

DOI: 10.32347/2522-4182.12.2023.73-84
УДК 624.011

МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОПЕРЕДНІМ НАПРУЖЕННЯМ АРМАТУРНИХ КАНАТІВ

Дмитро СМОРКАЛОВ¹, Володимир ВІНОКУР²

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

Анотація. В Україні зараз спостерігається зростання використання технології "постнапруження" або "post-tensioning", яка полягає в застосуванні монолітних конструкцій з попередньо напруженими канатами. Вітчизняна будівельна практика використовує термін "попередньо напруженні залізобетонні конструкції з натягом канатної арматури на бетон". Технологія постнапруження є сучасним підходом до будівництва, який дозволяє створювати монолітні конструкції з великою міцністю і стійкістю. Її основна перевага полягає у використанні попередньо напружених канатів, які забезпечують додаткову міцність конструкції.

В даній статті наводяться основні методики розрахунку таких монолітних залізобетонних конструкцій і наводить досвід застосування цієї технології при будівництві громадських споруд в Україні.

Використання попередньо напружених залізобетонних конструкцій з натягом канатної арматури на бетон має численні переваги. Вони виявляються більш міцними, стійкими до деформацій і здатними підтримувати великі навантаження. Такі конструкції застосовуються в будівництві мостів, шляхопроводів, будівель висотних споруд та інших промислових та цивільних споруд.

У зростаючій мірі в Україні спостерігається прийняття сучасних та ефективних



Дмитро СМОРКАЛОВ

доцент кафедри
залізобетонних та кам'яних кон-
струкцій,
к.т.н., доцент



Володимир ВІНОКУР

магістр

методів будівництва, що підтверджується збільшенням використання цієї технології. Це сприяє поліпшенню якості і надійності будівельних конструкцій, а також забезпечує оптимальне використання матеріалів та ресурсів.

У цілому, стаття має на меті сприяти популяризації, вивченню і розвитку монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури на бетоні, а також створенню відповідного нормативно-правового середовища для їх проектування та будівництва. Це сприятиме підвищенню якості та безпеки будівельних конструкцій та забезпечить подальший прогрес у будівельній галузі України.

Ключові слова. Попередньо напружені монолітні залізобетонні конструкції; постнапруження; post-tensioning; канат; анкер;

© Д. СМОРКАЛОВ, В. ВІНОКУР, 2023

розрахунок конструкцій.

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Україна за останній період демонструє зростаючий інтерес до якісних комерційних приміщень, зокрема до торговельно-розважальних центрів та комплексів. За останні 10-15 років вимоги до торговельних комплексів суттєво змінилися. Тепер, на сучасному ринку, відкриття торговельного комплексу в адаптованій промисловій будівлі вже не відповідає новим стандартам. Сучасні торговельні комплекси повинні задовольняти не тільки естетичні вимоги, але й високі функціональні стандарти [1].

Для вирішення цього завдання необхідно створювати великі прольоти у несучих конструкціях будівельного каркасу, які іноді можуть перевищувати 20 метрів. Ця мета часто досягається шляхом використання металевих конструкцій або збірних залізобетонних елементів у каркасі будівлі [1].

Також, сучасні комплекси, особливо в міській забудові, зазвичай характеризуються багатоповерховою структурою. Виконання таких високоповерхових споруд з монолітним залізобетонним каркасом раніше становило значну складність, оскільки потрібні конструкції мали великі габарити, що обмежувало їх ефективне використання. Однак, саме монолітні залізобетонні конструкції набули значної популярності в Україні протягом останніх років [1].

Актуальність даного дослідження полягає в поширенні використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури на бетоні, а також у необхідності проведення досліджень таких конструкцій та відсутності вичерпних регулятивних документів для їх проектування.

Дослідження плитних попередньо напружених конструкцій в Україні займаються не багато дослідників [1...9] і продовження таких досліджень є досить актуальним.

У сучасній Україні виникає значна проблема, пов'язана з відсутністю вітчизняного

обладнання для реалізації даної технології на практиці, складністю проектування та обмеженою кількістю проектних організацій, які спеціалізуються на розрахунку конструкцій з постнапруженням арматури. Цей метод є досить новим для українських проєктувальників, тому вимагає детального та глибокого дослідження, особливо з введенням нових нормативних документів [10...13] і гармонізації з нормами Євросоюзу [14].

ОСНОВНА КОНСТРУКТИВНА ІДЕЯ

У закордонних джерелах, особливо в країнах Євросоюзу, технологія, що використовує канатну арматуру для створення напруження в монолітних залізобетонних конструкціях, називається "постнапруження" або "post-tensioning". Цей термін використовується в офіційному документі, що містить вимоги до елементів, що використовуються для здійснення постнапруження. [15, 16]

У процесі постнапруження, після досягнення встановленої міцності бетону, арматура піддається натягу. Дані канати розташовані відповідно епюри згинальних моментів. Цим самим створюючи реактивне зусилля.

