

# МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ КАНАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Дмитро СМОРКАЛОВ<sup>1</sup>, Володимир ВІНОКУР<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037  
<sup>1</sup>smorkalov.dv@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7890-2686>  
<sup>2</sup>vinokur-vova@i.ua, <https://orcid.org/0009-0002-3218-5620>

**Анотація.** Проблема підсилення залізобетонних конструкцій залишається однією з ключових у сучасному будівництві, особливо з огляду на зростання експлуатаційних навантажень, фізичний знос, а також наслідки стихійних лих та військових дій. Попередньо напружені канати дають змогу не лише підвищити міцність конструкцій, а й продовжити їхній термін служби, забезпечуючи еко-міцну доцільність ремонту чи реконструкції.

В даній статті наведено основні методи розрахунку таких монолітних залізобетонних конструкцій з використанням програмних комплексів SCAD Office, LIRA-SAPR, SOFiSTiK.

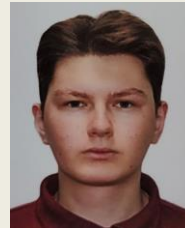
Основною перевагою використання попередньо напружених канатів є їх здатність рівномірно розподіляти навантаження у конструкції, зменшуючи ризик виникнення тріщин і знижуючи деформації. Удосконалення методів розрахунку, завдяки використанню програмних комплексів, дозволяє оптимізувати ці процеси, забезпечуючи точність та ефективність інженерних рішень.

В Україні спостерігається все ширше впровадження сучасних і ефективних методів будівництва, що демонструється зростанням популярності технологій, таких як використання попередньо напруженої арматури у монолітних залізобетонних конструкціях. Це сприяє підвищенню якості, довговічності та надійності будівель, а також оптимізації витрат матеріалів і ресурсів. Такий підхід формує нові стандарти у будівництві та забезпечує конкурентоспроможність на міжнародному ринку.



**Дмитро СМОРКАЛОВ**

доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, к.т.н., доцент



**Володимир ВІНОКУР**

здобувач III -го рівня вищої освіти (Ph.D)

Основною метою роботи є сприяння поширенню, дослідженню та впровадженню технологій монолітного будівництва з використанням попередньо напруженої канатної арматури. Важливим аспектом є створення сучасної нормативної бази, яка дозволить ефективно проектувати та будувати такі конструкції. Це допоможе підвищити рівень надійності, довговічності та безпеки будівельних об'єктів, а також сприятиме розвитку інноваційних рішень у будівельній сфері України.

**Ключові слова:** попередньо напружені монолітні залізобетонні конструкції; методи підсилення; програмні комплекси; post-tensioning; канат; анкер; розрахунок конструкцій.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

В умовах військових дій на території України особливого значення набуває питання

підсилення існуючих або пошкоджених будівель та споруд, які зазнали руйнувань через бойові дії

Відновлення інфраструктури, зокрема підсилення об'єктів, здатних забезпечити безпеку та витримувати нові навантаження, є надзвичайно актуальним завданням. Звичні методи ремонту та відновлення будівель не забезпечують необхідного рівня міцності, довговічності та адаптації до нових реалій і умов підвищених навантажень.

Підсилення несучих конструкцій у пошкоджених будівлях потребує сучасних технічних рішень. Зокрема, для створення великопрольотних структур, необхідних для організації укриттів або складів, можливе використання попередньо напружених канатів. Використання таких матеріалів дозволяє підвищити міцність конструкцій та відновити їх функціональність навіть після значних пошкоджень.

Особливу увагу слід приділити багатопверховим спорудам, які зазнали руйнувань у міській забудові. Монолітні залізобетонні каркаси, які раніше вважалися складними для ремонту, можливо активно відновлювати за допомогою новітніх технологій, зокрема за рахунок використання попередньо напружених арматурних канатів. Це дає змогу не лише відновити початкові характеристики конструкцій, але й значно підвищити їх стійкість до ударних навантажень та вібрацій, що можуть виникати під час подальших бойових дій.

Актуальність досліджень у цьому напрямі зумовлена необхідністю розробки ефективних методик підсилення конструкцій із використанням попередньо напруженого армування, що можуть бути оптимізовані за допомогою програмних комплексів для розрахунку та моделювання. Такі технології демонструють високу ефективність у підвищенні несучої здатності та довговічності конструкцій, що є критично важливим для забезпечення безпеки населення.

На жаль, в Україні дослідження методів підсилення плитних конструкцій з використанням попередньо напруженого залізобетону проводиться обмеженою кількістю фахівців [1...12]. Відсутність нормативної

бази для цих процесів додатково ускладнює їх реалізацію. Продовження наукових розробок у цій сфері є стратегічно важливим для відновлення та захисту інфраструктури країни.

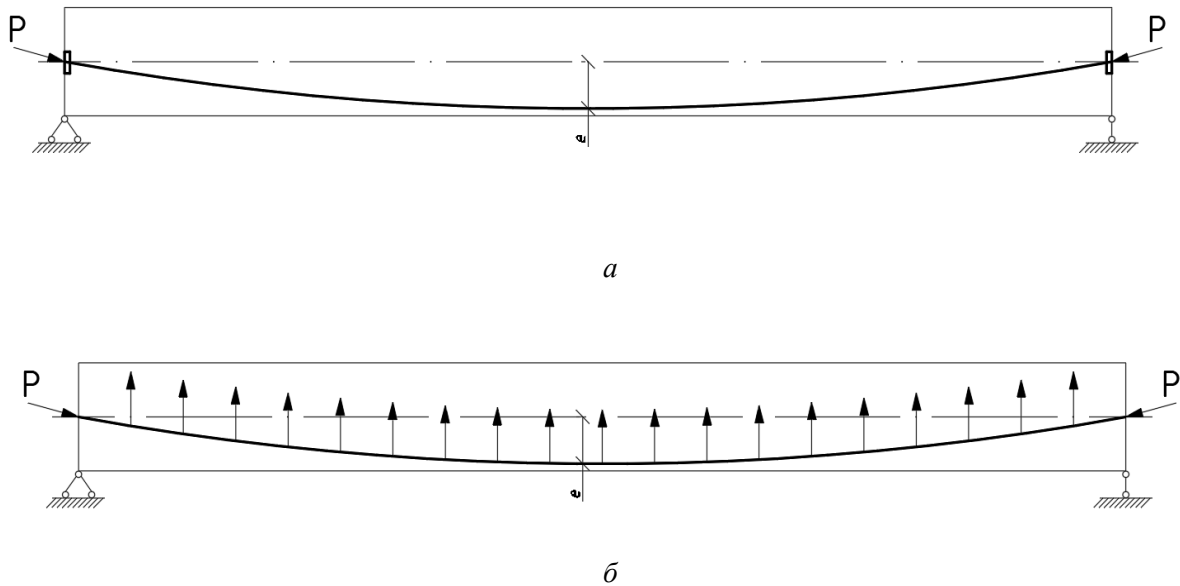
Одним із важливих аспектів є необхідність гармонізації українських нормативних актів [13...16] з вимогами Євросоюзу [17], що дозволить забезпечити відповідність сучасним міжнародним стандартам і полегшить інтеграцію в європейське будівельне середовище.

