

П. М. КОВАЛЬ (Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури, Київ),
Я. Л. ІВАНИЦЬКИЙ, Ю. В. МОЛЬКОВ (Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка,
Львів), Я. І. КОВАЛЬЧИК (Національний транспортний університет, Київ).

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ БАЛОК МЕТОДОМ ЦИФРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Наведені результати дослідження попередньо напружених залізобетонних балок з використанням методу цифрової кореляції зображень. Встановлено, що даний метод можна застосовувати при випробуванні і обстеженні залізобетонних конструкцій для отримання інформації про їх напружено-деформований стан.

Ключові слова: попередньо напружений залізобетон, статичні випробування, метод цифрової кореляції зображень(ЦКЗ), метод акустичної емісії(АЕ)

Розвиток залізобетонних конструкцій мостів завжди супроводжувався науковими дослідженнями. Створення попередньо напружених елементів із залізобетону на початку ХХ століття дало змогу розширити діапазон можливого використання залізобетонних конструкцій. Але і в ХХІ столітті в ряді випадків залізобетонні прогонові будови мостів влаштовуються без попереднього напруження.

Державним дорожнім науково-дослідним інститутом ім. М. П. Шульгіна (м. Київ) були проведені натурні обстеження, випробування та моніторинг стану автодорожніх залізобетонних мостів, збудованих в останні десятиліття в Україні. В результаті було зроблено висновок, що для забезпечення нормованої довговічності таких мостів у 80–100 років на автодорогах з високою інтенсивністю руху для балочних та рамних прогонових будов з прольотами більше 15 м необхідно використовувати тільки попередньо напружені конструкції.

Для впровадження нових ефективних попередньо напружених залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів необхідно про-

вести наукові дослідження моделей лабораторних та натурних об'єктів. При цьому використовуються як традиційні методи досліджень: візуальний, тензометричний, ультразвуковий та інші [1], так і відносно новий метод акустичної емісії (АЕ) [2], який дозволяє вивчати процеси виникнення та утворення тріщин на різних етапах роботи конструкцій.

Збільшити обсяг інформації про роботу елемента під час досліджень, отримати візуальну картину розподілу відносних деформацій по його об'єму дає можливість метод цифрової кореляції зображень (ЦКЗ, DIC).

Мета досліджень – розглянути можливість використання методу ЦКЗ для вивчення напружено-деформованого стану залізобетонних попередньо напружених балок, мостів, дослідження та моніторингу технічного стану прогонових будов.

Випробовувались дві попередньо напружені залізобетонні балки геометричних розмірів 100×210×2100 мм (рис. 1). Міцність бетону на момент випробування становила 38,92 МПа).

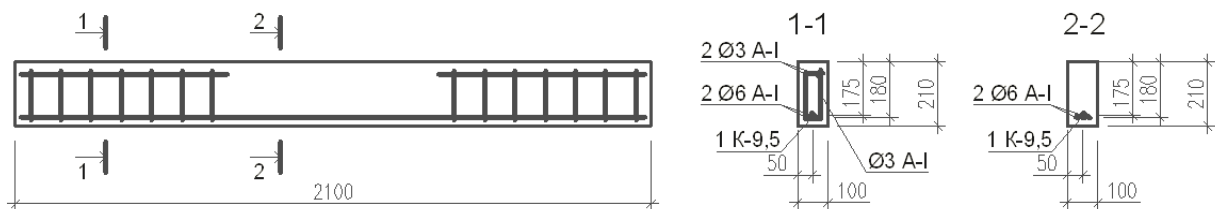


Рис. 1. Конструкція дослідних зразків

Балки випробовувались на гідравлічному пресі EUS-20. Навантаження передавалось через силорозподільчу траверсу на балку двома зосередженими силами, створюючи таким чином зону чистого згину, в межах якої досліджували напружено-деформований стан

нормальних перерізів по висоті балки. Для реєстрації поздовжніх відносних деформацій посередині сторони 1 балок рівномірно по висоті встановлені п'ять тензодатчиків з базою 50 мм опором 310 Ом. Їх покази дублюються п'ятьма індикаторами з ціною поділки 0,001 мм

та базою 200 мм, які прикріплені паралельно до тензодатчиків (рис. 2 і 3).

