

О.О.Вовк, канд. техн. наук, доцент; Н.І.Жукова; Р.А.Кравчук  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
А.Є.Гай, канд.фіз.-мат.наук, доцент, Національний авіаційний університет

## ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИДОБУТКУ БУРОГО ВУГІЛЛЯ З ПОДАЛЬШОЮ ЙОГО ГАЗИФІКАЦІЄЮ

*В статті розглянуто технологію газифікації бурого вугілля на прикладі Березівського розрізу та наведено економічну доцільність її запровадження. Наведено принципову схему шахтного газогенератора і газогенераторного процесу. Розглянуто газифікацію вугілля як складний багатостадійний гетерогенний фізико-хімічний процес та визначено економію на заміщенні природного газу на прикладі Олександрійського району.*

**Ключові слова:** вугілля, газифікація, природний газ, енергоефективність.

У зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу, зростанням цін на енергоносії, ми пропонуємо будівництво Березівського розрізу з подальшою газифікацією добутого бурого вугілля, для забезпечення потреб промислових підприємств Олександрійського району та для продажу населенню. Це дозволить економити 3134,8 грн на кожній 1000 м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.

За багато мільйонів років природа накопичила багатющі запаси вуглецю у вигляді вугілля, нафти і природного газу. Зараз ці викопні види палива використовуються людством для отримання енергії і хімічних продуктів.

В даний час у зв'язку з труднощами в забезпеченні України нафтою і газом проявляється інтерес до використання нетрадиційних джерел енергії – вітру, сонця, біогазу.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є розширення сфери використання у великій і малій теплоенергетиці бурого вугілля, що сприятиме у певній мірі стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резерву часу для розвитку вугільної промисловості.

Традиційне спалювання бурого вугілля призводить до забруднення навколишнього середовища оксидами азоту і сірки, іншими шкідливими речовинами.

Збільшення споживання видобутого вугілля супроводжуватиметься зростанням екологічного навантаження на навколишнє середовище, оскільки при спалюванні і переробці вугілля утворюється більше шкідливих побічних продуктів в порівнянні з нафтою і газом.

Але існує велика група вугілля, яку за складом і властивостями доцільніше використовувати як сировину для одержання вторинного палива і непальних продуктів. Як сировина для технологічного перероблення найбільшу цінність має реакційнодатне вугілля, до якого належить значна частина кам'яного та всі види бурого вугілля.

Проте докорінно вирішити проблему енергетичного забезпечення країни можна шляхом газифікації бурого вугілля, що сприятиме у певній мірі стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резерву часу для розвитку вугільної промисловості.

Збільшити видобуток бурого вугілля можна тільки шляхом докорінної реконструкції та будівництва нових вугільних розрізів, шахт, в свою чергу, це вимагає тривалого часу і великих капітальних вкладень.

Запаси бурого вугілля України, за даними Міністерства вугільної промисловості, оцінюються в 6 – 8 млрд т [1].

Запаси бурого вугілля в Україні поширені досить широко і представлені великою кількістю родовищ, які утворюють басейни або вугленосні пласти. До 90-х років минулого століття видобуток бурого вугілля відбувався на таких розрізах, як Верболозівський, Костянтинівський, Ново-Олександрівський, Балаховський, Кула-Удайський, були спроектовані розрізи Березівський, Верхньодніпровський. Вугілля призначалося для брикетування та спалювання на ТЕЦ.

У зв'язку з тим, що ТЕЦ були переведені на природний газ, робота буровугільних розрізів була припинена, тому що подальша їх розробка була недоцільною.

У зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу і зростанням цін на енергоносії, актуальним залишається пошук нових енергоресурсів. В даний час Україна змушена купувати російський газ вартістю 3500 грн за 1 тис. м<sup>3</sup>.

Ми пропонуємо будівництво Березівського розрізу з подальшою газифікацією добутого бурого вугілля, для забезпечення потреб в газі Олександрійського району. Загальні геологічні запаси Березівської ділянки складають 19,957 млн т.

