
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.22>

МЕТОД ОДНОЧАСНОГО ПОПЕРЕДЬОГО НАПРУЖЕННЯ І ПРЕСУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

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&

Розглянуті і проаналізовані відомі у широкій будівельній практиці технології попереднього напруження залізобетонних конструкцій. Технологічні методи виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій прийнято поділяти за способом і часом натягу арматури, за способами її укладки і напруження та за кріплення у бетоні напруженої арматури. За способом і часом натягу арматури всі попередньо напружені конструкції об'єднані у дві групи: елементи з натягом арматури на упори до бетонування та елементи з натягом арматури після бетонування на затверділий бетон. Такі способи попереднього напруження, як правило, не ущільнюють бетонну суміш і тому залишаються не використаними резерви міцності, водонепроникності і морозостійкості матеріалів.

В представленій роботі розроблений оригінальний практичний спосіб попереднього напруження арматури залізобетонних виробів, що включає добре відомі операції: укладку арматури у форму, натяг арматури, наступну фіксацію арматури. Відрізняє запропонований спосіб те, що для підвищення ступеня попереднього напруження конструкції та її міцності кінці арматури закріплюють анкерами на рухомих торцях форми, а натяг її виконують шляхом швидкого обертання заповненої бетоном закритої форми з одночасним ущільненням бетону.

Натяг арматури здійснюється таким чином. Форма, що заповнена бетонною сумішшю з деяким надлишком в горловині, швидко обертається. Під дією відцентрових сил суміш розподіляється і відкидається до рухомих торців форми, ущільнюється і через дію тиску розсуває їх.

Оскільки кінці арматури закріплені на торцях анкерами, то вона натягається. У центральній частині форми бетонна суміш ущільнюється вібропоринем. Статичне навантаження на поршень передається шарніром. Так, натяг арматури та ущільнення бетону відбуваються одночасно за одну операцію. Після придбання бетоном необхідної міцності форму знімають з конструкції.

Розроблено метод одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій. Цей метод здійснюється за допомогою використання дії відцентрових сил обертання. Наведені залежності для визначення технологічних параметрів – швидкості обертання форми з бетонною сумішшю, величини тиску і попереднього напруження арматури. Доповнена відома класифікація методів виготовлення попередньо напружених

залізобетонних конструкцій механічним методом натягу арматури «на бетонну суміш», що здійснюється завдяки дії відцентрових сил.

Ключові слова: відцентрові сили, міцність, попереднє напруження, свіжоукладена бетонна суміш, пресування, щільність, механічний спосіб.

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

The study considers and analyzes technologies of prestressing of reinforced concrete structures known in wide construction practice. Technological methods of manufacturing prestressed reinforced concrete structures are divided by the method and time of tensioning of steel, by methods of its placement and pretension and by fastening of pretension bars in concrete. According to the method and time of tensioning of steel all prestressed structures are combined into two groups: elements with pretensioning before placing of concrete and elements with posttensioning on hardened concrete. Such methods of prestressing, as a rule, do not compact concrete mix and therefore reserves of durability, water and frost resistance of materials remain unused.

In the presented work the original practical way of preliminary tension of steel of reinforced concrete products is developed; it includes well-known operations: placing of steel in the form, tension of steel, the subsequent fixing of steel elements. What distinguishes the proposed method is that in order to increase the degree of prestressing of the structure and its strength, the ends of steel bars are fixed with anchors on the moving ends of the form, and their tension is performed by rapid rotation of the concrete-filled closed form with simultaneous compaction of concrete.

The tension of steel is performed as follows. The form, filled with concrete mixture with some excess in the throat, rotates quickly. Under the action of centrifugal forces, the mixture is distributed and thrown to the moving ends of the form, compacted and due to the action of pressure pushes the ends apart.

Since the steel bars are fixed at the ends of the form by anchors, they are strained. In the central part of the form, the concrete mixture is compacted with a vibrating piston. Static load onto the piston is transmitted by a hinge. Thus, the tensioning of bars and compaction of concrete occur simultaneously in one operation. After concrete reaches the required strength, the form is removed from the structure.

A method of simultaneous prestressing and pressing of reinforced concrete structures has been developed. This method is carried out using the action of centrifugal forces. Dependences for determination of technological parameters – speed of rotation of the form with concrete mix, value of pressure and pretensioning of steel are provided. This new mechanical method of tensioning of steel on concrete mix, which is carried out due to the action of centrifugal forces, is added to the existing classification of methods of manufacturing prestressed reinforced concrete structures.

Key words: centrifugal forces, strength, prestress, freshly-placed concrete mix, pressing, density, mechanical method.

