
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624.151.6

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.8>

МЕТОД ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПІДВИЩУЄ ЇХ МІЦНІСТЬ

Чеканович М. Г. – кандидат технічних наук,
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109
Scopus-Author ID: 57192938389&

Проаналізовані відомі у міжнародній будівельній практиці технології попереднього напруження залізобетонних конструкцій. Такі технології базуються на способах попереднього напруження «на упори» та «на затверділий бетон». Застосування цих способів дозволяє підвищити жорсткість та тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. Разом з тим, застосування вказаних способів практично не впливає на міцність бетону, а зрештою, і на міцність конструкцій.

Ущільнення бетону в конструкції представляється суттєвим резервом підвищення міцності бетону і конструкцій в цілому. Одним з ефективних способів ущільнення бетонної суміші є її пресування, особливо тривале пресування. Таким чином, за технологією виготовлення ми маємо силу попереднього обтиску і знаємо про ефект підвищення міцності бетону завдяки пресуванню.

В даній статті автором запропоновано поєднати два позитивних фактори – попереднє напруження арматури і тривале пресування бетону в один технологічний процес. В результаті автором створений метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш. При цьому передача зусилля попереднього напруження здійснюється також на бетонну суміш. В результаті бетон твердне під тиском, збільшує свою щільність та, відповідно, міцність.

Виконані експериментальні дослідження результати яких засвідчили зміцнення бетону під тиском попереднього напруження в конструкції. При цьому помічено ефект збільшення напруження в арматурі при твердінні бетону у замкненому просторі.

Щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні зусиллями попередньої напруги свіжої суміші бетону, перевищила щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні затверділого бетону на чотири з половиною відсотки.

Виконана оцінка міцності бетону залізобетонних елементів з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш. В результаті передачі сил попереднього напруження на бетонну суміш відбувається тривале її пресування, що збільшило міцність бетону конструкції на третину.

Ключові слова: міцність, попереднє напруження, свіжоукладена бетонна суміш, пресування, щільність, спосіб на бетонну суміш.

Chekanovych M. H. A method of prestressing reinforced concrete structures that increases their strength

The paper analyzes the technologies of prestressing reinforced concrete structures known in international construction practice. Such technologies are based on pretensioning and post-tensioning methods of prestressing (on hardened concrete). The use of these methods allows us to increase the rigidity and crack resistance of reinforced concrete structures. However, the use of these methods has little effect on the strength of concrete, and ultimately on the strength of structures.

The compaction of concrete in the structure is a significant reserve for increasing the strength of concrete and structures in general. One of the effective ways of concrete mix compaction is its pressing, especially long-term pressing. Thus, according to the manufacturing technology, we have the force of pre-compression and we know about the effect of increasing the strength of concrete due to pressing.

In this paper, the author proposes to combine two positive factors – prestressing of rebars and long-term pressing of concrete in one technological process. As a result, the author created a during-tensioning method of prestressing reinforced concrete structures when steel stress force is applied to freshly-placed concrete mix. In this case, the transfer of prestressing force is also carried out on the concrete mix. As a result, concrete hardens under pressure, increases its density and, consequently, strength.

Experimental studies have been performed, their results confirm the strengthening of concrete under prestressing pressure in the structure. The effect of increasing the stress in the rebars during hardening of concrete in an enclosed space was observed.

The density of concrete in the samples made with compressing fresh concrete mix by the forces of prestressing exceeded four and a half percent the density of concrete in the samples made with compressing hardened concrete.

The strength of concrete of reinforced concrete elements with rebar tensioning on freshly-placed concrete mix has been evaluated. As a result of the transfer of prestressing forces to the concrete mix its prolonged pressing takes place, which increases the strength of the concrete structure by a third.

Key words: strength, prestress, freshly-placed concrete mix, pressing, density, during-tensioning method.

Вступ. Хід розвитку в усіх сферах життєдіяльності країни вимагає по-новому переглянути традиційні технології виробництва. В галузі будівництва базою для виробництва попередньо напруженого бетону є перевірені довголітньою практикою способи попереднього напруження арматури «на упори» та «на бетон» [1–3]. Ці два способи передбачають передачу сил попереднього напруження арматури на бетон після того, як він набере достатню передаточну міцність. Технологія виробництва попередньо напруженого бетону за цими двома способами добре відпрацьована і забезпечує надійність та довговічність виготовлених конструкцій в експлуатації.

