



Державний вищий навчальний заклад
„Національний гірничий університет“

НАУКОВИЙ ВІСНИК

Національного
гірничого
університету

Науково-технічний журнал

№ 2 (158) • 2017

Виходить 6 разів на рік • Заснований у вересні 1998 р.

Геологія
Розробка родовищ корисних копалин
Фізика твердого тіла, збагачення корисних копалин
Геотехнічна і гірнича механіка, машинобудування
Електротехнічні комплекси та системи
Технології енергозабезпечення
Екологічна безпека, охорона праці
Інформаційні технології, системний аналіз та керування
Економіка та управління

Дніпро
2017

Головний редактор	Г. Г. Півняк
Заступники головного редактора	О. С. Бешта, П. І. Пілов, О. М. Шашенко
Відповідальний редактор	Т. В. Барна
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: (Україна)	М. О. Алексеев, А. В. Бардась, В. І. Бондаренко, В. І. Бузило, А. Ф. Булат, О. Г. Вагонова, В. В. Гнатушенко, В. І. Голінько, М. М. Довбніч, Р. О. Дичковський, О. В. Єрмошкина, А. О. Задоя, Г. О. Козлакова, В. В. Лукінов, В. Ф. Приходченко, В. В. Проців, Ю. Т. Разумний, Т. Б. Решетілова, М. В. Рузіна, Д. В. Рудаков, В. С. Савчук, І. О. Садовенко, О. В. Садовий, В. І. Самуся, О. О. Сдвижкова, В. П. Франчук, Ю. М. Халімендик, Ю. Т. Хоменко, В. Я. Швець, Ф. П. Шкрабець
ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:	М. Д. Венедиктов (<i>Московський технічний університет зв'язку та інформатики, РФ</i>); Р. Вюрзлін (<i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i>); Г. Грулер (<i>Ройтлінгенський університет, ФРН</i>); А. Дичко (<i>Інститут мінеральної сировини та енергетики Польської академії наук, Республіка Польща</i>); К. Дребенштедт (<i>Технічний університет „Фрайберзька гірнична академія“, ФРН</i>); Ю. Дубінські (<i>Головний інститут гірничої справи, Республіка Польща</i>); В. В. Кармазин (<i>Московський державний гірничий університет, РФ</i>); Є. Кіцкі (<i>Інститут мінеральної сировини та енергетики Польської академії наук, Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i>); Т. Майхерчик (<i>Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i>); Н. Нойбергер (<i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i>); Б. Ракішев (<i>Казахський національний технічний університет, Республіка Казахстан</i>); Х. Рамадан (<i>Технологічний Університет Бельфор-Монбел'яра, Франція</i>); Р. Сінгхал (<i>Університет Калгарі, Канада</i>); О. Стовас (<i>Норвезький університет природничих наук та технології, Королівство Норвегія</i>); Д. Стургул (<i>Університет Аделаїди, Австралійський Союз</i>); А. Тайдусь (<i>Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i>); Я. Теліандер (<i>Університет Заходу, Королівство Швеція</i>); С. Форліч (<i>Вроцлавська вища банківська школа, Республіка Польща</i>); В. Чарнецькі (<i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i>); М. Шмідт (<i>Бранденбурзький технічний університет, ФРН</i>); Г. Шмідт (<i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i>)
	Журнал включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, Index Copernicus Journal Master List та баз EBSCOhost і ProQuest, каталогів періодичних видань Ulrichsweb Global Serials Directory та ResearchBib, реферується в базі даних „Україніка наукова“, у журналах „Джерело“ та ВІНІТІ РАН (РФ).
	Передплата здійснюється в поштових відділеннях України за „Каталогом періодичних видань“ (передплатний індекс: 89166) і в передплатних агентствах „Укрінформнаука“ (індекс: 10107) та „Ідея“ (індекс: 17736).
	Комп'ютерна верстка Т. О. Клименко. Коректор М. Т. Сисун. Журнал підписано до друку за рекомендацією вченої ради Державного вищого навчального закладу „Національний гірничий університет“ (протокол № 7 від 18.04.2017 року)
Журнал зареєстровано	у Міністерстві юстиції України. Реєстраційний номер КВ № 17742-6592ПП від 27.04.2011. Наклад 200 прим. Зам. № 1. Підписано до друку 26.04.2017. Формат 60 × 90/8. Ум. друк. арк. 20. Папір офсетний.
Засновник та видавець	Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпро. „Свідоцтво суб'єкта видавничої справи“ ДК №1842 від 11.06.2004
Адреса видавця та редакції:	49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19, корпус 3, к. 24а Тел.: (0562) 47 45 24, e-mail: nv.ngu@ukr.net; www.nvngu.in.ua; nv.nmu.org.ua
Виготовлення:	ПП КФ „Герда“. 49000, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 60. „Свідоцтво суб'єкта видавничої справи“ ДК №397 від 03.04.2001



State Higher Educational Institution
“National Mining University”

**SCIENTIFIC
BULLETIN**
of National
Mining University

Scientific and technical journal

No 2 (158) • 2017

Bi-Monthly statement • Founded in September 1998

Geology
Mining
Solid-State Physics, Mineral Processing
Geotechnical and Mining Mechanical Engineering,
Machine Building
Electrical Complexes and Systems
Power Supply Technologies
Environmental Safety, Labour Protection
Information Technologies,
Systems Analysis and Administration
Economy and Management

Dnipro

2017

Editor-in-chief G. G. Pivnyak
Deputy editors-in-chief O. S. Beshta, P. I. Pilov, O. M. Shashenko
Editor in chief T. V. Barna

