

**МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПО СТАЛЕВОМУ  
ПРОФІЛЬОВАНОМУ НАСТИЛУ**

**Воскобійник О.П., к.т.н., с.н.с., Череднікова О.В., аспірант**

*Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка, Україна*

**Вступ.** У сучасних будівлях та спорудах при зведенні та в експлуатації у якості незнімної опалубки досить широко застосовуються конструкції із сталевим профільованим настилом (СПН). Застосування СПН дає змогу підвищити жорсткість поперечного перерізу та несучу здатність опалубки. При цьому СПН необхідно враховувати в розрахунках, коли він розглядається як елемент зовнішнього армування, що працює спільно з бетоном.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Розрахункам конструкцій з СПН присвячені роботи Л.І.Стороженка [1], В.І. Козаря [2], О.В. Семка [3], С.Ю. Беляевой [4], С.Г. Шевчука [5], Н.В. Смоляннюк [6], М.В. Присяжнюка [7], М.П. Коваля [8] та інших авторів. Як зазначено у цих працях, однією з найважливіших з проблем, що виникають при проектуванні конструкцій з СПН, є забезпечення надійної сумісної роботи бетону та сталі, та її врахування в розрахунках.

**Постановка завдання.** На будівництві не завжди приділяють належну увагу цьому аспекту, що призводить до того, що вже під час зведення доводиться змінювати щойно збудовану конструкцію будівлі та підсилювати її. Звідси випливає мета даної роботи - дослідити напружено-деформований стан сталебетонної конструкції з профільованим настилом на стадіях монтажу та експлуатації, враховуючи при цьому можливе її підсилення.

**Основна частина.** В рамках даних досліджень розглядалась конструкція сталезалізобетонного перекриття прольотом 6 м, що складається з монолітної керамзитобетонної плити по профільованому настилу товщиною 0,7 мм марки ПН92312 (рис. 1).

Для визначення несучої здатності плити проводився ряд розрахунків, які стосувалися визначення параметрів напружено-деформованого стану під час її зведення та в експлуатації. Відповідно до цього розглядалась робота двох окремих конструкцій - профільованого листа із

навантаженням у вигляді керамзитобетону (стадія монтажу) та сталезалізобетонної плити в цілому при дії експлуатаційного навантаження.

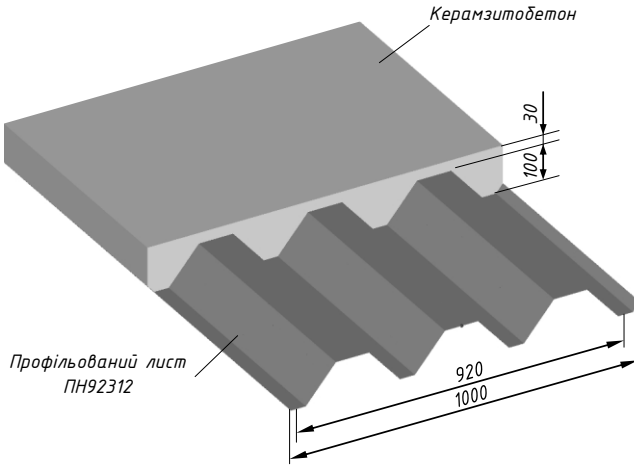


Рис. 1. Конструкція сталезалізобетонної плити

Розрахунки проводилися як за рекомендаціями [9], так і за методом скінчених елементів (МСЕ). Це дозволило визначити недоліки та переваги, кожного з цих методів при розрахунках сталезалізобетонних конструкцій із СПН, а також розробити підходи для адекватного моделювання і розрахунку таких конструкцій за допомогою МСЕ. Додатково виконувалася перевірка втрати місцевої стійкості СПН при відшаруванні від бетону. При розрахунках за допомогою МСЕ передбачалась можливість моделювання прослизання СПН відносно бетону при його відшаруванні.

При розрахунках за МСЕ були використані як плоскі (Plate), так і тривимірні (Solid) скінчені елементи. Плоскими скінченими елементами моделювався СПН, а тривимірними - керамзитобетон. При цьому розбиття сітки було таким, що вона містила тільки шестигранні (Hex) скінчені елементи. Це дозволило покращити точність розрахунків та зменшити їх час порівняно із використанням пірамідальних (Tet) скінчених елементів.

