

**Висновки.** Математичний опис пожежі у приміщенні залежить від багатьох параметрів. Залежність температура-час можна подати різними формулами, однак потрібно вибрати ту, яка якнайкраще відповідає експериментальним даним.

Експериментальна пожежа у модельному приміщенні тривала 2 год 21 хв, максимальна температура була зафіксована на 19 хв розвитку пожежі і становила 811 °С.

Експериментальну криву порівняно добре описує розрахункова крива BFD порівняно зі стандартною та параметричною кривими. Проте треба або вдосконалити криву BFD, або створити іншу розрахункову криву, яка якнайточніше відповідатиме розвитку пожеж у приміщеннях.

1. *Моделирование пожаров и взрывов: монография / [И.Ф. Астахова, В.П. Беляцкий, Н.Н. Брушлинский и др.]; под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко; Ассоц. "Пожнаука". Пожар. безопасность и наука. – М.: Ассоц. "Пожнаука", 2000. – 482 с.* 2. *Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях / под ред. Ю.А. Кошмарова. – М., Стройиздат, 1988. – 448 с.* 3. *Barnett C.R. BFD Curve: A New Empirical Model for Fire Compartment Temperatures. – Fire Safety Journal № 37, 2002. – P. 437–463. [www.elsevier.com/locate/firesaf](http://www.elsevier.com/locate/firesaf).* 4. *Rasbash D., Ramachandran G., Kandola B., Watts J., Law M. Evaluation of Fire Safety. – John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 2004.* 5. *ДБН В.1.2–7:2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.* 6. *ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.* 7. *EN 1991-1-2 (2002). Eurocode 1: Actions and Structures. Part 1-2: General Actions on Structures Exposed to Fire.* 8. *Шналь Т.М. Характеристика моделей розвитку пожеж [Текст] / Т.М. Шналь, І.П. Синенько, М.І. Стасюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". – 2011. – № 697. – С. 252–256.* 9. *Демчина Б.Г. Дослідження вогнестійкості фрагмента огорожувальної конструкції із монолітного пінобетону [Текст] / Б.Г. Демчина, А.П. Половко, В.С. Фіцик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". – 2008. – № 627. – С. 76–80.*

УДК 691.328.34 : 620.17

**Б.Г. Демчина, В.Б. Верб, Р.В. Сухоцький, Т.П. Пиріг**  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

## **АНКЕРУВАННЯ СТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ ЗА РАХУНОК ЗЧЕПЛЕННЯ У ЗРАЗКАХ-БАЛКАХ З ПІНОБЕТОНУ**

© Демчина Б.Г., Верб В.Б., Сухоцький Р.В., Пиріг Т.П., 2012

Наведено методику та результати лабораторних експериментальних досліджень зчеплення арматури з пінобетоном у зразках-балках за методикою RILEM, пристосованою до зразків з пінобетону. Проведено порівняння з попередніми дослідженнями.

**Ключові слова:** зчеплення, пінобетон, арматура періодичного профілю, балковий метод.

**This article is devoted to the methods and the results of laboratory experimental tests of reinforcing steel bonding in foam concrete beam specimens. The RILEM beam test method was adapted to usage of foam concrete. These results were compared to formerly obtained data.**

**Key words:** bonding, foam concrete, ribbed reinforcing steel bar, beam test.

**Постановка проблеми.** Проблема забезпечення надійної спільної роботи арматурних стрижнів та пінобетону є ключовою під час проектування пінобетонних армованих конструкцій. Передача зусиль на арматуру відбувається завдяки її анкеруванню, яке здебільшого забезпечується

зчепленням арматури та бетону. Явище зчеплення традиційно досліджують методами висмикування, вдавлювання чи випробування на згин.