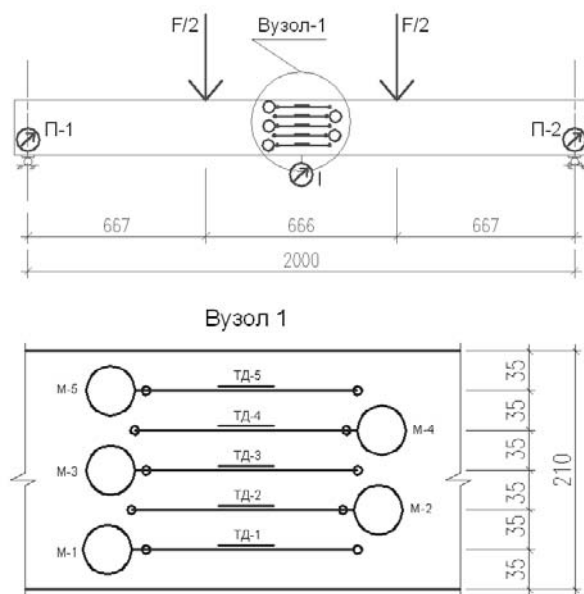


Рис. 2. Схема розташування приладів: П-1, П-2 – прогиноміри Аістова; І – індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм; М1-М5 – індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм на базі 200 мм; ТД-1..ТД-5 – тензодатчики з базою 50 мм, АЕ – датчик акустичної емісії

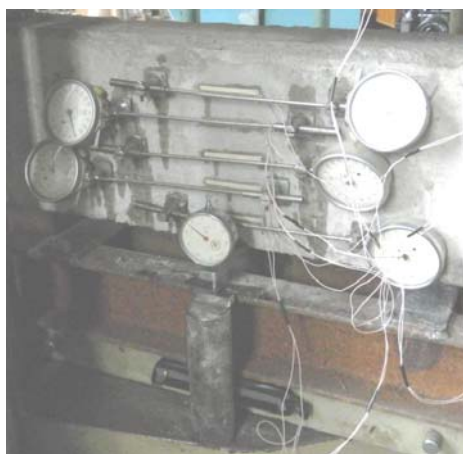


Рис. 3. Сторона 1 балки з тензодатчиками та індикаторами

Для фіксації сигналів акустичної емісії (АЕ) на балці кріпився датчик АЕ, який був підключений до програмно-технічного комплексу АКЕМ.

На протилежній стороні 2 балки виконаний спеціальний набризг площею 20×30 см для вимірювання деформацій в середній зоні балки за допомогою методу ЦКЗ (рис. 4).

Цей оптичний метод ґрунтується на цифровій обробці за відповідним алгоритмом ряду зображень поверхні зразка, отриманих за відомих значень зусилля навантаження за допомогою фотокамери [3, 4].



Рис. 4. Сторона 2 балки з нанесеним напиленням та цифрова фотокамера для фіксації відносних деформацій

Алгоритм полягає у розподілі кожного цифрового зображення на фрагменти певного розміру, який є базою вимірювання деформацій і визначенні на кожному з цих фрагментів піку інтенсивності світла. За зміною координат піків відповідних фрагментів на кожному наступному зображенні по відношенню до попереднього визначають переміщення поверхні в межах фрагменту, а віднісши величину переміщення до розміру фрагменту встановлюють значення деформації. Метод дозволяє визначати дві складові відносних деформацій ϵ_{xx} і ϵ_{yy} . Величина мінімальної бази вимірювання деформацій і точність методу залежать від роздільної здатності камери та оптичного збільшення об'єктиву, зокрема чим більша роздільна здатність і вище збільшення об'єктиву, тим менша база деформування і вища точність. В даній роботі для отримання зображень використовували фотокамеру Canon EOS 150.

За допомогою програми для обробки даних ЦКЗ на стороні 2 встановлено умовні екстензометри в місцях аналогічних встановленню тензодатчиків та індикаторів на стороні 1 (рис. 5).

Осадки опор Оп 1 та Оп 2 вимірювались прогиномірами Аістова, максимальний прогин балки фіксувався посередині прольоту індикатором годинникового типу І. Покази тензодатчиків, індикаторів, прогиномірів та фото знімалися після витримки при кожному привантаженні.