Вимоги щодо міцності бетону для натягу канатів зазначаються у проєкті. Анкерні системи використовуються для закріплення арматури всередині бетону. Спеціальні кінцеві анкери встановлюються на кінцях конструкції, фіксують арматуру і передають сили попереднього напруження на бетон.

Принцип постнапруження зображено на рис. 1.

У будівництві, системи постнапруження з використанням канатної арматури є поширеним практичним рішенням.

Існують дві принципові схеми:

- Система постнапруження зі зчепленням напруженої арматури з бетоном
- Система постнапруження без зчеплення напруженої арматури з бетоном (див. рис.2, 3).

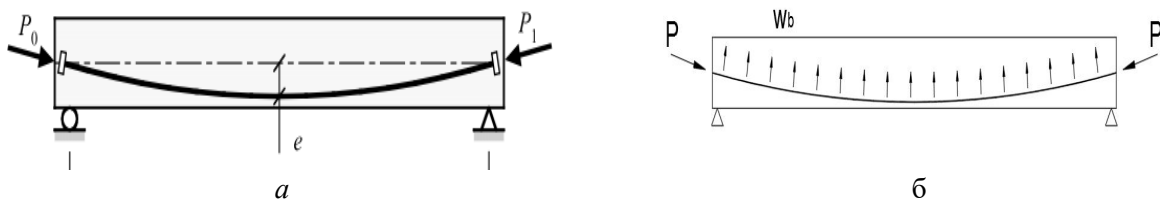


Рис. 1. Принципова схема розташування попередньо напружених канатів (а) та реактивні зусилля від попереднього напруження (б).

Fig. 1. Schematic diagram of the location of post-tensioning ropes (a) and reactive forces from post-tensioning (б).

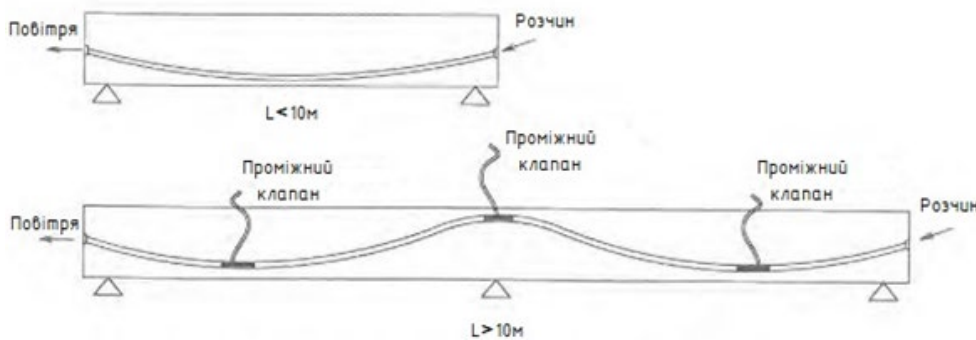


Рис. 2. Принципова схема постнапруження зі зчепленням напруженої арматури з бетоном

Fig. 2. Schematic diagram of post-tensioning with the connection of stressed reinforcement to concrete

У громадському будівництві в Україні використовується технологія без зчеплення канатів, оскільки вона є зручнішою, не вимагає складного ін'єктування порожнин і менше залежить від погодних умов, що дозволяє проводити будівництво протягом усього року. Попередньо напруженні канати використовують як плитах так і в балках.

Основна концепція цього методу полягає в тому, що під час арматурних робіт між верхньою та нижньою сіткою арматури встановлюється арматурний канат, який знаходиться всередині оболонки і затримується у криволінійному положенні відповідно до епюри згинальних моментів.



Рис. 3. Система постнапруження без зчеплення напруженої арматури з бетоном

Fig. 3. Post-tensioning system without coupling of stressed reinforcement to concrete

Основним елементом є арматурний канат К7 який використовується в декількох діаметрах а саме 15.2 та 15.7 мм (рис. 4). У

процесі арматурних робіт канат розташовується в арматурних каркасах і фіксується на торцях конструкції за допомогою анкерів та цанг. Натяг канату

здійснюється за допомогою гідравлічного обладнання



Рис. 4. Канат діаметром 15,7 мм для попередньо напружених конструкцій
Fig. 4. Rope with a diameter of 15.7 mm for post-tensioning structures

Розрахунок, як правило, виконують в програмних комплексах. В роботі використано ПК ЛІРА САПР

Якщо розглянути методики розрахунку то можливо виділити чотири а саме:

1. Методика розрахунку з моделюванням попередньо напружених канатів зміщених за допомогою жорсткої вставки (рис. 5)

2. Методика розрахунку з моделюванням попередньо напружених канатів зміщених за допомогою ПК САПФІР-3D (рис. 6)

3. Методика розрахунку з моделюванням реактивних сил від попереднього напруження (рис. 7)

4. Методика розрахунку з моделюванням об'ємних скінчених елементів (рис. 8)

