

Й. Й. ЛУЧКО (Львівський державний аграрний університет),  
А. Я. ПЕНЦАК, Р. Я. ПЕЛЕХ (ТзОВ «Фірма Терміт», Львів)

## КОНСТРУКЦІЯ ТА РОЗРАХУНОК З'ЄДНАННЯ АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ ОБТИСКНИМИ ВТУЛКАМИ

У роботі розглянуто проблему з'єднання високоміцної вуглецевої і термомеханічно зміцненої арматури. Проведено аналіз результатів попередніх досліджень із світової практики. Запропоновано конструкцію з'єднання та проведені дослідження балкових залізобетонних елементів, армованих з'єднаною арматурою, на міцність, тріщиностійкість та деформації. Ці дослідження показали доцільність такого з'єднання та надійну працездатність залізобетонних конструкцій, армованих з'єднаною арматурою.

В работе рассмотрена проблема соединения высокопрочной углеродной и термомеханически упрочненной арматуры. Проведен анализ результатов исследований из мировой практики. Предложено конструкцию соединения и проведены исследования балочных железобетонных элементов, армированных соединенной арматурой, на прочность, трещиностойкость и деформации. Эти исследования показали целесообразность такого соединения и надежную работоспособность железобетонных конструкций, армированных соединенной арматурой.

The problem of connection of high-strength carbon and thermomechanically strengthened reinforcements is considered in the paper. The analysis of results of previous investigations from world practice is conducted. The construction of connection is offered and the research of the beam reinforced concrete elements reinforced by the combined reinforcement on durability, crack-durability and deformations is conducted. This research showed the expedience of such a connection and reliable working capacity of the reinforced concrete constructions reinforced by the combined reinforcement.

**Проблема та її актуальність.** На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії широко використовують збірні та монолітні залізобетонні конструкції мостових та транспортних споруд, армовані високоміцною стержневою арматурою різних класів міцності. Для армування бетону в основному застосовують стержні термомеханічно зміцненої арматури стандартної довжини 12 м класу А400С; А600; А800С з періодичним профілем. Потреба у такій арматурі по країні становить сотні тисяч тонн. Крім того, на будівельних підприємствах України складається значна кількість (до 20 % від виробництва арматури) стержневої арматури вказаних класів нестандартної довжини за одночасно існуючого гострого дефіциту такої сталі.

У вітчизняному будівництві, починаючи з п'ятдесятих років минулого століття, для малої арматури періодичного профілю використовували трудомісткі і енергоємні зварні стикові або напускні з'єднання. Однак термомеханічно зміцнена сталь арматури класу А600С, А800С ( $\sigma_s = 1100$  МПа) має суттєвий для виробництва недолік – погано зварюється, тобто зварні з'єднання із неї не задовольняють експлуатаційним вимогам для арматури цього класу. Тому з'єднані так стержні нестандартної довжини можна використовувати як арматуру

класу А400 із заниженою розрахунковою міцністю,  $\sigma_s = 600$  МПа.

Враховуючи це, інженери та вчені розробляли та впроваджували альтернативні способи з'єднання малої арматури. До найпоширеніших належать з'єднання арматури за допомогою різьбової втулки. Суть цього способу полягає в тому, що кінці стержнів обточують і нарізають різьбу відповідного діаметра. Потім на арматуру накручують втулку з внутрішньою різьбою, завдовжки приблизно 100 мм (довжина змінюється залежно від діаметра арматури), з'єднуючи стержні між собою. Цей спосіб має досить суттєві недоліки: складність обробки кінців арматурних стержнів (обточування, виготовлення втулки з внутрішньою різьбою), а також створення додаткових концентраторів напружень внаслідок нарізання різьби.

У наш час особливо поширений перехід на уніфіковану зварювану арматурну сталь з межею текучості  $\sigma_T \geq 500$  Н/мм<sup>2</sup> (А500С і В500) замість менш міцної і гірше зварюваної арматури класу А-ІІІ (А400) з межею текучості  $\sigma_T \geq 400$  Н/мм<sup>2</sup>. До 2005 р. всі металургійні заводи України, Росії, Білорусії, Молдови і Латвії – виробники арматури періодичного профілю – освоїли масове промислове виробництво тер-

момеханічно зміцненої стержневої арматурної сталі класу А500С, А600С діаметром 6...40 мм за СТО АСЧМ 7-93 і холоднодеформованої сталі того ж класу міцності діаметром 4...12 мм, що позначається як В500С.

Головними причинами необхідності повної заміни арматури класу А-III (А400) на арматурну сталь класу А500С та інші є:

- відсутність крихких руйнувань власне арматури та її зварних з'єднань, виконаних дуговым зварюванням, за рахунок низького (до 0,22 %) вмісту вуглецю і структури «природного композиту», що одержується в результаті термомеханічного зміцнення у потоці прокату сталі класу А500С;

- значна (до 22 %) економія сталі за рахунок більш високої межі текучості сталі класу А500С;

- універсальність використання, що дозволяє за рахунок високої пластичності в поєднанні з високою межею пружності і низькою собівартістю, використовувати її у всіх видах арматурних виробів як робочу, так і конструктивну і навіть попередньо напружену арматуру.

**Аналіз результатів попередніх досліджень.** Перехід на арматуру класу А500С (В500С), А600С, А<sub>T</sub>-IV, А-V, А<sub>T</sub>-V, А<sub>T</sub>-VI та їх з'єднання детально досліджено у працях [1–20]. Діючі нормативні документи ТСН 102-00, СП 52-101-2003 та інші нормативні документи [21–32] дозволяють виконувати проектування або будівництво всіх без виключення будівель і споруд в районах з розрахунковою зимовою температурою до –50 °С включно при звичайних, динамічних і вібраційних навантаженнях з використанням цих сталей як робочої або конструктивної арматури у вигляді цілих стержнів або зварних виробів.

Деякі статистичні дані про механічні властивості сталі класу А500С діаметром 6...40 мм [1, 4] і міцність зварних з'єднань, виконаних дуговым зварюванням, наведені в [4, 5].

За всім комплексом механічних властивостей, витривалості, зчепленню з бетоном і зварюваністю ця арматурна сталь відповідає нормам європейських стандартів EN 10080-2005, BS 4449-2005 та ін.

