

УДК 531

**В. П. Квасніков**<sup>1</sup>, д.т.н., **Р. М. Запоточний**<sup>2</sup>, к.т.н.<sup>1</sup>Київський національний авіаційний університет, м. Київ<sup>2</sup>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ НАТЯГУ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

В статті розглянуто і проаналізовано методи контролю за вимірюваннями величини сили натягу при створенні попереднього напруження будівельних конструкцій. Також описано процеси тарування приладів і проведення оцінки величини сили натягу стержневого елементу. Надійне метрологічне забезпечення на усіх етапах виробництва залізобетонних попередньо напружених конструкцій дозволить значно зменшити ризики виникнення браку у параметрах, які контролюються вимірюваннями. Введення процесів автоматизації при виготовленні і контролі за якістю виконання натягу стержнів для створення попереднього напруження залізобетонних конструкцій зменшить трудозатрати і час на виготовлення одиниці продукції.

**Ключові слова:** метод вимірювання, сила натягу, попереднє напруження, контроль якості, допуск.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-43-50

### Вступ

Залізобетонні конструкції є одними із найбільш поширених у будівельній галузі. Їх поділяють на: звичайні і попередньо напружені.

Ідея попереднього напруження залізобетонних конструкцій полягає у тому, щоб за допомогою додаткової зовнішньої сили створити внутрішнє напруження розтягу в арматурі і стиску у бетоні. Такого типу конструкції характеризуються високою тріщиностійкістю і меншою металомісткістю. У яких є більш ефективним використання сталі (композитних матеріалів) і бетону.

Для створення попереднього напруження використовують металеві стержневі елементи, а також стержні з вугле-, скло- чи базальтопластику. За технологією попереднього напруження залізобетонні конструкції можна виконувати:

- з натягом арматури на упори стенду;
- з натягом арматури на бетон конструкції.

Впровадження попередньо напружених конструкцій у виробництво дозволило будівельникам розширити межі реалізації своїх інженерних задумів, а саме будувати будівлі і споруди більш складної архітектурної форми [1, 2].

Надійний контроль за якістю будівельних процесів є вкрай важливою ланкою з успішної реалізації проекту будівельного об'єкта. Знехтування ним може призвести до економічних, екологічних втрат, а іноді і людських жертв.

### Аналіз

Створення попереднього напруження у будівельних конструкціях можна виконувати наступними способами: механічним, електротермічним, електротермомеханічним фізико-хімічним

та ін.

В діючому нормативному документі [3] охарактеризовано основні методи і вимоги щодо вимірювання і контролю за якістю сили натягу металевих стержневих елементів при виготовленні збірних попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Застосування цих методів контролю за вимірюваннями сили натягу, можливе при виконанні попередньо напружених конструкцій у яких вжито вуглепластикові стрічки, або скло- чи базальтопластикові стержні [4].

Науковий інтерес викликає розроблення методів для контролю за вимірюваннями величини сили натягу стержневих елементів у самонапружених залізобетонних конструкціях, попереднє напруження яких виконано фізико-хімічним способом [5]. Якісне метрологічне забезпечення з контролю за вимірюваннями сил натягу стержневих елементів у таких конструкціях відкриє нові перспективи до їх ширшого вжитку.

Вивчення особливостей застосування систем автоматизації при виготовленні збірних попередньо напружених конструкцій дасть можливим отримати оцінку щодо підвищення якості їх виконання, а також додаткові економічні показники, які можна при цьому досягти.

Для вимірювання та тарування прикладеної сили, при виконанні натягу стержневих елементів, використовують динамометри і манометри [6–8]. В нормативному документі [9] наведено технічні вимоги щодо виконання натягу стержневих елементів для створення попереднього напруження у залізобетонних конструкціях. Технічні умови до засобів вимірювань (металеві

рулетки, лінійки, штангенциркулі та індикатори годинникового типу) для забезпечення контролю натягу стержневих елементів наведено у державних стандартах [10–13].

**Ціль статті**

Ціллю статті є огляд і аналіз методів контролю за вимірюваннями величини сили натягу стержневих елементів при виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

**Основний матеріал**

Застосування методів для вимірювання сили натягу у попереднього напружених залізобетонних конструкціях слід розглядати із врахуванням технології їх виготовлення (див. рис. 1).