Також, при моделюванні за допомогою МСЕ між поверхнею СПН та бетоном був змодельований контакт, що дозволяв змінювати його властивості у нормальному та тангенціальному напрямках, за допомогою чого і моделювалося прослизання. На рис. 2 наведена скінчено-

елементна модель, що використовувалася при розрахунках на експлуатаційне навантаження. Монтажне навантаження дорівнювало 2750 Н/м<sup>2</sup>, а експлуатаційне - 4100 Н/м<sup>2</sup>.

В розрахунках були використані наступні механічні характеристики матеріалів:

для бетону класу С8/10 -  $E = 18$  ГПа;  $\mu = 0.15$  ;

для СПН -  $E = 210$  ГПа;  $\mu = 0.3$  .

Моделювання напружено-деформованого стану СПН виконувалося за допомогою так званого статичного аналізу, в основі якого лежить пружна модель роботи матеріалу. Відповідно, без врахування пластичності матеріалу отримані результати можуть бути перевищувати границю матеріалу, і на це обов'язково треба звертати увагу.

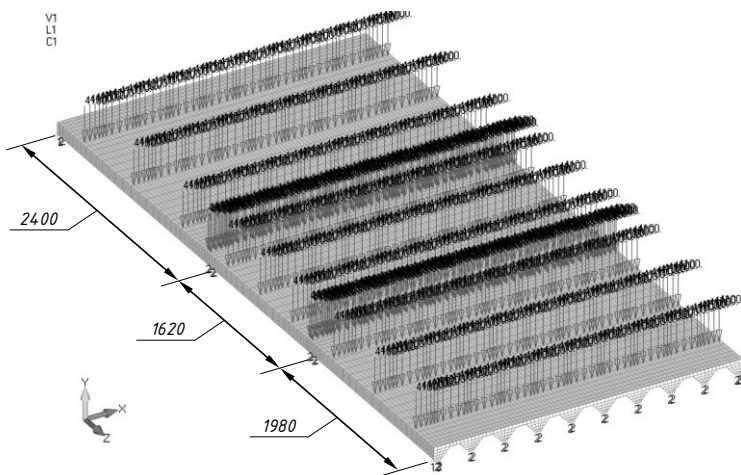


Рис. 2. Скінчено-елементна модель при розрахунках на експлуатаційне навантаження

Як показали результати розрахунків (рис. 3), вже на стадії монтажу конструкція втрачає несучу здатність і не витримує вагу керамзитобетону. При цьому напруження значно перевищують границю міцності матеріалу.

Окрім перевірки несучої здатності проводилася перевірка втрати стійкості профільованим настилом. При цьому з'ясувалося, що стійкість втрачається набагато раніше ніж втрата несучої здатності при навантаженні 310 Н/м<sup>2</sup>. При цьому прогини дорівнюють 25.9 мм (рис. 4).