Як показує досвід [1], параметри зчеплення арматури з пінобетоном, визначені шляхом висмикування з призматичних зразків, не можуть однозначно використовуватися під час проектування балкових конструкцій. Вважається, що вони правдоподібно моделюють зчеплення стрижнів з пінобетоном лише на ділянці балки між опорою та першою похилою тріщиною. Зумовлено це різницею у напружено-деформованому стані, що виникає в обох типах зразків, а саме: у призмах та балках. У призматичних зразках пінобетон перебуває у стисненому стані, а у балкових зразках присутня розтягнута зона, в якій як арматура, так і пінобетон, розтягуються. У балках виникають похилі тріщини, які провокують розвиток поздовжніх тріщин та розколонування пінобетону, чого не спостерігаємо у призмах. Отже, виникає потреба дослідження зчеплення арматури з пінобетоном у балкових зразках.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На теренах колишнього СРСР анкеруванням арматури в пінобетоні займалися Є.Н. Добринін, В.В. Макаричев, К.М. Мілейковська, Н.І. Левін та інші. Свої дослідження вони проводили за методом висмикування арматури зі зразків-призм. Сьогодні в Україні не стандартизовано жодної з методик випробувань анкерування арматури в бетонах, пінобетону зокрема. На Заході зчеплення арматури з бетоном досліджується також за різними методиками, але найбільшого поширення набув балковий метод, стандартизований RILEM [2]. Також варто відзначити американські [3] та британські [4] стандарти випробувань зчеплення, які принципово не відрізняються від вже згаданої методики RILEM. Ця методика вже апробована та використовується українськими науковцями [5].

**Мета та завдання досліджень.** Було вирішено провести дослідження анкерування стрижневої сталеві арматури у пінобетоні за рахунок зчеплення на балкових зразках за методикою RILEM [2], а результати цих експериментальних досліджень порівняти з уже відомими параметрами зчеплення арматури та пінобетону, що отримані з випробувань призм.

**Експериментальні дослідження.** Для реалізації мети та завдань дослідження було виготовлено 4 балкові зразки, по два зразки балок-близнюків для кожної з марок пінобетону з густиною D800 і D1000 відповідно (9-та та 10-та серії за прийнятим раніше маркуванням [6]). Рецептуру пінобетонної суміші наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад основних компонентів пінобетонної суміші

| Проектна марка пінобетону | Густина, кг/м <sup>3</sup> | Склад (на 1 м <sup>3</sup> ) |           |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------|
|                           |                            | назва компонента             | кількість |
| D 800                     | 800                        | цемент                       | 330 кг    |
|                           |                            | пісок                        | 373 кг    |
|                           |                            | піноутворювач                | 1,2 л     |
|                           |                            | вода                         | 198 л     |
| D 1000                    | 1000                       | цемент                       | 330 кг    |
|                           |                            | пісок                        | 616 кг    |
|                           |                            | піноутворювач                | 1 л       |
|                           |                            | вода                         | 198 л     |

Як вихідні матеріали для виготовлення пінобетону були використані:

- портландцемент марки ПЦ-І 500 ВАТ “Івано-Франківськцемент” за ДСТУ Б В.2.7-46-96 “Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови”;
- кварцовий пісок Ясинецького родовища Львівської області, який відповідав вимогам ГОСТ 8736-85 “Пісок для будівельних робіт. Технічні умови” з вмістом глинистих домішок не більше 3 %;

- вода водопровідна питна, що відповідала вимогам ГОСТ 23732-79 “Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови”;
- піноутворювач Centipog SK 100 виробництва концерну MC-Bauchemie (Німеччина). Концентрація робочого розчину піноутворювача становила 2,5 %.

Формування зразків виконувалося, використовуючи інвентарні металеві форми (рис. 1, а). На дно змащеної мастилом форми по краях та всередині влаштовувалися фіксатори для забезпечення необхідного захисного шару арматури. Поверх них вкладався одиничний арматурний стрижень  $\varnothing 8$  A500, на який попередньо влаштовувався пластиковий кембрик у місцях, де зчеплення з пінобетоном потрібно було виключити (рис. 1, б). Додаткове армування балок для чистоти експерименту не передбачалося.