Іншою найважливішою проблемою є стикування арматури як для монолітного залізобетону, так і для довгомірних збірних залізобетонних конструкцій. Тут можна розглядати три способи з'єднання: внапуск (без зварювання), дугове зварювання або механічні з'єднання [15, 16, 17, 20-33].

В Україні, як і в країнах СНД та в багатьох країнах світу, дотепер загальноприйнятим способом з'єднання арматури на монтажі було зварювання: ручне дугове протяжними швами, внапуск і з накладками, ванно-шовне та з багатшаровими швами на сталевій скобі-накладці, а також дугове навхрест.

Для стикування арматурної сталі класу А500С ці види дугового зварювання можуть використовуватися практично без обмеження, але вимагають значної витрати електроенергії і трудовитрат, а також жорсткого систематичного контролю.

Треба зважити на те, що більшість великих аварій залізобетонних конструкцій у процесі їх будівництва відбулися саме через використання дугового зварювання гарячекатаної сталі класу А400 (А-III), переважно марки 35ГС при вмісті вуглецю і марганцю в ній на верхній межі допускалися за ГОСТ 5781.

Тому використання з'єднання при монтажі для арматури класу А400 (А-III) термозміцнених та високовуглецевих арматурних стержнів не рекомендується. Як вказувалося вище, зварювання вимагає контролю як початкового металу, так і якості виконання з'єднань і їх міцності, при цьому для контролю ванно-шовного зварювання необхідно використання неруйнівних методів, зокрема ультразвукову дефектоскопію [34, 35], що значно здорожує роботи на влаштування стиків. Напуск завдовжки від 20Ø до 40Ø, залежно від умов роботи арматури і кількості стиків в одному перерізі, призводить до втрати від 3,5 до 27 % арматури при її діаметрах від 10 до 40 мм і довжині стержнів, що стикуються 6,0 м. При цьому найбільші втрати металу мають місце при стикуванні стержнів великих діаметрів: 32...40 мм – відповідно до 22...27 %. Проте проблема цим не обмежується. Для гарантії міцності таке з'єднання вимагає значної витрати поперечної арматури, а мінімальні величини об'ємного армування повинні складати, наприклад, при міцності бетону 42,3 і 31,5 Н/мм<sup>2</sup> не менше 0,01...0,016 [3, 32, 33], тобто при стикуванні внапуск стержнів великих діаметрів загальні втрати металу можуть скласти до 40 %. Крім того, використання з'єднань внапуск для стикування арматури великих діаметрів призводить до обмеження об'єму для бетону у зоні стику і небезпеки зниження реальної міцності залізобетонного елемента, що особливо небезпечно в колонах і інших стиснутих у стадії експлуатації залізобетонних елементах з невеликим поперечним перерізом.

Ідея стикування високоміцних термомеханічно зміцнених арматурних стержнів механічним способом за допомогою обтискних втулок (обойм, гільз) виникла наприкінці 80-х років на заводах Дніпропетровська та Запоріжжя. На цих заводах назбиралось багато арматури нестандартної довжини, а її стикування за допомогою зварювання суттєво знижує міцність (до 40 %), що є дуже значними втратами. Ця проблема дуже актуальна і при армуванні довгомірних конструкцій (мостових, стояків ліній електропередач та ін.) як монолітних, так і збірних.

На основі звернень керівників заводів та будівельних організацій була сформована інститутами ІЧМ НАН України і ФМІ НАН України програма «Розробка методів забезпечення довготривалої міцності, корозійної стійкості пресованих з'єднань арматурних стержнів у залізобетонних конструкціях» ПС.008.93, за якою безпосередньо за участю автора та під його керівництвом у 1990-1996 рр. було досліджено міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних балкових елементів, що армовані з'єднаною арматурою методом обтиснення втулок при короткочасних та довготривалих навантаженнях, корозійна стійкість пресованих з'єднань арматурних стержнів у різних агресивних середовищах [6].

Різні аспекти цих досліджень описані та опубліковані у багатьох працях [7–13, 15–17, 19, 20]. Зокрема розрахунок фізико-механічних, геометричних та силових параметрів, імовірності утворення дефектів у обоймі і арматурі на стику арматури і обойми розглянуті у працях [6, 7, 11], а дослідження арматурного прокату із серповидним профілем на витривалість та втону міцність з'єднань арматурних стержнів діаметром 10, 12, 14, 16 мм та класів високоміцної арматури А<sub>T</sub>-IV, А<sub>T</sub>-V, А<sub>T</sub>-VI, А<sub>T</sub>-VII, А500С і А600С обтискною втулкою наведено у працях [7, 14, 18, 19]. На даний час розроблені методичні рекомендації зі з'єднання арматурних стержнів обтискними втулками [21] та технічні умови з'єднання стержнів арматурних обтискними втулками [22] та стандарт організації України (СОУ) [23].

**Конструкції з'єднань.** Головним є експлуатаційна безпека будівлі. Тому в більшості країн світу, у тому числі у Великобританії, США, Німеччині, Росії та Україні для стикування арматури діаметром 10...40 мм використовують механічні з'єднання, що гарантують надійність споруди, які описані у працях [32–39] та показані на рис. 1-10.

Механічні з'єднання, за умов їх роботи в залізобетонних конструкціях і залежно від вимог, що пред'являються до їх міцності на розтяг і стиск, поділяються на розтягнуті і стиснуті контактні. Розтягнуті стики можуть використовуватися в залізобетонних конструкціях з розрахунковими опорами розтягу і стиску за нормативними документами для арматури відповідних класів.

Стиснуті контактні стики можуть використовуватися тільки для залізобетонних конструкцій, арматура яких у стадії експлуатації стиснута, і на розтяг не розраховуються. Їх розрахункові опори стиску приймаються за нормативними документами для арматури відповідних класів.