В Олександрійському районі 70% споживачів природного газу – це населення, 25% – підприємства

теплоенергетики, 5% – об'єкти промисловості.

Загальна чисельність населення Олександрійського району складає 41 108 чоловік. У середньому об'єм споживання природного газу – 434,3 м<sup>3</sup>/чол.рік. Загальний об'єм спожитого газу за рік населенням на опалення та інші потреби – 17 852 800 м<sup>3</sup>. Підприємства теплоенергетики та промисловості споживають газ у розрахунку – 7 651 200 м<sup>3</sup>/рік. Загальна кількість спожитого газу в Олександрійському районі дорівнює 25 504 000 м<sup>3</sup>/рік.

В зв'язку з тим, що в північній частині родовища потужність розкриття складає 36,1 м, наявні під'їзні комунікації, ми пропонуємо поле розрізу розкривати в північній частині з розрізною траншеєю довжиною 850 м та однією виїзною траншеєю зовнішнього закладення. Це забезпечить повноту виймання запасів корисної копалини обсягом 19,3 млн т та раціональне просування фронту робіт.

Відпрацювання основного уступу прийняте за простою без транспортною схемою екскаватором ЕШ-20/90, нижнього передового - по транспортній схемі екскаватором ЕРС-1120 на конвєсний транспорт, а верхніх передових уступів - по транспортній схемі екскаватором ЕКГ-10 на автотранспорт.

Газифікації можуть підлягати будь-які види твердих палив від бурого вугілля до антрацитів.

Рациональна вологість вихідного вугілля для процесу газифікації – волога ( $W_n$ ) до 65%, зольність ( $A_d$ ) до 40%. Оптимальна зольність становить 20%.

Газифікація твердих палив – це процес перетворення твердих палив в горючі гази шляхом окислення повітрям, чистим киснем, воляною парою вуглекислим газом при високій температурі. Газифікуються всі види твердого палива: кам'яне й буре вугілля, антрацит, кокс, напівкокс, торф, деревина, горючі сланці.

Цей напрямок має найбільше значення для місцевого газопостачання районів, віддалених від родовищ природного газу і нафти або від магістральних трубопроводів.

Перед процесом газифікації буре вугілля подрібнюють, а при необхідності зневоднюють (необхідна вологість коливається в межах 10 – 65%). Дуже важливо привести буре вугілля до необхідної крупності – це може бути газифікація кускового (> 3мм), дрібнодисперсного (1–3мм) і тонкодисперсного (<0,1 мм) вугілля [2].

Принципова схема шахтного газогенератора і газогенераторного процесу наведена на рис.1 [3]. Газогенератор являє собою вертикальну камеру (шахту), виготовлену з будівельної цегли і викладену всередині вогнетривом 2. Через отвір 3, розташований у верхній частині газогенератора в камеру завантажують шар палива (вугілля, коксу) різної фракції, підтримуваний колосниковими ґратами 4, під які через спеціальний отвір 5 подається повітря, кисень або пар в залежності від застосовуваної технології. Утворений в шарі палива газ відводять через отвір 6, розташований над шаром палива в стінці газогенератора. Шлаки та зола видаляються через дверцята 7, що знаходяться у стінці шахти. Завантажуване в газогенератор паливо завдяки безперервному його витрачання поступово спускається вниз.

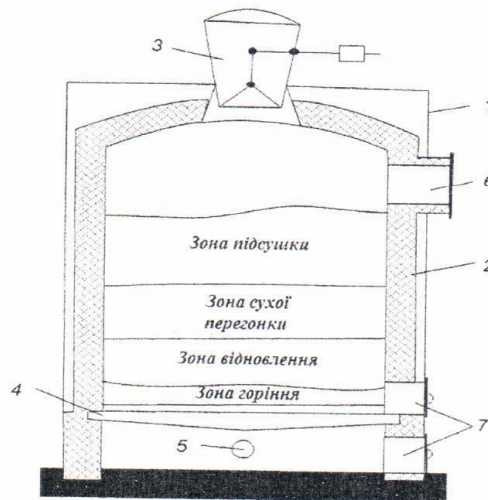


Рис.1 Схема газогенератора та газогенераторного процесу:

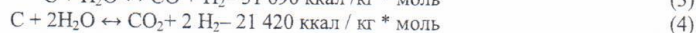
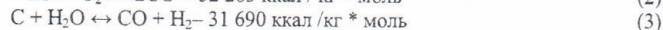
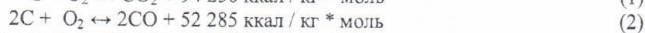
1 - газогенератор з листової сталі; 2 – теплоізоляція (вогнетривка цегла); 3 – бункер для завантаження палива; 4 – колосникові ґрати; 5 – отвір для подачі повітря та пару; 6 – отвір для відведення газу; 7 – дверцята для видалення шлаку і золи.



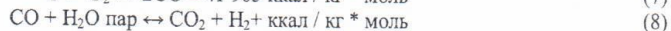
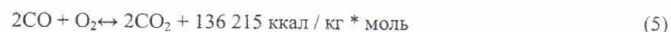
У верхній частині шару палива, що називається зоною підсушування, паливо прогрівається і підсушується гарячими газами, що надходять знизу. У середній частині шару, яка називається зоною сухої перегонки, паливо під впливом газів з температурою 550 – 800<sup>0</sup>С піддається розкладанню: утворюються гази, пари смоли, волога; паливо перетворюється в напівкокс і кокс. Нижче, в зоні газифікації, де температура перевищує 1000<sup>0</sup>С, кокс взаємодіє з газами дуття. У результаті реакцій з вільним киснем дуття, який в зоні газифікації повністю витрачається, вуглець палива перетворюється в СО і СО<sub>2</sub>, водяна пара реагує з вуглецем з утворенням Н<sub>2</sub>, СО та СО<sub>2</sub>.

Газифікація вугілля є складним багатостадійним гетерогенним фізико-хімічним процесом.

При цьому протікають наступні основні первинні реакції вуглецю вугілля з киснем і водяною парою.



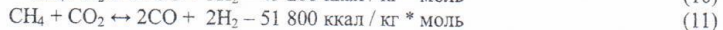
Газоподібні продукти, що утворюються за реакціями (1) - (4), реагують між собою, а також вступають у взаємодію з первинними вуглецем палива та окислювачами по реакціям:



Іноді застосовується також гідрогазифікація - газифікація воднем:



При цьому метан може вступати в реакції конверсії з водяною парою і оксидом вуглецю:



Зазвичай газифікуючими агентами служать повітря, кисень і водяна пара. При паро-повітряному дутті відпадає необхідність в установці потророзділителя, що здешевлює процес, але виходить газ низькокалорійний, оскільки сильно розбавлений азотом повітря.

Температура газифікації в залежності від обраної технології може коливатися в широких межах 850 – 2000<sup>0</sup>С. Чим вище вологість сировини, тим вище температура газифікації. Діапазон тисків газифікації від 0,1 до 10,0 МПа і вище. Газифікація під тиском краща у випадках отримання газу, що використовується потім в синтезах, які проводяться при високих тисках (знижуються витрати на стиск синтез-газу).

При підвищенні температури можна переробляти малореакційне та коксівне вугілля широкого гранулометричного складу.

Для газифікації під високим тиском пилоподібних палив в газогенератор подають водяну суспензію вугілля з концентрацією до 70%. Недоліком цього способу подачі вугілля є значна витрата тепла на випаровування води в газогенераторі, але вугілля не вимагає попередньої сушки і виключається подача пара в газогенератор.

Газифікатор бурого вугілля з 1 т вугілля виробляє 3800 м<sup>3</sup>/год генераторного газу калорійністю 1200 ккал/м<sup>3</sup>, що еквівалентно 550 – 600 м<sup>3</sup> природного. Для отримання генераторного газу, еквівалентного 1000 м<sup>3</sup> природного необхідно 1,3 т бурого вугілля.