## ОСНОВНА КОНСТРУКТИВНА ІДЕЯ

У міжнародній практиці, зокрема в країнах Євросоюзу, технологія застосування канатної арматури для створення попереднього напруження в монолітних залізобетонних конструкціях отримала назву «постнапруження» або «post-tensioning». Цей термін широко використовується в офіційних нормативних документах, що визначають вимоги до елементів, які використовуються для реалізації постнапруження [18, 19].

Основний принцип роботи, що відображений на рис. 1, полягає в тому, що під час виконання арматурних робіт між верхньою та нижньою сіткою арматури розміщується арматурний канат, який знаходиться всередині спеціальної оболонки. Канат утримується в певному криволінійному положенні, яке відповідає епюрам згинальних моментів конструкції. Це забезпечує рівномірний розподіл напружень у конструкції та дозволяє ефективно передавати навантаження через попередньо напружене армування.

В головній ролі виступає арматурний канат К7, який представлений в кількох варіантах діаметрів, зокрема 15,2 мм та 15,7 мм. Під час монтажу канат укладається в спеціально спроектовані арматурні каркаси та закріплюється на кінцевих точках елемента за допомогою анкерних систем і затискних пристроїв (цанг). Натягування каната відбувається за допомогою гідравлічного обладнання, що дозволяє забезпечити необхідний рівень напруги для оптимальної роботи конструкції, підвищуючи її міцність і стабільність у процесі експлуатації.

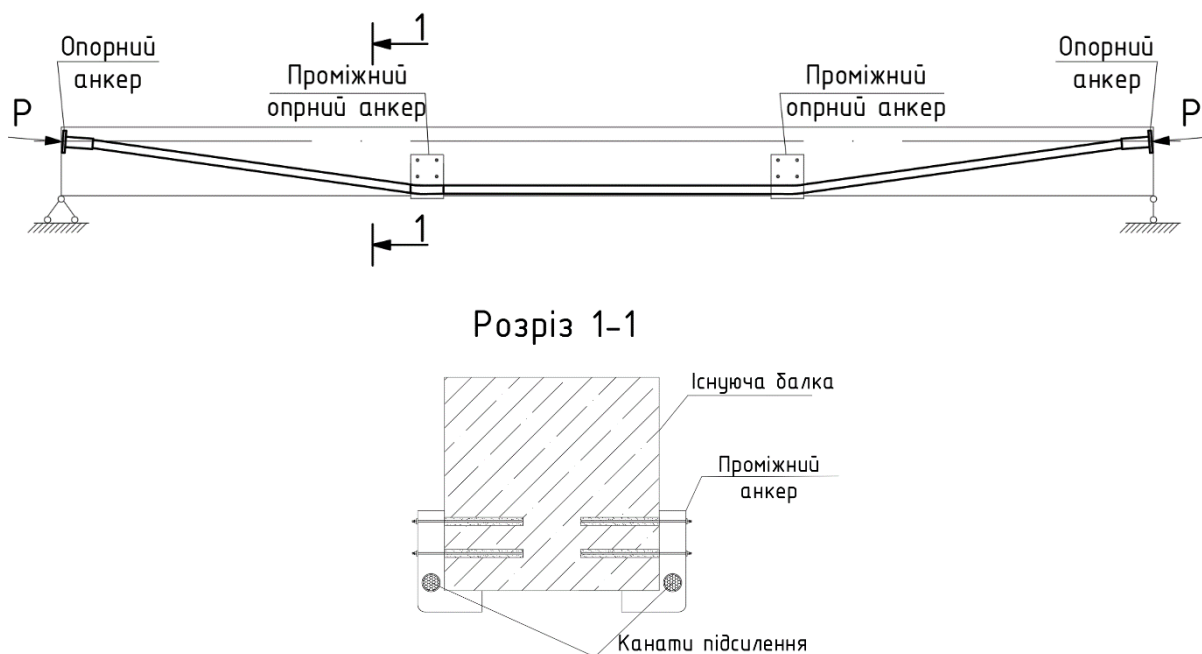


**Рис. 1.** Принципова схема розташування попередньо напружених канатів (а) та реактивні зусилля від попереднього напруження (б).  
**Fig. 1.** Schematic diagram of the location of post-tensioning ropes (a) and reactive forces from post-tensioning (б).

Підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою попередньо напружених арматурних канатів може бути здійснене за двома основними методами:

- Підсилення за рахунок встановлення зовнішніх канатів, що в українській практиці).

наближається до методу шпренгельних затяжок, який у зарубіжних джерелах позначається як «Reinforcing external post-tensioning». (див. рис. 2

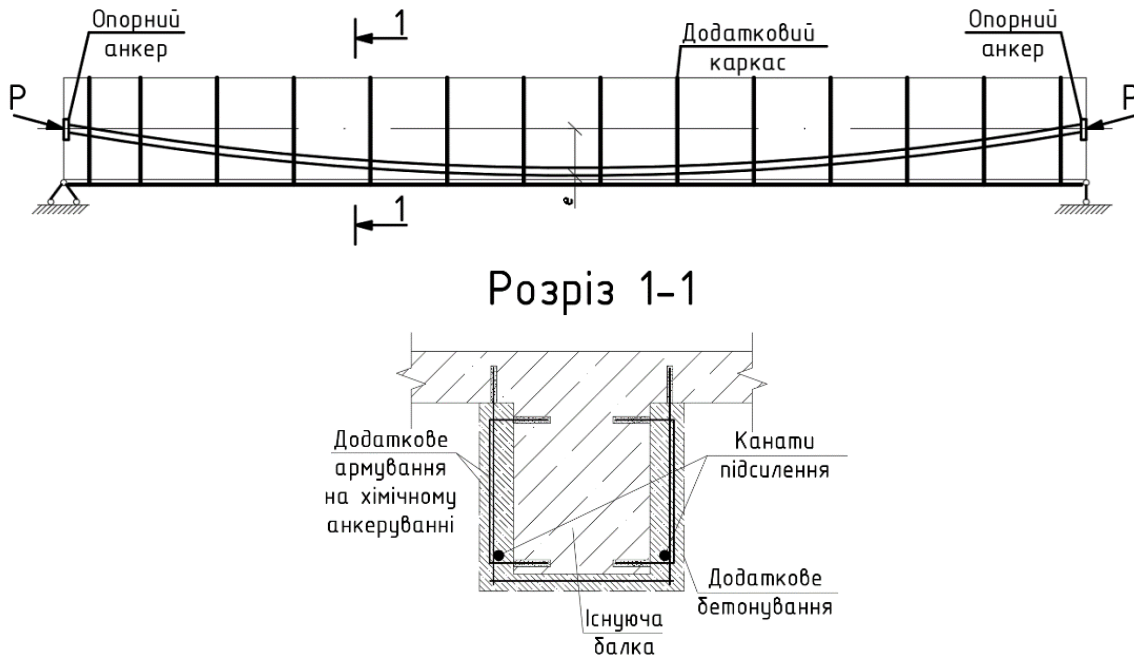


**Рис. 2.** Принципова схема підсилення за допомогою встановлення зовнішніх канатів  
**Fig. 2.** Schematic diagram of reinforcement by installing external ropes

