша серія - плити, армовані лише СПН (П-1). Друга серія (П-2) відрізнялася від першої установкою поперечної стрижневої арматури з кроком 200мм. Третя серія (П-3) відрізнялася від другої кроком поперечних стрижнів – 400 мм. У зразках усіх серій на торцях плит у кожному гофрі СПН встановлювалися кінцеві анкери з арматури класу А-III Ø12мм, відповідно до рекомендацій НІЗБ [1]. При виготовленні плит використовували важкий бетон класу В 40. Випробування плит проводилися за схемою чистого згину.



II - I



II - II (II - III)

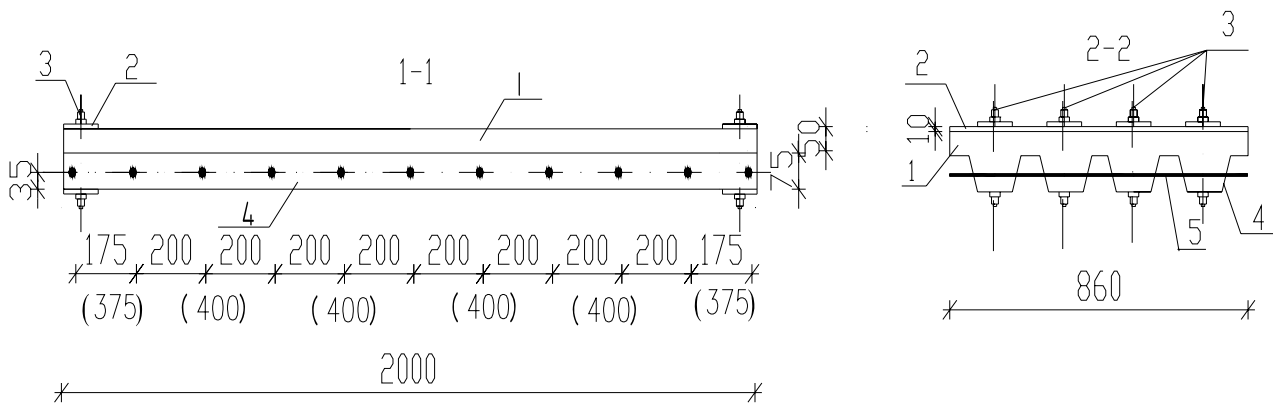


Рис. 1. Конструкції експериментальних плит:

- 1 – бетон класу В 40;
- 2 – металеві пластини 10x100, L=860;
- 3 – кінцеві анкери $\varnothing 12$ А III;
- 4 – профільований настил Н-75-750-0,7;
- 5 – поперечна арматура $\varnothing 5$ Вр-II.

Результати експериментальних досліджень [8] показали, що прийняті в діючих рекомендаціях [1] анкерні пристрої в місцях обпирання плит не забезпечують повного зчеплення бетону з СПН. Вони дозволили визначити достатній для спільної роботи бетону і СПН крок поперечної анкерівки в прольоті, рівний 200 мм, що приблизно відповідає відстані між тріщинами в залізобетоні.

Для оцінки напружено-деформованого стану плит, армованих СПН, були розроблені два варіанти розрахунку: перший – з використанням залежності між напруженнями і деформаціями бетону і профнастилу у виді діаграми Прандтля [6] і другий – з використанням повної діаграми деформування бетону [7]. У якості розрахункового прийнято тавровий переріз із зовнішнім армуванням і шириною полиці, що дорівнює відстані між осями сусідніх гофрів.

Отримано рівняння рівноваги для 2-х випадків розрахунку в залежності від положення нейтральної осі в полиці або ребрі таврового перерізу [6, 7]. Системи алгебраїчних рівнянь, що пов'язують значення невідомих фібрових деформацій і кривизну в перерізі з діючими зусиллями, вирішуються підбором. Задаючи крок по деформаціях, можна побудувати залежності "момент-кривизна" і визначити напружено-деформований стан елемента, армованого СПН, на будь-якій стадії навантаження. Критерій руйнування - досягнення граничних значень деформаціями крайнього стиснутого волокна бетону або крайнього розтягнутого волокна настилу.

Для оцінки ефективності розроблених методик розрахунку виконано співставлення експериментально отриманих і розрахункових величин несучої здатності і прогинів. Характерні розрахункові криві " $M - \chi$ " для експериментальних плит на основі розрахунків по розробленим методикам і методиці НІЗБ [1] та відповідні експериментальні дані показано на рис. 2.

