

## МОНОЛІТНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ З ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИМИ КАНАТАМИ

*Дмитро СМОРКАЛОВ*

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037  
smorkalov.dv@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7890-2686>

**Анотація.** Зараз в Україні зростає використання монолітних конструкцій з попередньо напруженими канатами, яка більш відома як технологія «постнапруження» або «post-tensioning», а в вітчизняній практиці будівництва – як попередньо напружені залізобетонні конструкції з натягом канатної арматури «на бетон». В якості напруженої арматури в таких конструкціях використовують канати. В статті представлено основну ідею попередньо напружених монолітних залізобетонних конструкцій, наведено досвід використання даної технології при будівництві громадських будівель в Україні. Такі конструкції мають свої переваги і сферу застосування. Іноді такі конструкції, фактично, не мають іншої альтернативи. Актуальність дослідження полягає у розповсюдженні використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури на бетон, необхідністю дослідження таких конструкцій та недостатністю регламентуючих документів для проектування. Також представлені приклади армування балок та плит в конструкціях перекриття та основні переваги використання постнапруження канатів в монолітних залізобетонних конструкціях, на об'єктах, які будувались в Україні.

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



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

### АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

В останній час в Україні зростає запит на якісні торговельні майданчики, а саме на торговельно-розважальні центри та комплекси. Якщо 10-15 років назад, можливо було відкрити торговельний комплекс в переобладнаній промисловій будівлі, то зараз ринок диктує нові правила, так як торговельні комплекси мають бути естетично привабливими і відповідати серйозним функціональним вимогам.

Для вирішення цієї задачі необхідно робити великі прольоти в несучих конструкцій каркасу будівлі, які іноді можуть бути більше 20м. Часто це реалізовувалось влаштуванням каркасу з металевих конструкцій або використанням збірних залізобетонних конструкцій.

Крім того такі сучасні комплекси будують багатоповерховими, особливо в межах міста. В багатоповерхових будівлях з монолітним залізобетонним каркасом це зробити було доволі складно, так як конструкції повинні були бути великих розмірів, що

втрачало їх раціональне використання. Хоча саме монолітні залізобетонні конструкції набули значного використання в Україні в останні роки.

Актуальність дослідження полягає у розповсюдженні використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури на бетон, необхідністю дослідження таких конструкцій та недостатністю регламентуючих документів для проектування.

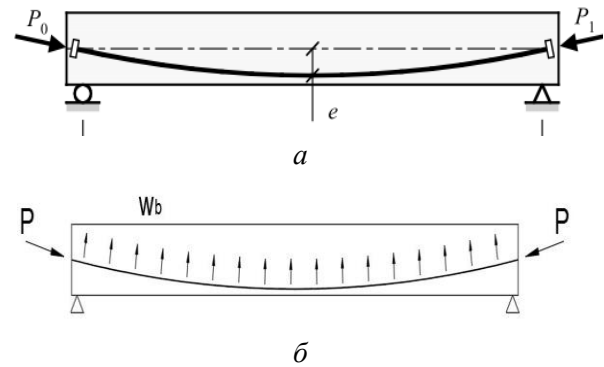
Дослідження плитних попередньо напружених конструкцій в Україні займаються не багато дослідників [1...8] і продовження таких досліджень є досить актуальним.

Актуальною проблемою сьогодні в Україні є відсутність вітчизняного обладнання для реалізації такої технології на практиці, складність проектування і мала кількість проектних організацій, що спеціалізуються на розрахунку конструкцій з постнапруженням арматури. Такий метод досить новий для українських проектувальників, тому потребує ретельного та поглибленого вивчення, особливо з введенням нових нормативних документів [9...12] і гармонізації з нормами Євросоюзу [13].

## ОСНОВНА КОНСТРУКТИВНА ІДЕЯ

В зарубіжних джерелах технологія напруження монолітних залізобетонних конструкцій, переважно з використанням канатної арматури, відома як «постнапруження» (post-tensioning). Зокрема, така назва застосована в керівному документі країн Євросоюзу, в якому викладені вимоги до елементів, які застосовуються для постнапруження. [14, 15]

При постнапруженні арматура напружується після набору міцності бетону. Необхідна міцність бетону для натягу канатів вказується в проекті. Анкерні системи фіксують арматуру в тілі бетону. Спеціальні кінцеві анкери закріплюють арматуру на кінцях конструкції і передають сили попереднього напруження на бетон. Принцип постнапруження зображено на рис. 1.