Цей підхід передбачає використання зовнішніх натягнутих елементів, таких як сталеві канати або стрічки, які розміщуються на поверхні конструкції та піддаються натягу. Це дозволяє зміцнити конструкцію, не вносячи змін у її основну структуру, що робить цей метод економічно ефективним і

практичним для ремонту та посилення існуючих будівель.

- Підсилення за допомогою встановлення попередньо напружених арматурних канатів з подальшим бетонуванням, відомий у міжнародних джерелах як «Reinforcing internal post-tensioning». (див. рис. 3).



**Рис. 3.** Принципова схема підсилення за допомогою встановлення внутрішніх канатів  
**Fig. 3.** Schematic diagram of reinforcement by installing internal ropes

Цей метод є ефективною технологією зміцнення бетонних споруд. Цей метод передбачає інтеграцію сталевих канатів або арматури всередину бетонних елементів, таких як колони, балки чи плити, після чого канати натягуються, що дозволяє створити попереднє напруження в конструкції. Це збільшує міцність та жорсткість елементів, зменшує їх прогин і підвищує стійкість до динамічних навантажень, таких як землетруси. Технологія широко застосовується як при будівництві нових об'єктів, так і при ремонті та реконструкції існуючих споруд.

Для ефективного проектування та підсилення конструкцій із використанням попередньо напружених арматурних канатів необхідно враховувати численні фактори, що впливають на їхню поведінку під навантаженням. Складність таких задач

вимагає застосування сучасних інструментів для інженерного аналізу, які забезпечують точність розрахунків та надійність рішень.

Сучасні програмні рішення, такі як LIRA, SOFiSTiK, SCAD Office та інші, дозволяють проводити точні розрахунки поведінки залізобетонних конструкцій з урахуванням складних факторів, включаючи нелінійність матеріалів, довготривалі ефекти, геометричну нестабільність тощо. Крім того, ці програмні комплекси дозволяють здійснювати моделювання процесів напруження арматурних канатів, що забезпечує високий рівень оптимізації та надійності підсилених конструкцій.

Дані розрахунки можливо виконувати за допомогою двох методів. В якості вихідних даних для розрахунку прийняті експери-

ментальні дослідження Петрика Ю.М. [20]. У даному дослідженні як об'єкт моделювання використано нерозрізну балку із залізобетону класу міцності С25/30 з поперечним перерізом 800×750 мм, що представлено на рисунку 4. Сили попереднього натягу складають 209 кН. Навантаження на балку:

- рівномірно розподілене – 8.83 кН/м<sup>2</sup>.
- максимальний прогин складає – 3.04 мм

Балка була обрана як типова конструкція для оцінки ефективності різних підходів до моделювання та розрахунків.

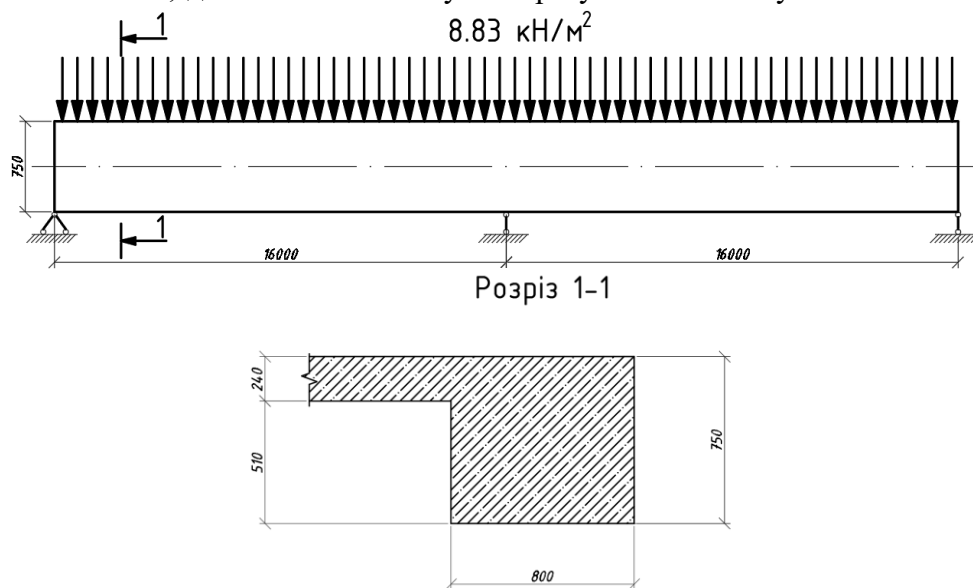
Розрахунки виконувались для двох варіантів конструктивного представлення елементів:

- моделювання за допомогою пластинчастих елементів, де елементи канату

закріплюються у вузлових точках. Цей метод дозволяє детально врахувати розподіл напружень у плиті та локальну взаємодію між канатом і бетонною основою;

- моделювання за допомогою стержневих елементів, яке передбачає закріплення канату у вузлових точках. Такий підхід дозволяє спростити моделювання та забезпечити точне врахування впливу канату на жорсткість і несучу здатність конструкції.

Такий підхід дозволяє порівняти точність і ефективність кожного методу для визначення напружено-деформованого стану конструкції, а також оцінити вплив обраного способу моделювання на кінцеві результати аналізу.



**Рис. 4.** Розрахункова балка  
**Fig. 4.** Design beam

#### Розрахунок за допомогою LIRA-SAPR

Провівши розрахунок даної балки на сумісну дію попереднього напруження та навантажень за допомогою програмного комплексу LIRA-SAPR (загальна схема наведена на рис. 5), були отримані наступні результати:

1. Максимальні переміщення в характерних вузлах конструкції склали -2.97 мм (див. рис. 7). Цей результат вказує на незначний прогин конструкції, що повністю

відповідає теоретичним очікуванням для подібного типу монолітних залізобетонних конструкцій із попередньо напруженим армуванням. Методика пластинчастого моделювання дозволяє більш точно врахувати просторовий розподіл напружень і деформацій у конструкції, тому отримані значення є ближчими до реальних.

