

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ ПРИ УТВОРЕННІ МІКРОТРИЩИН В СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Н.Я.Габльовська

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: metrolog@ac.nung.edu.ua

Предложено метод и разработано техническое средство контроля существования микродефектов с использованием энергетических эффектов, которые возникают в металлических конструкциях во время пребывания в напряжённо-деформированном состоянии.

Різноманітні металеві конструкції, що використовуються у промисловості, зокрема, нафтогазовидобуванні, під час експлуатації піддаються силовому впливу, в результаті дії якого вони здатні чинити опір, зберігаючи при цьому робочі властивості. Однак є неминучою зміна, що відбувається внаслідок дії об'єктивних факторів, протікання в металі різних структурних перетворень та виникнення порушень суцільності матеріалу, що призводить до якісних змін і втрати здатності виконувати визначені наперед функції.

Швидкий нагрів або охолодження металу, процес кристалізації, неоднорідна деформація, термічна обробка, неоднорідне протікання структурних перетворень по об'єму, взаємодія деталей, спрацювання, пошкодження поверхні, монтаж конструкції – все це є причинами перебування конструкції у напружено-деформованому стані. Саме такий стан є першоджерелом до виникнення деформаційних процесів, які, в свою чергу, є причинами зміни форми, розмірів, енергетичних змін, а також причиною зародження і поширення тріщин, що завершується втратою міцності і механічним руйнуванням конструкції загалом.

В [1] вказано, що саме фізичні і механічні властивості матеріалів значною мірою визначають технічні характеристики виготовлених з цих матеріалів об'єктів. Фактичний технічний стан будь-якого об'єкта з точки зору його технічного діагностування визначається відповідністю його фізико-механічних і геометричних характеристик своїм нормованим значенням і відсутністю дефектів типу несущальностей структури матеріалу.

Питання оцінки технічного стану об'єктів різного призначення постає досить гостро в сучасних умовах, коли з'явилась необхідність продовження терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Все це ускладнюється нестійким фінансовим положенням переважної більшості підприємств, які експлуатують велику кількість металоконструкцій, що відпрацювали свій ресурс.

Аналізуючи умови експлуатації металевих конструкцій, що використовуються в нафтога-

A new method and technical devices are worked out to provide good control system over the existing microdefects using energetic effects which are peculiar only for deformed metallic constructions.

зовій промисловості, можна виділити такі узгальнені фактори:

– перебування металу, з якого виготовлена конструкція, під дією значних навантажень з різними відношеннями напружень;

– неминуча присутність у металах різних концентраторів напружень, які можуть бути як технологічного, так і експлуатаційного походження. В місцях концентраторів напружень під дією навантажень виникають зародки дефектів, що в подальшому поширюються і створюють загрозу для цілісності структури металу, з якого виготовлено деталі конструкції [2].

Тому все більше зростає потреба виявлення найнебезпечніших для міцності конструкцій дефектів типу тріщин в умовах деградації матеріалу внаслідок дії на нього різного роду фізичних полів. А це, в свою чергу, зумовлює проведення контролю структурних об'ємів металу і виявлення дефектності цих об'ємів для прогнозування критичних ситуацій та попередження руйнування.

Аналіз сучасних досягнень у вирішенні завдань прогнозування технічного стану конструкцій та виробів з металу [1, 3] засвідчив, що проблема вивчення механізмів та здійснення кількісної оцінки процесів зародження і розвитку мікро- та макротріщин в області пластичних деформацій (об'ємної пошкодженості суцільностей) конструкційних матеріалів є актуальною. Саме під час такої деформації і починається формування зародків руйнувань. Процес формування зародків руйнувань є тривалим процесом порівняно з руйнівними процесами загалом.

Щоб спрогнозувати і попередити руйнування, необхідно виявити зони концентрації напружень, де під час навантаження найчастіше відбувається зародження дефектів типу мікротріщин. Проведений аналіз існуючих методів, які дають змогу провести кількісну оцінку об'ємної пошкодженості матеріалу під дією навантажень [1, 2, 3, 4], доводить, що більшість з них орієнтовані на дефектоскопічні критерії оцінки стану металу, а процеси зародження, розвитку та накопичення структурних змін ні виявляти, ні вимірювати їх кількісно, не руйнуючи при цьому сам об'єкт контролю, практично неможливо.