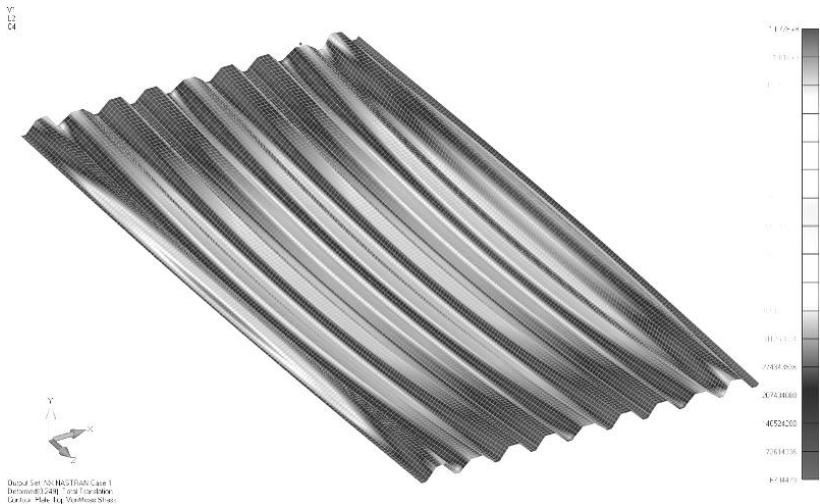


Рис. 3 Напружено-деформований стан СПН на стадії монтажу

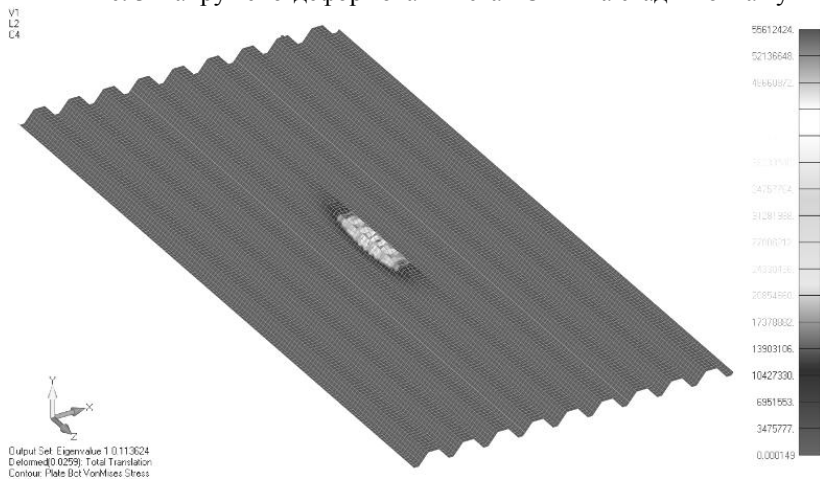


Рис. 4 Напружено-деформований стан СПН при втраті стійкості на стадії монтажу

Із виконаних розрахунків робимо висновок, що вже на стадії монтажу конструкція потребує підсилення.

Проаналізувавши можливі експлуатаційні навантаження та варіанти підсилення конструкції, було вирішено встановити два додаткових швелери на відстанях 2400 та 1980 мм від протилежних країв СПН

(рис. 2). Таким чином була збільшена жорсткість конструкції, а сама вона перетворилася на статично невизначену.

Після підсилення були зроблені розрахунки всієї плити під експлуатаційним навантаженням (рис. 5). Максимальні напруження виникали на опорах і становили: у бетоні - 2.14 МПа; у СПН - 44.6 МПа. Найбільші прольотні прогини при цьому дорівнювали 0.4 мм. Як бачимо, напруження при експлуатації конструкції не перевищують граничних величин  $f_{cd} = 6$  МПа, тобто несуча здатність забезпечена. Розрахунок конструкції за методикою [9] дає несучу здатність перерізу у 7535 Н м, у той час як максимальний опорний момент дорівнює 5941 Н м.

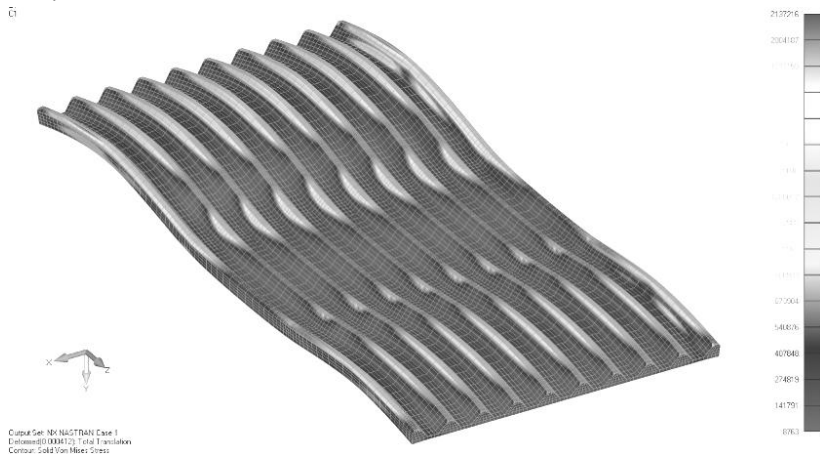


Рис. 5 Напружено-деформований стан керамзитобетону при експлуатаційному навантаженні з підсиленням (вид знизу)

Окрім цього, запропонований авторами підхід при моделюванні контакту на межі матеріалів дозволяє виявити ефект просадки опорних зон СПН (рис. 6) та його відшарування від бетону (рис. 7). Дослідження цих ефектів буде проводитися в наступних роботах і не є матеріалом цієї статті.

Отримані, як за рекомендаціями [9], так і за МСЕ результати показали, що конструкція не втрачає несучу здатність, а близькість результатів свідчить про адекватність обох моделей. Однак, методи, розглянуті у [9], не дають можливості досліджувати напружено-деформований стан СПН і бетону, так як призначені тільки для перевірки міцності та деформативності залізобетонних конструкцій.

## Висновки

Таким чином, проведені розрахунки дозволили врахувати сумісну роботу бетону та сталевого профільованого настилу та розробити та розробити рекомендації щодо проектування такого типу конструктивних елементів. Підходи, що були використані при моделюванні за допомогою МСЕ, дозволили, з одного боку, розробити адекватні моделі роботи залізобетонних конструкцій, що можуть бути поширені не тільки на конструкції з СПН, а з іншого боку, - визначили шляхи подальших досліджень, а саме - врахування зсувних деформацій, що виникають на межі контакту сталь-бетон.