EDITORIAL BOARD: (Ukraine) M. A. Alekseiiev, A. V. Bardas, V. I. Bondarenko, V. I. Buzylo, A. F. Bulat, O. G. Vagonova, M. M. Dovbnich, R. O. Dychkovskiy, V. I. Golinko, V. V. Hnatushenko, A. O. Zadoia, G. O. Kozlakova, V. V. Lukinov, V. F. Prykhodchenko, V. V. Protsiv, Yu. T. Razumnyi, T. B. Reshetilova, D. V. Rudakov, M. V. Ruzina, V. S. Savchuk, I. O. Sadovenko, A. V. Sadovoy, V. I. Samusia, Ye. A. Sdvizhkova, V. P. Franchuk, Yu. M. Khalimendyk, Yu. T. Khomenko, V. Ya. Shvets, F. P. Shkrabets, O. V. Yermoshkina

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD: M. D. Venedyktov (*Moscow Technical University of Communications and Informatics, Russian Federation*); R. Würslin (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); G. Gruhler (*Reutlingen University, Federal Republic of Germany*); A. Dyczko (*The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Republic of Poland*); C. Drebenstedt (*Freiberg University of Mining and Technology, Federal Republic of Germany*); J. Dubinski (*Central Mining Institute, Republic of Poland*); V. V. Karmazin (*Moscow State Mining University, Russian Federation*); J. Kicki (*AGH University of Science and Technology, The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Republic of Poland*); T. Majcherczyk (*AGH University of Science and Technology, Republic of Poland*); N. Neuberger (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); B. R. Rakishev (*Kazakh National Technical University after K. I. Satpaev, Republic of Kazakhstan*); H. Ramadan (*The University of Technology of Belfort-Montbéliard, France*); R. Singhal (*The University of Calgary, Canada*); A. Stovas (*The Norwegian University of Science and Technology, Kingdom of Norway*); J. Sturgul (*The University of Adelaide, Commonwealth of Australia*); A. Tajduś (*AGH University of Science and Technology, Republic of Poland*); J. Theliander (*University West, Kingdom of Sweden*); S. Forlicz (*Wrocław Higher Bank School, Republic of Poland*); W. T. Czarnetzki (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); M. Schmidt (*The Brandenburg Technical University, Federal Republic of Germany*); G. Schmidt (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*)

The journal has been included in Scopus, Index Copernicus Journal Master List, ProQuest, EBSCOhost, Ulrichsweb Global Serials Directory, ResearchBib, abstract journal VINITI RAS (Russia).

Subscription for the journal can be done in post offices of the Ukraine (subscription index in Subscription Publication Catalogue is 89166) and in the subscription agencies Ukrinformnauka (index in Subscription Publication Catalogue is 10107) and Ideia (index is 17736)

Makeup T. A. Klimenko. Proofreading M. T. Sysun.

Passed for printing under recommendation of Academic Council of State Higher Educational Institution “National Mining University” (transaction No. 7 dated April 18, 2017).

Journal was registered by Ministry of Justice of Ukraine. Registration number KB No.17742-6592PR dated April 27, 2011. Passed for printing April 26, 2017. Sheet size 60 × 90/8. Presswork 20. Offset paper. Number of copies printed 200. Order No. 1.

Founder and editor State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipro Certificate of Publisher ДК No.1842 dated June 11, 2004

Address of editor and editorial office: 19, D. Yavornytskoho Ave., building 3, room 24a, Dnipro, 49005
Tel.: (0562) 47 45 24, e-mail: nv.ngu@ukr.net, www.nvngu.in.ua; nv.nmu.org.ua

Production PP KF “Gerda”. 60, D. Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49000.
Certificate of Publisher ДК No.397 dated April 3, 2001

CONTENTS

Geology	5
A. I. Mizernyi, A. P. Miroshnikova, M. O. Mizerna, B. O. Diachkov. Geological and structural features, magmatism and mineralization of Sekysivske and Vasylykivske stockwork gold deposits (Kazakhstan)	5
Mining	14
V. V. Fomychov, V. V. Lapko, V. M. Pochepov. Stability analysis of two-level anchor support installed in the weakly metamorphosed rocks	14
O. V. Solodyankin, O. Y. Hryhoriev, I. V. Dudka, S. V. Mashurka. Criterion to select rational parameters of supports to reduce expenditures connected with construction and maintenance of development working	19
M. V. Netecha, S. V. Shevchenko, O. P. Strilets. Jaspilites and other gemstones of post-jaspilite genesis: mining, treatment, and enhancement	28
O. Ye. Khomenko, A. K. Sudakov, Z. R. Malanchuk, Ye. Z. Malanchuk. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits	34
B. Y. Hao, S. Y. Hu, J. Cheng, H. Huang, K. Wang, L. X. Kang. Failure mechanism analysis on hanging arch roof caving at end of underground coal working face	44
V. I. Prokopenko, Yu. I. Litvinov. Environmental oriented imperative of developing the opening technology and excavation of horizontal fields.	51
Geotechnical and mining mechanical engineering, machine building	58
D. V. Babets, O. O. Sdvyzhkova, M. H. Larionov, R. M. Tereshchuk. Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems	58
I. M. Matsyuk, T. I. Morozova, E. M. Shlyahov. Search of variants of assemblies of structural groups in planar linkages	65
Yu. I. Osenin, L. M. Dehtiareva, G. Yu. Osenina, O. V. Serhiienko. Improving safety of movement of mining transport by applying wheels with counter-flange.	70
A. I. Bondarenko, I. O. Taran. Effect of antilock brake system on basic parameters of transport vehicle transmission	75
Electrical complexes and system	81
F. P. Shcrabets, P. Yu. Krasovskyi, V. V. Berdnyk. The systems of backup power supply based on renewable energy sources for mobile facilities	81
V. S. Fedoreiko, R. I. Zahorodnii, I. B. Lutsyk, M. I. Rutylo. Modeling of block of electricity generation of cogeneration system for heat generator	87
Power supply technologies	93
M. Y. Fedoriv, I. V. Hlad, I. D. Hlushchak, Y. V. Batsala. Increasing reliability and energy efficiency of electrically driven drilling units	93