Міцність, деформативність і пластичність розтягнутих механічних з'єднань арматурної сталі на розтяг повинні відповідати нормам та даним, які наведені у працях [21–23, 36]

За способом виготовлення механічні з'єднання поділяються на:

- впресовані, створювані шляхом багаторазового або одноразового поперечного обтиску або протяжки з'єднувальної втулки (муфти) (рис.1–4, 10);

- гвинтові, у тому числі стержні спеціального гвинтового профілю, які створюються шляхом накручування муфти і контргайок з різьбою на гвинтовий періодичний профіль стержнів (рис. 3), що з'єднуються, і стержні будь-якого профілю з різьбою на кінцях (рис.5а, 5b; 6), які створюються шляхом накручування муфти на кінці стержнів, що з'єднуються, із заздалегідь зробленою різьбою ;

- болтові, створювані шляхом закручування болтів, розташованих на бічній поверхні муфти (рис.7; 8а, b, c).

За конструкцією механічні з'єднання поділяються на:

- стандартні, що використовуються для з'єднання стержнів одного діаметру, коли хоча б один стержень може вільно обертатися (рис. 3);

- перехідні, використовуються для з'єднання стержнів різних діаметрів (рис. 6);

- позиційні, коли жоден із стержнів, що з'єднується, не може вільно обертатися (рис.5с; 8d; 9);

- монтажні, для з'єднання арматурних стержнів з профілем або пластиною з використанням зварювання.

Механічні з'єднання можуть застосовуватися для стикування стержнів арматури діаметром 12...40 мм класів А500С за СТО АСЧМ

7-93, А400 (А-III), А600 (А-IV) і А800 (А-V) за ГОСТ 5781; Ат600 (А<sub>T</sub>-IV) і Ат800 (А<sub>T</sub>-V) за ГОСТ 10884.

Потрібно також відзначити досвід [2] стикування і анкерування попередньо напруженої стержневої арматури класів А600 і Ат800 за допомогою впресованих муфт завдовжки всього  $4\phi$  в умовах заводів ЗБВ. У 2004 р. Асоціацією «Залізобетон» випущені «Рекомендації з механічних з'єднань арматурної сталі для залізобетонних конструкцій», що рекомендуються Держбудом Росії для широкого використання [27–29].

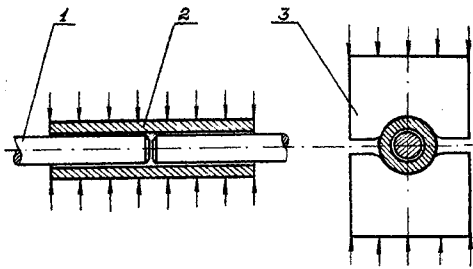


Рис.1. Принципова схема втулкового з'єднання:  
1 – арматурний стержень; 2 – обтиска втулка;  
3 – пуансон

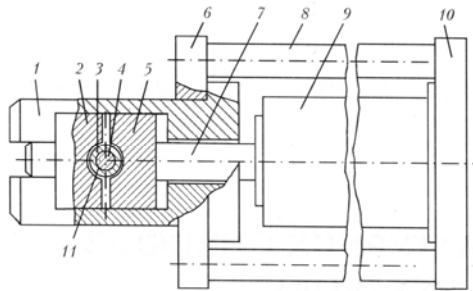


Рис.2. Пристрій для з'єднання арматурних стержнів:

1 – робоча головка; 2 – верхній пуансон; 3 – стальна втулка; 4 – кінці стержнів арматури; 5 – нижній пуансон; 6 – верхня опорна плита; 7 – шток; 8 – колони; 9 – силовий гідроциліндр; 10 – нижня опорна плита; 11 – перехідна вставка

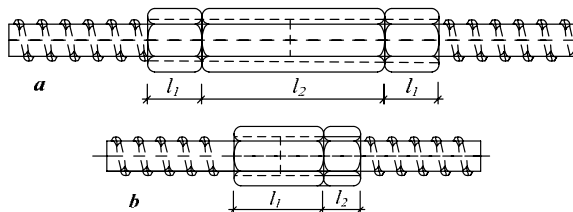


Рис.3. Гвинтові з'єднання арматурної сталі періодичного профілю:

*a* – розтягнений; *b* – стиснений контактний стик

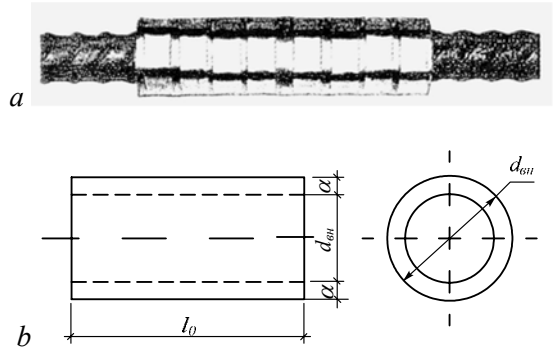


Рис.4. Запресований стик арматури, виконаний на будівельному майданчику на мобільному обладнанні багаторазовим поперечним деформуванням з'єднувальної муфти проміжками:

*a* – загальний вигляд; *b* – з'єднувальна муфта для запресування стиків

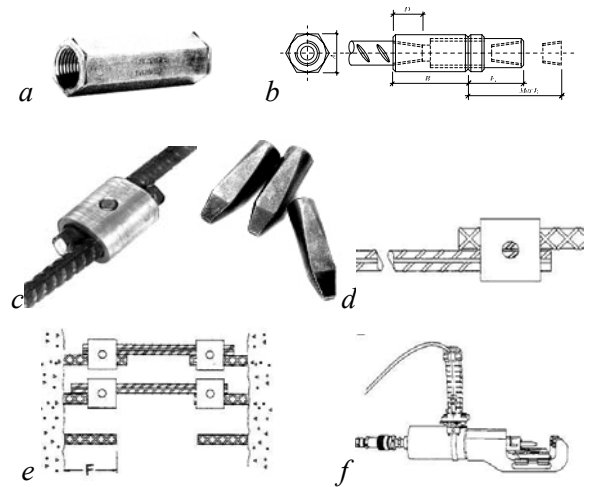


Рис.5. З'єднання арматурних стержнів виробництва фірми «ERICO»:

*a* – стандартне з'єднання з конічною різьбою типу А12; *b* – позиційне з'єднання стержнів з конусною різьбою типу Р13; *c* – загальний вигляд з'єднання типу Quick Wedge; *d, e* – схема з'єднання стержнів Quick Wedge; *f* – апарат для влаштування з'єднання Quick Wedge;