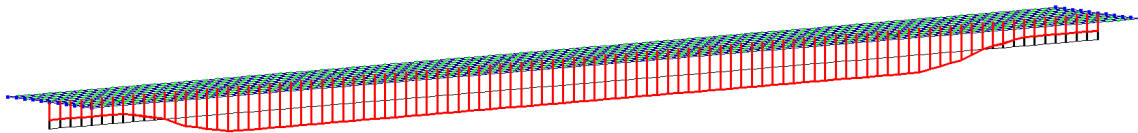


Рис. 5. Моделюванням попередньо напружених канатів зміщених за допомогою жорсткої вставки
Fig. 5. Simulation of prestressed ropes displaced by rigid insertion



Рис. 6. Моделювання канатів за допомогою ПК САПФІР-3D.
Fig. 6. Modeling ropes using the SAPFIR-3D

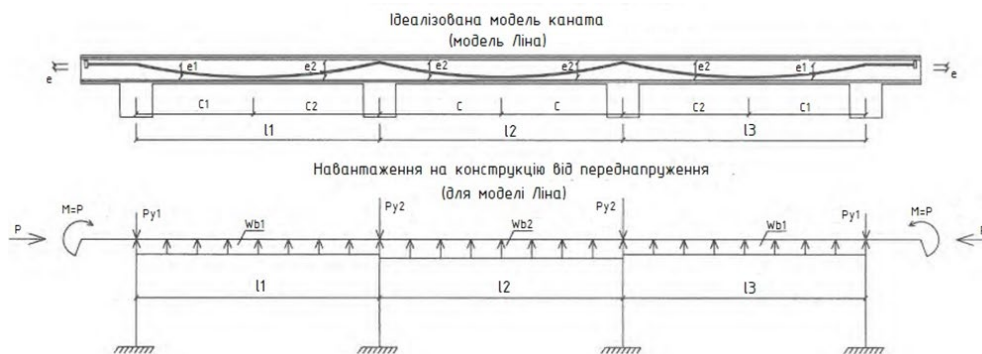


Рис. 7. Модель Ліна та навантаження на конструкцію
Fig. 7. Lin's model and load on the structure

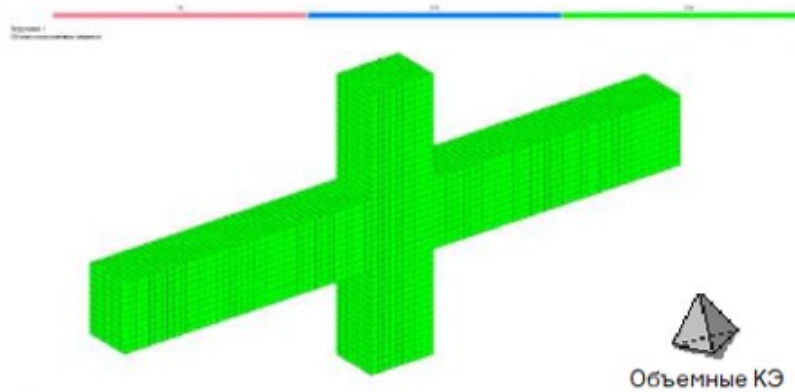


Рис. 8. Модель із об'ємно скінчених елементів з КЭ-236
Fig. 8. Model of volumetric finite elements from KE-236

**Методика розрахунку з
 моделюванням поперечно
 напружених канатів зміщених за
 допомогою жорсткої вставки**

В основі цієї методики лежить зміщення канатів по контуру епюри згинальних моментів, для моделювання найбільш точної роботи безпосередньо користувачем

в ПК ЛІРА. Основні етапи моделювання включають:

1. Побудова розрахункової моделі (моделювання основних фізико-механічних параметрів)
2. Моделювання жорстких вставок для канату з максимальним наближенням до епюри згинальних моментів (рис. 9)
4. Присвоєння навантаження за допомогою температурного впливу (рис. 10)

1: X1	1: Y1	1: Z1	2: X1	2: Y1	2: Z1	N
		-0.200			-0.220	1
		-0.220			-0.250	1
		-0.250			-0.270	1
		-0.270			-0.300	1
		-0.300			-0.350	1
		-0.350			-0.400	1
		-0.400			-0.420	1
		-0.420			-0.450	1
		-0.450			-0.470	1
		-0.470			-0.500	1
		-0.500			-0.470	1
		-0.470			-0.450	1
		-0.450			-0.420	1
		-0.420			-0.400	1
		-0.400			-0.350	1
		-0.350			-0.300	1
		-0.300			-0.270	1
		-0.270			-0.250	1
		-0.250			-0.220	1
		-0.220			-0.200	1
		-0.200			-0.200	14
		-0.500			-0.500	66
		-0.300			-0.300	100

Рис. 9. Параметри жорстких вставок елементів
Fig. 9. Parameters of rigid insertions of elements