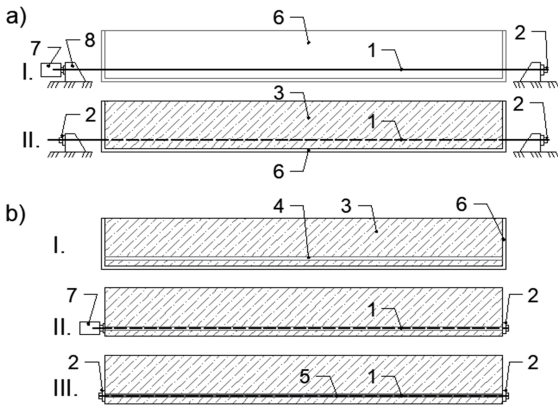


Рисунок 1 – Технологія виконання попереднього напруження залізобетонних конструкцій:

а) з натягом стержнів на упори стенду;

б) з натягом стержнів на бетон конструкції:

1 – натягнутий стержень, 2 – зовнішній анкер напружуваного стержня, 3 – бетон конструкції, 4 – канал в конструкції, 5 – ін'єктований канал із попередньо напружуваною арматурою, 6 – форма опалубки, 7 – гідродомкрат, 8 – упора стенду.

Виготовлення попередньо напружених конструкцій з натягом стержневих елементів на упори стенду (форми опалубки) умовно можна поділити на два етапи (див. рис. 1, а): виконання натягу стержневих елементів на упори стенду (опалубки); бетонування конструкції в опалубці, а після набору відповідної міцності бетону – передавання сили натягу на елемент будівельної конструкції шляхом відпуску напружених стержнів з упорів стенду (опалубки).

Виготовлення попередньо напружених конструкцій у технології з натягом стержневих елементів на бетон, можна умовно поділити на три етапи (див. рис. 1, б): бетонування конструкції із створенням в ній пустотних каналів; пропуск через канали стержнів із подальшим їх натягом; фіксація натягнутих стержнів за допомогою анкерів на торцях будівельної конструкції із подальшим заповненням пустотних каналів відповід-

ними розчинами.

Для вимірювання величини сили натягу стержневого елементу застосовують наступні методи: гравітаційний; за показниками динамометра; за показниками манометра; за величиною видовження стержня; метод поперечної відтяжки; частотний (див. рис. 2 і 3).

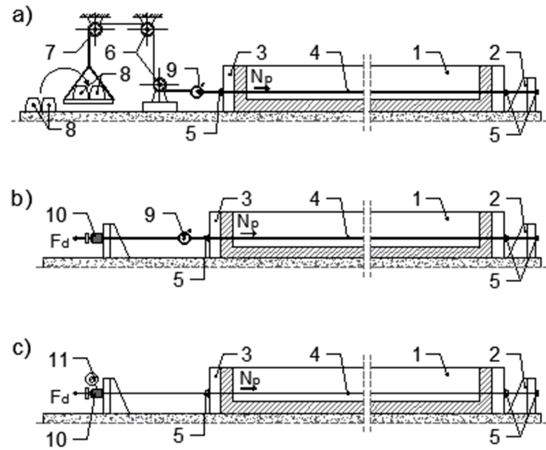


Рисунок 2 – Схеми до основних методів вимірювання сили натягу стержнів залізобетонних конструкцій: а) гравітаційним методом; б) за показниками динамометра; в) за показниками манометра: 1 – форма опалубки з/б елементу, 2, 3 – упори стенду і форми опалубки, 4 – арматура для створення попереднього напруження, 5 – анкери для закріплення арматури на упори, 6 – блок, 7 – поліспаг, 8 – вантаж, 9 – динамометр, 10 – гідродомкрат, 11 – манометр.

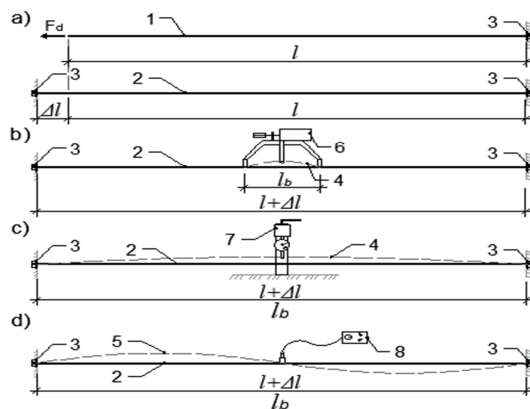


Рисунок 3 – Схеми для вимірювання сили попереднього напруження арматурного елементу методом: а) по величині видовження стержня; б), в) поперечної відтяжки; частотним:

1 – стержень без видовження, 2 – стержень видовжений за дії зовнішньої сили, 3 – деталь закріплення стержня, 4 – відтягнутий в поперечному напрямку стержень, 5 – амплітуда коливань стержня, 6, 7 – прилад з і без своєї бази вимірювання, 8 – прилад для вимірювання частоти власних коливань.