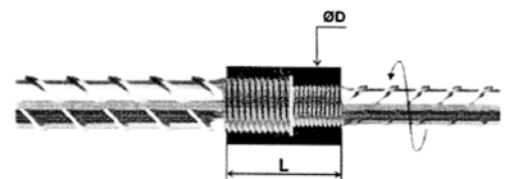


Рис.6. Перехідне з'єднання BARTEC виробництва фірми «DEXTRA»

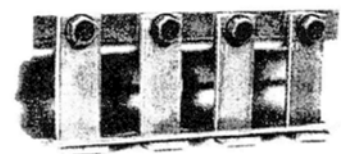


Рис.7. З'єднання Speed Sleeve

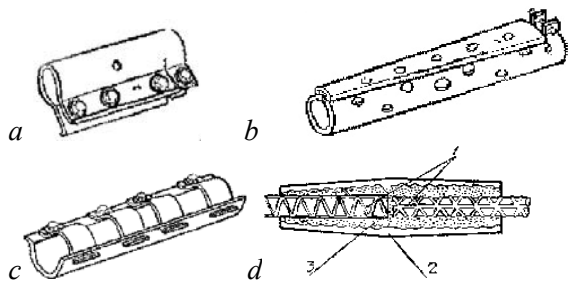


Рис.8. З'єднання арматурних стержнів фірм США:

*a, b, c* – за допомогою фрикційно-затискних пристроїв;  
*d* – за допомогою муфти, заповненої розчином;

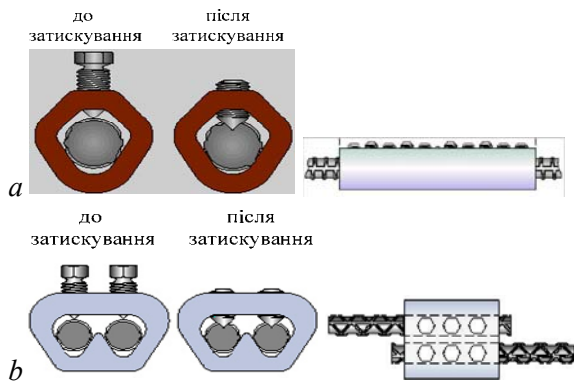


Рис.9. З'єднання арматурних стержнів системою Zap Screwlock System:

*a* – в стик; *b* – в напуск

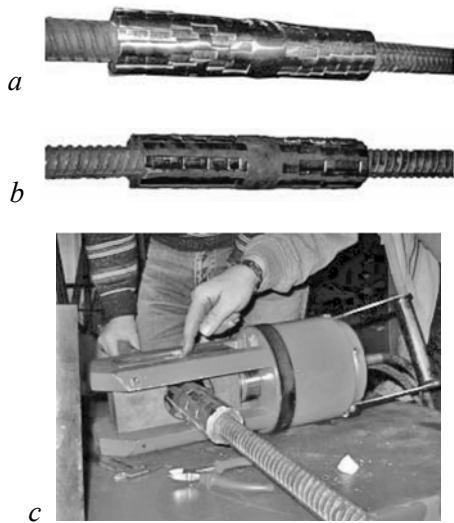


Рис.10 З'єднання арматури фірмою «Следящие тест-системы» (Росія):

*a, b* – вигляд арматурного стику муфтами;  
*c* – гідравлічний прес для стикування арматури;

Лабораторією арматури НДІЗБ розроблені Технічні умови і проведені сертифікаційні випробування механічних впресованих з'єднань (ТОВ «Спрут»), гвинтових з конусною різьбою («Еріко-Лентон») і з циліндричною різьбою («Бартех-Декстра»), номери сертифікатів сис-

теми «Мосстройсертификация» відповідно RU.MCC.190.620.2.ПР.11647;  
RU.MCC.190.620.5.ПР.3.10884;  
RU.MCC.190.620.5.ПР.11020.

Вартість механічних з'єднань для розтягнутої у стадії експлуатації арматури співмірна з вартістю арматури, яка має перевитрати при використанні з'єднань на зашморг, але нижче вартості стиків, виконаних ванним або ванношовним зварюванням, а трудовитрати на будівельному об'єкті нижчі, ніж при будь-якому виді зварювання. Так, тривалість стикування розтягнутого стику опресовуванням арматури на устаткуванні фірми «Спрут» складає близько 20 хв., а виготовлення гвинтового з'єднання фірми «Лентон» з конусною різьбою – менше 10 хв.

Вартість стиснутих контактних з'єднань істотно нижче за рахунок менших довжин муфт і можливості використання клинових і інших найпростіших пристроїв [36]. Разом з тим, при використанні механічних з'єднань потрібна підготовка арматури, наприклад, обов'язкове торцювання стержнів для стиснутих контактних стиків, нарізка або накатка різьби на торцях арматурних стержнів при різьбових з'єднаннях і їх затягування динамометричним ключами з певним зусиллям і т.ін. Словом, це інший, більш високий рівень технології, що вимагає якісного виконання комплексу підготовчих заходів і робіт безпосередньо на об'єкті.

У лабораторії арматури НДІЗБ були досліджені залізобетонні елементи з деякими видами механічних з'єднань, що згинаються і стиснуті. Встановлено, що при відповідності з'єднувальних елементів відповідним нормам і точному виконанні технологічного регламенту міцність залізобетонних елементів з такими з'єднаннями арматури не відрізнялася від міцності аналогічних залізобетонних елементів із суцільними стержнями – стержнями без стику. Ці дослідження в міру можливості будуть продовжені і на інших видах з'єднань.

Встановлено, що використання механічних з'єднань економічно виправдане при використуванні арматури діаметром 25...40 мм і у будь-якому випадку забезпечує більш високу надійність залізобетону, перевірену багаторічною практикою інших країн [30, 32–34].

Як бачимо в Україні проведені серйозні дослідження в цьому напрямку, отримані патенти [15, 17], згадані технічні умови та стандарт засвідчує про високий науковий рівень розробки в цьому напрямку.