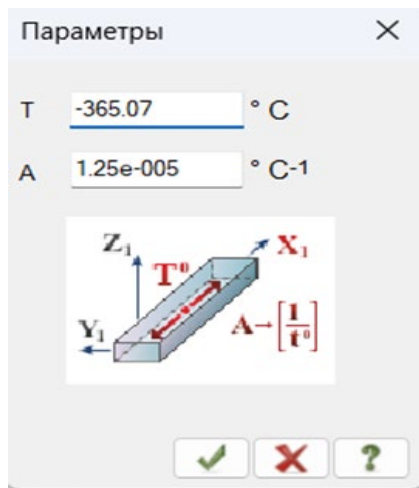


Рис. 10. Температурне навантаження, що діє на канат

Fig. 10. Temperature load acting on the rope

Методика розрахунку з моделюванням попередньо напружених канатів зміщених за допомогою ПК САПФІР-3D

В основі методики є моделювання канатів за допомогою ПК САПФІР з подальшою передачею даних в ЛІРУ-САПР.

Основні етапи моделювання включають:

.

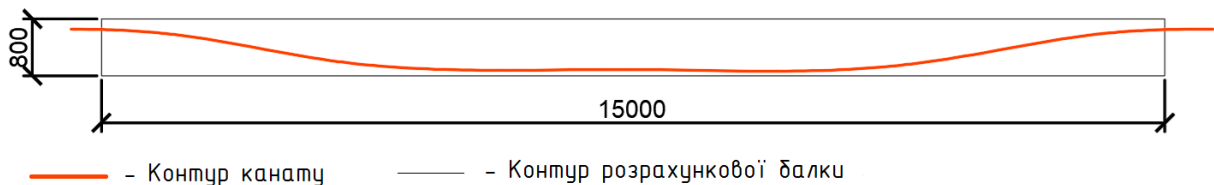


Рис. 11. Підложка в .dxf форматі

Fig. 11. Substrate in .dxf format

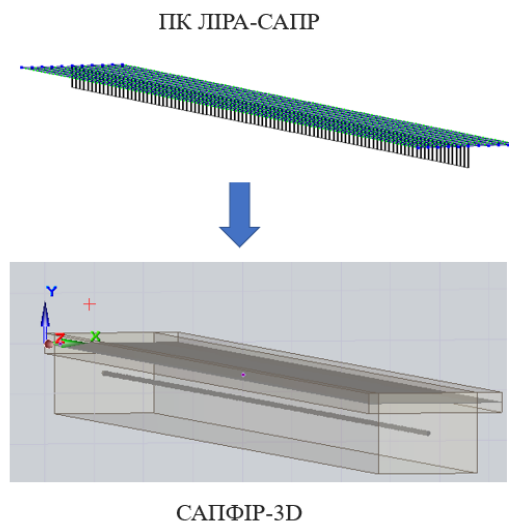


Рис. 12. Передача розрахункової моделі з ПК-ЛІРА САПР до САПФІР-3D

Fig. 12. Transfer of the calculation model from LIRA-SAPR to SAPFIR-3D

1. Моделювання підкладки в вигляді файлу .dxf (рис. 11) в якій змодельована балка та контур канату

2. Передача розрахункової моделі з ПК-ЛІРА САПР до САПФІР-3D (рис. 12)

3. Моделювання за допомогою «Нодів» зв'язку між .dxf підложкою і розрахункової моделі (рис. 13-14)

Після розрахунку за допомогою нодів можливо отримати основні дані для подальшого проектування постнапруження для 1-го канату

4. Передача результатів до ПК ЛІРА-САПР максимально наближеною схемою розташування канату (рис. 15)

Передавши розрахункову модель разом з канатом можливо отримати максимально наближене розташування канату відповідно до епюри згинальних моментів. Після розрахунку за допомогою нодів (рис. 14) можливо відразу перекладати температурні навантаження і отримати максимальні прогини після постнапруження елемента