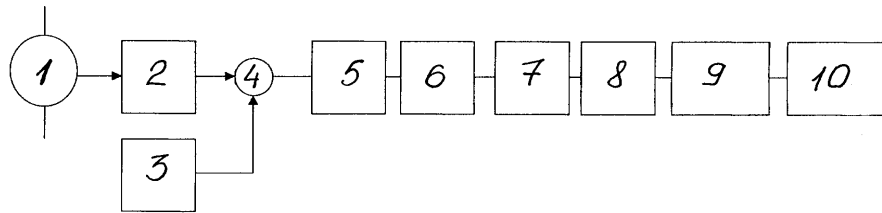


Рисунок 1 — Структурна блок-схема вимірювача температури

Сучасні роботи [5, 6] дають підстави зробити висновок, що структура металів є фрактальною і володіє дробовою розмірністю. А процес зародження мікротріщини характеризується зміною фрактальних розмірностей. Також відомо [8], що утворенню мікротріщини передують утворення перехідного шару, який володіє сукупністю фрактальних розмірностей в розподілі геометричних, енергетичних, хімічних та інших властивостей металу.

Під дією зовнішнього навантаження саме у цьому шарі відбувається структурне переміщення носіїв дефектності, що супроводжується накопиченням внутрішньої енергії, яку внаслідок дисипативних процесів можна спостерігати за зміною температури на поверхні об'єкта контролю. При цьому значення фрактальної розмірності змінюється до критичного, яке є відомим для кожного виду металу чи сплаву на його основі [5].

З термодинамічної точки зору процеси пластичної деформації, об'ємної пошкодженості та руйнування твердих тіл є взаємопов'язаними процесами, при яких робота зовнішніх сил розділена на дві складові

$$W = \Delta U_e + q, \tag{1}$$

де: ΔU_e – густина прихованої енергії деформації, яка відповідає за заміщення; q – тепловий ефект пластичної деформації, що відповідає за динамічне повернення.

При деформуванні частина теплової енергії розсіюється в оточуюче середовище внаслідок обміну з зовнішнім середовищем, а інша частина накопичується в деформованому тілі (ефект розігріву).

Складову q можна визначити за допомогою формули [6]

$$q = Bsh \left[\frac{(\alpha \sigma_i^2 - v_n U_e)}{2kT} \right], \tag{2}$$

де: B – кінетичний коефіцієнт; α – параметр, що залежить від структури металу; σ_i – коефіцієнт інтенсивності напружень; v_n – коефіцієнт нерівномірності розподілу напружень і прихованої енергії по об'єму; T – абсолютна температура; k – стала Больцмана.

Дані співвідношення засвідчують, що при $\sigma_i = const$ та $T = const$ система асимптотично прагне до встановленого стану, при якому

$$\dot{U}_e = 0, \dot{q} = \dot{q}_{max} = \dot{W}_p. \tag{3}$$

Така умова відповідає принципу максимальної дисипації енергії і самоорганізації дисипативної структури, при яких енергія зовнішньої дії W_p повністю трансформується в теплову

$$\dot{q}_{max} = \dot{W}_p = Bsh \left(\frac{\sigma_i^2 \alpha}{kT} \right). \tag{4}$$

Отже, при зародженні тріщини відбувається стрибкоподібне вивільнення енергії, яке можна спостерігати за зміною температури на поверхні об'єкта контролю.

Дані теоретичні міркування доводять, що існує гостра необхідність створення системи опосередкованого контролю процесу утворення мікротріщин та прогнозування їх розвитку у сталевих конструкціях, що перебувають у напружено-деформованому стані. Для вирішення цього завдання спроектовано вимірювач температури та проведено низку експериментальних досліджень.

Як чутливий елемент вимірювача температури використано проградуїований напівпровідниковий давач, що характеризується багатofункціональністю, високою точністю і високою швидкодією, малою інерційністю, а також призначенням для паралельного вимірювання багатьох параметрів [7].

На рисунку 1 наведено структурну блок-схему вимірювача температури, основними вузлами якого є: 1 – чутливий елемент; 2 – диференційний підсилювач, де відбувається посилення вхідного сигналу у 10 разів; 3 – компенсатор, що використовується для усунення напруги потенційного бар'єру р-п переходу напівпровідникового давача; 4 – різницевий підсилювач, що використовується для отримання сигналу, який не залежить від напруги потенційного бар'єра; 5 – інвертуючий підсилювач; 6 – перетворювач напруги у вихідний струм; 7 – перетворювач струму в напругу; 8 – аналого-цифровий перетворювач; 9 – мікроконтролер; 10 – ПЕОМ.