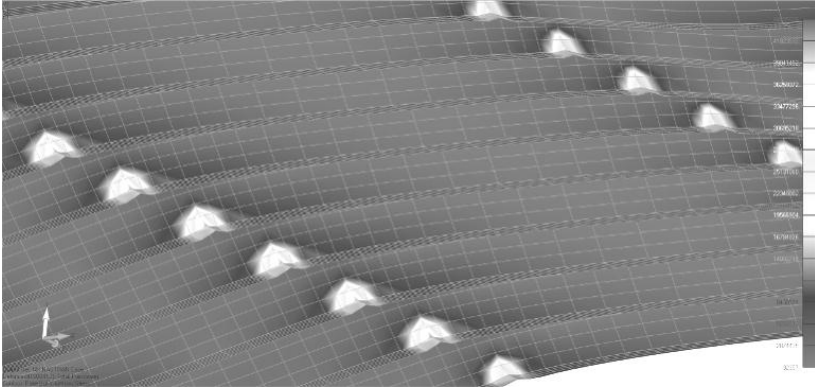


Рис. 6. Просадка опорних поверхонь СПН внаслідок відшарування від бетону

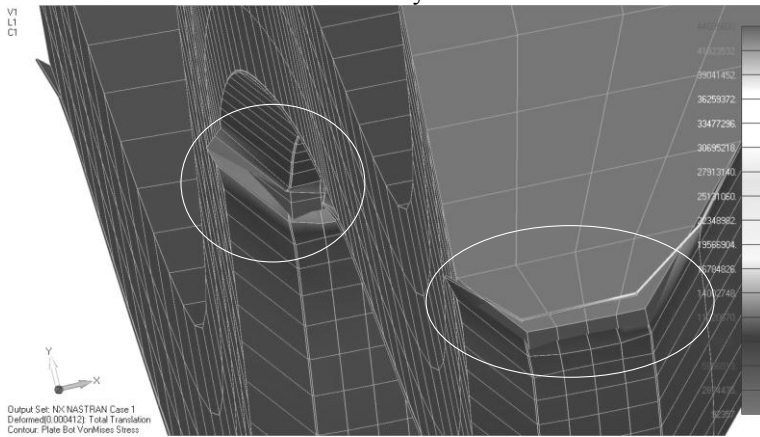


Рис. 7 Зони відшарування СПН від бетону та зона втрати місцевої стійкості (масштаб збільшено)

## Summary

**The article covers the study of the stress-strain state of a steel-concrete structure with a profiled decking at the stages of erection and operation, taking into account its possible reinforcement. The article includes a finite-element model developed, which enabled studying structural behaviour and the conditions under which slippage and detachment of a profiled decking from concrete occurs.**

## *Література*

1. Стороженко Л. І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко. - Полтава: АСМІ, 2008. - 312 с.
2. Козарь В. І. Монолітні залізобетонні плити по сталевому профільованому настилу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / В. І. Козарь. - Полтава, 1999. - 19 с.
3. Семко О. В. Експериментальні дослідження несучої здатності гнучких анкерів у сталезалізобетонних конструкціях / О. В. Семко // Збірних наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). - Вип. 15. - Полтава: ПолтНТУ, 2005. - С. 66 - 71.
4. Беляева С. Ю. Міцність і деформативність залізобетонних плит, армованих сталевим профільованим настилом і поперечними анкерами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / С.Ю.Беляева. - Київ, 2006. - 20 с.
5. Шевчук С. Г. Несуча здатність та деформативність сталебетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування із хвилястих настилів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / С.Г.Шевчук. - Львів, 2010. - 21 с.
6. Смоляннюк Н. В. Напружено-деформований і граничний стани сталебетонних плит перекриття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / Н. В. Смоляннюк. - Харків, 2003. - 22 с.
7. Присяжнюк Н. В. Исследования напряженно-деформированного состояния многопустотных железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом / Н. В. Присяжнюк // Дороги і мости: збірник наукових праць. В 2-х томах: Т. II. - К.: ДерждорНДІ, 2007 - Вип. 7. - С. 133 - 136.
8. Коваль М. П. Випробування плити проїзної частини із зовнішнім армуванням автодорожнього залізобетонного моста / М. П. Коваль // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". - Львів: в-во НУ "ЛП", 2010. - №662. - С. 245 - 253.
9. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом. - Москва: Стройиздат, 1987 - 37 с.