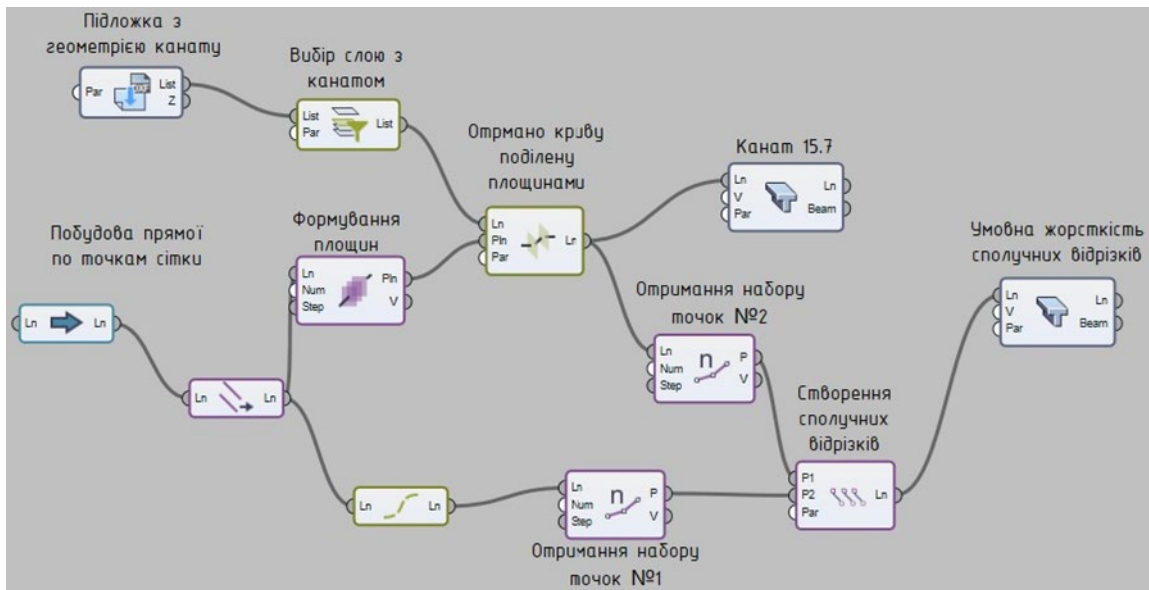


Рис. 13. Використані ноди для побудови зв'язків між підложкою та розрахунковою моделлю

Fig. 13. Nodes are used to build connections between the substrate and the calculation model

Расчет потерь каната			Основные значения
Нод Канат [261], выход 0			
Ar [mm ²]	1	150	1 - Переріз канату
teta [deg]	2	50	2 - Сума куткових переміщень
Lt [m]	3	17.73	3 - Довжина тросу
Pmax [kN]	4	221.40	4 - Максимальне напруження
DPmu [kN]	5	13.31	5 - 8 - Складові втрати 1-го роду
DPsl [kN]	6	14.85	9 - Сума втрат 1-го роду
DPel [kN]	7	2.24	12 - Початкова сила напруження
DPpr [kN]	8	0.00	13 - Відносне видовження канату
DP1 [kN]	9	30.39	14 - Втрати 2-го порядку
DG1 [MPa]	10	202.62	17 - Загальні втрати у %
DP1/Pmax [%]	11	13.73	18 - Натяг в тросі після всіх втрат
Pm0 [kN]	12	191.01	19 - Зусилля в тросі після всіх втрат
DI [mm]	13	115.79	20 - Температурний вираз напруги після всіх втрат
DP2 [kN]	14	30.26	
DG2 [MPa]	15	201.72	
DP2/Pmax [%]	16	13.67	
1-P/Pmax [%]	17	27.39	
P [kN]	18	160.75	
G [MPa]	19	1071.66	
T	20	365.07	
Err	21	-	

Экспорт в файл *.htm

Рис. 14. Основні дані при розрахунку 1-го канату

Fig. 14. Main data for the calculation of the 1 rope

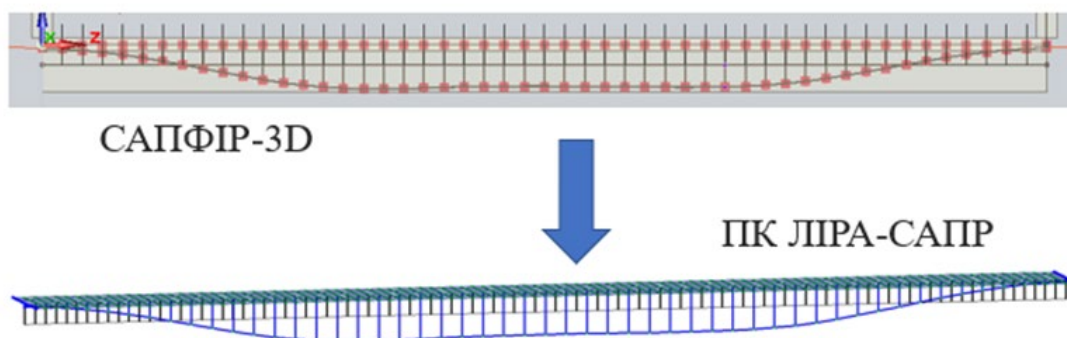


Рис. 15. Передача результатів до ПК ЛІРА-САПР

Fig. 15. Transmission of results to LIRA-SAPR

Методика розрахунку з моделюванням реактивних сил від попереднього напруження

В методиці відбувається заміна канту в розрахунковій моделі на реактивні сили що розподілені рівномірно по елементу і на торцях.