2. Моделювання за допомогою балочних елементів (див. рис. 8). Максимальні переміщення характерних вузлів склали -4.59 мм (див. рис. 8). Ця методика є менш

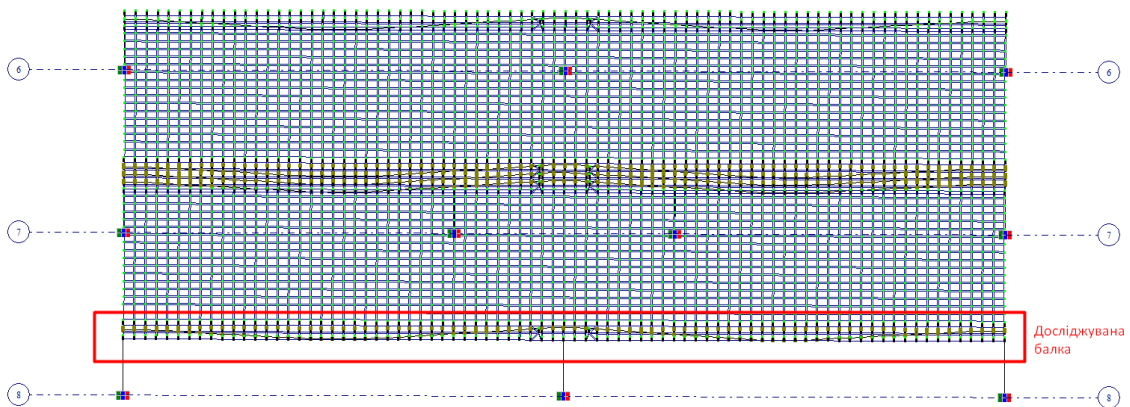
точною, оскільки спрощує взаємодію між армуванням і бетоном, що може призводити до певного завищення значень переміщень.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав, що розбіжності між методами викликані різним ступенем врахування розподілу напружень у конструкції. Метод пластинчастого моделювання забезпечує більше ступенів свободи, що дозволяє точніше відтворити геометрію та фізичні властивості конструктивних елементів, тоді як балочний підхід спрощує моделювання і

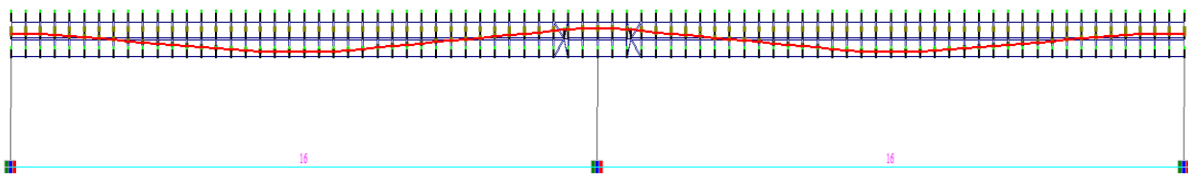
не відображає повною мірою реальну взаємодію армування і бетону.

Подібні відмінності є допустимими в інженерній практиці, оскільки вибір методики залежить від мети розрахунків.

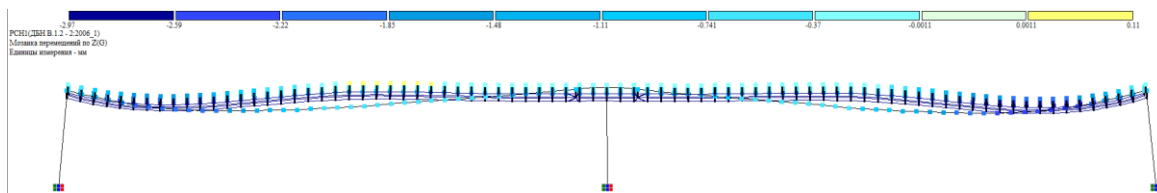
Отримані результати підтверджують доцільність застосування пластинчастих моделей для високоточного аналізу роботи конструкцій. Однак у практиці, де пріоритетом є швидкість розрахунків, балочний метод залишається ефективним інструментом.



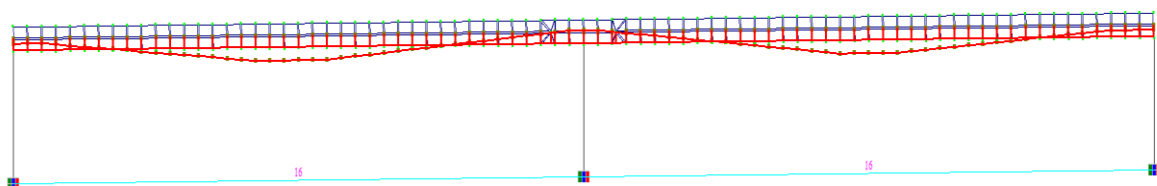
**Рис. 5.** Загальний вигляд розрахункової схеми  
**Fig. 5.** General view of the calculation scheme



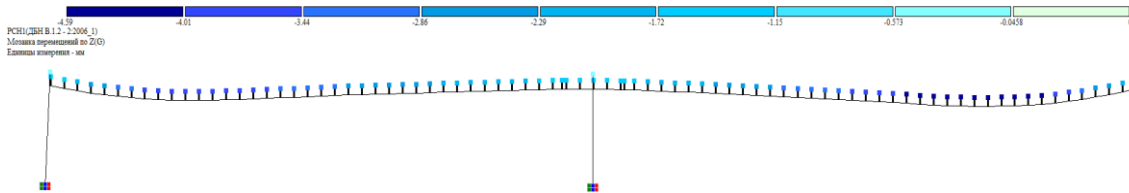
**Рис. 6.** Розрахункова схема з моделюванням балки пластинчастими елементами  
**Fig. 6.** Calculation scheme with beam modeling using plate elements



**Рис. 7.** Розрахункова схема на сумісну дію попереднього напруження та навантажень  
**Fig. 7.** Calculation scheme for the combined action of prestressing and loads



**Рис. 8.** Розрахункова схема з використанням стержневих елементів  
**Fig. 8.** Calculation scheme using rod elements



**Рис. 9.** Розрахункова схема з використанням стержневих елементів на сумісну дію попереднього напруження та навантажень

**Fig. 9.** Calculation scheme using rod elements for the combined action of prestressing and loads

### Розрахунок за допомогою SCAD Office

Провівши розрахунок даної балки на сумісну дію попереднього напруження та навантажень за допомогою програмного комплексу SCAD Office (загальна схема наведена на рис. 10), були отримані наступні результати:

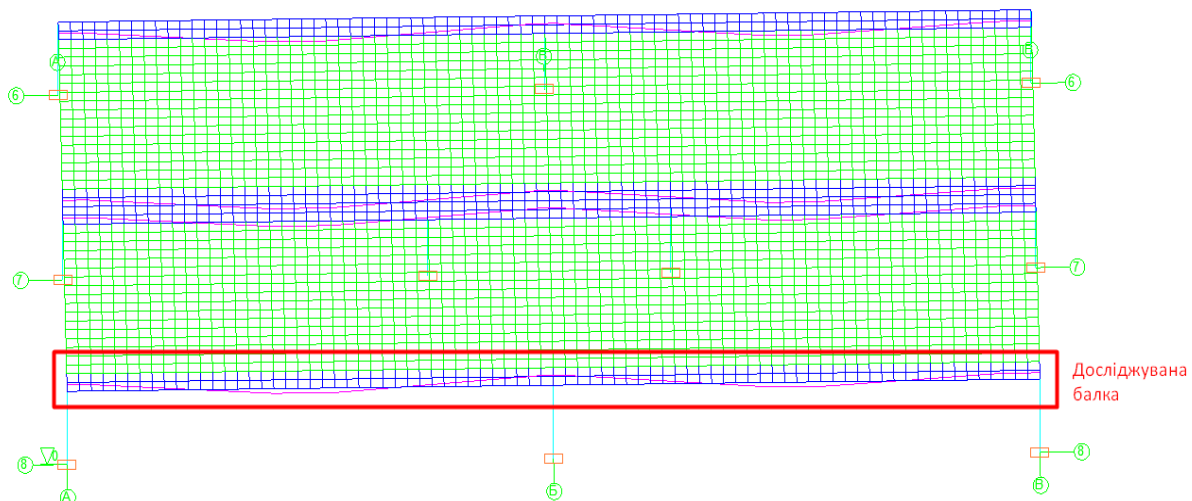
1. моделювання за допомогою пластинчастих елементів (див. рис. 9) Максимальні переміщення в характерних вузлах конструкції склали -3.13 мм (див. рис. 12). Ці значення демонструють мінімальний прогин, що цілком відповідає очікуванням для конструкцій, підсилених попереднім напруженням.
2. моделювання за допомогою балочних елементів (див. рис. 13) Максимальні переміщення в характерних вузлах конструкції склали -4.6 мм (див. рис. 14). Цей підхід демонструє більші значення прогинів, що є наслідком

спрощення взаємодії між бетоном і армуванням, а також нехтування частиною ступенів свободи конструкції.

В даному випадку спостерігається подібність результатів з розрахунковим комплексом LIRA-SAPR. Різниця між отриманими значеннями для пластинчастого моделювання та моделювання із балочних елементів пояснюється відмінностями у врахуванні розподілу напружень і рівня деталізації моделі.

Пластинчасте моделювання доцільно використовувати в задачах, де критично важливим є високий рівень точності, наприклад, при проєктуванні конструкцій із попереднім напруженням, які працюють у складних умовах.

Моделювання за допомогою балочних елементів є прийнятним для попередніх інженерних оцінок або в умовах, коли точність результатів не є визначальною, а швидкість і зменшення обчислювальних витрат мають пріоритет.



**Рис. 10.** Загальний вигляд розрахункової схеми

**Fig. 10.** General view of the calculation scheme

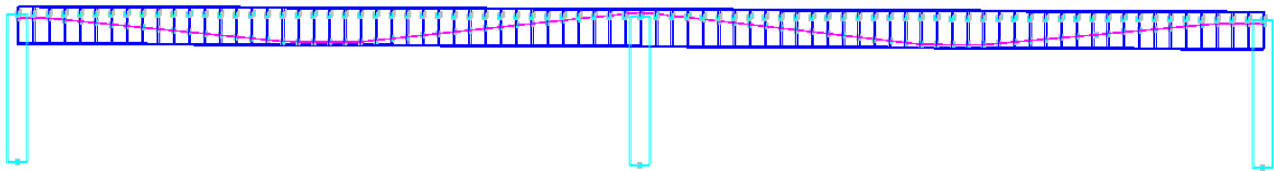
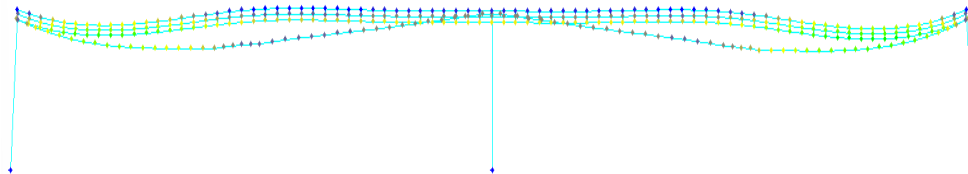


Рис. 11. Розрахункова схема з моделюванням балки пластинчастими елементами

Fig. 11. Calculation scheme with beam modeling using plate elements



|   |       |       |    |   |
|---|-------|-------|----|---|
| ✓ | -3.13 | -2.93 | 6  | █ |
| ✓ | -2.93 | -2.73 | 4  | █ |
| ✓ | -2.73 | -2.53 | 13 | █ |
| ✓ | -2.53 | -2.32 | 13 | █ |
| ✓ | -2.32 | -2.12 | 17 | █ |
| ✓ | -2.12 | -1.92 | 17 | █ |
| ✓ | -1.92 | -1.72 | 14 | █ |
| ✓ | -1.72 | -1.51 | 21 | █ |
| ✓ | -1.51 | -1.31 | 40 | █ |
| ✓ | -1.31 | -1.11 | 22 | █ |
| ✓ | -1.11 | -0.91 | 15 | █ |
| ✓ | -0.91 | -0.7  | 61 | █ |
| ✓ | -0.7  | -0.5  | 33 | █ |
| ✓ | -0.5  | -0.3  | 4  | █ |
| ✓ | -0.3  | -0.1  | 28 | █ |
| ✓ | -0.1  | 0.11  | 19 | █ |

Рис. 12. Розрахункова схема на сумісну дію попереднього напруження та навантажень

Fig. 12. Calculation scheme for the combined action of prestressing and loads

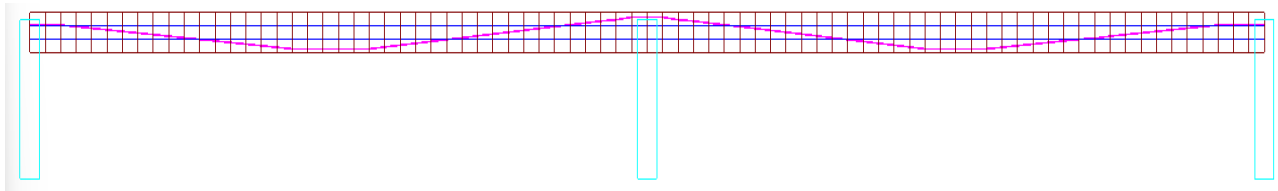
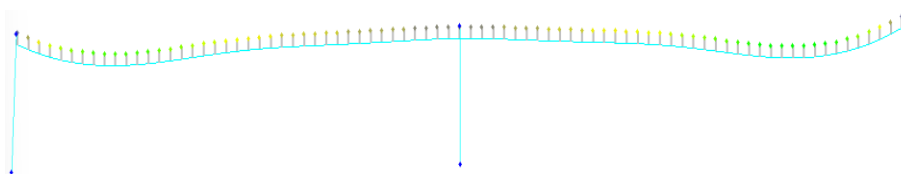