При цьому залишаються не використаними резерви міцності будівельних матеріалів, що дозволяють підвищити несучу здатність залізобетонних конструкцій за рахунок удосконалення технології їх виготовлення, поліпшення методів попереднього напруження конструкцій [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, залізобетонні конструкції покращують свої показники жорсткості і тріщиностійкості при їх попередньому напруженні. Традиційне попереднє напруження за способами «на упори» – pretension та «на бетон» – post-tension практично не впливає на міцність бетону і залізобетонної конструкції в цілому [1–4]. В той же час відомо, що пресування бетонів дозволяє ущільнити його структуру і значно підвищити його міцність. Але застосування пресування потребує значних додаткових витрат енергії та технологічно складне [5].

Разом з тим указані вище способи мають ряд істотних недоліків, які закладені самою технологією виготовлення конструкцій. Такими недоліками є порівняно низькі показники щільності бетону та міцності конструкцій. Мається на увазі,

що міцність компонентів, які входять до складу бетону, наприклад щебню, піску, недовикористовується, а щільність їх у бетоні не можна підняти традиційними методами попереднього напруження.

До недоліків розглянутих способів слід додати також значні витрати часу, який потрібний для тверднення бетону, бо тільки після цього на нього буде передана попередня напруга арматури і можна готувати конструкцію до експлуатації.

Постановка проблеми. Оскільки відомі методи, технології попереднього напруження не впливають на міцність бетону, і зрештою на міцність конструкції з нього, а лише покращують жорсткість і тріщиностійкість, залишається не використаним резерв міцності будівельних матеріалів. У зв'язку з цим розробка методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що дозволяє суттєво підвищити їх міцність за рахунок ефективного використання міцності будівельних матеріалів представляється перспективною у галузі будівництва [1–4].

Удосконалення технології, що значною мірою усуває зазначені недоліки, на наш погляд, дозволить підняти міцність та якість попередньо напружених конструкцій, а також знизити витрати часу на їх виготовлення повинно базуватися на новому методі попереднього напруження.

Метою дослідження є розробка основ методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з напрямків удосконалення технології виробництва попередньо напружених залізобетонних конструкцій є запропонований автором спосіб виготовлення, при якому натяг арматури та передача сил попередньої напруги здійснюються на обтиснену бетонну суміш до її затвердіння. Цей спосіб суміщає операції по натягу арматури та ущільненню бетону [6]. Крім того, в процесі натягу арматури свіжоукладена бетонна суміш піддається дії попереднього напруження внаслідок обтиснення, що призводить до витискання зайвої води, а також до більш щільного упакування компонентів бетону (щебню, піску, розчину) та забезпечує кращий контакт поверхні арматури з бетонною сумішшю. Ефект ущільнення бетону підсилюється динамічними діями на суміш. Після досягнення оптимальної щільності суміші динамічні дії закінчуються, попередню напругу арматури доводять до потрібної і тверднення бетону відбувається в обтисненому стані.

Все це дає змогу підвищити міцність і якість виготовлених конструкцій без значних матеріальних і енергетичних витрат, але при деякому ускладненні технології виробництва, яка під силу будь-якій будівельній організації.

З метою перевірки дієвості запропонованого способу та порівняння фізико-механічних параметрів зразків, виготовлених за запропонованим способом з традиційними, виготовленими шляхом натягу арматури на упори, нами були виготовлені в лабораторії дві серії зразків балок із попередньо напруженого бетону.