CONTENTS

Environmental safety, labour protection	99
V. V. Hnatushenko, D. K. Mozgovyi, V. V. Vasyliiev, O. O. Kavats. Satellite monitoring of consequences of illegal extraction of amber in Ukraine	99
S. M. Bagriy, L. I. Davybida, E. D. Kuzmenko. Spatial modeling and prediction of environmental situation when filling Dombrowski quarry: GIS approach	106
M. M. Prykhodko. Floods and their management in the Carpathian region of Ukraine	112
T. B. Chepurna. Features of high-altitude distribution of mudflow sites in the Upper Tysa basins in Ukrainian Carpathians	118
O. O. Oliinyk. Corporate social responsibility in the field of occupational safety and health	128
Information technologies, systems analysis and administration	134
V. M. Babaiev, I. M. Kadykova, Yu. Yu. Husieva, I. V. Chumachenko. The method of adaptation of a project-oriented organization's strategy to exogenous changes	134
S. S. Koval. Information technology of the automatization formation of the non-standard products optimal composition at the engineering enterprise	141
Economy and management	149
V. V. Bilotserkivets, O. O. Zavorodnia. Innovative challenges and post-crisis prospects of Ukrainian mining and metallurgical industry	149
N. V. Korzh. Optimization of the structure of corporate capital throughout the lifecycle of a company	157
O. A. Zadoia. Transformation of savings into investments: role of financial intermediaries	165

“Scientific Bulletin of National mining University” was included in the “List of Scientific occupational editions of Ukraine” on geological and technical sciences (Order of Ministry of Education and Science of Ukraine No.1328 dated December 21, 2015).

ЗМІСТ

Геологія	5
А. І. Мізерний, А. П. Мірошнікова, М. О. Мізерна, Б. О. Д'ячков. Геолого-структурні особливості, магматизм і зруденіння Секисівського та Васильківського штокверкових родовищ золота (Казахстан) ...	5
Розробка родовищ корисних копалин	14
В. В. Фомичов, В. В. Лапко, В. М. Почепов. Аналіз стійкості дворівневого анкерного кріплення у слабо метаморфізованих породах.	14
О. В. Солодянкін, О. Є. Григор'єв, І. В. Дудка, С. В. Машурка. Критерій вибору раціональних параметрів кріплення для зниження витрат на спорудження та підтримання підготовчої виробки	19
М. В. Негеча, С. В. Шевченко, О. П. Стрілець. Джеспіліти та інші самоцвіти пост-джеспілітового генезису: видобуток, обробка, облагородження.	28
О. Є. Хоменко, А. К. Судаков, З. Р. Маланчук, Є. З. Маланчук. Принципи використання енергії гірського тиску при підземній розробці родовищ	34
Б. Ю. Хао, С. Ю. Ху, Дж. Чен, Х. Хуан, К. Ван, Л. С. Кан. Аналіз поломок механізму підвісного арочного склепіння на початку очисного вибою підземної вугільної виробки	44
В. І. Прокопенко, Ю. І. Літвінов. Еколого-орієнтований імператив розвитку технології розкриття та розробки горизонтальних родовищ	51
Геотехнічна і гірнична механіка, машинобудування	58
Д. В. Бабець, О. О. Сдвижкова, М. Г. Ларіонов, Р. М. Терещук. Оцінка стійкості масиву гірських порід, що базується на ймовірнісному підході та рейтингових класифікаціях.	58
І. М. Мацюк, Т. І. Морозова, Е. М. Шляхов. Пошук варіантів складань структурних груп у плоских стрижневих механізмах.	65
Ю. І. Осенін, Л. М. Дегтярьова, Г. Ю. Осеніна, О. В. Сергієнко. Підвищення безпеки пересування рухомого складу гірничорудного та шахтного транспорту за рахунок використання коліс із контргребенем	70
А. І. Бондаренко, І. О. Таран. Вплив антиблокувальної системи на основні параметри трансмісії транспортного засобу	75
Електротехнічні комплекси та системи	81
Ф. П. Шкрабець, П. Ю. Красовський, В. В. Бердник. Системи резервного електропостачання мобільних пристроїв на основі альтернативних джерел енергії.	81
В. С. Федорейко, Р. І. Загородній, І. Б. Луцик, М. І. Рутило. Моделювання електрогенеруючого блоку когенераційної системи теплогенератора	87
Технології енергозабезпечення	93
М. Й. Федорів, І. В. Гладь, І. Д. Галушак, Я. В. Бацала. Підвищення надійності та енергоефективності електроприводних бурових установок.	93

Екологічна безпека, охорона праці	99
В. В. Гнатушенко, Д. К. Мозговий, В. В. Васильєв, О. О. Кавац. Супутниковий моніторинг наслідків незаконного видобутку бурштину в Україні	99
С. М. Багрій, Л. І. Давибіда, Е. Д. Кузьменко. Просторове моделювання та прогнозування екологічної ситуації при наповненні Домбровського кар'єру: геоінформаційний підхід	106
М. М. Приходько. Паводки та управління ними в Карпатському регіоні України	112
Т. Б. Чепурна. Особливості висотного розподілу селевих осередків у басейнах рік Верхньої Тиси в Українських Карпатах	118
О. О. Олійник. Корпоративна соціальна відповідальність у сфері охорони праці	128
Інформаційні технології, системний аналіз та керування	134
В. М. Бабаєв, І. М. Кадикова, Ю. Ю. Гусєва, І. В. Чумаченко. Метод адаптації стратегії проектно-орієнтованої організації до екзогенних змін	134
С. С. Коваль. Інформаційна технологія автоматизованого формування оптимального складу нестандартної продукції на машинобудівному підприємстві	141
Економіка та управління	149
В. В. Білоцерківець, О. О. Завгородня. Інноваційні виклики та посткризові перспективи гірничо-металургійної промисловості України	149
Н. В. Корж. Оптимізація структури корпоративного капіталу в перебігу життєвого циклу підприємства	157
О. А. Задоя. Трансформація заощаджень у інвестиції: роль фінансових посередників	165

„Науковий вісник НГУ“ включений до „Переліку наукових фахових видань України“ з геологічних і технічних наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. № 1328).