Рис. 13. Розрахункова схема з використанням стержневих елементів

Fig. 13. Calculation scheme using rod elements



|   |       |       |    |   |
|---|-------|-------|----|---|
| ✓ | -4.6  | -4.31 | 7  | █ |
| ✓ | -4.31 | -4.03 | 2  | █ |
| ✓ | -4.03 | -3.74 | 8  | █ |
| ✓ | -3.74 | -3.45 | 4  | █ |
| ✓ | -3.45 | -3.16 | 5  | █ |
| ✓ | -3.16 | -2.88 | 5  | █ |
| ✓ | -2.88 | -2.59 | 4  | █ |
| ✓ | -2.59 | -2.3  | 6  | █ |
| ✓ | -2.3  | -2.01 | 8  | █ |
| ✓ | -2.01 | -1.73 | 10 | █ |
| ✓ | -1.73 | -1.44 | 12 | █ |
| ✓ | -1.44 | -1.15 | 8  | █ |
| ✓ | -1.15 | -0.86 | 2  | █ |
| ✓ | -0.86 | -0.58 | 0  | █ |
| ✓ | -0.58 | -0.29 | 0  | █ |
| ✓ | -0.29 | 0     | 6  | █ |

Рис. 14. Розрахункова схема з використанням стержневих елементів на сумісну дію попереднього напруження та навантажень

Fig. 14. Calculation scheme using rod elements for the combined action of prestressing and loads



## Розрахунок за допомогою SOFiSTiK

Провівши розрахунок даної балки на сумісну дію попереднього напруження та навантажень за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK (загальна схема наведена на рис. 15), були отримані наступні результати:

- 1. моделювання за допомогою стержневих елементів (див. рис. 13).** Максимальні переміщення в характерних вузлах конструкції склали  $-2.71$  мм (див. рис. 14).

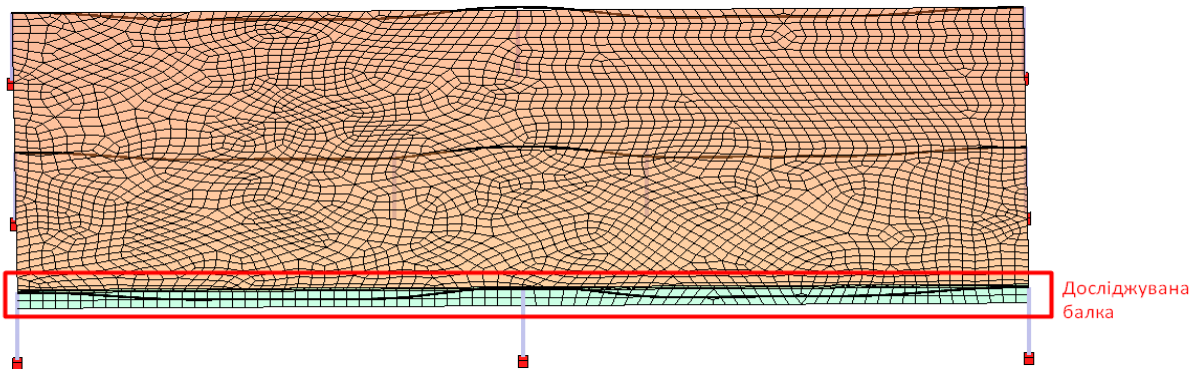
Результати моделювання балки за допомогою стержневих елементів підтверджують доцільність цього підходу для аналізу стандартних попередньо напружених конструкцій. Отримане максимальне переміщення в характерних вузлах конструкції ( $-2.71$  мм) свідчить про ефективність поперед-

нього напруження у компенсації згинальних деформацій та повністю відповідає теоретичним розрахункам для подібних систем.

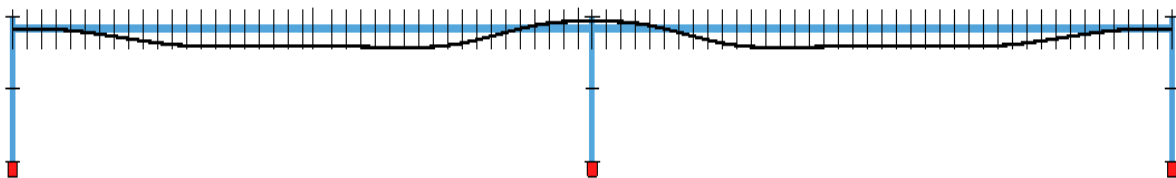
Стержневий підхід забезпечує баланс між точністю і швидкістю розрахунків, дозволяючи зосередитись на глобальній поведінці конструкції без надмірного ускладнення моделі.

Хоча цей підхід менш деталізований порівняно з пластинчастими чи об'ємними методами, він забезпечує достатню точність для попередніх розрахунків і оптимізації конструктивних рішень.

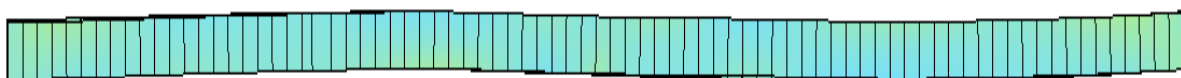
Таким чином, стержневий підхід у SOFiSTiK є ефективним і практичним для аналізу простих та стандартних конструкцій, де потрібно швидко і точно оцінити основні характеристики, залишаючи можливість для деталізації при необхідності.



**Рис. 15.** Загальний вигляд розрахункової схеми  
**Fig. 15.** General view of the calculation scheme



**Рис. 16.** Розрахункова схема балки  
**Fig. 16.** Beam design diagram



|     |   |      |        |
|-----|---|------|--------|
| min | 2 | 1    | -2.714 |
| max | 2 | 1169 | 1.521  |

**Рис. 17.** Розрахункова схема балки на сумісну дію попереднього напруження та навантажень  
**Fig. 17.** Beam design for combined action of prestressing and loads

## ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 1. Розрахунок за допомогою LIRA-SAPR

- Для пластинчастих елементів: максимальні переміщення -2.97 мм. Методика забезпечує високий рівень точності, враховуючи просторовий розподіл напружень, з похибкою 2.35% порівняно з експериментальними даними.

- Стержневе моделювання: максимальні переміщення -4.59 мм. Метод дає завищені значення переміщень через спрощену взаємодію бетону та армування. Підходить для попередніх оцінок, але не для точного аналізу. Результати мають значну похибку відносно експериментальних даних.