Узагальнені ідеї розглянутих методів із вимірювання величини сили натягу стержневих елементів описано у таблиці 1.

*Гравітаційний метод* вимірювання сили натягу стержнів застосовують у тих випадках, коли його виконують вантажем через систему важелів і поліспаств (рис. 2, а). Величину сили, яку передано на стержневий елемент, визначають за вимірюваннями по прикладеному навантаженню із врахуванням особливостей застосованої силової системи, тобто тертя, проковзування та ін. Врахування втрат передачі сили натягу викону-

ють динамометром при таруванні застосованої силової системи.

Одним із недоліків цього методу є складність побудови системи навантаження, у якій необхідно забезпечити надійне закріплення усіх її елементів. Він є економічно не доцільним, що пов'язано із збільшенням необхідної площі цеху, яку потрібно залучити у процеси виробництва одиниці продукції, а також у збільшенні, відносно інших методів, витрати часу і роботи на виконання операцій по створенню попереднього напруження і контролю за якістю його виконання.

Таблиця 1 – Методи вимірювання величини сили натягу при створенні попереднього напруження залізобетонних конструкцій

№	Метод вимірювання величини сили	Ідея методу	Примітки
1	2	3	4
<i>Основні методи вимірювання сили натягу</i>			
1	Гравітаційний метод	Залежність між силою натягу стержня і підвішеного до нього вантажу.	Згідно норм, вагу вантажу необхідно вимірювати з похибкою до 2,5%.
2	За показниками динамометра	Залежність між силою натягу стержня і деформацією динамометра.	Величини вимірюваної сили повинні знаходитися в межах шкали динамометра від 30 % до 100 %.
3	За показниками манометра	Залежності між тиском у циліндрі домкрата і силою натягу стержня.	При вимірюванні сили натягу стержневого елемента, необхідно щоб його величини знаходилася у межах від 30% до 90% шкали вимірювального приладу.
<i>Допоміжні методи вимірювання сили натягу</i>			
4	За величиною видовження стержня	Залежності величин видовження стержня від його величин напруження, а з врахуванням площі поперечного перерізу з визначенням силу натягу.	Невисока точність цього методу обумовлюється змінністю пружно-пластичних характеристик арматурної сталі, а також деформацією форм і упор.
5	Метод поперечного відтягування стержня	Залежність між прикладеною силою, для відтягування в поперечному напрямку стержня на задану величину і силою її натягу.	Відношення прогину арматури до її довжини не повинно перевищувати: 1:150 – для дроту, стержневої і канатної арматури діаметром до 12 мм 1:300 – для стержнів і канатної арматури діаметром більше 12 мм.
6	Частотний метод	Залежності між напруженнями в стержні і частотою його власних коливань.	При контролі вимірювання натягу арматури, вона не повинна торкатися з іншими арматурними елементами, закладними деталями і формою.

У методі вимірювання сили натягу стержня за показами з динамометра, прилад приєднують до силової системи так, щоб він сприймав силу натягу (див. рис. 2, б), величину якої визначають

за допомогою його тарувальних характеристик. Для вимірювання величини прикладеної сили застосовують еталонні динамометри [7], а також допускається застосування динамометрів класу

точності не нижче 2,5 [6]. Виконання попереднього напруження, за цим методом, потребує спеціальних монтажних пристосувань на упорах форми опалубки (стенду).

Визначення сили натягу арматури за *показами манометра* відбувається безпосередньо у процесі натягу і закінчується при передачі зусилля з домкрату на упори форми опалубки чи стенду (див. рис. 2, в). При вимірюванні величини сили, необхідно застосовувати взірцеві манометри з гідродомкратами, клас точності яких не нижчий 1,5 [8]. При натягу стержня (групи стержнів), за допомогою гідравлічного домкрату, у гідросистему встановлюють протарований манометр. При використанні гідродомкрату необхідно забезпечити проектне розміщення натягнутих стержневих елементів, при дії на них зовнішньої сили, із врахуванням умов недосконалостей виконання упор для їх тимчасового закріплення та інше.