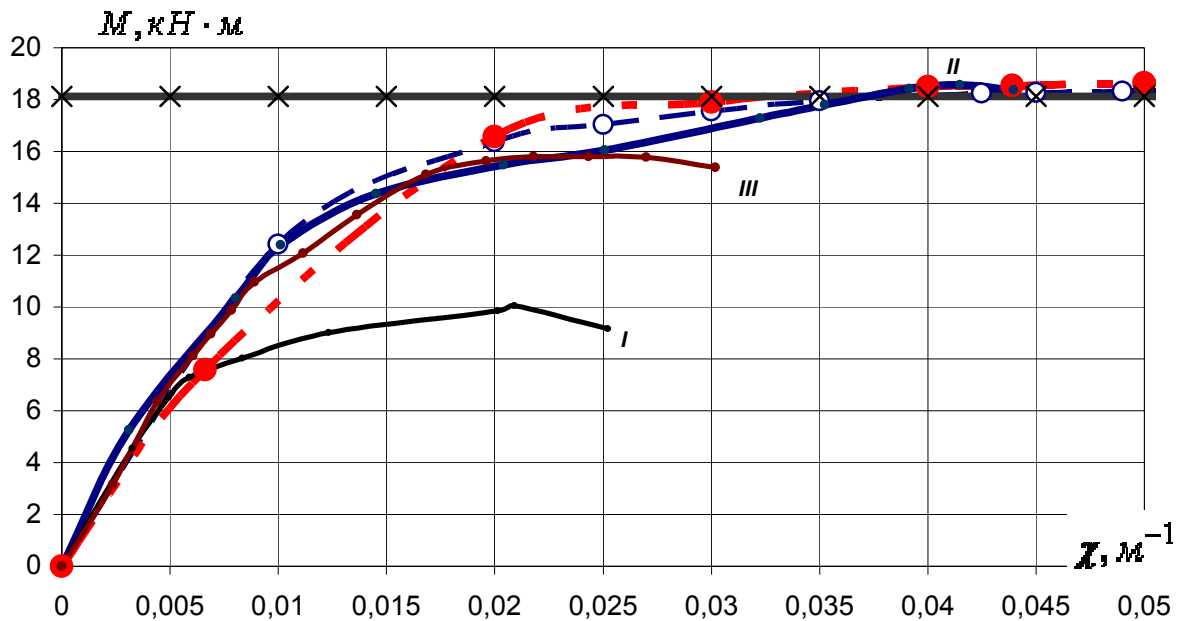


Рис. 2. Діаграми "М – χ " для плит I, II і III серій :

- — — — — - за даними випробувань;
- - - - - - розрахункові на основі повної діаграми деформування бетону [7];
- - розрахункові по рекомендаціям НІЗБ [1];
- x-x-x-x-x- - розрахункові на основі пружньопластичної діаграми деформування матеріалів [6].

Як видно з рисунку 2, одержані на основі наведених розрахункових методик залежності досить добре відповідають експериментальним при обов'язковій умові забезпечення спільної роботи бетону і СПН у прольоті шляхом постановки поперечних анкерів (серія П-II і П-III). Для плит серії П-I без анкерівки сталевго профнастилу в прольоті відмінність значень несучої здатності, що обчислювались по розробленим методикам [6, 7] і методиці [1], від даних випробувань складає 48%, що пояснюється порушенням спільної роботи бетону і сталевго профнастилу на ранніх етапах навантаження і подальшою роботою елемента як бетонного в опалубці з СПН.

Сказане підтверджується і даними табл. 1.

Таблиця 1

Співставлення значень експериментальних максимальних згинаючих моментів M^{ex} і відповідних ним теоретичних M^{th}

Шифр плити	M_{max} , кН·м						
	M^{ex}	З використанням повної діаграми [7]		З використанням діаграми Прандтля [6]		За методикою НІЗБ [1]	
		M^{th}	$\frac{M^{th}}{M^{ex}}$	M^{th}	$\frac{M^{th}}{M^{ex}}$	M^{th}	$\frac{M^{th}}{M^{ex}}$
П-I-1	9,05	16,866	1,864	18,551	2,05	18,124	2,003
П-I-2	10,39	17,307	1,666		1,785		1,744
П-I-3	10,68	16,924	1,585		1,737		1,697
П-II-1	18,725	18,333	0,979	18,551	0,99	18,124	0,9679
П-II-2	18,779	18,284	0,974		0,988		0,965
П-II-3	18,28	18,253	0,999		1,015		0,991
П-III-1	15,69	17,349	1,106	18,551	1,182	18,124	1,155
П-III-2	15,66	16,608	1,0605		1,117		1,157
П-III-3	16,002	17,158	1,072		1,159		1,133

Методика, що заснована на використанні повної діаграми деформування бетону, дозволяє розраховувати теоретичні прогини з урахуванням точного значення жорсткостей на всіх етапах роботи.