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

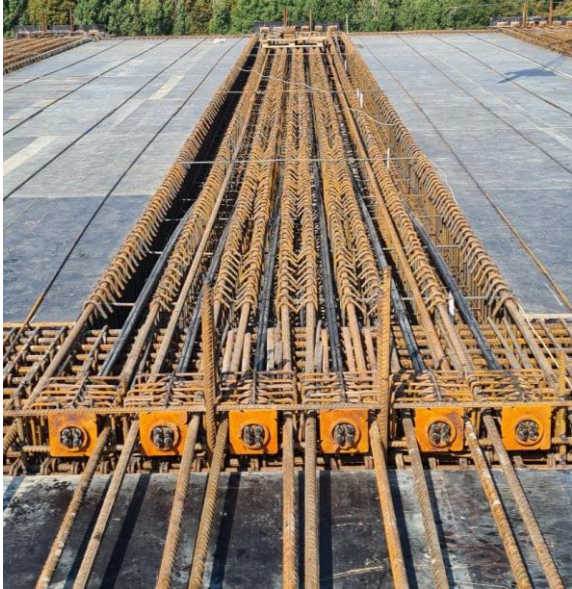
**Fig. 1.** Schematic diagram of the location of post-tensioning ropes (a) and reactive forces from post-tensioning (б).

Використання монолітних залізобетонних конструкцій з попередньо напруженими канатами має ряд конструктивних переваг:

- зниження витрат сталі завдяки використанню високоміцних канатів в якості арматури;
- збільшення опору конструкції утворенню тріщин в бетоні або обмеження їх ширини розкриття;
- підвищення жорсткості конструкції (або зниження її деформативності) завдяки чому вдається проектувати великі прольоти;
- зменшення власної ваги конструкції в результаті зменшення розмірів поперечного перерізу і, відповідно, витрат бетону, що призводить до здешевлення конструкції;
- підвищення витривалості конструкцій, що працюють під дією багаторазових повторюваних навантажень;
- підвищення стійкості стиснутих елементів.

Тому врахування всіх цих переваг дозволить покращити та урізноманітнити архітектурні форми. Використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури дозволить вивести будівництво України на новий конкурентоспроможний рівень.

Зазвичай, в будівництві широко застосовують системи пост-напруження з використанням канатної арматури. Існують дві принципові схеми: система постнапруження



**Рис. 2.** Попередньо напружена монолітна залізобетонна балка в процесі будівництва (Будівництво школи в м. Києві)

**Fig. 2.** Post-tensioning monolithic reinforced concrete beam during construction (School construction in Kyiv)

В Україні в громадському будівництві використовується технологія без зчеплення канатів, так як така технологія більш зручна, не потребує складного ін'єктування пустот і найменше залежить від погодних умов, так як будівництво продовжується круглий рік.

Попередньо напруженні канати використовують як в плитах так і в балках. Основна ідея даного методу полягає в тому, що в процесі арматурних робіт між верхньою та нижньою сіткою арматури вкладають арматурний канат в оболонці, який фіксується у криволінійному положенні у відповідності з епюрою згинальних моментів. Основним елементом є арматурний канат. У процесі арматурних робіт канат розташовується в арматурних

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



**Рис. 3.** Монолітне перекриття з попередньо напруженими балками та плитами в процесі будівництва (Будівництво торговельно-розважального комплексу в м. Києві)

**Fig. 3.** Monolithic plate with post-tensioning beams and slabs during construction (Construction of the shopping mall in Kyiv)

каркасах і фіксується на торцях конструкції за допомогою анкерних пристроїв. Натяг канату здійснюється за допомогою гідравлічного обладнання (домкратів).

Канати для постнапруження використовуються діаметром 15,2 мм і 15,7 мм (рис. 4). Для використанні фіксації канатної арматури на анкерах використовуються цанги (див. рис. 5). При виконанні напруженні при передачі зусиль натягу з домкрата на анкер відбувається так звана «посадка» цанги в посадочний конусний отвір, за рахунок якого відбувається незначне геометричне скорочення натягнутого канату і відповідно зменшення зусиль натягу



**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



**Рис. 5.** Цанги для фіксації канатів в анкерах  
**Fig. 5.** Collars for fixing ropes in anchors

Анкера для канатів бувають на 1, 2, 4, 6 канатів. Найчастіше для плит викори-

стовують одиночні анкери (рис.6,а), для балок – анкер на 4 канати (рис.6, б)



а



б

**Рис. 6.** Анкер для 1-го каната (а) та анкер для 4-х канатів (б).  
**Fig. 6.** Anchor for 1 rope (a) and anchor for 4 ropes (б).

Додатково місця встановлення анкерів в плитах і балках армуються конструктивною арматурою для сприйняття локальних напружень від попереднього напруження канатів. Армуння анкерної зони поперед-

ньо напруженої балки показано на рис. 7. Додаткове армування, як правило, регламентується виробниками анкерних систем.



**Рис. 7.** Зона анкерування попередньо напружених канатів в монолітній залізобетонній балці (Будівництво торгівельно-розважального комплексу в м. Києві)

**Fig. 7.** Anchoring zone of post-tensioned ropes in a monolithic reinforced concrete beam (Construction of the shopping mall in Kyiv)

## ВИСНОВКИ

Інтерес до технології попереднього напруження канатної арматури «на бетон» та її використання в практиці будівництва зростає.