**Числове розв'язування осесиметричної задачі з'єднання арматурних стержнів пружною обтискною втулкою.** Великогабаритні конструкції часто потребують укріплення чи армування за допомогою дуже довгих стержнів. Технологічно такі стержні виготовляються з окремих кусків арматури, та їхнє з'єднання є важливим виробничим завданням. Існуючий метод такого з'єднання за допомогою зварювання не є досконалим для високовуглецевої арматури, оскільки при накладанні і подальшому зварюванні втрачається частина поперечного перерізу арматури, тобто міцність з'єднання за недостатньо доброї зварюваності може бути значно зниженою.

У даній роботі за допомогою числового моделювання обґрунтовується технологія іншого способу механічного з'єднання арматури за допомогою накладання на стержні пружної циліндричної обтискної втулки.

Нижче наведемо основні дані з'єднання арматурних стержнів обтискною втулкою, які покладені в основу цього методу з'єднання. На рис. 11 представлено розрахункову схему з'єднання.

1. Розглядається задача теорії пружності про обтискання за допомогою навантаження  $P$  співосних абсолютно жорстких циліндричних стержнів, що дотикаються торцем і охоплені пружною циліндричною втулкою, що займає тривимірну область  $V$ , обмежену поверхнею  $\Sigma$  (рис. 12). З математичного погляду вона полягає у розв'язуванні рівнянь рівноваги у втулці.

$$\left( C_{ijkl} u_{k,l} \right)_{,j} + X_i = 0 \quad (1)$$

при використанні мішаних крайових умов на її поверхні  $\sum (\Sigma_u \cup \Sigma_\sigma = \Sigma)$ :

$$u_i \Big|_{\Sigma_u} = u_i^0, \quad C_{ijkl} u_{k,l} n_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = S_i^0. \quad (2)$$

Тут  $C_{ijkl}$  – компоненти тензора модулів пружності;  $u_i$ ,  $X_i$ ,  $S_i^0$ ,  $n_j$  – компоненти векторів переміщень, об'ємних та поверхневих сил, а також зовнішньої нормалі до поверхні  $\Sigma_\sigma$ , відповідно;  $u_{i,j} \equiv \partial u_i / \partial x_j$ . За однаковиими індексами, які зустрічаються в одному виразі двічі, відбувається підсумовування від одиниці до трьох.

У випадку ізотропного тіла компоненти тензора модулів пружності матимуть вигляд

$$C_{ijkl} = \alpha \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}),$$

де  $\alpha, \mu$  – параметри Ляме;  $\delta_{ij}$  – компоненти одиничного тензора.

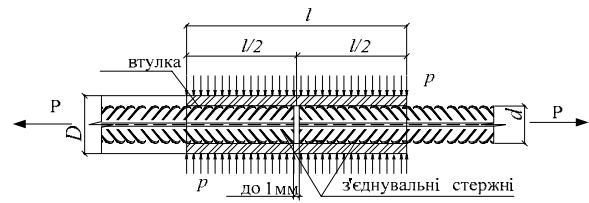


Рис. 11. Розрахункова схема з'єднання арматурних стержнів обтискною втулкою

2. Для числового розв'язування задачі (1), (2) зручно використовувати її варіаційну постановку [37], яка полягає у мінімізації лагранжіана

$$L = \int_V W dV - \int_V X_i u_i dV - \int_{\Sigma_\sigma} S_i^0 u_i d\Sigma \quad (3)$$

де  $W = \frac{1}{2} C_{ijkl} u_{i,j} u_{k,l}$  – питома енергія пружної деформації.

Далі в (3) перейдемо до циліндричних координат  $z, r, \varphi$

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi, \quad z = z.$$

Враховуючи симетричність області  $V$  і зовнішніх сил  $\bar{X}, \bar{S}^0$  відносно осі  $Oz$ , достатньо обмежитися аналізом відповідної прямокутної області (рис. 12), в якій лагранжіан (3) набуде вигляду

$$L_0 = \int_{V_0} r W(\vec{v}) dV + \int_{V_0} r X_i v_i dV - \int_{\Sigma_0} r S_i^0 v_i d\Sigma; \quad (4)$$

$$W(\vec{v}) = \frac{1}{2} \tilde{C}^{ijkl} \nabla_j v_i \nabla_l v_k,$$

де  $V_0$  – двовимірна область ( $\Sigma_0$  – одновимірна її межа), отримана перерізом області  $V$  площинною, яка проходить через вісь  $Oz$  (рис. 12). Тут  $\vec{v}(v_1, v_2)$ ,  $v_1 \equiv u_z(z, r)$ ,  $v_2 \equiv u_r(z, r)$ ,  $u_\varphi \equiv 0$ ;  $\tilde{C}^{ijkl}$  – компоненти тензора  $C$  в циліндричній системі координат;  $\nabla_j v_i$  – коваріантні похідні компонент вектора переміщень  $v_i$  за відповідною координатою.

Застосовуючи детально описану в [38] процедуру варіаційно-різницевого методу для осесиметричних задач для кожного типу крайових умов на  $\Sigma_0$ , отримаємо різницеву схему  $A^h \vec{u}^h + \vec{F}^h = 0$ , яка є системою лінійних алгеб-

раїчних рівнянь. Цю систему розв'язуємо ітераційним методом [39].

Описаний метод реалізований у вигляді пакету програм, які дають можливість враховувати різні крайові умови, параметри області та середовища.

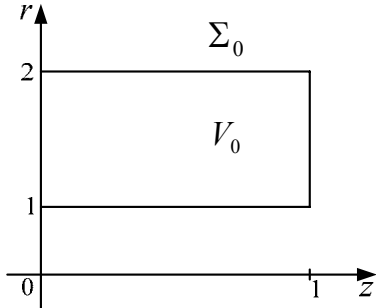


Рис. 12. Верхня половина області  $V_0$

3. Використовуючи наведений вище метод, розв'язана осесиметрична пружна задача про механічний контакт арматури з обтискною втулкою. Всі розрахунки проводились у безрозмірних величинах. З огляду на це вважалось, що товщина втулки  $d=1$ , її модуль пружності  $E=1$ , а коефіцієнт Пуассона  $\nu=0,3$ . З огляду на ребристу поверхню арматури, контакт між втулкою та арматурою був неповним. Оскільки стержні арматури припускались абсолютно жорсткими, то при контакті ребер арматури (рис. 13) із втулкою були відсутні радіальні переміщення  $u_r$ . Довжини ребер арматури дорівнювали відстані між ними.