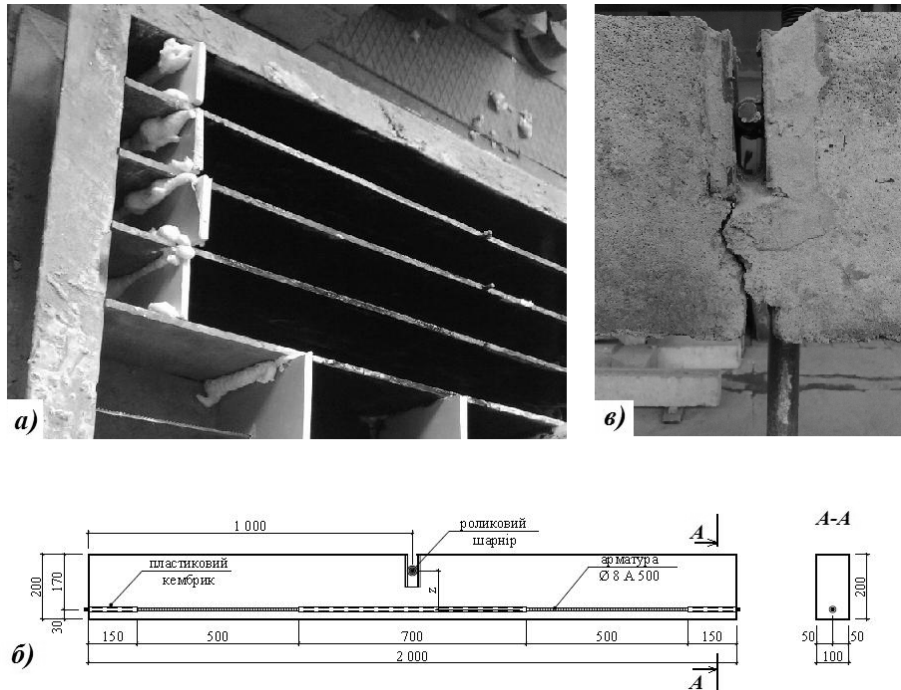


Рис. 1. Виготовлення та конструкція дослідних зразків-балок: а – металеві форми; б – конструкція експериментальних зразків; в – роликівий шарнір у стисненій зоні, початок руйнування анкерування

Поперечний переріз балок був прямокутним та становив  $100 \times 200$  мм, загальна довжина зразка – 2000 мм. Досліджувана довжина зони анкерування – 500 мм (рис. 1, б). Застосована довжина анкерування, більша за пропоновану нормами RILEM [2] довжину зони анкерування на рівні 10 діаметрів арматури. Це зроблено, з огляду на значно нижчу міцність пінобетону, за якої руйнування зчеплення могло б проходити від власної ваги балкового зразка.

Після набирання пінобетоном міцності й розпалублювання форм досліджувані зразки посередині були розпиляні та у прогнозованій стисненій зоні балки на полімерцементному клеї було влаштовано спеціально виготовлений роликівий шарнір (рис. 1, в).

Випробування зразків-балок проводилось за однопролітною схемою двома зосередженими силами у третинах прольоту (рис. 2).

Навантаження створювалося за допомогою гідравлічного домкрата та розподільної траверси. У торцях балки були влаштовані індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, які вимірювали зміщення досліджуваного стрижня стосовно масиву пінобетону. Розміри у дужках належали до випробувань двох зразків з пінобетону марки D1000.

