

виготовлення пустотілих бетонних і залізобетонних виробів / Деклараційний патент на винахід. – Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл. №7-II від 15.12.2000 р. 3. Мельник І.В. Оптимізація залізобетонних конструкцій з допомогою ефективних вставок // Проблеми теорії і практики будівництва: Збірник наукових статей, том IV. – Львів, 1997. – С.89–90. 4. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструктивні рішення плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками і експериментальне дослідження їх фрагментів // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць, вип. 14. – Рівне, 2006. – С. 253–260. 5. Мельник І.В., Царинник О.Ю., Сорохтей В.М. Конструювання і дослідження плоских монолітних перекриттів з ефективними вставками // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб., вип. 67. – К., НДІБК, 2007. – С. 794...801. 6. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Яремко Б.В. Монолітні залізобетонні перекриття складної конфігурації в плані // Проблеми теорії і практики будівництва. Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2007. – № 600. – С.230–235. 7. Технічний каталог ТзОВ "З бетони", м. Калуш, 2007р. 8. ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво у сейсмічних районах України" / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. – К., 2006.

УДК 624.012.25

Л.А. Мурашко, О.М. Бруква*

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
*ПІ «Тебодін Україна», м. Київ

ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗБАЛОЧНИХ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ З НАПРУЖУВАНОЮ АРМАТУРОЮ НА БЕТОН

© Мурашко Л.А., Бруква О.М., 2010

Проаналізовано загальні принципи проектування монолітних залізобетонних плит з напружуванням арматури на бетон. Подано рекомендації щодо вибору товщини плити залежно від відстані між опорами. Запропоноване впровадження прогресивних рішень монолітних плит з напруженою арматурою замість традиційних рішень.

Ключові слова: безбалочна плита, монолітний залізобетон, попереднє напруження.

General principles of design of precast cast-in-place reinforced concrete slabs are analyzed in the article. Recommendations concerning selection of slab thickness depending on distance between supports are given. Implementation of progressive solutions for precast cast-in-place slabs instead of traditional solutions is propagandized.

Keywords: mushroom slab construction, cast-in-situ reinforced concrete, post-tensioning.

Останніми роками в Україні зведено багато висотних монолітних будівель каркасно-плитної конструкції з армуванням плит перекриттів звичайною (ненапруженою) арматурою класів А400С та А500С.

До істотних недоліків монолітних залізобетонних перекриттів із ненапруженою арматурою належать:

- велика власна вага (600 ... 750 кг/м²);
- значна товщина (250 ... 300 мм) при відстанях між колонами до 7,0 ... 8,0 м;
- тріщини в розтягнутих зонах, які досягають ширини 0,3 ... 0,4 мм навіть при значних процентах армування;

- прогини, які зростають під впливом деформацій повзучості та усадки бетону, а також зниження з часом загальної жорсткості перерізів через розвиток тріщин і нелінійних деформацій бетону;
- прольоти між колонами обмежуються величиною 7,0 ... 8,5 м.

Прогрес розвитку залізобетонних конструкцій в Україні очікується не тільки через впровадження нових видів бетонів, збірного та збірно-монолітного залізобетону, але також завдяки впровадженню монолітних конструкцій з напружуванням арматури на затверділий бетон (post-tensioning).

Недоліки звичайного залізобетону можуть бути усунені лише виконанням плит з напруженою гнучкою арматурою, яку розташовують в каналах і яку необхідно натягнути на бетон після його тужавіння до необхідного рівня. Це дає змогу:

- Зменшити товщину плит до 180 ... 250 мм (замість 250 ... 300 мм) при відстанях між колонами в межах 9 ... 12 м.
- Позбавитись тріщин взагалі або значно зменшити ширину їх розкриття, а значить – з’являється можливість регулювати прогини та жорсткість перерізів, що є істотним для плит великих прольотів.
- Зменшити навантаження на фундаменти та колони за рахунок зменшення маси перекриттів.
- Зменшити будівельну висоту багатоповерхових будинків за рахунок зменшення товщини перекриттів.
- Істотно покращити умову роботи плит на продавлювання за рахунок наявності напруженої арматури в розтягнутих зонах плит біля опор.
- Значно зменшити (на 25 ... 30 %) витрати арматури на 1 м³ бетону.