Споживання електроенергії становить 55 кВт\*год/т, вартістю 1,05 грн/кВт\*год. Ми пропонуємо установи когенерації - спільне вироблення електричної і теплової енергії. Установка блоку когенерації дозволить виробити з генераторного газу теплову та електричну енергію. Собівартість одного кВт складе не вище 55 коп, що дозволить економити 50% на вартості електроенергії. Щоб виробити генераторний газ для заміщення 1000 м<sup>3</sup> природного необхідно затратити 95, 7 кВт\*год, вартістю 52,64 грн.

Собівартість генераторного газу, еквівалентного по теплотворності 1000 м<sup>3</sup> природному, враховуючи собівартість вугілля, становить 365,2 грн/тис.м<sup>3</sup>.

Купівля російського газу здійснюється за ціною 3500 грн тис.м<sup>3</sup>. Економія від використання генераторного газу: 3500 грн – 362,2 грн = 3134,8 грн на кожній 1000 м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.

Розглянемо економію на заміщенні природного газу на прикладі Олександрійського району. Олександрійський район щорічно споживає 25,504 млн м<sup>3</sup>/рік газу, вартістю 89, 264 млрд грн/рік. При

використанні установок газифікації бурого вугілля, яким багатий регіон, економія становить 9,31 млрд грн/рік.

Дослідження використання бурого вугілля в Україні (Дніпропетровський НГУ, Інститут геологічних наук НАН і Донський НГТУ) підтвердило доцільність збільшення його видобутку в країні, в основному для виробництва електроенергії, паливних брикетів, газу.

**Висновки.** Нові технології дозволяють більш ефективно вирішити проблему шляхом газифікації бурого вугілля, яким так багата Україна. Цей напрямок дозволяє забезпечити газом райони, віддалені від родовищ природного газу і нафти або від магістральних трубопроводів. Економія від використання генераторного газу становитиме 1760 грн/тис.м<sup>3</sup> на кожній 1 тис. м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.

Україна, маючи значний науковий, виробничий потенціал має реальну можливість вирішити паливно-енергетичну проблему шляхом газифікації бурого вугілля, що дозволить вивести країну з розряду енергодефіцитних.

#### Список літератури

1. Буре вугілля : Ресурси. Властивості. Переробка / І.Д. Дроздик, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Должанська [та ін.] // Кокс та хімія. – 2002. – №9. – С. 43–45.
2. Зубілін І.Г. Отримання синтез-газів для виробництва екологічно чистих моторних палив: теорія та технологія/І.Г. Зубілін, В.І. Рудика. – Харків: Харківський національний університет, 2002. – 315 с.
3. Кричко А.А. Непаливне використання вугілля / А.А. Кричко, В.В. Лебедев, І.І. Фірберов. – М.: Надра, 1978. – 215 с.

O.Vovk, N.Zukova, R.Kravchuk  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

A.Gay, National Aviation University

#### SUBSTANTIATION OF EXPEDIENCY OF BROWN COAL MINING WITH ITS SUBSEQUENT GASIFICATION

*The article describes the technology of brown coal gasification for example of Berezovsky deposit and the economic feasibility of its implementation were given. Schematic diagram of the gas generator and gas generator mine process were given. Coal gasification is considered as a complex multistage heterogeneous physical-chemical process and savings by substituting gas for example of Alexandria area were determined.*

**Key words:** coal, gasification, natural gas, energy efficiency.

1. Bure vuhillya : Resursy. Vlastyvosti. Pererobka / I.D. Drozdyk, Yu.S. Kafan, Yu.B. Dolzhans'ka [ta in.] // Koks ta khimiya. – 2002. – №9. – p. 43-45.
2. Zubilin I.H. Otrymannya syntezy-haziv dlya vyrobnytstva ekolohichno chystykh motornykh palyv: teoriya ta tekhnolohiya/Y.H. Zubilin, V.I. Rudyka. – Kharkiv: Kharkiv's'kyi natsional'nyy universytet, 2002. – 315 p.
3. Krychko A.A. Nepalyvne vykorystannya vuhillya / A.A. Krychko, V.V. Lebedyev, I.L. Firberov. – M.: Nadra, 1978. – 215 p.