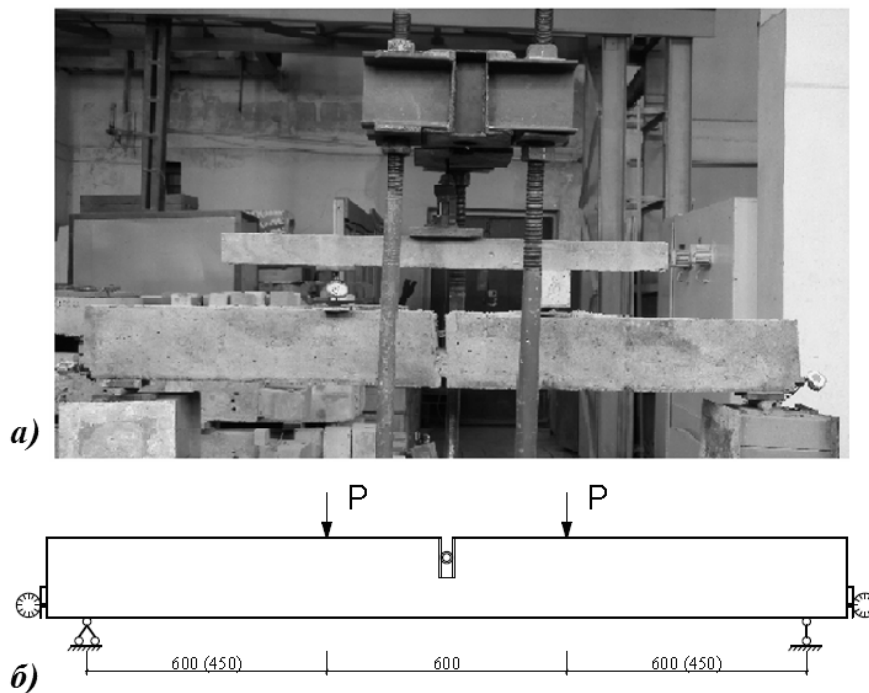


Рис. 2. Випробування зразків-балок: а – загальний вигляд; б – схема випробувань

Завантаження проводилось ступінчасто з кроком 0,1 від планованого руйнівного навантаження і контролювалося пружинним динамометром з індикатором годинникового типу. Витримка на кожному етапі становила не менше ніж 30 с, за які проводилось знімання показів з приладів.

Дослідження анкерування за рахунок зчеплення полягали у вимірюванні двох величин, що характеризують напруження і деформації зони зчеплення, а саме: 1) навантаження, прикладене до стрижня, на усіх етапах експерименту; 2) зміщення ненавантаженого торця арматури стосовно пінобетону не порушеної структури на кожному ступені завантаження.

Значення зусилля, яке діє на стрижень, для його висмикування визначали за такою формулою:

$$F = M/z, \quad (1)$$

де  $M$  – момент, що діяв посередині прольоту балки у місці (рис. 1, б та 2), де вона розділена на дві половинки;  $z$  – плече внутрішньої пари сил, що дорівнює відстані від осі стрижня, що висмикувався, до осі шарніра у стисненій зоні.

Своєю чергою, момент  $M$  складався з двох складових: моменту, що створювався зовнішнім навантаженням, та моменту від власної ваги балки. Масу балки визначали за геометричними розмірами балки та об'ємною вагою пінобетону, нехтуючи вагою арматурного стрижня.

Під дією згинального моменту  $M$  завдяки застосованій схемі навантаження, попередньому розпилу та відсутності додаткового армування руйнування зразків відбувалось в зоні чистого згину. Одна зі складових внутрішньої пари сил, прикладена по осі арматурного стрижня, висмикувала арматуру з пінобетону (рис. 1, в). Передбачити наперед, з якої половинки балки стрижень висмикнеться, було неможливо. Це відбувалося випадково, тому заміри зміщень арматури проводили по обидва кінці балки. Для аналізу величини взаємних зміщень арматури та пінобетону використовувалися дані індикатора, який заміряв зміщення арматури та пінобетону на тому боці балки, з якої відбувалося висмикування.

Втрата зчеплення у всіх зразках відбулася внаслідок руйнування контактної шару пінобетону з подальшим висмикуванням стрижнів з утвореного каналу в масиві балки. Руйнування зчеплення відбувалось без виникнення поздовжніх тріщин розколювання.

Для аналізу результатів експерименту арматурний стрижень моделювався у вигляді циліндричного стрижня, а зусилля, які ним передавалися на пінобетон, замінювали на напруження, що діють на поверхні контакту стрижня з пінобетonom. Компоненту цих напружень, рівномірно

розподілену вздовж стрижня за прямокутною епюрою, прийняли за напруження зчеплення. Єврокод EN 1992-1-1:2004 [7] під час дослідження анкерування зобов'язує визначати напруження зчеплення як під час руйнування зчеплення, так і за зміщень стрижня на 0,01, 0,1 та 1 мм. Ми також скористалися цією практикою та звели результати випробувань у табл. 2.