СОДЕРЖАНИЕ

Геология	5
А. И. Мизерный, А. П. Мирошникова, М. А. Мизерная, Б. А. Дьячков. Геолого-структурные особенности, магматизм и оруденение Секисовского и Васильковского штокверковых месторождений золота (Казахстан)	5
Разработка месторождений полезных ископаемых	14
В. В. Фомичев, В. В. Лапко, В. Н. Почепов. Анализ устойчивости двухуровневой анкерной крепи в слабо метаморфизованных породах	14
А. В. Солодянкин, А. Е. Григорьев, И. В. Дудка, С. В. Машурка. Критерий выбора рациональных параметров крепи для снижения затрат на сооружение и поддержание подготовительной выработки ...	19
М. В. Негеча, С. В. Шевченко, А. П. Стрилец. Джеспилиты и другие самоцветы пост-джеспилитового генезиса: добыча, обработка, обогащение	28
О. Е. Хоменко, А. К. Судаков, З. Р. Маланчук, Е. З. Маланчук. Принципы использования энергии горного давления при подземной разработке месторождений	34
Б. Ю. Хао, С. Ю. Ху, Дж. Чэн, Х. Хуан, К. Ван, Л. С. Кан. Анализ поломок механизма подвесного арочного свода в начале очистного забоя подземной угольной выработки	44
В. И. Прокопенко, Ю. И. Литвинов. Эколого-ориентированный императив развития технологии раскрытия и разработки горизонтальных месторождений.	51
Геотехническая и горная механика, машиностроение	58
Д. В. Бабец, Е. А. Сдвижкова, Н. Г. Ларионов, Р. Н. Терещук. Оценка устойчивости массива горных пород на основе вероятностного подхода и рейтинговых классификаций	58
И. Н. Мацюк, Т. И. Морозова, Э. М. Шляхов. Поиск вариантов сборок структурных групп в плоских стержневых механизмах	65
Ю. И. Осенин, Л. Н. Дегтярева, Г. Ю. Осенина, О. В. Сергиенко. Повышение безопасности передвижения подвижного состава горнорудного и шахтного транспорта за счет использования колес с контргребнем	70
А. И. Бондаренко, И. А. Таран. Влияние антиблокировочной системы на основные параметры трансмиссии транспортного средства	75
Электротехнические комплексы и системы	81
Ф. П. Шкрабец, П. Ю. Красовский, В. В. Бердник. Системы резервного электроснабжения мобильных устройств на основе альтернативных источников энергии	81
В. С. Федорейко, Р. И. Загородний, И. Б. Луцык, Н. И. Рутьюло. Моделирование электрогенерирующего блока когенерационной системы теплогенератора	87
Технологии энергообеспечения	93
М. И. Федорив, И. В. Гладь, И. Д. Галушак, Я. В. Бацала. Повышение надежности и энергоэффективности электроприводных буровых установок	93

Экологическая безопасность, охрана труда	99
В. В. Гнатушенко, Д. К. Мозговой, В. В. Васильев, А. А. Кавац. Спутниковый мониторинг последствий незаконной добычи янтаря в Украине	99
С. М. Багрий, Л. И. Давыбида, Э. Д. Кузьменко. Пространственное моделирование и прогнозирование экологической ситуации при наполнении Домбровского карьера: геоинформационный подход	106
Н. Н. Приходько. Паводки и управление ими в Карпатском регионе Украины	112
Т. Б. Чепурна. Особенности высотного распределения селевых очагов в бассейнах рек Верхней Тисы в Украинских Карпатах	118
Е. А. Олейник. Корпоративная социальная ответственность в сфере охраны труда	128
Информационные технологии, системный анализ и управление	134
В. Н. Бабаев, И. Н. Кадыкова, Ю. Ю. Гусева, И. В. Чумаченко. Метод адаптации стратегии проектно-ориентированной организации к экзогенным изменениям	134
С. С. Коваль. Информационная технология автоматизированного формирования оптимального состава нестандартного изделия на машиностроительном предприятии	141
Экономика и управление	149
В. В. Белоцерковец, Е. А. Завгородняя. Инновационные вызовы и посткризисные перспективы горно-металлургической промышленности Украины	149
Н. В. Корж. Оптимизация структуры корпоративного капитала в течение жизненного цикла предприятия	157
А. А. Задоя. Трансформация сбережений в инвестиции: роль финансовых посредников	165

UDC 621.31

V. S. Fedoreiko, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
 R. I. Zahorodnii, Cand. Sc. (Tech.),
 I. B. Lutsyk, Cand. Sc. (Tech.),
 M. I. Rutylo, Cand. Sc. (Tech.)

V. Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

MODELING OF BLOCK OF ELECTRICITY GENERATION OF COGENERATION SYSTEM FOR HEAT GENERATOR

В. С. Федорейко, д-р техн. наук, проф.,
 Р. І. Загородній, канд. техн. наук,
 І. Б. Луцик, канд. техн. наук,
 М. І. Рутило, канд. техн. наук

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна, e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧОГО БЛОКУ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Purpose. Selection and substantiation of the method for maintaining the maximum power of a thermoelectric generator unit to provide its energy-efficient modes of functioning in various modes of operation of the cogeneration system.

Methodology. Theoretical studies were based on the theory of thermoelectric conversion law of thermodynamics, heat transfer theory using the methods of mathematical and physical modeling according to the theory of identification and theory of experiment. Designing computer models was implemented according to the simulations methods using Simulink tools. The check of theoretical research on the experimental sample the cogeneration system in a production environment was realized.