УДК 622.235.535

О.А.Вовк, канд. техн. наук, доцент; Н.И.Жукова; Р.А. Кравчук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

А.Е. Гай, канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный авиационный университет

#### ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ БУРОГО УГЛЯ С ЕГО ДАЛЬНЕЙШИМ ГАЗИФИЦИРОВАНИЕМ

*В статье рассмотрена технология газификации бурого угля на примере Березовского месторождения и приведена экономическая целесообразность ее внедрения. Приведена принципиальная схема шахтного газогенератора и газогенераторного процесса. Рассмотрена газификация угля как сложный многостадийный гетерогенный физико-химический процесс и определена экономия при замещении газа на примере Александрийского района.*

**Ключевые слова:** уголь, газификация, природный газ, энергоэффективность.

Надійшла 20.12.2013

Received 20.12.2013

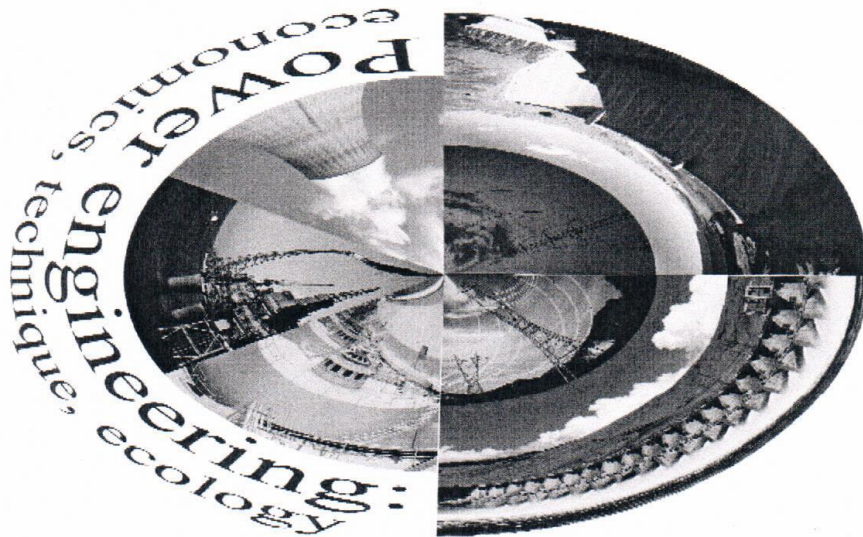


ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

# ЕНЕРГЕТИКА

*економіка, технології, екологія*



Науковий журнал

№3 – 2013

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники  
головного редактора – С.П. Денисюк, В.А. Єрошенко, В.О. Туз

Відповідальний секретар – О.М. Закладний

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: Б.І. Басок, В.І. Дешко, В.Я. Жуйков,  
(Україна) Л.О. Кесова, С.О. Кудря, Є.М. Письменний,  
К.К. Ткачук, Н.М. Фіалко, В.М. Чермалих,  
В.Ф. Шинкаренко, А.А. Щерба, О.С. Яндутьський

#### ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Ричард Стржелецькі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), Ю.І. Блінов (*Санкт-Петербурзький державний електротехнічний університет, Росія*), П.Я. Екель (*Католицький університет, м. Белу Орізонті, Бразилія*), Димитрос Мавракіс (*Національний університет м. Афіни, Греція*), Рішон Домінік (*Національна вища гірничо-шахтарська школа Парижу, Франція*), А.В. Кузнєцов (*Університет штату Північна Кароліна, США*)

Технічний секретар Н.О. Кравчук.

Веб-сайт журналу <http://energy.iee.kpi.ua>

Журнал зареєстровано Реєстраційний номер свідоцтва про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 4135 від 30.03.2000р.

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до Постанови Президії ВАК України від 1 липня 2010р. № 1-05/5. Журнал включено до наукометричної бази даних РІНЦ, бази даних «Наукова періодика України», Google Scholar. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Коректор В.Г. Смоляр. Комп'ютерна верстка, адміністрування сайту О.О. Закладний.  
Відповідальний за випуск видання Н.О.Кравчук.