З метою виключення впливу зміни параметрів оточуючого середовища та для забезпечення надійності контакту з контрольованою поверхнею термодавач поміщено у спеціальний захисний корпус.

Дослідження проводились за допомогою випробувальної машини типу УММ-50, що являє собою контрольно-вимірювальний пристрій для задавання статичних навантажень при розтягу, стиску, згині та загині.

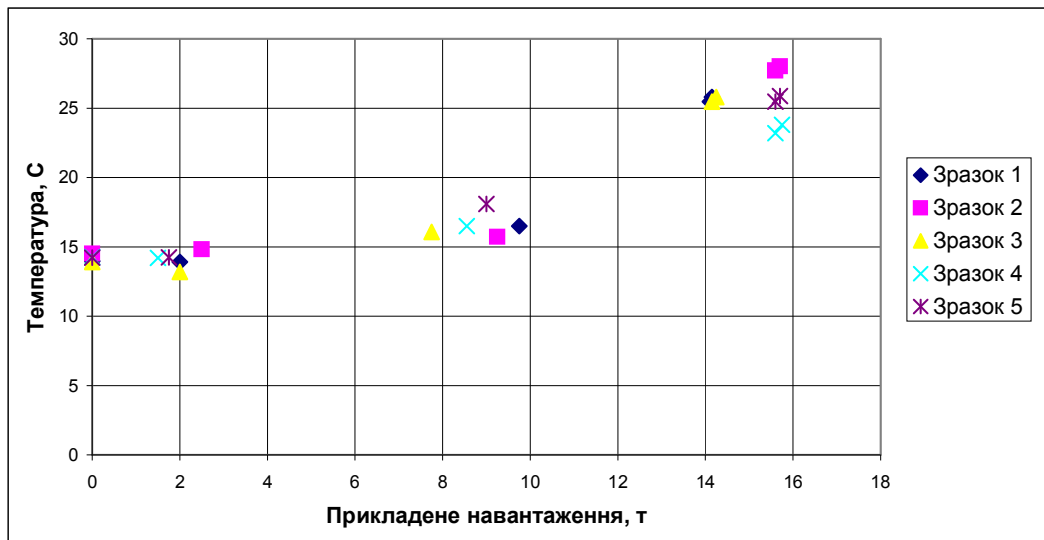


Рисунок 2 — Зміна температури від прикладеного навантаження на об’єкті контролю зі сталі Ст20