Вступ. Основа прогресу багато в чому визначається новими технологіями в суспільствах. Не виключенням є галузь будівництва. Оригінальні рішення стають в нагоді для отримання якісно нових результатів. Для попередньо напружених залізобетонних конструкцій таким новим рішенням може бути суміщення різних технологічних операцій в одну, що дає перевагу як в часових рамках, так і з точки зору енерговитрат. Для залізобетонних конструкцій завдяки попередньому напруженню досягається їх жорсткість і тріщиностійкість, а при пресуванні – зміцнення бетону конструкції. Суміщення цих двох процесів в один та ще й виконання їх за рахунок відцентрових сил представляється перспективним для розвитку галузі будівництва [1-10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічні особливості виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій прийнято поділяти за способом і часом натягу арматури, за способами її укладки і напруження та за кріплення у бетоні напруженої арматури. За способом і часом натягу арматури всі попередньо напружені конструкції об'єднані у дві групи: елементи з натягом арматури на упори до бетонування та елементи з натягом арматури після бетонування на затверділий бетон [1-9]. Такі способи попереднього напруження, як

правило, не ущільнюють бетонну суміш і залишаються не використаними резерви міцності, водонепроникності і морозостійкості.

З іншої сторони відомий метод формування залізобетонних виробів у вигляді труб, палі кільцевого перерізу за рахунок відцентрових сил. Тут бетонна суміш у трубчастій формі при її обертанні розподіляється рівномірно по формі і ущільнюється. В цьому випадку виготовлення поздовжня робоча арматура не напружується і конструкція у поздовжньому напрямку не є попередньо напруженою.

Постановка проблеми. Оскільки відомі методи технології попереднього напруження і ущільнення бетону не вкладаються в одну технологічну операцію, не одночасні за часом виконання, то виникає необхідність розроблення альтернативного оригінального методу, що забезпечить високу міцність жорсткість і тріщиностійкість. Залишається не використаним резерв міцності будівельних матеріалів. У зв'язку з цим розробка методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій на основі дії відцентрових сил представляється перспективною у галузі будівництва [1-4].

Метою дослідження є розробка методу одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій за допомогою використання відцентрових сил обертання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Представляється теоретично можливим спосіб натягу арматури відносно свіжовкладеної, обтисненої бетонної суміші, де натяг арматури відбувається за часом у процесі бетонування конструкції.

В роботі розроблений оригінальний практичний спосіб попереднього напруження арматури залізобетонних виробів, який включає добре відомі операції: укладку арматури у форму, натяг арматури, наступну фіксацію арматури [8]. Відрізняється запропонований спосіб тим, що для підвищення ступеня попереднього напруження конструкції та її міцності кінці арматури закріплюють на рухомих торцях форми, а натяг її виконують шляхом обертання заповненої бетоном закритої форми з одночасним ущільненням бетону [11].

Конструкція у формі під час бетонування і натягу арматури зображена на рис. 1, де напружена арматура 1 закріплена анкерами 2 на рухомих торцях 3 замкненої форми 4, обладнаної вібропоршнем 5 шарніром 6 та обмежувачами 7; форма 4 встановлена на обертовий стенд 8 і вміщує бетонну суміш 9.

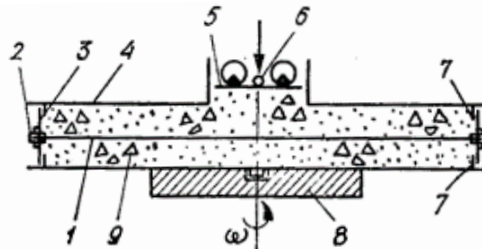


Рис. 1. Конструкція у формі під час бетонування та натягу арматури

Натяг арматури відбувається таким чином. Форма, що заповнена бетонною сумішшю з деяким надлишком, швидко обертається. Під дією відцентрових сил суміш відкидається до рухомих торців форми, ущільнюється і через те розсуває їх.

Оскільки кінці арматури закріплені на торцях анкерами, то вона натягається. У центральній частині форми бетонна суміш ущільнюється вібропоршнем. Статичне навантаження на поршень передається шарніром. Так, натяг арматури

та ущільнення бетону відбуваються одночасно за одну операцію. Після придбання бетоном необхідної міцності форму знімають з конструкції.

Завдяки ущільненню бетону центрифугуванням та вібропресуванням підвищується його міцність. Висока ступінь ущільнення бетону на торцях конструкції, де знаходиться зона анкерування напруженої арматури, сприяє поліпшенню сумісної роботи арматури з бетоном та експлуатаційних властивостей конструкції в цілому.

Підвищення міцності бетону при виготовленні конструкцій запропонованим способом зменшує різницю між показниками міцності бетону і матеріалів, що входять до складу важкого бетону, наприклад, кварцу, граніту. Це дає змогу зробити висновок про підвищення ефективності використання будівельних матеріалів при наведеному способі.

Натяг арматури здійснюється на обтиснену бетонну суміш під час бетонування конструкції, тому віднести його до одного з двох традиційно прийнятих груп способів було б помилковим. На підставі цього пропонується доповнити існуючу класифікацію способів виготовлення попередньо напружених конструкцій способом натягу арматури на бетонну суміш (рис. 2).