Дана модель поділяється на 3 види:

1. Ідеалізована модель або Модель Ліна (рис. 16)
2. Напівідеалізована модель (рис. 17)
3. Фактична модель (рис. 18)

Ідеалізована модель вперше була запропонована в середині 1950-х років американським вченим Ліном. Цей підхід

дозволяє надзвичайно просто і з високою точністю моделювати переднапруження в конструкції, завантажуючи її рівномірно розподіленими навантаженнями та зосередженими силами. Даний метод також називають методом «балансу навантаження»

Напівідеалізована модель враховує наявність прямолінійних ділянок напруженої арматури над колонами.

Фактична модель має більш поглиблений розрахунок, враховуючи точки перегину і ділянки нерівномірного навантаження, і найбільш наближена до фактичної роботи канатів в постанпруженні.

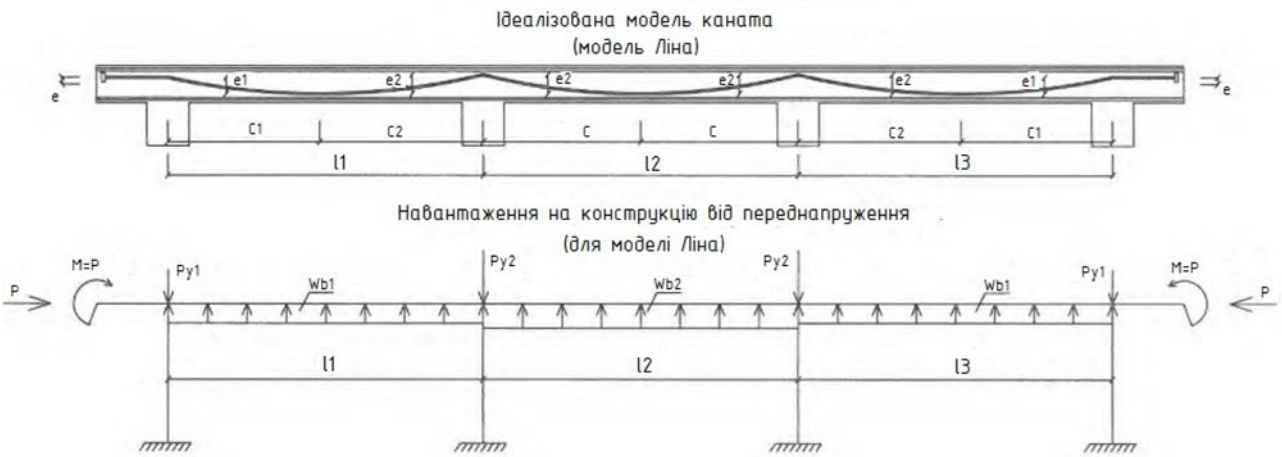


Рис. 16. Ідеалізована модель (Модель Ліна)
 Fig. 16. Idealized model (Lin's model)