Плити з напружуванням арматури на бетон без її зчеплення з бетоном або з подальшим відновленням зчеплення з бетоном після її натягу вже близько 60 років широко впроваджуються в Європі та США, а останнім часом і в Росії, при зведенні цивільних та житлових будинків, паркінгів, складів та інших споруд.

Найчастіше гнучку напружену арматуру (далі – канати) в конструкції розташовують за профілем епюри згинальних моментів [1].

Загальновідомо, що ефект криволінійності канатів, розташованих в каналах і натягнутих з зусиллям P , викликає реакцію конструкції у вигляді поперечного тиску канату на конструкцію інтенсивністю q_p (рис. 1).

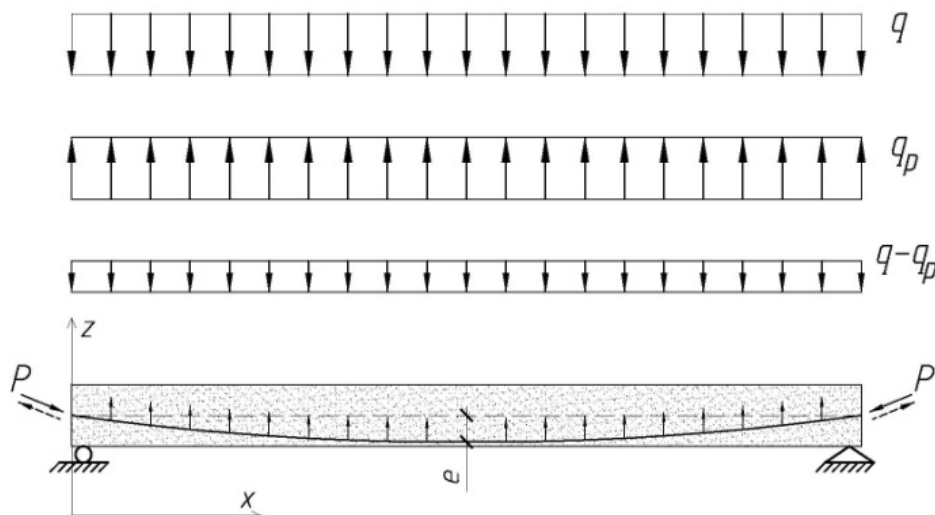


Рис. 1. Реакція конструкції на напруження криволінійної арматури в каналах та результат сумісної дії реактивного поперечного тиску канату і навантаження: q – зовнішнє навантаження; q_p – реактивний тиск канату на конструкцію; $q - q_p$ – сумарна дія на конструкцію

Інтенсивність поперечного тиску канату визначається за формулою:

$$q_p = P \cdot y'' \quad (1)$$

де P – зусилля натягу канату; y'' – друга похідна рівняння параболи – кривизна параболи.

Якщо профіль канату відповідає квадратній параболі з постійною кривизною, тобто формі епюри моментів від рівномірно розподіленого навантаження, то поперечний тиск канату на конструкцію буде постійним і рівномірно розподіленим на всій довжині однопрогонової конструкції.

У такому випадку у вільно обертігій однопрогонової балці, на яку діє зовнішнє навантаження q , виникають зусилля тільки від навантаження $q_1 = q - q_p$, та повздовжньої сили P , яка може бути прикладена без ексцентриситету або з ексцентриситетом відносно осі, що проходить через центр тяжіння опорних перерізів елемента.

У статично невизначених конструкціях (балках, плитах), які сприймають навантаження від власної ваги та рівномірне розподілене корисне навантаження, бажано, щоб профіль канатів за довжиною елемента також повторював профіль епюри моментів. У такому разі профіль канату складатиметься з прогонових та опорних парабол з кривизнами різних знаків, отже, і реактивний тиск на ділянках цих парабол матиме різний знак (рис. 2).

Фактично конструкція працює як позацентрово стиснутий елемент, у перерізах якого напруження контролюється за формулою для позацентрово стиснутих перерізів.