При виконанні одночасного натягу групи стержневих елементів, визначають сумарну величину прикладеної сили. А для визначення її часткових величин, в кожному видовженому елементі, застосовують наступні контролюючі методи вимірювання: за величиною видовження стержня; метод поперечної відтяжки стержня; частотний метод та інші.

Схеми із застосуваннями допоміжних (контролюючих) методів для вимірювань величини сили натягу стержня, при виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій показано на рисунку 3.

*Вимірювання сили натягу стержня за величиною його видовження* є відносно не точним методом (див. рис. 3, а). Найчастіше його застосовують в комбінації з іншими методами. Для визначення сили натягу, необхідно визначити величину видовження стержня при дії на нього зовнішньої сили, а також мати графік його залежностей «напруження видовження».

При електротермічному способі натягу, з нагріванням поза формою опалубки, довжина стержневого елементу визначається завчасно. При цьому слід враховувати пружно-пластичні деформації сталі, а також довжину форми, втрати напружень в наслідок деформації форми, зміщення і зминання упор стержня. Для вимірювання довжини стержня, форми опалубки чи стенду, а також видовження стержня при натягу – застосовують металеві лінійки, рулетки та штангенциркулі [10 – 12]. Величину видовження вимірюють за допомогою безпосередньо встановлених на ньому приладів. Можуть бути застосованими індикатори годинникового типу [13], тензometri або можуть вимірюватись за допомогою металевої лінійки, рулетки чи штангенциркуля за

рисками, що нанесені на стержневий елемент.

При електротермічному натягу стержнів, з нагріванням їх поза формою опалубки, величину сили натягу визначають як відмінність між повним видовженням і втратами на зминання анкерів і деформацій елементів опалубки. Повне видовження стержнів визначають як різницю віддалей між упорами опалубки або стенду і довжиною заготовленого стержня між анкерами за вимірюваннями при однаковій температурі. А величину зминання анкерів визначають за результатами їх випробування. Деформацію елементів опалубки на рівні упор визначають як різницю віддалей між ними до і після натягу і закріплення стержневих елементів.

При вимірюванні сили натягу стержневого елементу *методом поперечного відтягування* (див. рис. 3, б, в), його відтягування можна виконувати по цілій довжині стержня, який закріплений між упорами опалубки чи стенду, або ж на базі упорів приладу (за умови, що прилад має свою власну базу). При вимірюванні сили за цим методом в системі не повинно бути залишкових деформацій. А для вимірювань можуть бути застосованими прилади механічного і електромеханічного принципів роботи. Вони повинні мати клас точності не нижче ніж 1,5; ціна поділки не повинна перевищувати 1 % верхнього граничного значення контролюючого натягу. А похибка тарувальної характеристики не повинна перевищувати  $\pm 4$  %. Місце встановлення електромеханічних приладів повинно знаходитися на віддалі не менше ніж 5 м від джерела електричних перешкод.

При застосуванні приладу зі своєю власною базою, його встановлюють на стержень в довільному, по довжині, місці. Але потрібно врахувати, щоб стики арматурних елементів не знаходилися в межах бази приладу.

Вимірювання сили натягу арматури за допомогою приладів без своєї власної бази (базою є відстань між опорами стенду), встановлюють їх в середині прогону між упорами опалубки чи стенду із допустимим зміщенням в напрямку однієї з упор до 2 %.

У *частотному методі* застосовують прилади для вимірювань числа коливань напруженої арматури за визначений проміжок часу, за якими визначають силу натягу із врахуванням тарувальних характеристик, для даного класу, діаметру і довжини арматури. Застосовані прилади повинні забезпечувати вимірювання частоти власних коливань видовженого стержня з похибкою  $\pm 1,5$  %. Відносна похибка визначення сили натягу не повинна перевищувати  $\pm 4$  %. Місце встановлення приладів повинно знаходитися від джерела електричних перешкод на віддалі не

меншій ніж 5 м. Первинний вимірювальний перетворювач при вимірюванні сили натягу стержня за допомогою приладів без власної бази повинен бути розміщений на ділянці стержня, що віддалена від його середини на відстань, яка не перевищує 2 %. При контролі вимірювань натягу стержневого елементу необхідно забезпечити, щоб він не торкався до інших стержнів, закладних деталей, елементів опалубки, стенду та ін.