### 2. Розрахунок за допомогою SCAD Office

- Для пластинчастих елементів: максимальні переміщення -3.13 мм. Результати вказують на мінімальний прогин, що відповідає очікуванням для попередньо напружених конструкцій. Методика забезпечує детальне врахування напружено-деформованого стану, з похибкою 2.96% порівняно з експериментальними даними.

- Стержневе моделювання: Максимальні переміщення: -4.6 мм. Як і в LIRA-SAPR, стержневий підхід дає вищі значення прогинів через спрощену модель, що знижує точність. Підходить для швидких розрахунків, але результати мають значну похибку порівняно з експериментальними даними.

### 3. Розрахунок за допомогою SOFiSTiK

- Стержневе моделювання: максимальні переміщення -2.71 мм. Метод має покращену точність порівняно з LIRA-SAPR та SCAD Office, відповідає теоретичним розрахункам, підтверджуючи ефективність попереднього напруження. Забезпечує оптимальний баланс між точністю і швидкістю, придатний для стандартних конструкцій.

Похибка відносно експериментальних даних становить 12.1%.

## ВИСНОВКИ

Методи підсилення конструкцій із попередньо напруженими канатами є ефективним інструментом для швидкого відновлення пошкоджених споруд, зокрема в умовах бойових дій або екстремальних впливів. Зовнішнє постнапруження підвищує несучу здатність конструкцій, мінімізуючи втручання в їх основну структуру, що важливо для оперативного ремонту критичних об'єктів інфраструктури.

Розрахунки за допомогою різних методів моделювання, зокрема пластинчастих та стержневих елементів, показали достатню точність для інженерних задач. Різниця між результатами цих методів є незначною і прийнятною для практичного використання. Пластинчасте моделювання забезпечує більшу деталізацію, що робить його доцільним для складних конструкцій, а стержневий метод ефективний для попередніх оцінок.

Програмні комплекси, такі як SOFiSTiK, SCAD Office та LIRA-SAPR, демонструють високу ефективність у моделюванні конструкцій із попереднім напруженням, сприяючи оптимізації проєктування та забезпеченню точності розрахунків. Проте існує проблема порівняння результатів між різними програмами, що ускладнює вибір оптимального рішення.

Однією з основних проблем є відсутність єдиної національної методології розрахунків для конструкцій із попередньо напруженими канатами. Відсутність стандартизованих підходів та чітких рекомендацій для інженерів може призвести до нерівномірного використання ресурсів і різного рівня безпеки конструкцій.

Для вирішення цієї проблеми необхідно поглибити дослідження в галузі розрахунків попередньо напружених елементів, зокрема через натурні експерименти для верифікації комп'ютерних моделей. Такий підхід підвищить достовірність розрахунків та допо-

може розробити надійну методику проектування конструкцій із попереднім напруженням.

Планується проведення ряду експериментів, щоб порівняти розрахункові результати з реальними даними та сформувавши надійну методику для загального розрахунку залізобетонних елементів із підсиленням за допомогою канатів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Сморкалов Д.В.** Монолітні залізобетонні конструкції з попередньо напруженими канатами // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. КНУБА. - вип.10, 2022р. С. 136-142  
DOI: [10.32347/2522-4182.10.2022.136-142](https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.136-142)
2. **Сморкалов Д.В. Винокур В.С.** Методики розрахунку монолітних залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням арматурних канатів // *Збірник наук.праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика»*. КНУБА. - вип.12, 2023р. С. 73-83.  
DOI: [10.32347/2522-4182.12.2023.73-83](https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83)
3. **Сморкалов Д.В., Затилюк Г.А., Винокур В.С.** Підсилення монолітних залізобетонних Конструкцій з використанням попередньо Напружених арматурних канатів. // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ. 2024, Випуск 21, С. 224-234.  
DOI: [10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-24)
4. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсиленних зовнішньою напруженою арматурою. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр.* Київ, КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 193-198  
DOI: [10.32347/2522-4182.1.2017.193-198](https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.193-198)
5. **Журавський О. Д., Мельник І. В.** Робота монолітних залізобетонних плит з постнапруженою арматурою // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. - 2013. - № 755. - С. 135-138. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB\\_2013\\_7\\_55\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_7_55_27)
6. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Дослідження плоскої залізобетонної плити підсиленої зовнішньою напруженою арматурою // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр.* Київ, КНУБА, 2020. Вип. 7. С. 4-11  
DOI: [10.32347/2522-4182.7.2020.4-11](https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.4-11)
7. **Єсипенко А.Д., Михайлець О.С.** Системи попереднього напруження на бетон за допомогою канатної арматури. // *Будівельне виробництво*. Вип. №49, -2008. - С.102.
8. **Панченко О. В., Іваницький Я. Л., Кунь П. С., Журавський О. Д.** Визначення довговічності залізобетонних мостових балок, підсиленних композитними стрічками // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. - 2017. - Т. 53, № 5. - С. 73-77. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PKKhMM\\_2017\\_53\\_5\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PKKhMM_2017_53_5_12)
9. **Петрик Ю. М.** Оцінка стану використання монолітних залізобетонних перекриттів з напруженням канатної арматури на бетон (постнапруження) у сучасному будівництві України // *Науково-технічний, виробничий та інформаційно-аналітичний журнал* – 2017 – №5 – с.64-67
10. **Петрик Ю.М.** Впровадження в Україні монолітних залізобетонних конструкцій з напруженням канатної арматури на бетон (постнапруження) та їх натуральні випробування. // *Містобудування та територіальне планування*. Вип. 61.К-КНУБА.-2016р. С. 335-342  
Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2016\\_61\\_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_61_42)
11. **Петрик Ю.М., Бамбура А.М.** та ін. Натурні випробування інноваційного рішення збірно-монолітного перекриття з пустотними попередньо напруженими плитами та прихованими ригелями. // *Наука та будівництво №2 (12), 2017р.* 19-25с.
12. **Петрик Ю.М.** Впровадження в Україні монолітних залізобетонних конструкцій з напруженням канатної арматури на бетон (постнапруження) та їх натурні випробування // *Містобудування та територіальне планування*. Вип. 61 – 2016. 335-342 с.
13. **Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморкалов Д.В.** Розрахунок за міцністю нормальних та похилих до поздовжньої осі перерізів згинальних елементів за ДБН В.2.6-98:2009 // *Навчальний посібник.-К.:КНУБА, 2011. 96 с.*
14. **ДБН В.2.6-98:2009.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 71с.
15. **ДСТУ Б.В.2.6-156:2010** Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування– *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 166с.
16. **ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010** Єврокод 2 Проектування залізобетонних конструкцій Частина 1-1. Загальні правила і правила для