Findings. Based on the established mathematical relations, an algorithm was designed to maintain the maximum power of the thermoelectric module taking into account the temperature coefficient of its internal resistance changes. A simulation model of a cogeneration unit was designed, which includes, in particular, the heat generator subsystem and power generating unit. It was proved possible to increase the efficiency and the maximum capacity of power generating unit by calculating and setting the input current required for it.

Originality. The algorithm for determining the maximum power of thermoelectric generator in cogeneration systems is defined. This can improve their energy efficiency under different temperature conditions.

Practical value. Application of the developed models can adequately reproduce the dynamics of the operation of a thermoelectric module of a cogeneration system and to identify the parameters of the system under various load conditions. The proposed algorithm for determining maximum capacity is implemented in the power generating unit control system module. This makes it possible to ensure improved energy efficiency of the cogeneration system.

Keywords: *power generating unit, thermoelectric modules, autonomous cogeneration system, heat generator, energy efficiency, modeling*

Introduction. Heat is a byproduct of literally any technology. Heating and electricity generation are not exceptions, there is always some amount of heat emitted from the surfaces or exhausted into the air. The very physics of the Carnot Cycle restricts the amount of energy that can be transformed into mechanical (and later to electrical) form by the ratio of temperatures [1]. Roughly from 50 to 70 % of primary energy thus can be just wasted, if only mechanical or electrical energy is considered to be 'useful'.

That is why the so-called co-generation or combined heat and power generation technologies are a far more thrifty way of energy utilization. There are various types of such systems. Those including renewables and the so-called micro cogeneration systems [2] are becoming more and more popular because the advance in these

technologies has made them more efficient and affordable.

The Peltier elements or thermoelectric generators, being known for many years, have recently got their wider application. They may be used for cooling by supplying electricity to them, or, vice versa, consuming thermal energy and generating electricity. Application of cogeneration plants based on the use of renewable sources, including biofuels, is a promising area of small power engineering. This is because the heat and electricity is used directly in the place of their generation, which is cheaper than construction and operation of multikilometer heating mains and power grids.

Autonomous energy sources with combined electricity and heat generation can provide power reserve for centralized utilities [3]. In addition, the reduction of heat emissions into the atmosphere at a larger scale would mitigate environmental problems.

Therefore, the use of heat wastes in the recuperative production process as a source of electrical energy is a viable solution. One of effective ways to solve the above-mentioned problem is the use of thermoelectric generators (TEG) that perform direct conversion of heat into electric power [3].

The power of modern thermoelectric generators (TEG) varies from several watts to tens of kilowatts. Despite low efficiency in this mode, they have obvious advantages. They do not have moving parts, are easy to install and, most importantly, do not require high temperature differences. Due to their high reliability and durability, simplicity of operation, absence of noise TEGs can be used to supply facilities that are distant from power lines as well as when they are the only possible source of electric energy [4].

Power generating modules based on thermoelectric elements can work even at minimum temperature differences, including those on the surfaces of industrial equipment. This is especially important considering that in industry 90 % of the heat energy is emitted from the surfaces at temperatures up to 300 °C [4]. Thus, the use of thermoelectric modules in cogeneration systems as the source of accumulation of electric power from thermal emission of heat generators, including the application of heat obtained from flue gases, is a promising area of power saving [2].

To do that, it is necessary to solve many problems. Among them is the problem of optimal operation of the generation unit. These comprise heat generator, electricity generator and cooling system. The loads or consumers – of both heat and electrical energy, should also be taken into account. All the components are interconnected; their performances affect each other and overall efficiency. Heat transfer, cooling processes and electricity generation are described by non-linear functions; therefore, it is not easy to provide an optimal combination of component parameters [4]. Moreover, under a varying load, a point of optimal operation should be set up and sustained.

Therefore, the research on thermoelectric generators under different operation conditions to determine the energy efficient parameters of system operation is very important. To do that, we first need a complex model of heat and electric power generation module.

Objective. Research on the thermoelectric generator module performances via its modeling to determine its energy efficient modes of operation for different modes of cogeneration facility is the objective of this paper.

Presentation of the main research and methods of. Solving the task of improving the quality of cogeneration system control should begin with development of the effective systems of smooth adjustment of operating parameters depending on preset values and environmental conditions. Optimal control under these requirements needs identification of the object state and appropriate adaptation of the control system parameters with regard to the requirements concerning stability of parametric and power disturbances.

In order to make an adequate model of the electric

cogeneration system it is necessary to examine the operation of the entire installation.

The technological process of cogeneration, implemented on the basis of solid fuel heat generator is performed according to the following sequence. The process of burning of technological biomass in the cell occurs simultaneously with forcing of air in the heat exchanger by the fan. When the heat generator is at rated power, the power generating unit generates the energy that is used to charge the battery and supplied to the inverter producing voltage for power supply of the fan and to the consumer. On the wall of the smoke bonnet and in the area of installation of the power generation unit the thermal sensors are embedded, which, together with the automatic control system, control the temperature of the cold side, and do not allow the hot side temperatures to exceed 150 °C. The process of adjustment is carried out by changing the throttle position [1].

The studies show that the effective operation of thermoelectric generator requires achieving the maximum allowable temperature difference between the surfaces of the module. The temperature difference on the surfaces of the module installed in the heat generator that works on solid fuel depends on several factors, including the relationship of thermal power characteristics of biofuels and technical parameters of the heat generator [1]. Moreover, the value of the electrical resistance of the load must approach the value of the internal resistance of the generator module in operating conditions [2].