Перша серія «СМ» складалась з трьох зразків балок, виготовлених способом натягу арматури та передачі попередньої напруги на свіжоукладену бетонну суміш, друга «УП» – з трьох зразків тих же параметрів балок, які виготовлялись з натягом арматури на упори та передачею сил попередньої напруги на затверділий бетон після досягнення ним потрібної передатної міцності [7]. Усі шість зразків мали розміри 120 x 120 x 1150 мм і виготовлялись з одного замісу бетону класу С25/30. Склад бетону без домішок у перерахунку на 1 м³ вміщував: цементу – 456 кг, щебню – 1312 кг, піску – 472 кг, води – 170 л. Для виготовлення зразків балок використовували: цемент марки 400 Ольшанського цементного заводу, в якому об'ємна частка добавки з гранульованого шлаку складала до 20%; пісок

кварцовий Ігнатпольського кар'єру Житомирської області з модулем крупності 2,65; щебінь гранітний з кар'єру «Трикратно» з розміром зерен до 20 мм марки 1000; воду питну; арматурну сталь класу Вр-II діаметром 5 мм.

Арматурний стержень розміщувався в центрі поперечної перелізу зразка по його поздовжній осі. Бетонну суміш готували в стандартному лабораторному бетонозмішувачі.

Форми для зразків (рис. 1) виготовляли зі сталі. Вони склалися з піддону, двох повздовжніх та двох торцевих бортів. Торцеві борти не прикріплювались до піддону, повздовжніх бортів та верхньої кришки. Між піддоном та бортами вкладали ущільнювач зі спеціального картону, а на пересувних торцях ставили гумові ущільнювачі.

Натяг арматури та передачу попередньої напруги на бетонну суміш виконували в такому порядку. В отвори, зроблені на торцях форми, просували арматуру, потім укладали бетонну суміш, яку ущільнювали вібратором, а тоді форму зверху закривали кришкою і механічним способом натягували арматуру відносно бетонної суміші безпосередньо через пересувці торцеві пластини при одночасній динамічній дії на суміш. Розміщені по торцях форми пересувні пластини зближались за рахунок передачі на них сил натягу арматури, бетонна суміш ущільнювалась, а крізь картонні ущільнювачі фільтрувалася і витікала зайва вода, при цьому наявність в ній цементу візуально встановити не вдалось.

Другу серію балок виготовляли загальноприйнятими методами.

Процес передачі зусилля від арматури на незатверділу бетонну суміш підтверджує те, що спочатку зусилля приймає на себе вода, завдяки чому була витиснута зайва її частина у суміші, а після цього зусилля передається на зерна щебню, які, при динамічній дії на бетон, переупаковувались, ущільнюючи бетонну суміш, і за рахунок цього рухались торцеві щити форми, обтискуючи бетон. Зменшення води в бетоні і краще ущільнення підвищують його міцність при тих самих складових компонентах бетону.

Протягом 28 діб зусилля в арматурних елементах підтримувалось постійним відносно бетону через рухомі торцеві борти форми. Напругу в арматурі контролювали силівимірювальними приладами ДПУ-5 та індикаторами з ціною поділок 0,01 мм. Температура в приміщенні, де знаходились зразки, підтримувалася 18...20 °С.

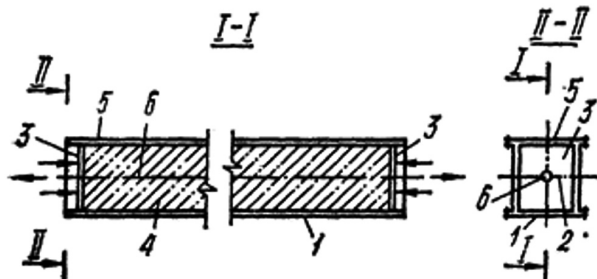


Рис. 1. Металева форма для виготовлення зразків з передачею зусиль попередньої напруги арматури на незатверділу бетонну суміш:

1 – металевий піддон; 2 – борт боковий; 3 – торцева рухома пластинка завтовшки 10 мм; 4 – бетонна суміш; 5 – верхня металева кришка; 6 – арматурний елемент діаметром 5 мм класу Вр-II

При твердненні бетону спостерігалось явище, коли на всіх трьох зразках було зареєстроване розсування торцевих бортів закритої форми. Воно інтенсивно проходило у перші шість діб, а на 28-у добу становило відповідно 0,52, 0,61 та 0,58 мм. Втрата попередньої напруги арматури в зразках був меншим порівняно з нормативним.