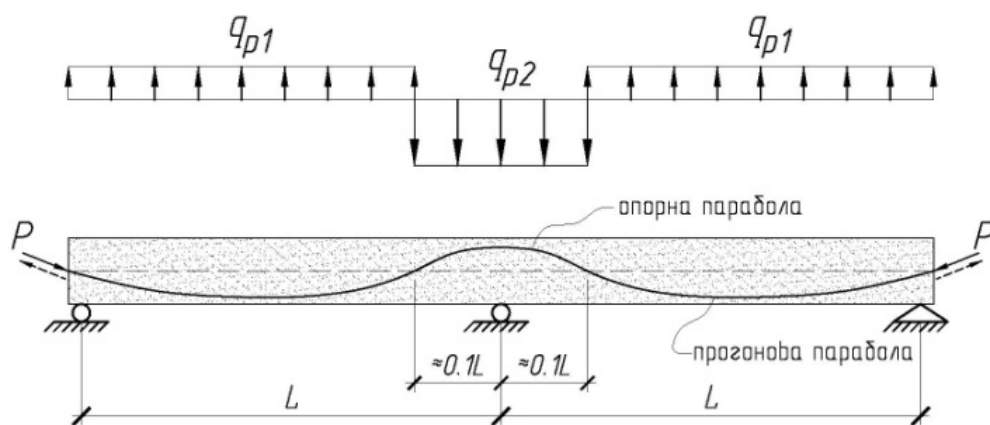


Рис.2. Реактивний тиск канату за довжиною у нерозрізних конструкціях

Зазвичай кінці канатів обладнують анкерами. При армуванні тонких плит канатами їх анкерні пристрої розташовують паралельно до осі плити, що забезпечує певні зручності при розташуванні натяжних пристроїв і спрощує армування торців плити. На лінійних ділянках профілю канату його поперечний тиск на конструкцію відсутній. Прогонова парабола в приопорній зоні на відстані близько $0,1L$ переходить до приопорної параболи. Мінімальний радіус параболи не може бути меншим за $2,5 м$.

Якщо виникає технічна необхідність прикласти силу P до торців елемента з початковим ексцентриситетом e , то тоді початковий момент $M = P \cdot e$ необхідно додати до моменту від дії поперечного навантаження $q - q_p$. Цей початковий момент і відповідна вертикальна реакція сили P вплинуть на поперечні сили в опорних перерізах та на прогини конструкції.

Отже, дія криволінійної в каналі напружуваної арматури на конструкцію має два аспекти.

Конструкція стає позацентрово стиснутою силою P , що змушує більшу частину бетону працювати на стиск. Своєю чергою, це впливає на зменшення прогинів та ширину тріщин, а також на роботу перерізів за поперечною силою.

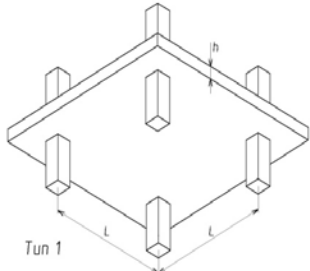
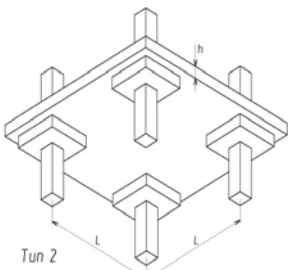
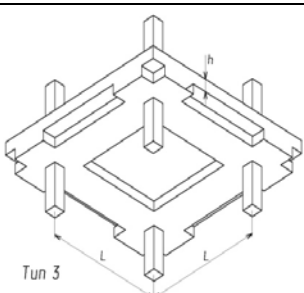
Виникає можливість реактивним тиском канату на конструкцію частково або повністю погасити дію власної ваги або дію зовнішнього корисного навантаження.

Плити та балочні конструкції з напружуваною арматурою можуть бути спроектовані меншої висоти ($h = \frac{L}{40} \dots \frac{L}{36}$) при відстані між опорами, більшій за $8 \dots 12 м$.

Напруження арматури на бетон може бути найефективнішим для плит перекриттів, типи яких наведені в табл. 1.