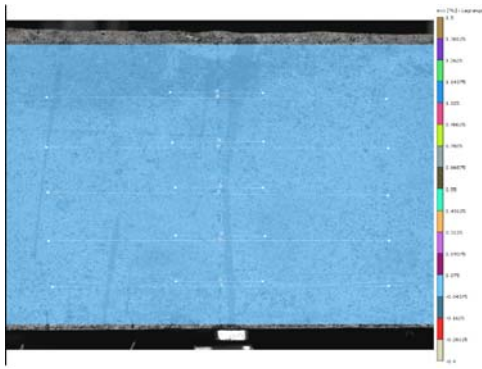


Рис. 5. Віртуальні екстензометри на стороні 2 балки

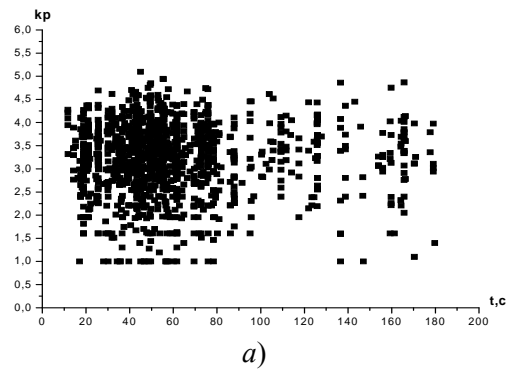
Графіки зміни відносних деформацій, зафіксовані тензодатчиками, індикаторами на базі 200 мм та умовними екстензометрами методу ЦКЗ показані на рис. 6 (1 – низ балки, 2 – верх).

Тріщини утворились в нижній розтягнутій зоні балок при навантаженні 22 кН. Відповідно прилади, встановлені на рівні 1 (на рівні розтягнутої арматури) зафіксували збільшення відносних деформацій.

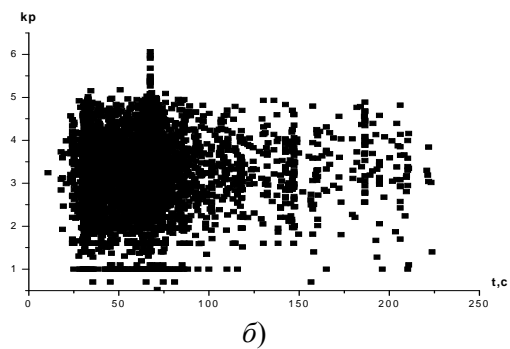
Якісна картина на графіках відносних деформацій, зафіксованих приладами та умовними екстензометрами (див. рис. 6) приблизно однакова. Але варто відмітити, що якщо при великих відносних деформаціях розтягу (рівень 1) і стиску (рівень 5) відносні деформації, зафіксовані умовними екстензометрами мають досить близькі значення до відносних деформацій, зафіксованих тензодатчиками та індикаторами на базі 200 мм, то на рівнях 2-3 співпадання значно гірше. Це свідчить про те, що використана цифрова камера та спосіб обробки сигналів методом ЦКЗ не забезпечили відповідної точності при малих значеннях відносних деформацій.

Сигнали акустичної емісії фіксувалися на всіх стадіях завантаження балок. Про утворення тріщин свідчать сигнали, які мають коефіцієнт K_p , що перевищує значення 6. Якщо при навантаженні 20 кН накопичувались сигнали мікротріщин з $K_p = 5...5,5$, то при навантаженні 22 кН зафіксовано сигнали з $K_p = 6,18$ (рис. 7, б), що свідчило про утворення тріщини в розтягнутій зоні бетону. При аналогічному навантаженні було зафіксовано утворення тріщини методом ЦКЗ.

На рис. 8 представлені зони відносних деформацій при різних рівнях завантаження балок, зафіксовані методом ЦКЗ. За допомогою цього методу можна чітко зафіксувати розтягнуту і стиснуту зону балки, визначити місця утворення тріщин і слідкувати за процесом їх розвитку.