Застосування подвійних вимірювальних систем при виконанні робіт пов'язаних зі створенням попереднього напруження залізобетонних конструкцій дозволить забезпечити надійніший контроль за величиною сили натягу стержневих елементів.

Методи, що розглянуто вище, можуть бути застосовані в комбінаціях між собою при виготовленні збірних попередньо напружених залізобетонних конструкцій в умовах заводського цеху при застосуванні технології попереднього напруження – з натягом стержнів на упори стенду (опалубки) [14]. Також їх комбінації можуть бути застосовані у збірно-монолітних конструкціях, у яких попереднє напруження виконується в технології натягу арматурних стержнів на упори, які є закладними деталями двох елементів для об'єднання (прикладом є збірно-монолітна прогонова будова мосту) [15].

Для створення попереднього напруження залізобетонних конструкцій в технології з натягом стержнів на бетон (див. рис. 1, б) у мостобудівельній практиці найчастіше застосовують стаціонарні гідродократи. Контроль за величиною переданої на стержень сили здійснюють за показниками манометра у комбінації з методом контролю за величиною видовження стержня.

У монолітних попередньо напружених залізобетонних конструкціях стержні для натягу розміщені у закритих каналах (при бетонуванні конструкції в один етап). При будівництві транспортних споруд ці особливості обмежують застосування методу поперечного відтягування і частотного методу за додатковим контролем величини прикладеної сили до стержня, оскільки немає відкритого доступу до натягнутих стержневих елементів. Особливо це стосується несучих елементів складної геометричної форми, у якій, згідно проекту, необхідно виконати натяг криволінійних в горизонтальній і вертикальній площинах стержнів [16].

Для тарування приладу виконують співставлення його показів, що зафіксовані за дії заданої сили, з показами динамометра. Точність динамометра, який встановлено послідовно з натягнутим стержневим елементом, повинна бути не нижчою класу 1,0 [6].

Визначення тарувальних характеристик

ужитих манометрів виконують шляхом співставлення їх показів з показами взірцевого динамометра, які обидва встановлені послідовно з гідравлічним домкратом.

При виконанні тарування, максимальна сила натягу стержневого елементу повинна перевищувати його номінальну проектну силу на величину з допустимим додатнім відхиленням. Кількість етапів навантаження повинна бути не менше 8, а кількість вимірювань на кожному з них – не менше 3. При максимальній силі натягу стержня покази взірцевого динамометра повинні складати не менше 50 % його шкали вимірювань.

Визначення тарувальних характеристик приладів (що застосовують для вимірювань сили натягу арматурного елементу за методом поперечного відтягування або частотним методом) необхідно виконувати для кожного класу і діаметру стержня, а для приладу без власної бази – для кожного класу, діаметра і довжини стержня. Довжини стержнів повинні перевищувати довжину бази приладу не менше ніж у 1,5 рази.

При вимірюванні сили натягу стержня за допомогою приладів без власної бази, необхідно забезпечити наступне:

- довжина стержневих елементів, при таруванні, не повинна відрізнятись від довжини контролюючого елементу більш ніж на 2 %;

- відхилення місця розміщення приладу або датчика приладу від середини довжини видовженого стержня, при застосуванні механічних і приладів частотного типу, не повинна перевищувати 2 % і 5 % довжини стержневого елементу.

Силу натягу визначають, як середнє арифметичне за результатами вимірювання. Мінімальна кількість дублюючих вимірювань повинна бути не менша 2. Оцінку сили натягу арматурного елемента виконують шляхом співставлення отриманих за вимірюваннями значень з величинами сил натягу, що задані в нормативних документах або на робочих кресленнях. Відхилення вимірювальних величин повинні не перевищувати допустимі.

Оцінка результату з визначення сили натягу за видовженням стержня виконується шляхом співставлення фактичного видовження з видовженням за розрахунками. Фактичне видовження не повинно відрізнятись від розрахункових значень більш ніж на 20 %.