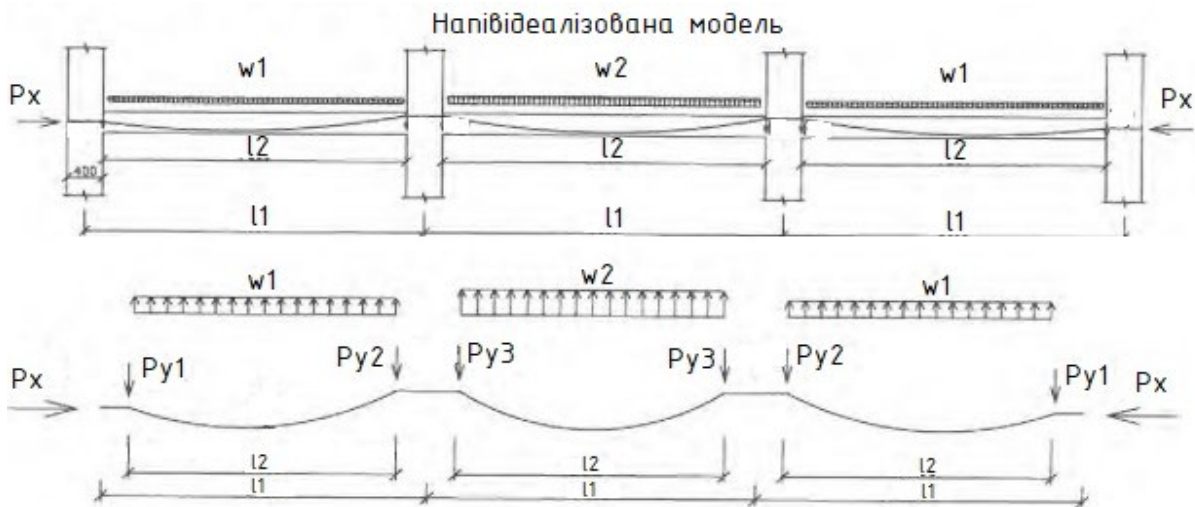


Рис. 17. Напівідеалізована модель
 Fig. 17. Semi-idealized model

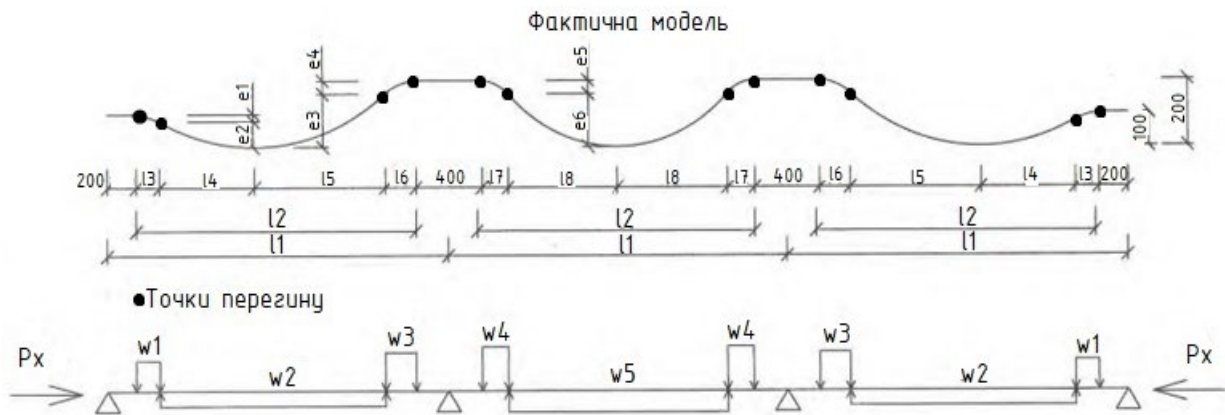


Рис. 18. Фактична модель

Fig. 18. Actual model

Методика розрахунку з моделюванням об'ємних скінчених елементів

Моделювання схеми за допомогою об'ємних елементів, в практичній діяльності майже не використовується, так як займає більше часу і ресурсів, але більш поширене своє застосування має в науковій діяльності з невеликими обсягами для розрахунку [17].

ВИСНОВКИ

Все більше людей виявляє зацікавленість у використанні технології попереднього напруження канатної арматури "на бетоні" і її застосування у будівництві постійно зростає.

Зараз актуальним завданням є проведення досліджень стосовно конструкцій, а також розробка методик розрахунку таких конструкцій. Велике значення досліджень полягає у можливості розширення використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури "на бетоні". Це передбачає необхідність дослідження таких конструкцій та розробку нових нормативних документів для їх проектування.

Застосування технології попереднього напруження "на бетоні" (постнапруження) у монолітних залізобетонних конструкціях перекриття дозволяє збільшити розміри між

несучими вертикальними елементами (колоннами та пілонами) і зменшити розміри поперечного перерізу балок та плит перекриття.

У деяких випадках використання цієї технології стає єдиним оптимальним рішенням з технічних і економічних міркувань. Дослідження монолітних попередньо напружених залізобетонних конструкцій мають велике значення і відкривають перспективи для подальшого масового використання.

Актуальною задачею є порівняння різних методик розрахунку попередньо напружених конструкцій, яку ми плануємо виконати в подальших дослідженнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Сморкалов Д.В.** Монолітні залізобетонні конструкції з попередньо напруженими канатами // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. КНУБА. - вип.10,2022р. С. 136-142
2. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсиленних зовнішньо напруженою арматурою. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр.* Київ, КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 193-198
3. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Розрахункова модель плоских залізобетонних плит, підсиленних зовнішньо напруженою арматурою. // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво.* - 2018. - № 19. - С. 41-45
4. **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
5. **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*
 6. **Єсипенко А.Д., Михайлець О.С.** Системи попереднього напруження на бетон за допомогою канатної арматури. // *Будівельне виробництво. Вип. №49, -2008.- С.102.*
 7. **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*
 8. **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.*
 9. **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.*
 10. **ДБН В.2.6-98:2009.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 71с.*
 11. **ДСТУ Б.В.2.6-156:2010** Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування– *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 166с.*
 12. **ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010** Єврокод 2 Проектування залізобетонних конструкцій Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд
 13. **Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморгалов 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. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and rules for building*
 15. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. – 82p
 16. **European Technical Approval** Post-

- Tensioning Systems 06/0022, - 2016. – 47p
17. **Козак О.В.** Розрахунок вузлів монолітних рам з напруженою арматурою на бетон в розрахунковому комплексі «ЛІРА-САПР» // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2019. Вип. 5. С. 32-38*
 18. **ETA - 05 / 0123** . Post - tensioning kit for prestressing of structures with bars , internal bonded and unbonded and external , 2005 .
 19. **Aalami, Bijan O.** Post-Tensioned Buildings: Design and Construction - *International Edition, 2014 – 404с.*