Таблиця 2

**Результати випробувань зразків-балок**

| Марка зразка    | $f_{cm,cube}$ , МПа | Проліт $l$ , мм | Плече $z$ , мм | $F_{0,01}$ , кН | $F_{0,1}$ , кН | $F_1$ , кН | $\tau_{m, fact}$ , МПа | $g_u$ , мм | $F_u$ , кН | $\tau_{r, fact}$ , МПа |
|-----------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|
| ПА6-9.8.62,5.1  | 1,307               | 1800            | 125            | 7.816           | 8.107          | 7,591      | 0,623                  | 0,38       | 9,016      | 0,717                  |
| ПА6-9.8.62,5.2  | 1,307               | 1800            | 120            | 6,058           | 7,404          | 6,973      | 0,542                  | 0,15       | 7,725      | 0,615                  |
| ПА6-10.8.62,5.1 | 1,494               | 1500            | 135            | 6,414           | 7,635          | 7,279      | 0,565                  | 0,175      | 8,729      | 0,694                  |
| ПА6-10.8.62,5.2 | 1,494               | 1500            | 135            | 5,000           | 7,159          | 7,288      | 0,516                  | 0,87       | 8,75       | 0,696                  |

У табл. 2 з основними числовими даними, отриманими в результаті експериментів, наведені такі показники: маркування зразка (прийняте спільним для усього комплексу досліджень [6]); фактична кубикова міцність  $f_{cm,cube}$  в МПа; проліт балки  $l$ , мм; плече внутрішньої пари сил  $z$ , мм; зусилля на початку ковзання арматури в каналі за зміщень арматури на 0,01 мм  $F_{0,01}$ , за зміщень арматури на 0,1 мм –  $F_{0,1}$ , на 1 мм –  $F_{0,1}$ ; за значеннями  $F_{0,01}$ ,  $F_{0,1}$ ,  $F_{0,1}$  визначено середнє напруження  $\tau_{m, fact}$  від трьох характеристичних точок за Додатком С. EN 1992-1-1:2004 [7]; взаємне зміщення арматури та пінобетону за максимальних зусиль  $g_u$ , мм; максимальне зафіксоване зусилля  $F_u$ ; відповідне йому напруження зчеплення  $\tau_{r, fact}$ .

Порівнювали значення напружень зчеплення, що наведені у табл. 2, з результатами досліджень на висмикування арматури зі зразків-призм, наведених у табл. 3. У цій таблиці були зібрані результати випробувань анкерування арматури у пінобетоні за рахунок зчеплення під час використання пінобетону марок D600, D800, D1000 [6]. У зразках ПА-4.10 була використана арматура  $\varnothing$  10 мм, у інших –  $\varnothing$  8 мм.

Таблиця 3

**Результати випробувань зразків-призм**

| Марка зразка   | Густина, г/см <sup>3</sup> | $f_{cm,cube}$ , МПа | $F_{0,01}$ , кН | $F_{0,1}$ , кН | $F_1$ , кН | $\tau_{m, fact}$ , МПа | $g_u$ , мм | $F_u$ , кН | $\tau_{r, fact}$ , МПа |
|----------------|----------------------------|---------------------|-----------------|----------------|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|
| ПА-4.10.50.1   | 0,837                      | 2,057               | 5,892           | 5.706          | 4,023      | 0,331                  | 0,010      | 5,892      | 0,375                  |
| ПА-4.10.50.2   | 0,837                      | 2,057               | 4,946           | 4.816          | 3,840      | 0,288                  | 0,020      | 5,076      | 0,323                  |
| ПА-5.8.50.1    | 0,622                      | 1,266               | 2,460           | 2.319          | 1,543      | 0,215                  | 0,010      | 2,460      | 0,251                  |
| ПА-5.8.50.2    | 0,622                      | 1,266               | 2,124           | 2.199          | 1,511      | 0,198                  | 0,018      | 2,338      | 0,238                  |
| ПА-5.8.75.1    | 0,622                      | 1,266               | 4,210           | 4.068          | 2,955      | 0,249                  | 0,010      | 4,218      | 0,280                  |
| ПА-5.8.75.2    | 0,622                      | 1,266               | 3,467           | 3.504          | 2,582      | 0,211                  | 0,020      | 3,634      | 0,241                  |
| ПАН-6.8.62,5.1 | 1,022                      | 2,256               | 7,614           | 7.712          | 6,569      | 0,593                  | 0,060      | 8,079      | 0,656                  |
| ПАН-6.8.62,5.2 | 1,022                      | 2,256               | 9,291           | 9.779          | 7,873      | 0,730                  | 0,050      | 9,996      | 0,812                  |
| ПАН-6.8.62,5.1 | 1,022                      | 2,256               | 6,452           | 7.116          | 5,701      | 0,522                  | 0,080      | 7,150      | 0,581                  |
| ПАН-6.8.62,5.2 | 1,022                      | 2,256               | 7,439           | 7.779          | 6,654      | 0,592                  | 0,130      | 7,836      | 0,636                  |