Рис. 2. Способи натягу, укладки, напруження та закріплення у бетоні арматури

Частота обертання форми за 1 хвилину визначається на стадії розподілення суміші за виразом:

$$n_{роз.} = \frac{600}{\sqrt{2r_g}}, \quad (1)$$

де r_g – розмір горловини опалубної форми.

Тиск на рухомі торці опалубної форми при її обертанні визначається залежністю:

$$P = \left(\frac{n_{ущ.}}{3240} \right)^2 \frac{r_n^3 - r_g^3}{r_n} + p - T, \quad (2)$$

де $n_{ущ.}$ – частота обертання форми за 1 хвилину на стадії ущільнення суміші і попереднього напруження арматури; r_n – відстань між рухомими торцями опалубної форми; p – величина тиску, що передається через горловину на торці форми; T – сумарна сила тертя.

Попереднє напруження в арматурі визначається за виразом:

$$\sigma_s = \frac{P \cdot F - N}{A_s}, \quad (3)$$

Тут F – площа рухомого торця; N – сумарна величина сили втрат попереднього напруження; A_s – площа поперечного перерізу арматури.

Щодо способу напруження арматури, то його слід віднести до групи механічних способів, які, в свою чергу, підрозділяють на підгрупи за видом приводу для натягу арматури, а саме: натяжні механізми і домкрати, вантажні, гвинтові та важелеві пристрої. Запропонований спосіб не можна віднести до жодної з цих підгруп, тому їх слід доповнити способом натягу арматури з використанням пристроїв центрифугових.

Розширення традиційної схеми способів дає можливість для пошуку нових шляхів удосконалення технології виробництва попередньо напружених залізобетонних конструкцій, зокрема за рахунок способів, де використовується натяг арматури на обтиснену бетонну суміш до її затвердіння у конструкції. За такими способами, як правило сумішуються натяг арматури і обтиснення бетонної суміші, що сприяє підвищенню щільності і міцності бетону, а також поліпшенню сумісної роботи арматури і бетону в конструкції.

Висновки і пропозиції. Таким чином, розроблено метод одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій за допомогою використання відцентрових сил обертання. Наведені залежності для визначення технологічних параметрів. Доповнена класифікація методів виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій механічним методом натягу арматури «на бетонну суміш», що здійснюється завдяки дії відцентрових сил.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стефанов В.В. Технология бетонных и железобетонных изделий. К.: Вища шк., 1972. 356 с.
2. Леонгардт Ф. Предварительно напряженный железобетон. М.: Стройиздат, 1983. 244 с.
3. 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.
4. Розрахунок будівельних конструкцій: навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60-75.

5. 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).

6. 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).

7. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p.30-82.

8. 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.

9. Chekanovych M. Self-Regulating Prestressing System Proceeding of Second fib Congress. 2006, Naples, Italy, p. 230-238.

10. Chekanovych M. G. Reinforced Concrete Beams Strengthened With A Concrete Insert And External Bars / *Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology* Vol. 2, Warsaw, Poland, July 31, 2019, p. 3-9.

11. Способ предварительного напряжения арматуры железобетонных изделий: А. с. 1330284 СССР, МКИ Е 04 G 21/12. / М. Г. Чеканович. № 3992514/29-33; заявл. 19.12.85; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30. 2 с.

REFERENCES:

1. Stefanov V.V. (1972). Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Kyiv: Vishcha shk. 356 s. [in Russian]

2. Leongardt F. (1983). Predvaritel'no napryazhennyj zhelezobeton [prestressed concrete]. Moscow: Strojizdat, 244 s. [in Russian]

3. Babych Ye., Zhuk Ye. (1973). Vplyv velychyny napruhy pochatkovoho i tryvaloho i tryvaloho 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]

4. Chekanovych M.H., Yanyin O.YE. (2021). *Rozrakhunok stroytel'nykh konstruksiy* [Calculation of building structures]. Kherson. OLDY-PLYUS. 60-75. [in Ukrainian]

5. ДБН В.2.6-98:2009. (2011). *Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения (Государственные строительные нормы Украины)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 71 s. [in Russian]

6. ДБН В.2.6-98:2009. (2011). *Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 (Государственные строительные нормы Украины)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 166 s. [in Russian]

7. Eurocode 2: *Design of concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30-82. [in English]

8. 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. 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). <http://www.dbn.at.ua>.

6. 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. (Государственный стандарт Украины). <http://www.dbn.at.ua>.

7. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30-82.

8. 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.
 9. Chekanovych M. (2006). Self-Regulating Prestressing System Proceeding of Second fib Congress. Naples, Italy. p. 230-238.
 10. Chekanovych M. G. (2019). Reinforced Concrete Beams Strengthened With A Concrete Insert And External Bars / Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology Vol.2, Warsaw, Poland, July 31. p. 3-9.
 11. Chekanovich M. G. (1987). *Sposob predvartelnoho napriazheniya armatury zhelezobetonnyih 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 authorship1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. / . #3992514/29-33)] Byul.no. 30. 2s. [in Russian]
-