In this regard it is necessary to control the temperature modes of generator module operation ensuring their limits, which is expedient to implement using the method for determination of the hot surface module temperature by its electrical parameters – output voltage and the load current [4].

$$T_1 = T_2 + \frac{U + I \left(R_0 + \alpha_0 \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \right)}{k}, \quad (1)$$

where U is output voltage; I is load current; R_0 is the internal resistance of the module at temperature T_0 ; α is the temperature coefficient of resistance change; T_1 , T_2 , are temperature values of hot and cold surfaces of TEG respectively; k is the Seebeck coefficient.

According to dependence (1) for maximum output power of TEG in the allowable temperature range ΔT (50–110 °C), the current consumed by thermocouple should be

$$I = \frac{k\Delta T}{2(R_0 + \alpha(T_c - T_0))}, \quad (2)$$

where T_0 is the temperature of thermoelectric module under normal conditions (20 °C); R_0 is electrical resistance of thermoelectric module under normal conditions (20 °C); T_c is the average temperatures of the cold and hot side of TEG; $\alpha(T_c - T_0)$ is the component that takes into account the dependence of resistance on the temperature.

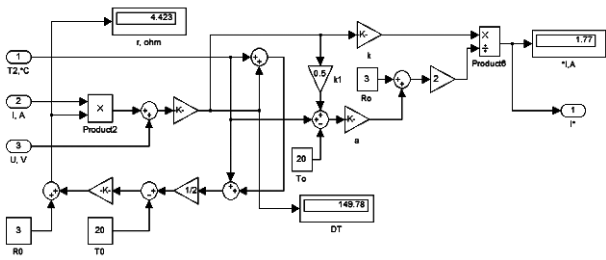


Fig. 1. Imitating model of the algorithm of maintaining the maximum power of TEG taking into account the change of its internal resistance

The indicated relation (2) is the basis for developed calculation algorithm of load current that provides maximum power output based on TEG load characteristics. The algorithm is implemented as a separate module of the control system of battery charger voltage converter (Fig. 1).

The imitating model of cogeneration installation is developed for the estimation of impact of external factors and identification of system parameters at different loading modes in general and for operation analysis of power generating module (Fig. 2).

The model of power generating panel $28 \times$ TEG Module comprises subsystem of elements taking into account their total mass, heat capacity, space and wall thickness, their thermal conductivity and other physical characteristics. The input parameters of the block in a power generating mode, defined in the settings, are thermal characteristics of the selected number of TEG elements; output parameters are electric ones.

The developed model is universal because it allows the user to form power generating module with any

number of TEG elements taking into account their thermal and electric power parameters.

This model is reversible: electrical characteristics can serve as input parameters while the output will show the thermal performance of the model.

Teplogenerator subsystem reproduces operation of solid fuel boilers considering thermal parameters (weight, specific heat, thermal conductivity, heat transfer area, etc.) and its structural elements. The input parameters of the block are (in per units) a required amount of air and biofuel that are designed respectively as *Vent* fan and as *Dozator* screw feeder. Output parameters of the subsystem are thermal power and the temperature of the “hot” side of thermoelements subsystem as well as oxygen concentration in the flue gases, which indicates the efficiency of combustion. Residual heat is taken from the “cold” side of TEG module by *Cooler* subsystem.

The *Control System* control module regulates the operation modes depending on the magnitude of the voltage, output temperature and oxygen concentration: with increasing the voltage, fan speed of *Cooler* cooling system decreases, and, therefore, the temperature difference between “cold” and “hot” TEG surfaces decreases.

The input of the *DC-AC* subsystem inverter is fed by the voltage from the battery, which is initially used for the start of the installation, and then charged by generated power.

The input of *DC-DC* converter subsystem, which is used to charge the battery, is supplied by voltages of the thermoelectric elements subsystem. This process occurs automatically, and the output current of thermoelectric module is maintained at efficient level dur-

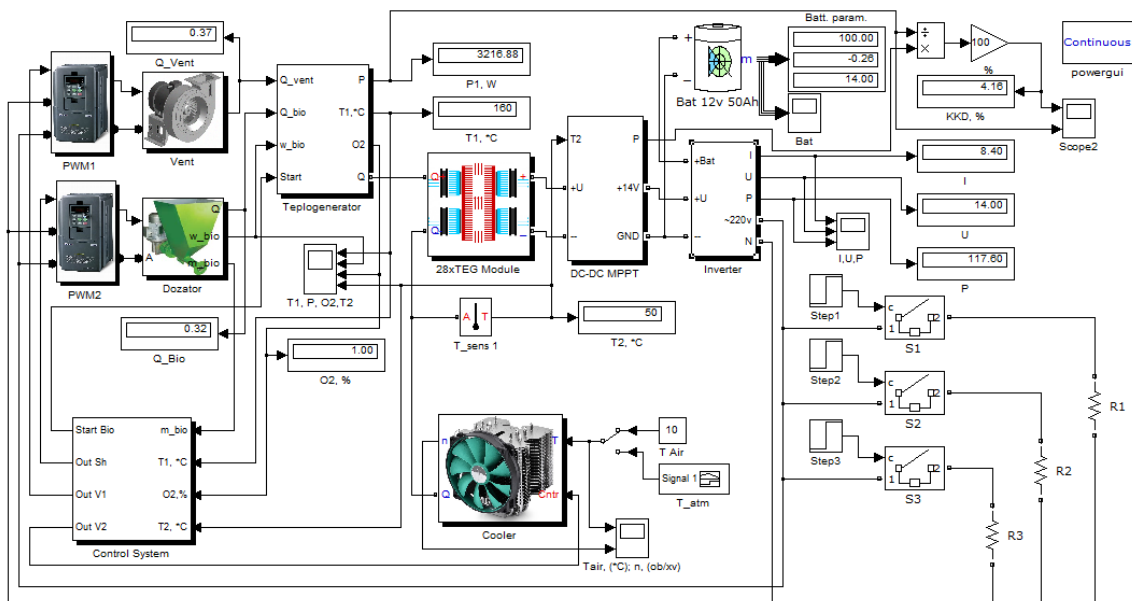


Fig. 2. The structure of the imitating model of a cogeneration facility:

- 1 – power generating block ($28 \times$ TEG Module);
- 2 – heat generator (*Teplogenerator*);
- 3 – cooling subsystem with a fan (*Cooler*);
- 4 – subsystems of the feeder and of the fan for ensuring the combustion process (*Dozator*, *Vent*);
- 5 – frequency converters (*PWM1*, *PWM2*);
- 6 – control subsystem (*Control System*);
- inverter (*Inverter*);
- 7 – power battery (*Bat*);
- measurement devices of input and output parameters (*Scope*, *Display*);
- 8 – load elements with switching devices (*R1*, *R2*, *R3*, *S1*, *S2*, *S3*)

ing the battery charging. Comparison of simulation results suggests the feasibility of the algorithm developed, which will help to increase the output power by 25–50 %, depending on the lower end of input voltages range.

Fig. 3, *a* and Fig. 3, *b* show the results of imitation modeling of functioning of the power generating module with the enabled and disabled algorithm of maximum power adjusting. Transients of the voltage, current and power consumption for battery charging interval 10–100 % indicate that application of the algorithm allows maintaining the energy efficiency at the maximal level.

The electric circuit connection diagram of the voltage converter module with developed algorithm of maximum power adjusting is shown in Fig. 4. Conversion scheme is implemented by standard schematics using *DC-DC* controller with appropriate algorithms and performs functions of raising or lowering the voltage depending on the value of the input voltage that comes from TEG.

Based on the experimental results, imitation simulation results (Fig. 5), and developed functional diagram of the cogeneration power generating module of experimental setup, the physical model of the module of electric power accumulation and voltage conversion is implemented.

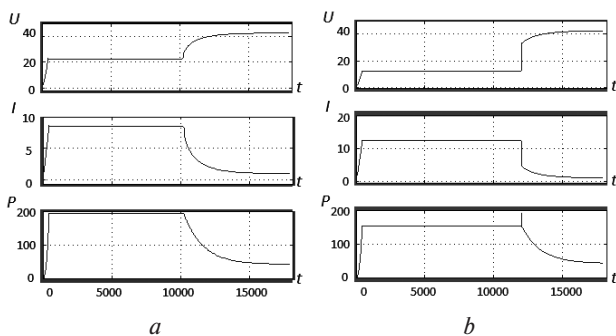


Fig. 3. Transients of power parameters of the output of TEG (*U*, *I*, *R*) with enabled (*a*) and disabled (*b*) algorithm of maximum power regulation

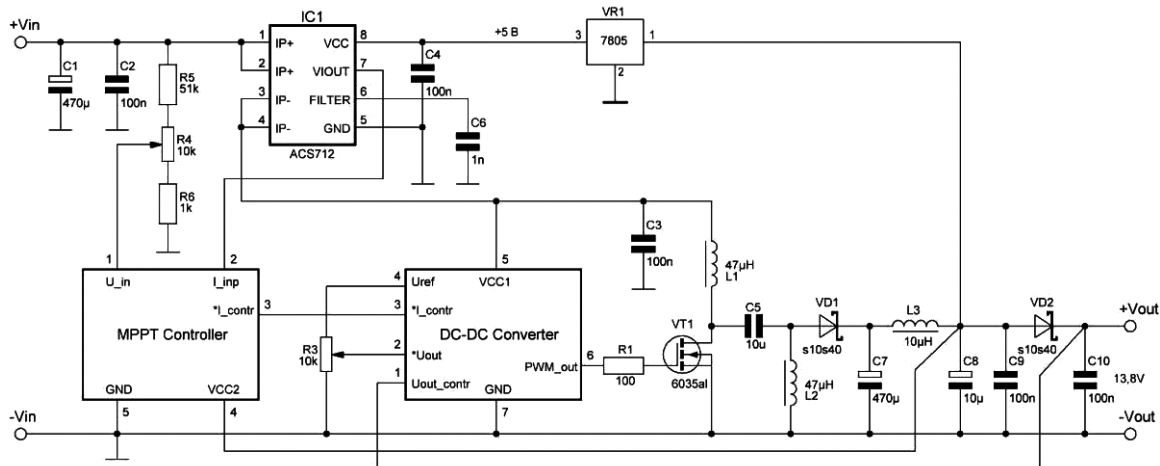


Fig. 4. The electrical circuit of the voltage converter module with developed algorithm of maximum power adjusting

The examined model with the power generating module provided the following results during the tests: TEG output voltage in idling is 45 V, in load conditions (with voltage converter): input is 22.5 V, output is less than 14 V (at full battery charge).

The cogeneration installation (Fig. 6) was made using a 20 kW heat generator with a block of 28 TEG elements, inverter and control module with the embedded developed algorithm of maximum power regulation.

The installation passed production tests at the regional enterprise “Ukrainian Technological Systems” (the City of Ternopil); maximum electric power obtained is 200 watts.

In the future, the development of adaptive control system is planned that operates on the basis of the developed algorithm for cogeneration facilities based on heat generators of various capacities with the automated fuel supply.

Conclusions.

1. On the basis of the established regularities, the algorithm of maintaining the maximum power of the thermoelectric generator considering the temperature change coefficient of its internal resistance is developed. The implementation of the algorithm allows providing an increase in output power of TEG by 25–50 %, depending on the lower limit of the operating range of converter input voltage.

2. The imitation model of a cogeneration installation is developed that includes, in particular, heat generator and power generating block subsystems, that allows examining operation of the system under different loads.

3. According to the results of mathematical and physical modeling it is determined that the load voltage of TEG is equal to voltage drop on its internal resistance and is invariable over time for interval of 10–100 % battery charging that indicates the efficiency of the proposed algorithm.