Актуальною задачею є вивчення та дослідження таких конструкцій. Актуальність дослідження полягає у розповсюдженні використання монолітних конструкцій з попереднім напруженням канатної арматури «на бетон», необхідністю дослідження таких конструкцій та недостатністю регламентуючих документів для проектування

Використання попереднього напруження «на бетон» (постнапруження) у монолітних залізобетонних конструкціях перекриття дозволяє збільшити відстані між несучими вертикальними елементами (колонами та пілонами) та зменшити розміри поперечного перерізу балок та плит перекриття.

Використання даної технології іноді є безальтернативними і з технічної і з економічної сторони.

Подальші дослідження монолітних попередньо напружених залізобетонних конструкцій є дуже важливими і перспективними.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Журавський О.Д., Тимошук В.А. Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсилені зовнішньою напруженою арматурою. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 193-198*
2. Журавський О.Д., Тимошук В.А. Розрахункова модель плоских залізобетонних плит, підсилені зовнішньою напруженою арматурою. // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво. - 2018. - № 19. - С. 41-45*
3. 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.*
4. 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.
5. **Єсіпенко А.Д., Михайлець О.С.** Системи попереднього напруження на бетон за допомогою канатної арматури. // *Будівельне виробництво*. Вип. №49, -2008.- С.102.
  6. **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
  7. **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.
  8. **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.
  9. **ДБН В.2.6-98:2009.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 71с.
  10. **ДСТУ Б.В.2.6-156:2010** Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування– *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 166с.
  11. **ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010** Єврокод 2 Проектування залізобетонних конструкцій Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. // Київ, "Укрархбудінформ" 2012. – 312
  12. **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.
  13. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and rules for building*
  14. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. – 82р.
  15. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 06/0022, - 2016. – 47р
1. **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.*
  2. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunkova model ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ah-rarnoho universytetu. Seriia: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. - 2018. - № 19. - S. 41-45*
  3. **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.*
  4. **Zhuravskij O.D., Timoshuk V.A.** Doslidzhennya ploskoyi zalizobetonnoyi pliti pidsilenoyi zovnishnoyu napruzhenoyu armaturoyu // *Budivelni konstrukciyi. Teoriya i praktika: zb. nauk. pr. Kiyiv, KNUBA, 2020. Vip. 7. S. 4-11*
  5. **Yesipenko A.D., Mihajlec O.S.** Sistemi poperednogo napruzheniya na beton za dopomogoyu kanatnoyi armaturi. // **Budivelne virobnytstvo**. Vip. №49, -2008.- S.102.
  6. **Petrik Yu.M.** Vprovadzheniya v Ukrayini monolitnih zalizobetonnih konstrukcij z napruzheniyam kanatnoyi armaturi na beton (postnapruzheniya) ta yih naturalni viprobuvannya. // *Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya*. Vip. 61.К-КНУБА.-2016р. S. 335-342
  7. **Petrik Yu.M., Bambura A.M.** ta in. Naturni viprobuvannya innovacijnogo rishennya zbirno-monolitnogo perekrittya z pustotnimi poperedno napruzhenimi plitami ta prihovanimi rigelyami. // *Nauka ta budivnictvo* №2 (12), 2017r. 19-25s.
  8. **Petrik Yu.M.** Vprovadzheniya 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
  9. **DBN V.2.6-98:2009.** Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni kons-truktsii. Osnovni polozhennia. – *Minrehion Ukrainy*. Kyiv, 2011. 71s.

## REFERENCES

1. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunok ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu

10. **DSTU-B.V.2.6-156:2010** Betonni ta zalizobetonna konstruktzii z vazkogo betonu. Pravyla proektuvannya – *Minrehion Ukrainy*. Kyiv, 2011. 166s.
11. **DSTU-N B EN 1992-1-1:2010** Evrokod 2 Proektuvannya zalizobetonnih konstrukcij Chastina 1-1. Zagalni pravila i pravila dlya sporud// Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2012. – 312
12. **Murashko L.A., Kolyakova V.M., Smorkalov D.V.** Rozrahnok 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.*
13. **EN 1992-1-1:2004** Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: *General rules and rules for building*
14. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 03/0036, - 2018. –82p
15. **European Technical Approval** Post-Tensioning Systems 06/0022, - 2016. –47p

### **MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH POST-TENSIONED ROPES**

*Dmytro SMORKALOV*

**Summary.** Currently in Ukraine the use of monolithic structures with post-tensioned ropes, which is better known as the technology of "post-tension", and in domestic construction practice - as post-tensioned reinforced concrete structures with reinforcement tension "on concrete". Ropes are mainly used as tension reinforcement in such constructions. The article presents the main idea of post-tensioned monolithic reinforced concrete structures, presents the experience of using this technology in the construction of public buildings in Ukraine. Such designs have their advantages and scope. Sometimes such designs, in fact, have no other alternative. The relevance of the study lies in the spread of the use of monolithic structures with post-tensioned ropes, the need to study such structures and the lack of regulatory documents for design. There are also examples of reinforcement of beams and slabs in slab structures and the main advantages of using post-tension ropes in monolithic reinforced concrete structures on sites built in Ukraine..

**Keywords.** Post-tensioned monolithic reinforced concrete structures; post-tensioned; rope; anchor

*Стаття надійшла до редакції 31.04.2022*