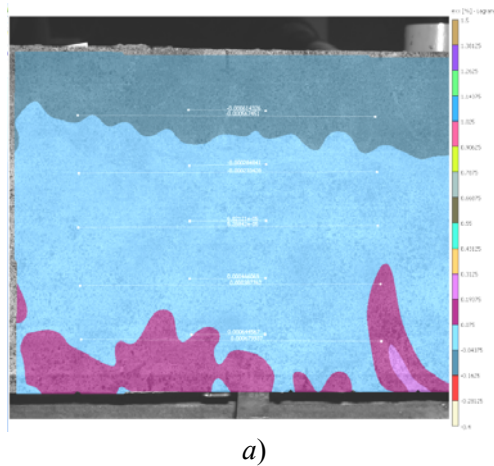


а)

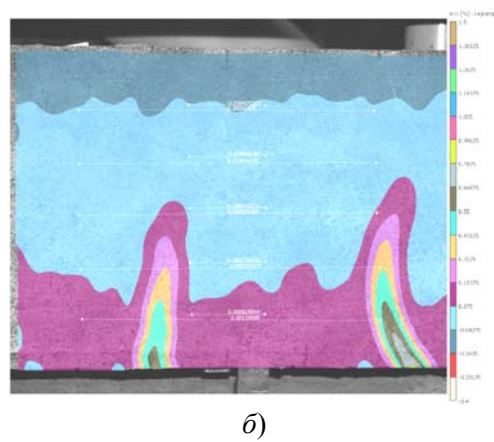


б)

Рис. 7. Значення K_p сигналів акустичної емісії при: а) – при $F = 20$ кН; б) – при $F = 22$ кН



а)



б)

Рис. 8. Відносні деформації зафіксовані методом ЦКЗ в середній зоні балки Б-2: а) – при $F = 16$ кН; б) – при $F = 32$ кН