Напруження зчеплення  $\tau_{m, fact}$  та  $\tau_{r, fact}$ , визначені під час випробувань балок з пінобетону марки D800, виявилися навіть вищими за аналогічні напруження, встановлені під час випробування призм. Це можна пояснити тертям арматури у кембрику, яке було неможливо виключити з експерименту. У пінобетоні марки D1000 середні напруження  $\tau_{m, fact}$ , визначені за балковою методикою випробувань, виявились нижчими на 13 % за середнє значення аналогічних напружень для зразків-призм. Порівняння середніх значень напружень  $\tau_{r, fact}$  встановило їхню фактичну рівність. Однак важливо зазначити, що міцність пінобетону зразків-призм була в 1,5 раза вищою за міцність пінобетону у балках.

**Висновки.** Із вищевикладеного дослідження зчеплення арматури та пінобетону з використанням балкової методики можна зробити висновок, що відхилень у більший бік величини напружень зчеплення під час застосування методики висмикування арматури із пінобетонних призм не виявлено. Отже, результати випробувань анкерування арматури у пінобетоні, виконаних з використанням зразків-призм, можна використати у розробці методики розрахунку і конструювання балкових конструкцій з пінобетону.

1. Klieger P. *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials* / Paul Klieger, Joseph F. Lamond – ASTM International, 1994. – 623 с. 2. RILEM RC 5 Bond test for reinforcement steel. 1. Beam test, 1982 [Text] / RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials / e-ISBN: 2351580117 – E & FN SPON, 1994. – С. 213 – 217. 3. ASTM A944 -10. Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using Beam-End Specimens [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/A944.htm> 4. BS EN 12269-1:2000 Determination of the bond behaviour between reinforcing steel and autoclaved aerated concrete by the "beam test". Short term test. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.standardscentre.co.uk/bs/BS-EN-12269-1-2000/>. 5. Климов Ю. А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном. – [Електронний ресурс] / Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин / Режим доступу: [http://frp-rebar.com/frp-rebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html) 6. Верба В. Б. Контакт пінобетону з арматурою: вивчення явища, його моделювання та стабільність роботи в зоні зчеплення [Текст] / В. Б. Верба, Б. Г. Демчина // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – № 627: Теорія і практика будівництва. – 2008. – С. 22–27. 7. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings: EN 1992-1-1:2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.rehuis.it/doc/pdf/EN%201992-1-1\\_dic-04.pdf](http://www.rehuis.it/doc/pdf/EN%201992-1-1_dic-04.pdf).

УДК 624.075.001.4

Б.Г. Демчина, Є.В. Главацький, В.Г. Корвін, Я.П. Дуда, М.В. Черевко  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

## ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТАЛЕВИХ НАСКРІЗНИХ КОЛОН ЗА ЦЕНТРАЛЬНОГО СТИСКУ

© Демчина Б.Г., Главацький Є.В., Корвін В.Г., Дуда Я.П., Черевко М.В., 2013

Наведено результати експериментального визначення несучої здатності металевих наскрізних колон за центрального стиску.

**Ключові слова:** металева наскрізна колона, несуча здатність, втрата стійкості.

**It is presented the results of experimental determination of load-through metal columns with central compression**

**Key words:** metal column, carrying capacity, stability loss.

**Вступ.** Сучасний рівень будівельного виробництва вимагає від конструкцій високої надійності у поєднанні з малою матеріаломісткістю і мінімальними затратами під час виготовлення і монтажу. Найпопулярнішим сьогодні матеріалом для будівельних конструкцій є метал: він міцний та порівняно легкий та простий у монтажі, уможливує довільні просторові вирішення. Звичайно поряд з перевагами існують і недоліки, основними з яких для металу є корозія і обмеженість ресурсів.