споруд

17. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and rules for building*
18. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. – 82p
19. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 06/0022, - 2016. – 47p

## REFERENCES

1. **Smorkalov D.V.** Monolitni zalizobetonni konstruktsii z poperedno napruzhenymy kanatamy // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, KNUBA, Vyp.-10, 2022. S. 136-142. DOI: [10.32347/2522-4182.10.2022.136-142](https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.136-142)
2. **Smorkalov D.V., Vynokur V.S.** Metodyky rozrakhunku monolitnykh zalizobetonnykh konstruktsii z poperednim napruzheniam armaturnykh kanativ // *Zbirnyk nauk.prats «Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka»*. KNU-BA.-vyp.12, 2023r. S. 73-83. DOI: [10.32347/2522-4182.12.2023.73-83](https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83)
3. **Smorkalov D.V., Zatyliuk H.A., Vynokur V.S.** Pidsylennia monolitnykh zalizobetonnykh Konstruktsii z vykorystanniam poperedno Napruzhenykh armaturnykh kanativ. // *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Lutsk, LNTU*. 2024, Vypusk 21, S. 224-234. DOI: [10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-24)
4. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunok ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka: zb. nauk. pr. Kyiv, KNUBA, 2017. Vyp. 1. S. 193-198.* DOI: [10.32347/2522-4182.1.2017.193-198](https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.193-198)
5. **Zhuravskiy O. D., Melnyk I. V.** Robota monolitnykh zalizobetonnykh plyt z postnapruzhenoiu armaturoiu // *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Teoriia i praktyka budivnytstva. - 2013. - № 755. - S. 135-138. Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB\\_2013\\_75\\_5\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_75_5_27)*
6. **Zhuravskij O.D., Timoshuk V.A.** Doslidzhennya ploskoyi zalizobetonnoyi pliti pidsilenoyi zovnishnoyu napruzhenoyu armaturoyu // *Budivelni konstruktsii. Teoriya i praktyka: zb. nauk. pr. Kiyiv, KNUBA, 2020. Vip. 7. S. 4-11* DOI: [10.32347/2522-4182.7.2020.4-11](https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.4-11)
7. **Yesipenko A.D., Mihajlec O.S.** Sistemi poperednogo napruzheniya na beton za dopomogyu kanatnoyi armaturi. // *Budivelne virobnictvo. Vip. №49, -2008.- S.102.*
8. **Panchenko O. V., Ivanytskyi Ya. L., Kun P. S., Zhuravskiy O. D.** Vyznachennia dovhovichnosti zalizobetonnykh mostovykh balkok, pidsylenykh kompozytnymy strichkami // *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv. - 2017. - T. 53, № 5. - S. 73-77. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM\\_2017\\_53\\_5\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2017_53_5_12)*
9. **Petryk Yu. M.** Otsinka stanu vykorystannia monolitnykh zalizobetonnykh perekryttiv z napruzheniam kanatnoi armatury na beton (post napruzhenia) u suchasnomu budivnytstvi Ukrainy // *Naukovo-tekhnichnyi, vyrobnychiy ta informatsiino-analitychnyi zhurnal – 2017 – №5 – s.64-67*
10. **Petrik Yu.M.** Vprovadzhennya v Ukrayini monolitnih zalizobetonnih konstrukcij z napruzheniyam kanatnoyi armaturi na beton (postnapruzheniya) ta yih naturalni viprobuvannya. // *Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya. Vip. 61.K-KNUBA.-2016r. S. 335-342*
11. **Petrik Yu.M., Bambura A.M.** ta in. Naturni viprobuvannya innovacijnogo rishennya zbirno-monolitnogo perekryttya z pustotnimi poperedno napruzhenimi plitami ta prihovanimi rigelyami. // *Nauka ta budivnictvo №2 (12), 2017r. 19-25s. Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2016\\_61\\_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_61_42)*
12. **Petrik Yu.M.** Vprovadzhennya v Ukrayini monolitnih zalizobetonnih konstrukcij z napruzheniyam kanatnoyi armaturi na beton (postnapruzheniya) ta yih naturni viprobuvannya // *Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya. Vip. 61 – 2016. 335-342 s*
13. **Murashko L.A., Kolyakova V.M., Smorkalov D.V.** Rozrakhunok za micnistyu normalnih ta pohilih do pozdovzhnoyi osi pereriziv zginalnih elementiv za DBN V.2.6-98:2009 // *Navchalnij posibnik.-K.:KNUBA, 2011. 96 s.*
14. **DBN V.2.6-98:2009.** Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – *Minrehion Ukrainy. Kyiv, 2011. 71s.*
15. **DSTU-B.V.2.6-156:2010** Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazkogo betonu. Pravyla proektuvannya – *Minrehion Ukrainy. Kyiv, 2011. 166s.*
16. **DSTU-N B EN 1992-1-1:2010** Evrokod 2 Proektuvannya zalizobetonnih konstrukcij Chastina 1-1. Zagalni pravila i pravila dlya sporud
17. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and*

*rules for building*

18. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. –82p

19. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 06/0022, - 2016. –47p

## CALCULATION METHODS OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH POST-TENSION REINFORCING ROPES

*Dmytro SMORKALOV  
Volodymyr VYNOKUR*

**Summary.** The problem of reinforcing reinforced concrete structures remains one of the key ones in modern construction, especially in view of the increase in operational loads, physical wear, as well as the consequences of natural disasters and military actions. Prestressed ropes allow not only to increase the strength of structures, but also to extend their service life, ensuring the economic feasibility of repair or reconstruction.

This article presents the main methods for calculating such monolithic reinforced concrete structures using the SCAD Office, LIRA-SAPR, SOFiS-TiK software packages.

The main advantage of using prestressed ropes is their ability to evenly distribute the load in the struc-

ture, reducing the risk of cracks and reducing deformations. Improving calculation methods, through the use of software packages, allows you to optimize these processes, ensuring the accuracy and efficiency of engineering solutions.

In Ukraine, there is an increasing implementation of modern and effective construction methods, which is demonstrated by the growing popularity of technologies such as the use of prestressed reinforcement in monolithic reinforced concrete structures. This contributes to improving the quality, durability and reliability of buildings, as well as optimizing the consumption of materials and resources. This approach forms new standards in construction and ensures competitiveness in the international market.

The main goal of the article is to promote the dissemination, research and implementation of monolithic construction technologies using prestressed cable reinforcement. An important aspect is the creation of a modern regulatory framework that will allow for the effective design and construction of such structures. This will help to increase the level of reliability, durability and safety of construction sites, and will also contribute to the development of innovative solutions in the construction sector of Ukraine.

**Keywords:** prestressed monolithic reinforced concrete structures; strengthening methods; software complexes; post-tensioning; rope; anchor; structural calculation.

*Стаття надійшла до редакції 04.09.2024*