Розсування торцевих бортів можна пояснити, на наш погляд, набуханням бетону в закритій формі та іншими явищами, але це потребує додаткового дослідження. Дані результатів випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Дані випробувань зразків балок з бетону класу C25/30
розміром 120 x 120 x 1150 м**

Марка зразка	Площа перерізу арматури, мм ²	Об'ємна маса бетону зразків, кг/м ³	Середня об'ємна маса в серії, кг/м ³	Міцність бетону на 28-у добу, МПа		Напруження в бетоні від попереднього обтиску, МПа
				зразків	в серії	
1СМ	19,63	2470	2466	51,9	50,8	1,53
2СМ	19,63	2462		50,1		1,50
3СМ	19,63	2466		50,4		1,51
1УП	19,63	2360	2359	39,0	39,03	1,53
2УП	19,63	2368		39,6		1,52
3УП	19,63	2350		38,5		1,49

Як видно з таблиці, щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні зусиллями попередньої напруги свіжої суміші бетону, перевищує щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні затверділого бетону в середньому на 4,5 %, а його міцність — на 30 %.

Виконані експериментальні дослідження на зразках з центральним попереднім обтиском показали, що запропонований спосіб виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій «на бетонну суміш» може бути застосований в промисловості для виробництва підвісок аркових мостів, паль, стоянів, плит різних розмірів, залізничних шпал та інших подібних конструкцій. Обсяг виробництва таких конструкцій протягом одного року налічує декілька тисяч кубометрів.

Висновки і пропозиції. Проведені експериментальні дослідження довели, що запропонований метод виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій «на бетонну суміш» дозволяє на третину підняти міцність бетону, що сприяє зменшенню матеріаломісткості конструкцій. Такий спосіб може бути впроваджений в промислових умовах для виготовлення попередньо напружених подібних конструкцій, обсяг яких протягом одного року виготовлення налічує декілька тисяч кубометрів в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения: ДБН В.2.6-98:2009. [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 71 с. (Государственные строительные нормы Украины).
2. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 166 с. (Национальный стандарт Украины).

3. Eurocode 2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82.
4. British Standards Institute, (2000), —Structural Use of Steelwork in Building, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections, BS 5950-1:2000.
5. Бабич Є., Жук Є. Вплив величини напруги початкового і тривалого і тривалого пресування на міцність бетону. *Будівельні матеріали і конструкції*. 1973. № 1. С. 36–37.
6. Способ предварительного напряжения арматуры железобетонных изделий: А. с. 1330284 СССР, МКИ E 04 G 21/12. / М. Г. Чеканович. № 3992514/29-33; заявл. 19.12.85; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30. 2 с.
7. Розрахунок будівельних конструкцій : навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60–75.

REFERENCES:

1. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelogo betona. Osnovnye polozheniya (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 71 s. [in Russian]
2. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelogo betona. Pravila proyektirovaniya: DSTU B V.2.6-156:2010 (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 166 s. [in Russian]
3. Eurocode 2: *Design of concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82 [in English]
4. British Standards Institute, (2000). *Structural Use of Steelwork in Building*, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections, BS 5950-1:2000 [in English]
5. Babych Ye., Zhuk Ye. (1973). Vplyv velychyny napruhy pochatkovoho i tryvalooho i tryvalooho presuvannia na mitsnist betonu. [Influence of initial and long-term and long-term compressive stress on concrete strength]. *Budivelni materialy i konstruksii* [Building materials and structures]. № 1. S. 36–37 [in Ukrainian]
6. Chekanovich M.G. (1987). *Sposob predvartelnoho napriazheniya armatury zhelezobetonnykh izdeliy (avtorskoye svidetel'stvo 1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. #3992514/29-33)* [The method of prestressing reinforcement of reinforced concrete products certificate of authorship 1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. #3992514/29-33)] Byul. no. 30. 2 s. [in Russian]
7. Chekanovych M.H., Yanyn O.YE. (2021). *Rozrakhunok stroytel'nykh konstruksiy* [Calculation of building structures]. Kherson. OLDY-PLYUS. 60–75 [in Ukrainian]