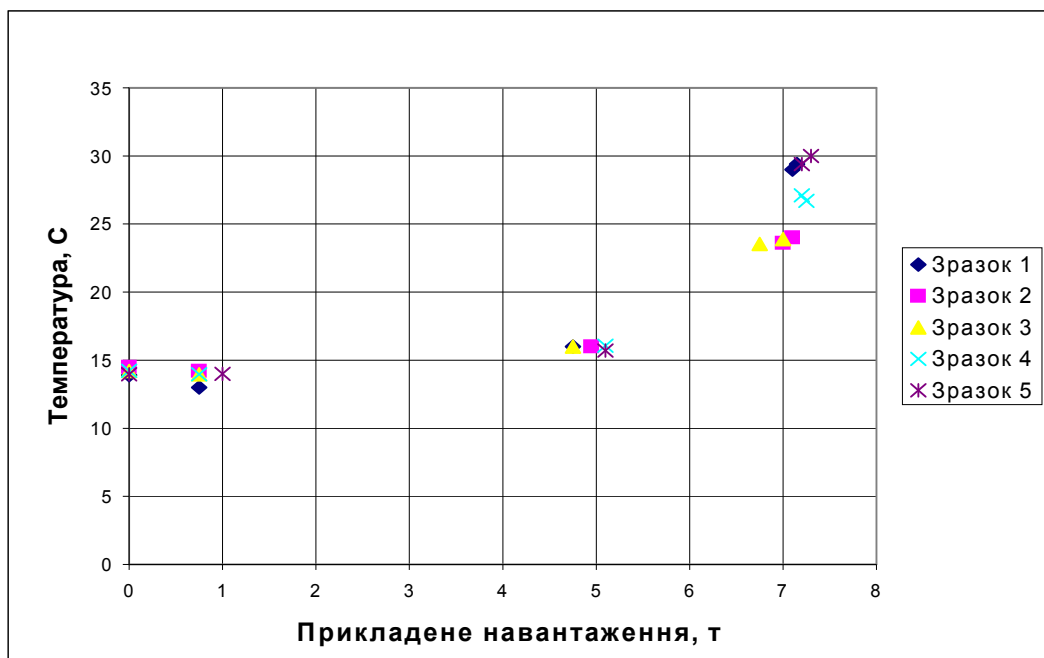


Рисунок 3 — Зміна температури від прикладеного навантаження на об’єкті контролю зі сталі Ст45

Як об’єкт контролю використано два типи спеціально виготовлених зразків з найпоширеніших конструкційних сталей (Ст 20, Ст 45).

Середня частина зразків для випробувань проходила механічну обробку на фрезерному та шліфувальному верстатах. Зменшення поперечного перерізу середньої частини випробувального зразка дало змогу послабити опір руйнування і збільшити концентрацію напружень у цій зоні, що виникає внаслідок дії зовнішніх сил відносно цілого зразка. Це дало можливість з високою вірогідністю ініціювати зону ймовірного утворення дефекту.

Чутливий елемент розробленого вимірювача температури установлювався на середню

частину об’єкта. З подачею навантаження і поступовим його збільшенням вимірювались значення температури на поверхні зразка.

Обробка результатів вимірювання дала можливість виявити зміну температури поверхні зразка залежно від прикладеного навантаження та зміни. Дану зміну зображено на рисунках 2 та 3.

Після фіксування стрілкою зміни температури подача навантаження припинялась, дослідні зразки перевірялись на наявність несучільностей рентгенівським та акустичними методами контролю, а також проводилось розпилювання зразків у зоні ймовірного утворення дефекту. Отримані розпили досліджувались візу-

ально за допомогою мікроскопу. На рисунках 4 та 5 збільшені зображення мікрошліфів.