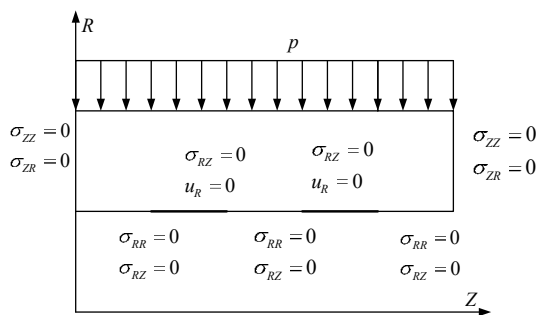


Рис. 13. Пружна обтискна втулка з вказаними крайовими умовами

Отримані значення радіальних переміщень  $u_r/d$  і напружень  $\sigma_{rr}/E$  при відповідному значенні стискувального навантаження  $P$  зображені на рис. 14. На цьому рисунку також показано, як буде змінюватись внутрішня поверхня втулки.

Числовий аналіз засвідчив, що найбільші за абсолютною величиною нормальні радіальні напруження  $\sigma_{rr}/E$  виникають на краях ребер арматури. Радіальні переміщення  $u_r/d$ , навпаки, найбільші на краях пружної муфти.

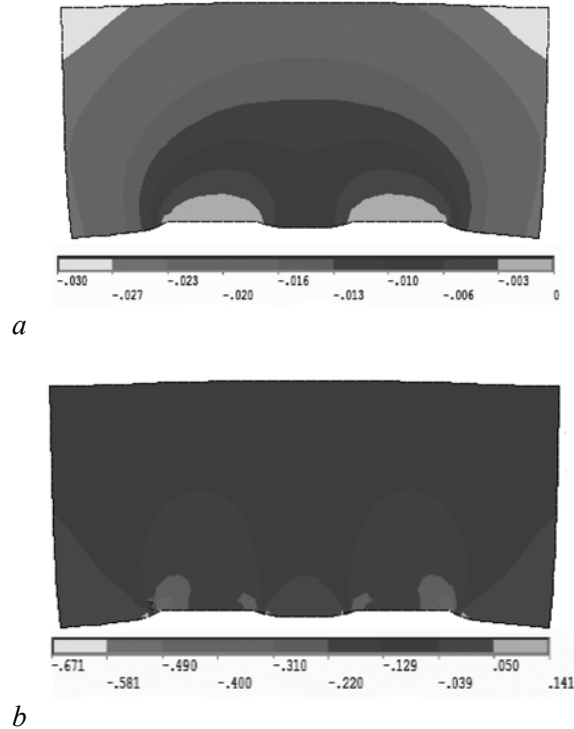


Рис. 14. Діаграми:  $a$  – переміщень  $u_r/d$  при заданому навантаженні  $P=1$ ;  $b$  – напружень  $\sigma_{rr}/E$  при тому ж навантаженні

**Експериментальні дослідження міцності з'єднань арматурних стержнів.** Програма досліджень включає в себе виготовлення залізобетонних балок, що армовані стержнями, з'єднаними обтиснутою втулкою. Конструкція дослідних балок та схема армування приведені на рис. 15. Каркас залізобетонних балок складається з робочої арматури  $\varnothing 12$  та  $\varnothing 14$  мм класу 500С довжиною 2080 мм. В крайніх третях прогону забезпечено поперечне армування арматурою  $\varnothing 3$  мм класу Вр-1 довжиною 180 мм.

Крок поперечних стержнів становив 100 мм, загальна кількість стержнів поперечної арматури 16 шт., верхнє армування виконане в крайніх третях прогону зі стержнями  $\varnothing 3$  мм класу Вр-1 довжиною 730 мм. Відсоток армування поперечного перерізу конструкції становить 0,542 %. Перед виготовленням балок здійснювали попередній натяг робочої арматури, що з'єднана за допомогою опресованих втулок [20, 36, 40] електромеханічним способом.

Для перевірки і контролю напружень у з'єднанні арматурних стержнів на арматурі і на втулці були наклеєні тензорезистори.

Паралельно проводили заміри деформації, які здійснювали за допомогою індикатора годинникового типу. Для цього на робочій арматурі закріплено два стержні з базою 100 мм. За величиною деформації і значення модуля Юнга для арматурного стержня і втулки можна визначити напруження, як окремо в елементах, так і в з'єднанні у цілому при їх випробуванні. Дослідження балок виконували у випробувальній лабораторії ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України на випробувальній машині ЕУО20. Результати цих досліджень описані у праці [40].

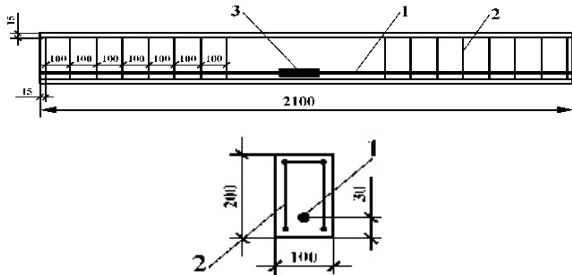


Рис. 15. Конструкція залізобетонної балки:  
1 — робоча арматура; 2 — конструктивна поперечна арматура; 3 — втулка

На рис. 16 наведені діаграми втоми різних способів з'єднання арматури. Зокрема, показано, що з'єднання втулкою з пластичною вставкою за характеристиками близьке до арматури без з'єднання, а стикування зварюванням має суттєві відхилення.

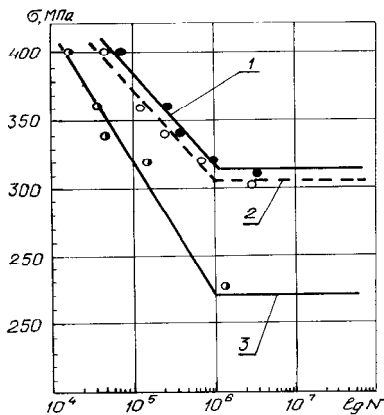


Рис. 16. Діаграми втоми різних способів з'єднання арматури:  
1 — суцільна арматура; 2 — втулка з пластичною вставкою; 3 — стикувальна зварка

Характер руйнування при втомному випробуванні показано на рис. 17.