Таблиця 2

Типи перекриття

Тип перекриття	Корисне навантаження, $\kappa\Pi a$	Відношення L/h
 <p>Tun 1</p>	1,5	42
	2,5	40
	5,0	36
 <p>Tun 2</p>	1,5	46
	2,5	44
	5,0	40
 <p>Tun 3</p>	1,5	48
	2,5	45
	5,0	40

Таблиця 3

Характеристики плит перекриття

Характеристики плити		Товщина плити, мм	Повні витрати арматури, $\kappa\Gamma/m^2$
Відстані між колонами, м	4	<u>15 ... 17</u> --	<u>15 ... 16</u> --
	6	<u>22 ... 25</u> 16 ... 18	<u>22 ... 25</u> 16 ... 18
	8	<u>25 ... 30</u> 18 ... 20	<u>32 ... 35</u> 20 ... 22
	10	<u>35 ... 40</u> 22 ... 25	<u>40 ... 45</u> 23 ... 26
	12	-- 26 ... 27	-- 28 ... 30
	14	-- 28 ... 30	-- 33 ... 35
	16	-- 30 ... 35	-- 36 ... 40

Примітка: в чисельнику – дані для плит з ненапруженою арматурою; в знаменнику – для плит з напруженою арматурою

Орієнтовні дані про товщини плит та повні витрати арматури для плоских безбалочних і безкапітельних плит (тип 1) залежно від відстані між регулярно розташованими опорами при корисному навантаженні 1,5 ... 5 кПа наведені в табл. 2.

Як правило, товщина безкапітельної плити визначається з умови міцності плити на продавлювання в зоні її з'єднання з колонами.

Плити зі звичайною арматурою при прольотах між колонами, більших за 10 м, виконати взагалі проблематично, а при корисному навантаженні, більшому за 5 кПа, необхідно переходити на плити з капітелями або зі стрічковими балками (тип 2 та 3).

Реалізація плит з напруженою арматурою можлива лише за умов:

- наявності моноканатів або блочних канатів необхідної довжини з високоміцного дроту діаметром 5 ... 9 мм та анкерних пристроїв для закріплення канатів по торцях плит.

- наявності обладнання для натягу арматури та ін'єкції в канали спеціального розчину у разі необхідності відновлення зчеплення напруженої арматури з бетоном.

- добре підготованого технічного персоналу, що контролює розташування та натяг канатів.

Незважаючи на значно вищий технічний рівень конструювання і виконання робіт, плити з натягом арматури на бетон за даними [2, 3] мають істотні переваги порівняно з плитами з традиційним армуванням не тільки за матеріалоемністю, але також за трудомісткістю, енергоемністю та собівартістю.

Досвіду зведення монолітних плит з напруженою арматурою в Україні практично немає через відсутність технічної бази для виготовлення арматурних канатів та техніки для натягу арматури. Єдиним випадком зведення плити з напруженою арматурою є перекриття паркінгу колишнього торгово-розважального центру «ОКЕЙ» (тепер «Ашан») в м. Києві, виконане за участі таких іноземних фірм, як «МК4» та «Kontek» (постачальник матеріалів та обладнання для напружування плит і шеф-монтажник відповідно).

Розрахунок плит з напружуванням арматури на затверділий бетон плит перекриттів та впровадження таких конструкцій в практиці будівництва можливий за умови організації власних наукових досліджень з таких проблем:

- вивчення прогинів (деформацій) плит перекриттів на стадіях їх виготовлення та експлуатації.

- дослідження міцності на продавлювання плит з напруженою арматурою у місцях їх з'єднання з колонами.

- вивчення вторинних ефектів в елементах каркаса будівлі від деформацій обтиску перекриттів напруженою арматурою.

- уточнення втрат попереднього напруження канатів під впливом повзучості та усадки бетону.

Не меншою проблемою зведення перекриттів з напруженою арматурою є врахування кліматичних особливостей України за низьких температур.

Але головною проблемою реалізації перекриттів інноваційних рішень плит перекриттів є організація власного виробництва анкерних пристроїв і канатів, захищених від корозії спеціальними полімерними довговічними і надійними компаундами.

Залишається сподіватись, що досвід Європи, США та РФ буде прикладом для українських будівельників і прогрес в будівництві житлових будинків, торгових центрів, паркінгів та інших об'єктів буде пов'язаний саме з упровадженням попереднього напруження арматури на монолітний бетон.

1. *fib. Bulletin 31. Post-tensioning in buildings. Technical report prepared by Task Group 1.1. February 2005.* 2. *Астрын Л.В. Преднапряженный железобетон: история, применение, перспективы развития // Технология бетонов. – № 1, 2008.* 3. *Астрын Л.В. Инновационные технологии как главный фактор снижения себестоимости и повышения качества строительства // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – № 4, 2009.*