Встановлення відносної похибки при визначенні тарувальної характеристики приладу, для натягу стержня з діаметром  $d$ , довжиною  $l$  і за дії максимальної сили  $P_{max}$ , що задано у проектній документації, необхідно:

1. На кожному ступені навантаження  $P^i$ , за показами приладу  $Y_{пр,max}^i$ ,  $Y_{пр,min}^i$ , визначити

силу натягу стержневого елементу  $P_{max}^i, P_{min}^i$ ;

2. В одиницях сили, обчислити розмах отриманих показів приладу ( $\Delta P^i$ ):

$$\Delta P^i = P_{max}^i - P_{min}^i;$$

3. У відсотках, визначити відносний розкид показів приладу:

$$\Delta P^i = \frac{\Delta P^i}{P^i} 100\%;$$

4. Визначити максимальну ( $P_{max}^{gr} = 1,1P_{max}$ ) і мінімальну ( $P_{min}^{gr} = 0,5 P_{max}^{gr}$ ) величини сили натягу для проведення тарування приладу;

5. Забезпечити щоб, на кожному ступені прикладеного навантаження, величина його приросту ( $\Delta p$ ) відповідала:

$$\Delta p \leq 0,15(P_{max}^{gr} - P_{min}^{gr}).$$

*Задачі, які пов'язані з автоматизацією процесів виробництва будівельних конструкцій, в тому числі із попередньо-напруженого залізобетону є актуальними для сьогодення і майбутнього. Інвестування підприємства в їх впровадження дозволить покращити економічні показники, які пов'язані з виготовленням одиниці продукції із забезпеченням надійного контролю за їх якістю. А застосування сучасних засобів і приладів дозволить скоротити час на операції, які пов'язані з контролюючими вимірювальними і виробничими процесами.*

Подальша наукова робота авторів буде спрямована в напрямку дослідження і розробки систем метрологічного забезпечення автоматизованих процесів виготовлення і контролю за вимірюванням сили натягу у попередньо напружених залізобетонних конструкціях.

#### Висновки

1. Вибір методів контролю вимірювання сили попереднього напруження залізобетонних елементів залежить від особливостей прийнятого конструкційно-технологічного рішення будівельної конструкції.

2. Пропонується для забезпечення більш надійного контролю виконання попереднього напруження при виготовленні залізобетонних конструкцій застосовувати одночасно два методи вимірювання сили натягу стержневого елемента.

3. Застосування методів вимірювання сили натягу стержневого елемента за показами манометра і за видовженням стержня є найбільш поширеними у мостобудівельній практиці при будівництві монолітних попередньо напружених залізобетонних прогонових будов транспортних споруд.

#### Список використаних джерел

1. Benaim, R. The Design of prestressed concrete bridges, New York: Taylor & Francis, 2008.

2. Gwoździewicz P. Konstrukcje sprężone: Cz.1.Materiały i wykonanie prac / P. Gwoździewicz // Nowoczesne budownictwo: Wrzesień – Październik, 2014. – Str. 58–63.

3. ДСТУ Б В.2.6-124:2010. Конструкції залізобетонні. Методи вимірювання сили натягу арматури – [чинний від\_2012-01-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України – 2011 – 58 с.

4. Таран В. В. Особенности применения композитной арматуры при возведении строительных конструкций зданий и сооружений // В. В. Таран, А. В. Янков // Вісник НАБіА. – 2013. – Вип. 6. – С. 35–40.

5. Кондратчик А. А. Железобетонные конструкции с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом / А. А. Кондратчик // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 5. – С. 44–53.

6. Kotynia R. Przyczepnościowe metody wzmacniania konstrukcji żelbetowych przy użyciu naprężonych kompozytów polimerowych / R. Kotynia // Przegląd budowlany. – 2015. – № 7–8. – Str. 49–56.

7. ДСТУ 13837:2009. Динамометри загального призначення. Технічні умови. – [чинний від\_2009-01-02] – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с.

8. ДСТУ 7222:2011. Динамометри еталонні переносні. Загальні технічні вимоги. [чинний від\_2011-08-01]. – К.: Укрметртестстандарт, 2011-02-02. – 58 с.

9. ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры. Общие технические условия. [чинний від\_1989-07-01]. – К.: Міністерство приладобудування, засобів автоматизації і систем управління СРСР, 1988-12-23. – 30 с.

10. ДСТУ-Н Б В.2.3-34-2016. Настанови з виконання робіт при будівництві мостів і труб. [чинний від\_2017-01-01]. – К.: ДП «ДерждорНД», 2008-26-01. – 96 с.

11. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. [чинний від\_2005-09-01]. – К.: Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики, 2003-05-13. – 8 с.

12. ДСТУ 427:2009. Лінійки вимірювальні металеві. Технічні умови. [чинний від\_2009-02-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008-02-02. – 58 с.

13. ДСТУ ГОСТ 166:2009. Штангенцир-

кулі. Технічні умови (ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), IDT). [чинний від\_2009-12-01] – Міністерство верстатобудівної та інструментальної промисловості СРСР, 2008-02-02. – 17 с.