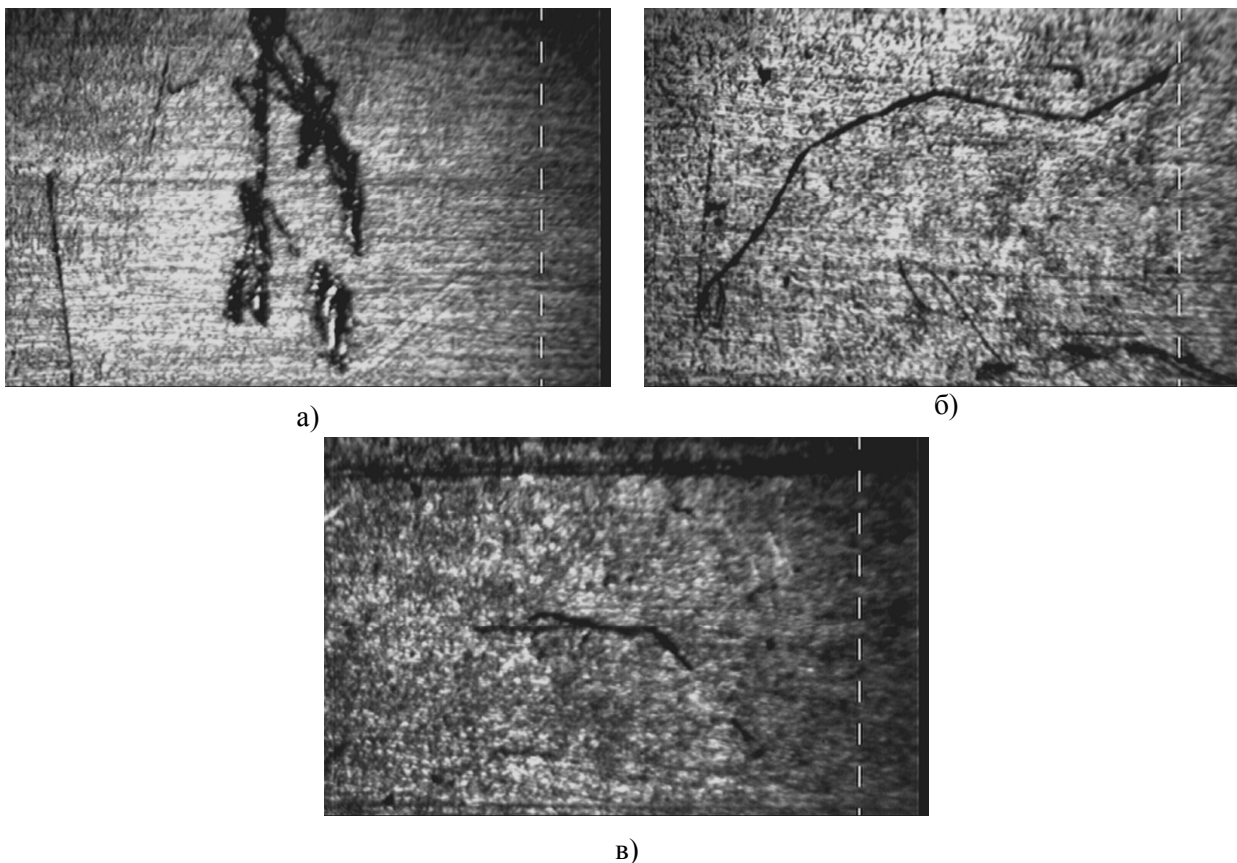


Рисунок 4 — Мікрошліфи зразків зі сталі Ст45

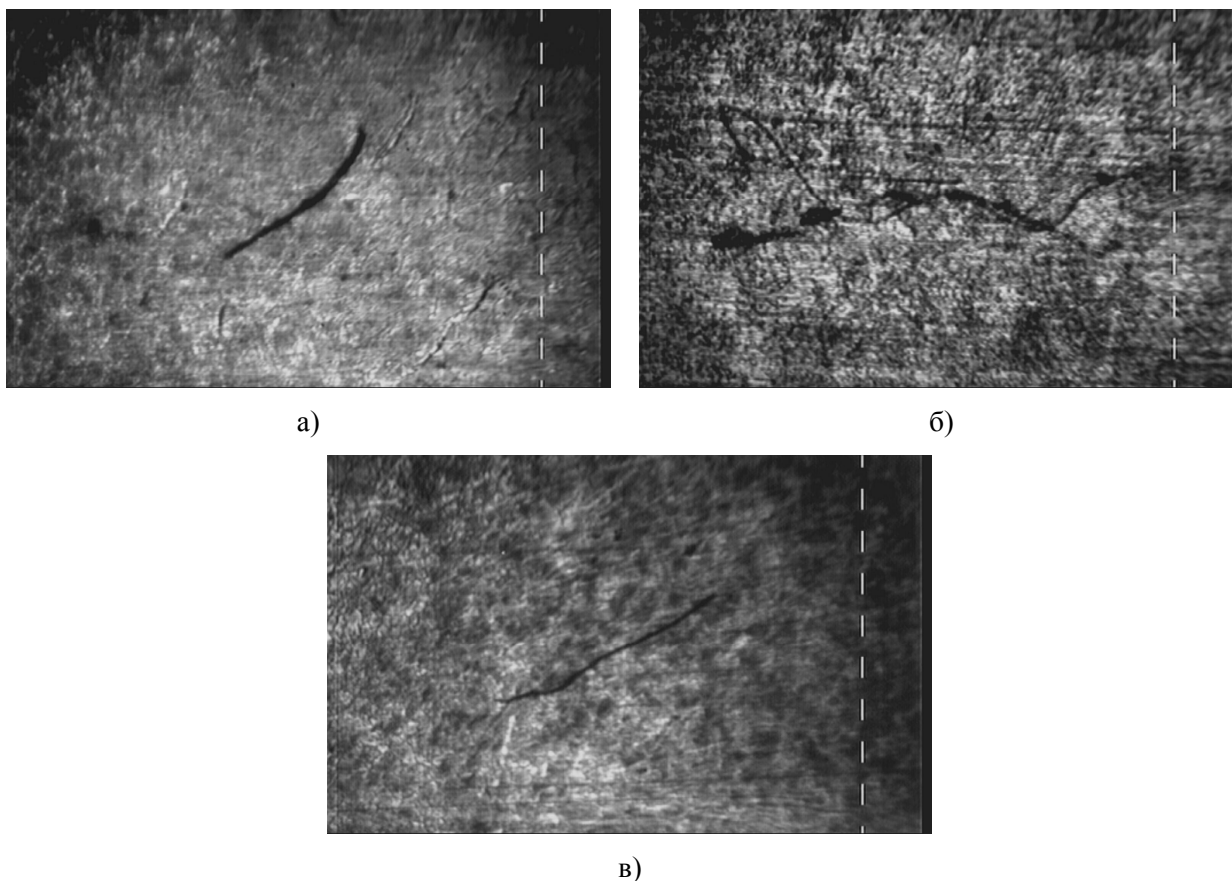


Рисунок 5 — Мікрошліфи зразків зі сталі Ст 20

Отримані нами результати підтверджують, що при накопиченні напружень до певного граничного значення в металі зароджується мікродефект. Встановлено, що інформативним параметром, який характеризує момент зародження мікротріщини, може бути стрибкоподібна зміна температури на поверхні зразка. Мікросліфи також підтверджують, що процеси зародження та поширення мікротріщин мають фрактальну структуру, що володіє спектром дробових розмірностей.

Дані результати можуть бути покладені в основу створення системи контролю, яка дає можливість виявити момент зародження мікродефекту, а також прогнозувати їх розвиток.

Наступним завданням, яке необхідно вирішити, є визначення параметрів, що повною мірою описують процес руйнування металу, а саме: критичний розмір мікротріщини, здатної до поширення; максимальний розмір автосудової зони передруйнування; коефіцієнт масштабу, що визначає тривалість поширення мікротріщини; "квант" енергії, необхідної для поширення мікротріщини.

Ці результати дадуть змогу знайти універсальний зв'язок між мікро- та макрохарактеристиками металів. А врахування універсальності і масштабної інваріантності критичних показників поблизу точок переходу системи до інших структурних рівнів уможливить встановлення зв'язку між критеріями фрактальної механіки руйнувань для сплавів на однаковій основі.

Література:

1. Карпаш О.М., Молодецкий И.А., Карпаш М.О. Общий обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – №2. – С. 18-22.
2. Скальський В.Р. Оцінка накопичення об'ємної пошкодженості твердих тіл за сигналами акустичної емісії // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – №4. – С. 29-36.