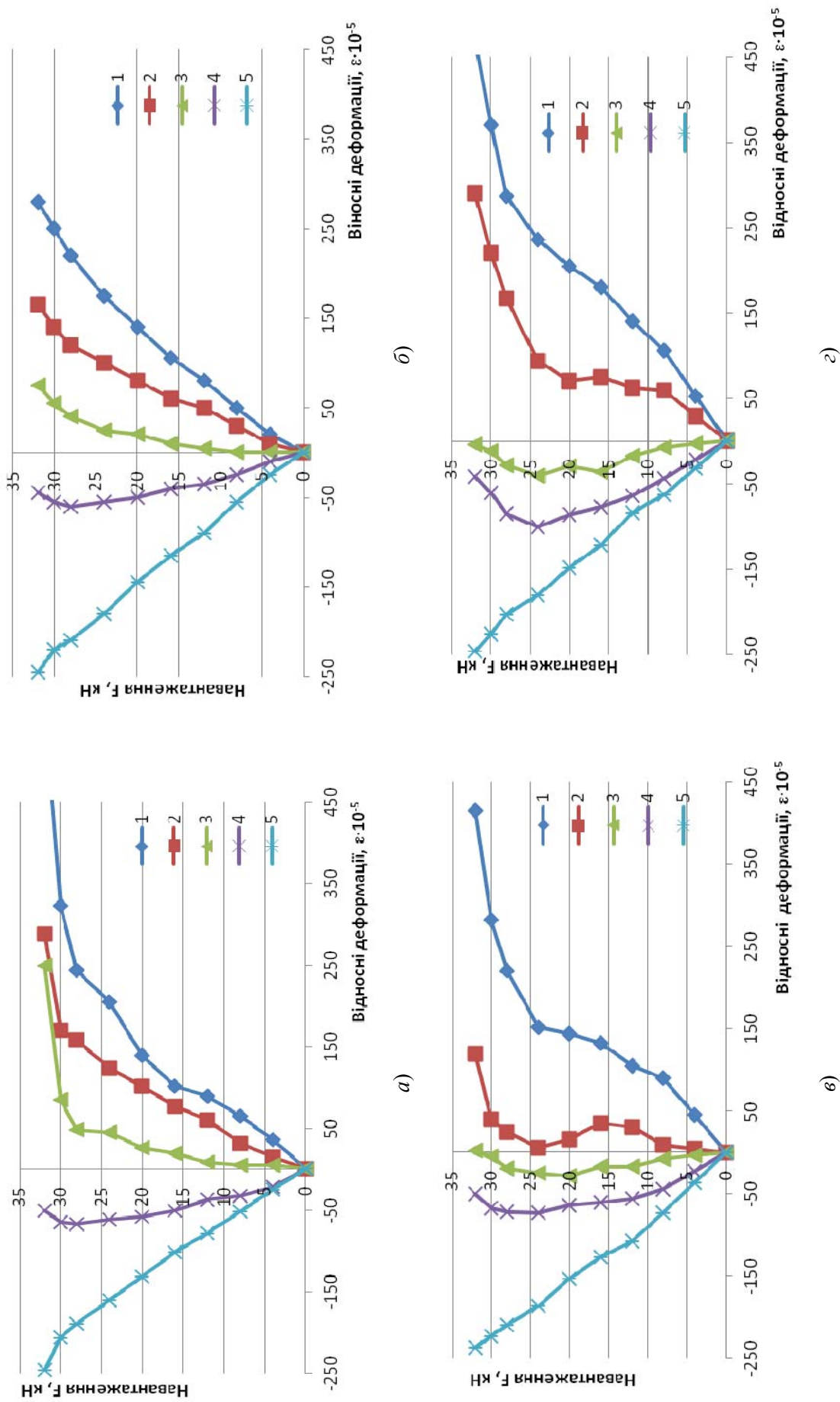


Рис. 6. Відносні деформації, зафіксовані:
 а) – тензодатчиками на базі 50 мм; б) – індикаторами на базі 200 мм; в) – екстензометрами напроти тензодатчиків;
 г) – екстензометрами напроти індикаторів (рівні 1–5 заміру деформацій див. рис. 2)

Висновки

1. Дослідження залізобетонних попередньо напружених балок показало, що відносні деформації, зафіксовані методом ЦКЗ корелюються з показами традиційних приладів (індикаторів на базі і тензодатчиків), його можна застосовувати для заміру деформацій і переміщень при випробуванні, обстеженні та діагностиці залізобетонних попередньо напружених конструкцій. Метод акустичної емісії підтверджує достовірність результатів, отриманих методом ЦКЗ.

2. Метод ЦКЗ трудомісткий, потребує ретельної підготовки поверхні і в залежності від характеристик фотоапарату має обмежену зону дії. Особливу увагу потрібно приділяти закріпленню фотоапарату (штативу).

3. Для використання методу ЦКЗ при дослідженні залізобетонних конструкцій необхідно провести додаткові дослідження, щоб підтвердити достовірність отримуваних даних на точність даного методу.

П. Н. КОВАЛЬ (Национальная академия изобразительного искусства и архитектуры, Киев), Я. Л. ІВАНИЦЬКИЙ, Ю. В. МОЛЬКОВ (Физико-механический институт имени Г. В. Карпенко НАН Украины, Львов), Я. И. КОВАЛЬЧИК (Национальный транспортный университет, Киев).

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ БАЛОК МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приведены результаты исследования предварительно напряженных железобетонных балок с использованием метода цифровой корреляции изображений. Установлено, что данный метод можно применять при испытании и обследовании железобетонных конструкций для получения информации об их напряженно-деформированном состоянии.

Ключевые слова: предварительно напряженный железобетон, статические испытания, метод цифровой корреляции изображений(ЦКЗ), метод акустической эмиссии

P. M. KOVAL (The National Academy of Fine Arts and Architecture, Kyiv), YA. L. IVANYTSKYJ, Y. MOLKOV (Karpenko Physico-Mechanical Institute NASU, Lviv), Y. I. KOVALCHYK (National Transport University, Kyiv).

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS USING METHOD DIGITAL IMAGE CORRELATION

The results of investigation of prestressed concrete beams using the method of digital image correlation are presented. Found that this method can be applied in testing and inspection of reinforced concrete structures to obtain information about their mode of deformation.

Keywords: prestressed concrete, static test, method of digital image correlation (DIC), method of acoustic emission

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лучко, Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій [Текст] / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Львів, Каменяр, 2001. – 436 с.
2. Скальський, В. Р. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій [Текст] / В. Р. Скальський, П. М. Коваль – Львів, СПОЛОМ, 2005. – 396 с.
3. Панасюк, В. В., Аналіз пружно-пластичного деформування матеріалу зони перед руйнування [Текст] / В. В. Панасюк, Я. Л. Іваницький, О. П. Максименко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 5. – С. 67–72.
4. Bing Panl Kemaο Qian Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review [Текст] / Bing Panl Kemaο Qian, Huimin Xie and Anand Asundi. // Meas. Sci. Technol. 20 (2009) 062001 – 17 p.

Надійшла до редколегії 31.07.2012.

Прийнята до друку 20.08.2012.