Для експериментальної схеми - балки на двох опорах, завантаженої двома зосередженими силами на відстані 1/3 прольоту від опор, теоретичний прогин визначали за формулою:

$$f = \frac{M \cdot l^2}{4 \cdot B_m}, \quad (1)$$

де B_m - жорсткість розрахункового перерізу при згині:

$$V_m = \frac{M}{\chi}, \quad (2)$$

M - момент несучої здатності, що обчислюється в залежності від положення нейтральної осі за розрахунковою методикою [7];

I - розрахунковий прольот плити.

Значення максимальних експериментальних і теоретичних прогинів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення теоретичних і експериментальних прогинів

Експериментальні значення f_{max} , м			f_{max} за методикою на основі повної діаграми стиску бетону, м	f_{max} по рекоме- ндаціях [1], м
Серія I	Серія II	Серія III		
0,02323	0,03299	0,03579	0,0336	0,0141

Співставлення експериментальних і теоретичних залежностей " $M - f$ " наведене на рисунку 3.

Згідно рис. 3, наведені результати розрахунків цілком відповідають характеру деформування експериментальних плит серії П-II до руйнування, що свідчить про спільність роботи настилу і бетону до високих ступіней навантаження і достатності прийнятого кроку поперечного армування 200 мм.

Відхилення максимального теоретичного прогину від експериментального, середнього в серії П, при цьому складає близько 6 %. Для плит серії П-III і П-I, відхилення максимального теоретичного прогину від експериментальних складає 8 і 33 % при відхиленні моменту несучої здатності 6,2 і 48 % відповідно. Великий відсоток відхилення в серії П-I пояснюється відсутністю анкерівки в прольоті плити.

Прогин, що визначається з використанням припущень і рекомендацій нормативної методики [1], може бути обчислений тільки для граничного стану і має занижене значення в порівнянні з прогином реальної конструкції, за рахунок неточного обчислення жорсткості перерізу (рис.3). Відхилення його зна-

чення від експериментального для плит другої і третьої серій складає – 55-60 %, першої серії – 30 % при значних відхиленнях несучої здатності.