3. Безлюдько Г.Я. Эксплуатационный контроль усталостного состояния и ресурса металлоконструкции неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим) методом // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – №2. – С. 20-26.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник / Под. ред. В.В.Клюева, кн.1. – М.: Машиностроение, 1986. – 487 с.
5. Иванова В.С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов. – М.: Наука, 1992. – 159 с.
6. Панин В.Е., Федоров В.В., Ромашов Р.В., Хачатурьян С.В, Коршунов В.Я. Явление структурно-энергетической аналогии процессов механического разрушения и плавления металлов и сплавов // Синергетика и усталостное разрушение металлов. – М.: Наука, 1989. – С. 29-44.
7. Le Bol, A.Boequillet. Comparison of an integral equation on energy and the ray-tracing technique in room acoustics // The Journal of the Acoustical Society of America. – 2000. – 108, №4. – P. 26-30.
8. Олемской А.И., Наумов И.И. Фрактальная кинетика усталостного разрушения // Синергетика и усталостное разрушение металлов. – М.: Наука, 1989. – С. 200-214.

2-а Міжнародна наукова конференція СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ РИНКОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПОСТСОЦІАЛІСТИЧНИХ КРАЇНАХ

м. Черкаси
(28-30 вересня 2005 р.)

Оргкомітет конференції

18031, м. Черкаси, бул. Шевченка, 81
Черкаський національний університет,
кафедра економічної теорії і міжнародної
економіки

Тел.: (0472) 37 13 14, 37 11 15
E-mail: cic@cdu.edu.ua
<http://www.cdu.edu.ua>

Напрямки роботи конференції:

- Відносини власності і проблема відчуження в постсоціалістичних країнах
- Проблеми АПК і природокористування у перехідній економіці
- Державне регулювання та економічна політика в країнах з перехідною економікою
- Проблеми економічної безпеки постсоціалістичних країн
- Фактори економічного зростання в умовах становлення ринкової системи господарювання
- Зовнішньоекономічна діяльність постсоціалістичних країн

Матеріали конференції будуть опубліковані у фаховому журналі "Вісник Черкаського національного університету. Серія: Економіка".