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Адреса редакції 03056, Україна, м.Київ, вул.Борщагівська, 115, к.315,  
тел. (38-044) 406-85-14, e-mail: [krav@iee.kpi.ua](mailto:krav@iee.kpi.ua)

Видавець НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»,  
м.Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15.

**Увага!** Передрукування матеріалів іншими виданнями можливе лише з дозволу редакційної колегії журналу **ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія**

©НТУУ «КПІ», 2013

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

# ЕНЕРГЕТИКА

*економіка, технології, екологія*

Науковий журнал

№ 3 (34) - 2013

Виходить 4 рази на рік

Заснований у березні 2000 року

Засновник  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Міжфакультетський журнал

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Теплоенергетичний факультет

Факультет електроенерготехніки та автоматики

---

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2013



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE  
"KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE"

# POWER ENGINEERING

*economics, technique, ecology*

*ENERHETYKA:*

*ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*

**The Scientific Journal**

**№ 3 (34) - 2013**

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

Founder  
National Technical University of Ukraine  
«Kyiv Polytechnic Institute»

Inter-faculty journal

Institute for Energy Saving and Energy Management  
Heat-and-Power Engineering Department  
Electrical Technology and Automation Department

---

Kyiv

NTUU «KPI»

2013



CONTENTS

TECHNIQUE

|   |    |
|---|----|
| S. Denysiuk. Features of policy energy – priority Ukraine.....  | 7  |
| V. Tuz, R. Neilo. Reference temperature determination during natural convection.....  | 20 |
| V. Deshko, O. Shevchenko, A. Kopets, A. Schirru-Nowicka, O. Harasevych. Development of certification procedures of energy and ecological parameters of the buildings in Ukraine on the basis of practice of using tool DISPLAY..... | 27 |
| M. Bezrodny, V. Vovk. Thermodynamic efficiency of the heat pump conveyor dryer with heat recovery dried grains.....   | 37 |
| V.V. Zorin, O.M. Majstrenko. Raising throughput on a range of criteria cable lines of electricity transmission by voltage 6-10 kV.....  | 44 |
| A.Zakladnyi, O. Zakladnyi, V. Bronyts'kyy. Control brushless with the use of three-level pi controller with fuzzy logic.....  | 52 |
| V. Kalinchyk, O. Skachok. Assessment and analysis of equalization load schedule production systems.....   | 57 |
| V.P. Rosen, L Ya. Kulakovskiy. Design the algorithm for constructing the field of factors of drying process of peat in the steam tube dryers.....   | 63 |
| V.F Nakhodov, O.V. Borychenko, D.O. Ivanko. The choice of appropriate adequacy criteria number of energy consumption mathematical models in the energy efficiency operational control systems.....                                  | 68 |
| <u>M. Denysenko</u> , I. Prytyskach. Power oil transformers load capacity evaluation by their isolation thermal wear.....   | 78 |
| V. Kravets, A. Soroka. Nuclear safety analysis of spent fuel in the Khmelnytsky nuclear power plant water storage pools.....  | 84 |
| N. Buslova, A. Gaiduk. Mathematical model of testing cabel line with lumpd fault by impulse reflectometry method.....   | 90 |
| O. Zakladnyi. Model of diagnosing parameters of energy induction motor drives.....  | 94 |

ECONOMICS

|  |     |
|--|-----|
| L. M. Melnychuk. Mechanisms of improvement of payment for transmission reactive power..... | 101 |
|--|-----|

ECOLOGY

|  |     |
|--|-----|
| A. Kovalchuk, M. Klopot. Simulation of carbon dioxide capture process from the flue gas by aqueous souldions of amines.....  | 106 |
| O.Vovk, N.Zukova, R.Kravchuk, A.Gay. Substantiation of expediency of brown coal mining with its subsequent gasification..... | 110 |

Підп. до друку 14.05.2014. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папір офс. Гарнітура Times.  
Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк. 13,48. Обл.-вид. арк. 22,96. Наклад 150 пр.  
Зам. № 14-98.

---

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»  
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
тел. (044) 406-81-78