14. ДСТУ 577:2009. Індикатори годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм. Технічні умови. [чинний від\_2009-02-01]. – Державний Комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2008-12-22. – 17 с.

15. Коваль П. М. Ефективні конструкції залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з використанням попередньо напружених балок / П. М. Коваль, А. Є. Фаль, С. В. Стоянович // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» – 2010 – № 664 : Теорія і практика будівництва. – С. 44–52.

16. Гнідець Б. Г. Залізобетонні конструкції з напружуваними стиками і регулюванням зусиль: монографія / Б. Г. Гнідець. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – 548 с.

17. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції : навч. посібник / Б. Г. Гнідець. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2014. – 260 с.

18. Гнідець Б. Г. Електротермічне попереднє напруження будівельних конструкцій в умовах будівництва / Б. Г. Гнідець, М. Р. Щеглюк, І. Д. Кавацюк. – Львів: СПОЛІОМ, 2004. – 107 с.

19. Руководство по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций // Науч.-исслед. инст. бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.

20. Sieńko R. Systemy monitorowania konstrukcji sprężonych. / R. Sieńko, T. Howiacki, Ł. Berdnarski // Budownictwo. – 2015 (Sierpień). – Str. 54–57.

## References

1. Benaim, R. The Design of prestressed concrete bridges, New York: Taylor & Francis, 2008.

2. Gwoździewicz P. Konstrukcje sprężone: Cz.1.Materiały i wykonanie prac // Nowoczesne budownictwo: Wrzesień – Padziernik, 2014 – Str. 58–63.

3. DSTU B V.2.6-124:2010 Konstruktsii zalizobetonni. Metody vymiriuvannia syly natiahu armatury – [chynnyi vid\_2012-01-01]. – K.: Ministerstvo rehionalnogo rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2011 – 58 s.

4. Taran V. V. Osobennosti primeneniya kompozitnoj armatury pri vozvedenii stroitel'nykh konstruktsij zdaniy i sooruzhenij // V. V. Taran, A. V. Yankov // Visnyk NABiA. – 2013. – Vyp. 6. –

S. 35–40.

5. Kondratchik A. A. Zhelezobetonnye konstruktsii s armaturoj, predvaritel'no napryazhennoj kombinirovannym sposobom / A. A. Kondratchik // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – Minsk, 2008. – № 5. – S. 44–53.

6. Kotynia R. Przyczepnościowe metody wzmacniania konstrukcji żelbetowych przy użyciu naprężonych kompozytów polimerowych // Przegląd budowlany. – # 7–8. – Str. 49–56.

7. DSTU 13837:2009. Dynamometry zahalnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy. – [chynnyi vid\_2009-01-02] – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008. – 14 s.

8. DSTU 7222:2011. Dynamometry etalonnii perenosni. Zahalni tekhnichni vymohy. [chynnyi vid\_2011-08-01]. – K.: Ukrmetrteststandart, 2011-02-02. – 58 s.

9. GOST 2405-88. Manometry, vakuummety, manovakuummety, naporometry, tyagomery i tyagonaporomery. Obshhie tekhnicheskie usloviya. – K.: Ministerstvo pryladobuduvannia, zasobiv avtomatyzatsii i system upravlinnia SRSR, 1988-12-23. – 30 s.

10. DSTU-N B V.2.3-34-2016. Nastanovy z vykonannia robit pry budivnytstvi mostiv i trub. [chynnyi vid\_2017-01-01]. – K.: DP «DerzhdorNDI», 2008-26-01. – 96 s.

11. DSTU 4179-2003 Ruletky vymiriuvalni metalevi. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid\_2005-09-01] – K.: Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi instytut standartyzatsii, sertyfikatsii ta informatyky, 2003-05-13. – 8 s.

12. DSTU 427:2009 Liniiky vymiriuvalni metalevi. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid\_2009-02-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008-02-02. – 58 s.

13. DSTU ГОСТ 166:2009 Shtanhentsyrkuli. Tekhnichni umovy (HOST 166-89 (ISO 3599-76), IDT). [chynnyi vid\_2009-12-01]. – Ministerstvo verstatobudivnoi ta instrumentalnoi promyslovosti SRSR, 2008-02-02. – 17 s.