REFERENCES

1. **Smorkalov D.V.** Monolitni zalizobetonni konstruktsii z poperedno napruzheny my kanatamy // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka, KNUBA, Vyp.-10, 2022. S. 136-142.*
2. **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.*
3. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunkova model ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ah-rarnoho universytetu. Serii: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. - 2018. - № 19. - S. 41-45*
4. **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.*
5. **Zhuravskij O.D., Timoshuk V.A.** Doslidzhennya ploskoyi zalizobetonnoyi pliti pidsilenoyi zovnishnoyu napruzhenoju armaturoju // *Budivelni konstrukciyi. Teoriya i praktika: zb. nauk. pr. Kiyiv, KNUBA, 2020. Vip. 7. S. 4-11*
6. **Yesipenko A.D., Mihajlec O.S.** Sistemi poperednogo napruzhennya na beton za dopomogyu kanatnoyi armaturi. // **Budivelne vironictvo. Vip. №49, -2008.- S.102.**
7. **Petrik Yu.M.** Vprovadzhennya v Ukrayini monolitnih zalizobetonnih konstrukcij z napruzhennyam kanatnoyi armaturi na beton (postnapruzhennya) ta yih naturalni viprobuvannya. // *Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya. Vip. 61.К-КНУБА.-2016р. S. 335-342*

8. **Petrik Yu.M., Bambura A.M.** ta in. Naturni viprobuvannya innovacijnogo rishennya zbirno-monolitnogo perekrittya z pustotnimi poperedno napruzhennimi plitami ta prihovanimi rigelyami. // *Nauka ta budivnictvo №2 (12), 2017r. 19-25s.*
9. **Petrik Yu.M.** Vprovadzhennya v Ukrayini monolitnih zalizobetonnih konstrukcij z napruzhennam kanatnoyi armaturi na beton (postnapruzhennya) ta yih naturni viprobuvannya // *Mistobuduvannya ta teritorialne planu-vannya. Vip. 61 – 2016. 335-342 s*
10. **DBN V.2.6-98:2009.** Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – *Minrehion Ukrainy. Kyiv, 2011. 71s.*
11. **DSTU-B.V.2.6-156:2010** Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazkogo betonu. Pravyla proektuvannya – *Minrehion Ukrainy. Kyiv, 2011. 166s.*
12. **DSTU-N B EN 1992-1-1:2010** Evrokod 2 Proektuvannya zalizobetonnih konstrukcij Chastina 1-1. Zagalni pravila i pravila dlya sporud
13. **Murashko L.A., Kolyakova V.M., Smorkalov D.V.** Rozrahunok za micnistyu normalnih ta pohilih do pozdovzhnoyi osi pereriziv z ginalnih elementiv za DBN V.2.6-98:2009 // *Navchalnij posibnik.-K.:KNUBA, 2011. 96 s.*
14. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and rules for building*
15. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. –82p
16. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 06/0022, - 2016. –47p
17. **Kozak O.V.** Rozrakhunok vuzliv monolitnykh ram z napruzhuvanoiu armaturoiu na beton v rozrakhunko-vomu kompleksi «LIRA-SAPR» *Budivelni konstrukciyi. Teoriya i prak-tika: zb. nauk. pr. Kiyiv, KNUBA, 2019. Vyp. 5. S. 32-38*
18. **ETA - 05 / 0123 .** Post - tensioning kit for prestressing of structures with bars , internal bonded and unbonded and external , 2005 .
19. **Aalami, Bijan O.** Post-Tensioned Buildings: Design and Construction - *International Edition, 2014 – 404c.*

CALCULATION METHODS OF MONOLITHIC

Стаття надійшла до редакції 21.05.2023

REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH POST-TENSION REINFORCING ROPES

*Dmytro SMORKALOV
Volodymyr VYNOKUR*

Summary. In Ukraine, the use of "post-tensioning" technology, which consists in the use of monolithic structures with pre-tensioned ropes, is growing. Domestic construction practice uses the term "prestressed reinforced concrete structures with tension of cable reinforcement on concrete." Post-tensioning technology is a modern approach to construction that allows you to create monolithic structures with great strength and stability. Its main advantage is the use of pre-tensioned ropes, which provide additional structural strength.

In this article, the main methods of calculating such monolithic reinforced concrete structures are presented and the experience of using this technology in the construction of public buildings in Ukraine is presented.

The use of prestressed reinforced concrete structures with the tension of cable reinforcement on concrete has numerous advantages. They are more durable, resistant to deformations and able to support large loads. Such structures are used in the construction of bridges, overpasses, high-rise buildings and other industrial and civil structures.

Ukraine is increasingly adopting modern and efficient construction methods, which is confirmed by the increased use of this technology. This helps to improve the quality and reliability of building structures, and also ensures optimal use of materials and resources.

In general, the article aims to promote the popularization, study and development of monolithic structures with pre-tensioning of cable reinforcement on concrete, as well as the creation of an appropriate regulatory and legal environment for their design and construction. This will help improve the quality and safety of building structures and ensure further progress in the construction industry of Ukraine.

Keywords. Post-tensioned monolithic reinforced concrete structures; post-tensioned; rope; anchor; methods; calculation of structures