4. Experimental tests of the developed autonomous cogeneration system based on a 20 kW bio-thermal generator are performed. Installation produced maximum electric power output of 200 watts.

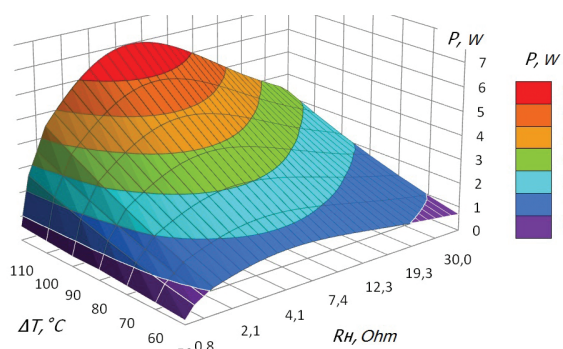


Fig. 5. Dependence of output power of a single TEG element on the temperature difference between its surfaces and from load impedance



Fig. 6. Cogeneration installation that is based on a 20 kW heat generator with TEG block and modules of electric energy conversion and accumulation

References.

1. Fedoreiko, V. S., Lutsyk, I. B., Rutylo, M. I. and Zahorodnii R. I., 2014. Thermoelectric modules application in heat generator coherent systems. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 6, pp. 111–116. Access mode: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/component/jdownloads/summary/50-06/1527-2014-6-fedoreiko>.
2. Anatyshuk, L. I., Mikhailovskyi, V. Ya. and Strutynska, L. T., 2008. Gas fueled thermoelectric generator for self contained heating systems. *Science and innovations*, 4(6), pp. 31–37.
3. Lashkevych, I. M. and Gurevich, Yu. G., 2011. Temperature distribution in a *p-n* thermoelectric module: Quadratic approximation with respect to an electrical current. *Superficies y Vacío, Mexico*, 24(3), pp. 81–87.

4. Rutylo, M. I., 2015. Temperature control of thermoelectric modules in cogeneration plants. *Energy and automation*, 2, pp. 75–81. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2015_2_12.

Мета. Вибір та обґрунтування методу підтримання максимальної потужності термоелектричного генераторного блоку для забезпечення його енергоефективних режимів функціонування при різних режимах роботи когенераційної установки.

Методика. Теоретичні дослідження базувалися на теорії термоелектричного перетворення, законах термодинаміки, теорії теплопередачі з використанням методів математичного й фізичного моделювання згідно з теорією ідентифікації та теорією експерименту. Конструювання комп'ютерних моделей реалізовано за допомогою імітаційного моделювання з використанням інструментарію Simulink. Проведена перевірка теоретичних досліджень на експериментальному зразку когенераційної системи у виробничих умовах.

Результати. Керуючись встановленими математичними залежностями, був розроблений алгоритм підтримання максимальної потужності термоелектричного модуля з урахуванням температурного коефіцієнта зміни його внутрішнього опору. Розроблена імітаційна модель когенераційної установки, до складу якої входять, зокрема, підсистеми теплогенератора та електрогенеруючого блоку. Доведена можливість підвищення коефіцієнта корисної дії та максимального значення потужності електрогенеруючого модуля шляхом розрахунку й задання необхідного для нього вхідного струму.

Наукова новизна. Встановлені закономірності, на основі яких визначено алгоритм відбору максимальної потужності термоелектричного генератора в когенераційних системах, що дає змогу підвищити їх енергоефективність при різних температурних режимах.

Практична значимість. Застосування розроблених моделей дозволяє адекватно відтворювати динаміку роботи термоелектричного модуля у складі когенераційної системи теплогенератора та ідентифікувати параметри системи при різних режимах навантаження. Запропонований алгоритм відбору максимальної потужності імплементовано в модуль системи керування електрогенеруючим блоком. Це дозволило забезпечити підвищення енергоефективності когенераційної системи.

Ключові слова: електрогенеруючий блок, термоелектричні модулі, автономні когенераційні системи, біотеплогенератор, енергоефективність, моделювання

Цель. Выбор и обоснование метода поддержания максимальной мощности термоэлектрического генераторного блока для обеспечения его энергоэффективных режимов функционирования при различных режимах работы когенерационной установки.

Методика. Теоретические исследования базировались на теории термоэлектрического преобразования, законах термодинамики и теории теплопередачи с использованием методов физического и математического моделирования согласно теории идентификации и теории эксперимента. Конструирование компьютерных моделей реализовано с помощью имитационного моделирования с использованием инструментария Simulink. Проведена проверка теоретических исследований на экспериментальном образце когенерационной системы в производственных условиях.

Результаты. Руководствуясь установленными математическими зависимостями, был разработан алгоритм поддержания максимальной мощности термоэлектрического модуля с учетом температурного коэффициента изменения его внутреннего сопротивления. Разработана имитационная модель когенерационной установки, в состав которой входят, в частности, подсистемы теплогенератора и электрогенерирующего блока. Доказана возможность повышения коэффициента полезного действия и максимального значения мощности электрогенерирующего модуля путем расчета и задания необходимого для него входного тока.

Научная новизна. Установлены закономерности, на основе которых определен алгоритм отбора максимальной мощности термоэлектрического генератора в когенерационных системах, что позволяет повысить их энергоэффективность при различных температурных режимах.

Практическая значимость. Применение разработанных моделей позволяет адекватно воспроизводить динамику работы термоэлектрического модуля в составе когенерационной системы теплогенератора и идентифицировать параметры системы при различных режимах нагрузки. Предложенный алгоритм отбора максимальной мощности имплементирован в модуль системы управления электрогенерирующих блоком. Это позволило обеспечить повышение энергоэффективности когенерационной системы.

Ключевые слова: *электрогенерирующий блок, термоэлектрические модули, автономные когенерационные системы, теплогенератор, энергоэффективность, моделирование*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В. А. Андрійчуком. Дата надходження рукопису 21.04.16.