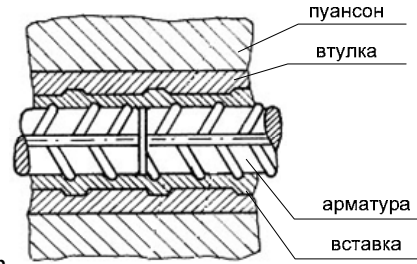


Рис. 17. Характер руйнування при втомному випробуванні

В процесі експериментальних досліджень також проводились випробування з'єднання арматури з пластичною вставкою (рис. 18).



a



b

Рис. 18. Схема з'єднання арматури втулкою з пластичною вставкою:

a — загальний вигляд; b — схема влаштування пластичної вставки

Загальний вигляд випробувальної установки та балкові зразки після випробування наведено на рис. 19, 20.



Рис. 19. Загальний вигляд випробувальної установки



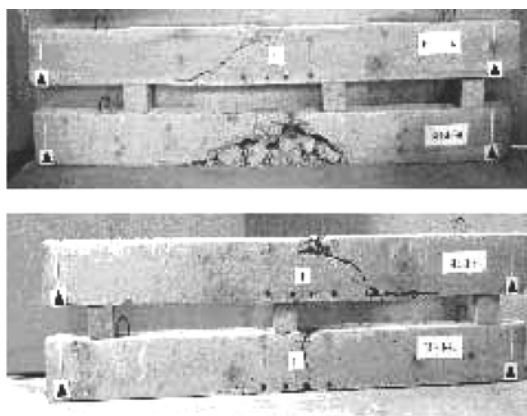


Рис. 20. Балкові зразки після випробування

Геометричні та фізико-механічні характеристики балок наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Фізико-механічні характеристики балок**

Шифр балок	$b$ , мм	$h$ , мм	$h_0$ , мм	$d$ , мм	$\mu$ , %	$\sigma_{sp}$ , МПа
БНІ-1к	102	215	190	12	0,58	529
БНІ-2в	100	197	172	12	0,66	529
БНЗІ-3в	102	196	171	12	0,65	529
БНЗІ-4в	104	201	176	12	0,62	529
БНІІ-1к	101	198	173	14	0,88	433
БНІІ-2в	103	196	171	14	0,87	433
БНЗІІ-3в	102	197	172	14	0,87	433
БНЗІІ-4в	102	200	175	14	0,86	433

**Аналіз результатів та висновки.**

У даний час тільки впресовані стики виготовляються в Росії на вітчизняному устаткуванні фірм «Спрут» і «СТС». Інші види з'єднань вимагають використання імпортного устаткування і муфт. Тому для дійсно масового використання стиків методом обтиску металевих обойм необхідна організація виробництва в Україні втулок та гвинтових муфт і устаткування для нарізки або накатки різьби на арматурі.

Ще одним, абсолютно необхідним заходом для забезпечення зниження витрати металу і бетону та підвищення надійності будівель і споруд з монолітного залізобетону, особливо в умовах можливого прогресуючого руйнування, є використання систем попереднього натягу арматури на бетон «без зчеплення», але ця тема вимагає більш докладного обговорення.

Обґрунтовано доцільність переходу на арматурну сталь класу А500С (В500С). Розглядається проблема стикування арматури для монолітного залізобетону. Порівнюються різні способи з'єднання арматури, показані переваги механічних з'єднань.

У роботі також наведена характеристика матеріалів, конструкція зразків та технологія їх виготовлення. Описана методика та схема випробування балкових залізобетонних зразків на втомну міцність та фізико-механічні характеристики балок, армованих з'єднаною арматурою.

Отже, числовий розв'язок осесиметричної задачі з'єднання арматурних стержнів пружною обтискнуою втулкою показав, що найбільші за абсолютною величиною нормальні радіальні напруження  $\sigma_{rr}/E$  виникають на краях ребер арматури. Радіальні переміщення  $u_r/d$ , навпаки, найбільші на краях пружної муфти.

Арматура залізобетонних конструкцій і арматурні роботи при виготовленні будівель різного призначення з монолітного залізобетону переживають в даний час революційні зміни, пов'язані з реалізацією найсучасніших досягнень науки і техніки в цій області.

Підсумовуючи результати наведених досліджень, можна стверджувати, що маючи методичні рекомендації, технічні умови та стандарт організації України (СОУ) на з'єднання арматурних стержнів та перевірку працездатності конструкцій на різні силові фактори з таким армуванням можна пропонувати до застосування у будівництві будівель і транспортних споруд.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. СТО АСЧМ 76-93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали» // ТУ / Асе. – Черметстандарт, 04.10.1993.
2. Мадатян С. А. Арматура железобетонных конструкций. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
3. Дегтярев В. В. Прочность сцепления арматуры периодического профиля с бетонами классов прочности В-10-В-100 // Бетон и железобетон, 2005. – № 6. – С. 13-18.
4. Дегтярев В. В. Изменчивость механических свойств и площади поперечного сечения арматуры класса А500С // Бетон и железобетон, 2005. – № 1. – С. 2-7.
5. Мадатян С. А. Новая горячекатаная свариваемая арматура класса А500С / С. А. Мадатян, В. В. Дегтярев, Л. А. Зборовский и др. // Бетон и железобетон, 2001. – № 6. – С.12-14.
6. Звіт № держ. реєстр. 0197V003094 по темі: Розробка методів довготривалої міцності, корозій-