14. DSTU 577:2009 Indykatory hodynnykovooho typu iz tsinoiu podilky 0,01 mm. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid\_2009-02-01] – Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuвання ta spozhyvchoi polityky, 2008-12-22. – 17 s.

15. Koval P. M. Efektyvni konstruktsii zalizobetonnykh zbirno - monolitnykh prohonovykh budov avtorozhnykh mostiv z vykorystanniam poperedno napruzhenykh balok / P. M. Koval, A. Ye. Fal, S. V. Stoianovych // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». – 2010. – № 664 : Teoriia i praktyka budivnytstva. – S. 44–52.

16. Hnidets B. H. Zalizobetonni konstruktsii z napruzhanymy stykamy i rehuliuванняm zusyly: monohrafiia / B. H. Hnidets. – Lviv : Vyd-vo NU

«Lvivska politekhnik», 2008. – 548 s.

17. Hnidets B. H. Zbirno-monolitni zalizobetonni konstruktsii: navch. posibnyk / B. H. Hnidets. – Lviv: Vyd-vo NU «Lvivska politekhnik», 2014. – 260 s.

18. Hnidets B. H. Elektrotermichne poperednie napruzhenia budivelnikh konstruktsii v umovakh budivnytstva // B. H. Hnidets, M. R. Shcheliuk, I. D. Kavatsiuk. – Lviv: SPOLOM, 2004 – 107 s.

19. Rukovodstvo po tehnologii izgotovleniya

predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh konstrukcij // Nauch.-issled. inst. betona i zhelezobetona Gosstroya SSSR. – M.: Strojizdat, 1975. – 192 s.

20. Sieńko R. Systemy monitorowania konstrukcji sprężonych. // R. Sieńko, T. Howiacki, Ł. Berdnarski // Budownictwo – 2015 (Sierpień). Str. 54–57.

Надійшла до редакції 26.04.2018

**В. П. Квасников**, д.т.н., **Р. Н. Запотоchnый**, к.т.н.

### **МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*В статье рассмотрено и проанализировано методы контроля за измерениями величины силы натяжения при создании предварительного напряжения строительных конструкций. Также описаны процессы тарирования приборов и проведения оценки величины силы натяжения элемента. Надежное метрологическое обеспечение на всех этапах производства железобетонных предварительно напряженных конструкций позволит значительно уменьшить риск возникновения брака в параметрах, которые контролируются измерениями. Введение процессов автоматизации при изготовлении и контроле качества выполнения натяжения стержней для создания предварительного напряжения железобетонных конструкций уменьшит трудозатраты и время на изготовление единицы продукции.*

**Ключевые слова:** метод измерения, сила натяжения, предварительное напряжение, контроль качества, допуск.

**V. P. Kvasnikov**, DSc, **R. M. Zapotochnyi**, PhD

### **METHODS OF MEASUREMENT OF REINFORCING BARS TENSION FORCE DURING PRODUCTION OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

*The article considers methods of control for measuring the tension force of the reinforcing element for creating prestress in prefabricated reinforced concrete structures.*

*The basic methods of control for measuring the tension force of the reinforcing element of pre-stressed reinforced concrete are gravity method, method of measuring according to the indicators of the dynamometer, method of measuring by the indicators of the pressure gauge, method of measuring along the length of the elongation bar, method of transverse pulling of the bar and frequency method.*

*The processes of calibration of instruments and evaluation of the tension force of the reinforcing element are described too. The simultaneous use of two methods for measuring the pre-tension in bar secures better control of the manufacture of reinforced concrete structures. In the construction of monolithic bridges pre-stressed concrete to control of the tension bars are often used: the methods of measuring the force by the indicators of the pressure gauge and the methods of measuring the force by the indicators of the elongation of the bar. Reliable measurement assurance at all stages of the production of reinforced concrete structures pre-tension will significantly reduce the risks emergence of defect in the parameters controlled by measurements.*

*For control the value of bar tension in manufacturing of prefabricated stressed reinforced concrete elements it is expedient to use method of transverse pulling of the bar and frequency method.*

*In modern conditions for the development of enterprises for the manufacture of construction products, the actual question is the introduction of automation into production processes and control over their quality. The introduction of automation in the production process, and quality control tension bars to create prestressing concrete structures will reduce labor-intensive and time for produce one element. Metrological assurance for automation of execution and control processes behind the measurements of tightening forces in production of reinforcing element are actuality area of research.*

**Keywords:** measuring method, tension force, prestressing, quality control, tolerance.