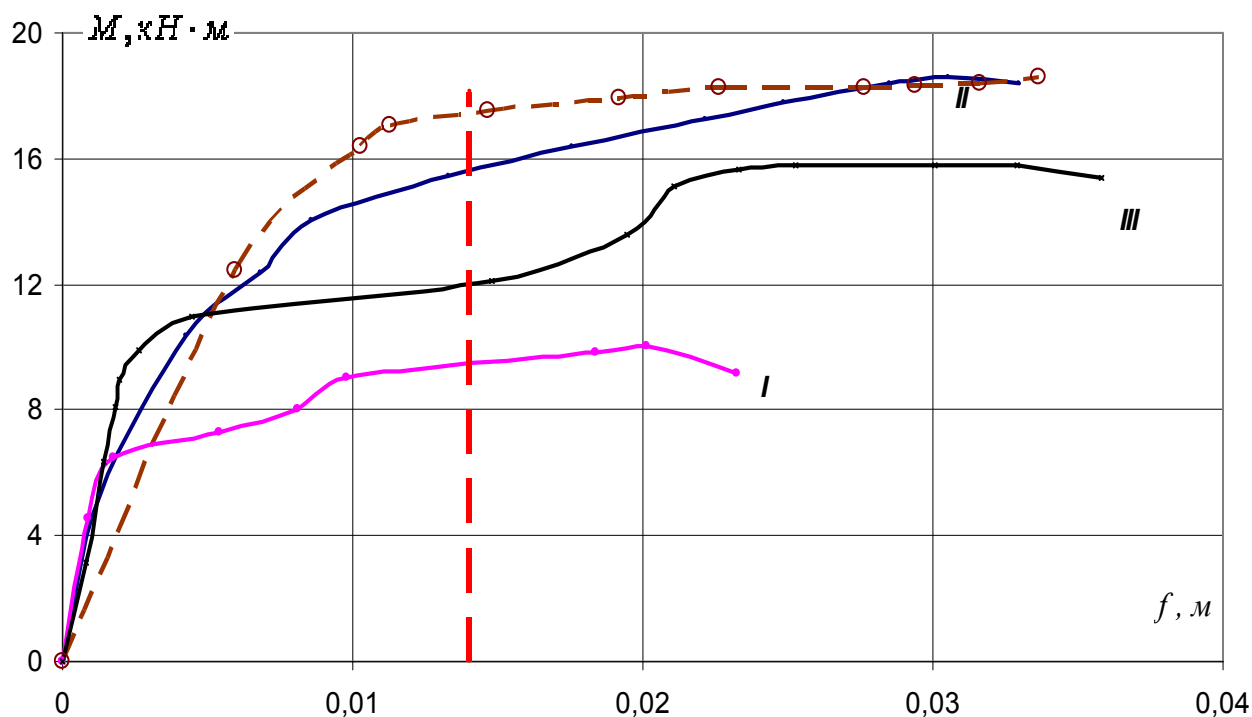


Рис. 3. Залежності "М – f" для плит I, II і III серій :

- - за даними випробувань;
- - розрахункові на основі повної діаграми деформування бетону [7];
- - розрахункові на основі прямокутних епюр розподілу напружень за висотою перерізу [1].

Результати зіставлення розроблених [6, 7] і діючої [1] розрахункових методик з експериментом показали, що для оцінки напружено-деформованого стану конструкції в стадії експлуатації найбільш достовірною здається методика з використанням параметрів повної діаграми стиску бетону і діаграми Прандтля для сталевго профнастила [7], а також методика, заснована на використанні діаграми Прандтля для бетону і СПН [6]. Методика [1] дозволяє правильно оцінити несучу здатність і деформативність плит лише в стадії руйнування за умови забезпечення спільної роботи бетону і сталевго профнастила в прольоті.

Зіставлення результатів експерименту з результатами розрахунку по розроблених методиках свідчить про достатність прийнятого кроку $S=200$ мм поперечного стрижньового армування плит у прольоті, що забезпечує спільність роботи бетону і СПН до досягнення граничних деформацій у бетоні стиснутої зони і деформацій плинності в сталевому профільованому настилі.

Виконана оцінка вірогідності запропонованих розрахункових методик свідчить про цілком задовільну збіжність обчислених і експериментальних величин M , χ і f для плит з поперечним армуванням.

Оцінка деформованого стану конструкцій плит, армованих сталевим профнастилом, здається найбільш обґрунтованою при використанні методики з повною діаграмою деформування бетону, як для визначення прогинів на будь-якій стадії навантаження, так і для обчислення достовірних значень жорсткостей.

Література

1. **Рекомендации** по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальными профилированными настилами. // НИИЖБ. – М., 1989.
2. **Воронков Р.В.** Железобетонные конструкции с листовой арматурой. Л.: Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1975. – 144с.
3. **Клименко Р.Е.** Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. К.: Будівельник, 1984. – 88с.
4. **Санников И.В.** Прочность и деформативность монолитных неразрезных плит с листовой гофрированной арматурой. // Бетон и железобетон, 1983. - №3. – С.32-34.
5. **Козарь В.І.** Розрахунок монолітних залізобетонних плит по сталевому профільованому настилу // Збірник наукових статей Полтавського державного технічного університету ім. Ю. Кондратюка „Проблеми теорії та практики залізобетону”. – Полтава: ПДТУ ім. Ю. Кондратюка, 1997. – С. 236 - 239.
6. **Давиденко А.И.,** Беляева С.Ю. Расчет железобетонной конструкции перекрытия, армированной стальным профилированным настилом, на основе упругопластической диаграммы работы материалов. // Вісник Придніпровської

державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2003. - №8. – С.10-15.

7. **Беляева С.Ю.**, Присяжнюк Н.В., Давиденко А.И. К вопросу совершенствования методики расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов, армированных стальным профилированным настилом. // Будівельні конструкції. – 2004. – вип. 60. – С. 542 -546.

8. **Беляева С.Ю.** Экспериментальные исследования железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом // Зб. наук. праць Донбас. технічн. ун-ту. – Вип. 20. – Алчевськ: «Ладо» ДонГТУ, 2005. – С. 344–348.

Belyaeva S.J.

Strength and stress-strain behavior research of concrete slabs reinforced with steel shaped flooring.

The results of experimental and theoretical research of concrete slabs, reinforced with steel shaped flooring have been stated, comparison and analysis of the obtained results have been carried out.

Keywords: concrete slab, steel shaped flooring, strength, deformation properties, real diagrams of deformation.

Відомості про автора

Беляева Світлана Юріївна – кандидат технічних наук. доцент кафедри "Будівельні конструкції" Донбаського державного технічного університету.