- ної стійкості пресованих з'єднань арматурних стержнів у залізобетонних конструкціях. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 1996. – 145 с.
7. Лучко Й. Й. Методи оцінки несучої здатності і підвищення тріщиностійкості залізобетонних елементів конструкцій. – Львів: Слово і комерція, 1997. – 435 с.
  8. Лучко Й. Й. Методологічні аспекти з'єднання арматури обтиснутою втулкою / Й. Й. Лучко, Я. Л. Іваницький, М. Д. Куцигін, Ю. М. Беклемішев // П Міжн. симп. «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». – Вип. 2. – Львів, 1996. – С. 347-349.
  9. Лучко Й. Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність балок, армованих з'єднаною арматурою // Зб. наук. пр. «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». – Вип. 4. – Львів: Каменяр, 2000. – С. 371-378.
  10. Лучко Й. Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних плит, армованих з'єднаною арматурою // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 3. – Львів: Каменяр, 2001. – С. 148-153.
  11. Лучко Й. Й. Розрахунок фізико-механічних, геометричних та силових параметрів пластичного деформування товстостінних трубчатих з'єднань арматурних стержнів // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 4. – Львів: Каменяр, 2002. – С. 112-122.
  12. Лучко Й. Й. Оцінка працездатності втулкового з'єднання арматурних стержнів / Й. Й. Лучко, Я. Л. Іваницький, М. М. Гвоздюк // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 5. – Львів: Каменяр, 2003. – С. 137-142.
  13. Ігнатишин М. І. Сучасний стан проблеми з'єднання арматури періодичного профілю у залізобетонних конструкціях / М. І. Ігнатишин, М. М. Гвоздюк // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 6. – Львів: Каменяр, 2004. – С. 42-47.
  14. Лучко Й. Й. Дослідження арматурного прокату із серповидним профілем / Й. Й. Лучко, І. В. Мельник, С. Т. Штаюра // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 6. – Львів: Каменяр, 2004. – С. 82-86.
  15. Лучко Й. Й. Деклараційний патент на винахід України № 63168А (УЩЧСБ/03) «Спосіб з'єднання арматурних стержнів періодичного профілю та пристрій для його реалізації» / Й. Й. Лучко, Я. Л. Іваницький, С. Т. Штаюра, М. І. Ігнатишин. – Бюл. № 1 від 15.01.2004.
  16. Лучко Й. Й. Методичні рекомендації з проектування та технології виготовлення залізобетонних конструкцій армованих стержнями, що з'єднані обтиснутими втулками / Й. Й. Лучко, В. В. Гембара, Я. Л. Іваницький та ін. – Львів: ФМУ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2004. – 27 с.
  17. Іваницький Я. Л. Деклараційний патент на винахід України № 10126 «Спосіб механічного з'єднання арматури» / Я. Л. Іваницький, М. М. Гвоздик, В. В. Варський, Й. Й. Лучко. – Бюл. № 11 від 15.11.2005.
  18. Коваль П. М. Дослідження витривалості зразків арматури класу А500С / П. М. Коваль, І. П. Бабяк // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 7. – Львів: Каменяр, 2005. – С. 57-62.
  19. Іваницький Я. Л. Втомна міцність з'єднань арматурних стержнів / Я. Л. Іваницький, В. В. Варський, Й. Й. Лучко, М. М. Гвоздюк, У. А. Вергун // Зб. наук. пр. «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». – Вип. 6. – Львів: Каменяр, 2005. – С. 334-338.
  20. Іваницький Я. Л. Спосіб з'єднання арматурних стержнів, обтиснутих втулкою / Я. Л. Іваницький, Й. Й. Лучко, М. М. Гвоздюк, У. А. Вергун // Зб. наук. пр. «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», 2006. – С. 435-439.
  21. МР В.2.3-218-03534506-510:2006. Методичні рекомендації «З'єднання арматурних стержнів обтискними втулками». – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2006. – 18 с.
  22. ТУ У В.26.6-00018112-257:2006. З'єднання стержнів арматурних обтискними втулками. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2006. – 15 с.
  23. Лучко Й. Й. СОУ 45.2 – 10018112 – 016: 2007. З'єднання арматурних стержнів обтискними втулками / Й. Й. Лучко, А. Я. Пенцак, О. О. Стабравський. – Львів: ЛРНТУ Держдор НДІ, 2007. – 14 с.
  24. ДБН. В. 2.3 – 14: 2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування.
  25. СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
  26. Территориальные строительные нормы г. Москвы (ГСП 102-00) «Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400С». – М., 2000. – 52 с.
  27. Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях термомеханически упроченной свариваемой стержневой арматуры новых видов. – М.: ГНЦ «Строительство». НИИЖБ, 1997. – 16 с.
  28. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». – М.: ФГУП ЦПП. – 23 с.
  29. Свод правил по проектированию и строительству (СП 52-101-2003) «Бетонные и железобетон-

- ные конструкции без предварительного напряжения арматуры». – М.: ФГУП ЦПП. – 53 с.
30. Eurocode 2. Design of concrete structures. – Part 1.1: General rules for buildings. CEN / 225 p., April 2003.
  31. Гурова Г. Г. Опыт применения ультразвукового контроля качества сварной арматуры / Г. Г. Гурова, В. П. Павлов, Л. Н. Уварова // Новые виды арматуры и ее сварка. – М.: НИИЖБ, 1982. – С. 208-211.
  32. Cagley J. R. Comparing costs – butt splices versus lap splices / J. R. Cagley, R. Apple // Concrete International. – July 1998. – P. 55-56.
  33. Mechanical connection of reinforcing bars // ACI Structural Journal, 1991. – V. 88, № 2.
  34. ACI318 / Building Code. Requirements for Structural Concrete and Commentary. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 1985.
  35. Самокрутов А. А. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхометодом: состояние и перспективы / А. А. Самокрутов, В. Г. Шевальдин, В. Н. Козлов // В мире НК, 2002. – № 2 (16). – С. 6-10.
  36. Лучко Й. Й. Нові технології і матеріали для арматурних робіт в монолітних залізобетонних конструкціях та спорудах / Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 9. – Львів: Каменярь, 2007. – С. 12-25.
  37. Победря Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981.
  38. Шешенин С. В. Применение вариационно-разностного метода к осесимметричным задачам теории упругости / С. В. Шешенин, И. С. Кузь // Упругость и неупругость. – М., 1987. – С. 39-44.
  39. Шешенин С. В. О прикладных итерационных методах / С. В. Шешенин, И. С. Кузь // Вычислительная механика деформируемого твердого тела. – Вып. 1. – М., 1990. – С. 63-75.
  40. Лучко Й. Й. Матеріали та балкові зразки, армовані з'єднаною арматурою для дослідження втомної міцності / Й. Й. Лучко, І. І. Вергун, С. М. Сендерський // Зб. наук. пр. «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». – Вип. 8. – Львів: Каменярь, 2007. – С. 79-83.

Надійшла до редколегії 22.10.2007.