

лікації є: розглянуто тепломасообмін на макрорівні; вивчено можливості одержання розрахункових залежностей з урахуванням найбільшої кількості факторів що впливають на тепломасообмінні процеси; встановлені співвідношення, що найбільше повно виражають картину процесів, що протікають.

Вказаний підхід до проблеми створення методики розрахунків тепломасообміну в контактному апарату, як відомо, дозволяє підвищити загальну ефективність теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла.

### Список літератури

1. Суртаєв В.В. Високотемпературні некаталітичні нейтралізатори вихлопних газів ДВЗ – ефективний спосіб боротьби з автомобільними забрудненнями / В зб. Розвиток промисловості та суспільства // Матеріали конференції. Том 1.- Кривий Ріг, 2016. – С. 188.
2. Деклараційний патент України №58925А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів двигунів внутрішнього згоряння. /Суртаєв В.В., Суртаєв В. М. Бюл.№ 8.- 15.08.2003.
3. Деклараційний патент України №49452А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння./ Суртаєв В.В., Суртаєв В.М. Бюл.№ 9.- 16.09.2002.
4. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Нагнітачі і теплові двигуни» для студентів спеціальності 6.050601 – теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2015, 56 с., Р № 681.
5. Деклараційний патент на корисну модель №10948. Система сухого подрібнення матеріалів./ Суртаєв В.В., Суртаєв В.М., Ведута М.М., Осадчук Ю.Г. Бюл.№ 12.- 15.12.2005.
- 6 Підвищення ефективності утилізації теплоти при мокрому гасінні коксу. /Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук., Суртаєва В.В. за спеціальністю 05.14.06. - «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. 2008.
7. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Джерела тепло енергопостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності 6.050601 – Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 175.
8. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів на пряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 16 с., Р № 165. 9. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів спеціальності 6.050601– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 176.
10. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 19 с., Р № 83.
- 11.Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 8 с., Р № 17

УДК 622.013: 622.012.2

Б.М. АНДРЕЄВ, д-р техн. наук, проф., Д.В. БРОВКО, д-р техн. наук, доц.,  
В.В. ХВОРОСТ, В.В. КОНОНЕНКО, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький національний університет

О.В. РОМАНЕНКО, д-р техн. наук, проф.

ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

## ОБГРУНТУВАННЯ РІЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАПАСІВ ВАСІНОВСЬКОГО РОДОВИЩА

**Мета.** Виробництво залізної руди в світі протягом останніх років постійно зростає в зв'язку з ростом попиту, при цьому спостерігається тенденція до посилення концентрації виробництва. На тлі закриття дрібних рудників, великі виробництва розширили свої потужності. Огляд і аналіз сучасного світового досвіду будівництва і експлуатації шахт на крутопадаючих родовищах міцних руд дозволяє говорити про ряд характерних тенденцій у розвитку геотехнологій, які без сумніву можуть бути перенесені і адаптовані для гірничо-геологічних умов Васіновського родовища.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставленої задачі використовуються сучасні програмні комплекси для моделювання розвитку запроєктованих рішень, з урахуванням взаємодій та явищ. Вони відрізняються способами завдання вихідних параметрів, та мають свої певні інструменти для аналізу отриманих результатів.

**Наукова новизна.** Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення залежності річної продуктивності пускового комплексу за гірськими можливостями та за умови розкриття декількох покладів. Моделювання можливого розміру річного видобутку в залежності від стану, в якому перебуває підприємство.

**Практична значимість.** Дослідження дають змогу оцінити можливу інтенсивність відпрацювання обсягів підземного видобутку на родовищі та спрогнозувати термін служби періоду відпрацювання розвіданих запасів.

**Результати.** В роботі обґрунтовано продуктивність гірничих підприємств, що адаптовані для гірничо-геологічних умов Васиновського родовища. Встановлено річну продуктивність пускового комплексу за гірськими можливостями та за умови розкриття покладу Західний. Визначені умови збільшення можливої інтенсивності відпрацювання обсягу підземного видобутку на родовищі, а також недоліки розглянутих аналітичних методів визначення оптимальної потужності рудника. Вивчено вплив геометричних параметрів охоронного цілика, розташованого в межах Центрального покладу, на значення річної продуктивності пускового комплексу по даному покладу.

**Ключові слова:** залізна руда, шахта, круто-падаюче родовище, гірничо-геологічні умови.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-119-124

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Виробничу потужність або продуктивність гірничих підприємств прийнято виражати в тонах корисної копалини, що видобувається, в рік. Тому її часто називають річним видобутком. Іноді продуктивність гірничого підприємства додатково визначають кількістю річної продукції первинної переробки (концентрату, окатишів і ін.).

Річна виробнича потужність (продуктивність) гірничого підприємства є одним з найважливіших показників. Вона впливає, на всі основні елементи гірничого підприємства, що діє або проектується: на розміри перетину, обсяг, конструкцію капітальних і підготовчих виробок, конструкцію і розміри технічних та адміністративних будівель і споруд, типи, потужність і кількість гірничих машин, що використовуються, на масштаб допоміжних цехів і служб, продуктивність збагачувальних фабрик, число робочих, інженерно-технічних працівників і службовців, обсяг житлового та культурно-побутового будівництва та інші. [1]. Слід розрізняти також річну продуктивність гірничого підприємства, що проектується і діючого підприємства.

Істотна відмінність з техніко-економічної точки зору в цих поняттях полягає в тому, що при проектуванні гірничого підприємства можна розглядати і оцінювати варіанти річної продуктивності в досить широкому діапазоні значень, а потім вибирати з них найкращий. У цьому випадку завдання визначення річної продуктивності часто виявляється складним, вимагає глибокого економічного аналізу та проектного опрацювання.

На діючому підприємстві можливий розмір річного видобутку, як правило, зумовлює техніка, технологія, організація розробки, що застосовуються на ньому. Тут зазвичай виникає завдання чи можливо і доцільно технічно та економічно збільшувати річний видобуток гірничого підприємства шляхом його реконструкції або зміни технології і організації робіт. Таке завдання в практиці доводиться вирішувати часто, так як нарощування виробничих потужностей гірничого підприємства етапами, у міру промислового освоєння родовища і приросту його запасів, виявляється ефективним. На сьогоднішній день моделювання можливого розміру річного видобутку, в залежності від стану в якому перебуває підприємство, має не достатню вивченість.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанням щодо методів оцінювання ефективності підприємства займалися такі дослідники як М.І. Агошков, В.А. Симаков, Д.Р. Каплунов, В.А. Шестаков та інші автори [2-5].

Недоліком всіх розглянутих аналітичних методів визначення оптимальної потужності рудника складається в тому, що визначається лише одينية значення потужності, в той час як її значення практично рівноцінні в межах цілої області. Тому більш правильно вирішувати завдання визначення оптимальної потужності рудника методом варіантів, при яких для кожного родовища вибирається кілька варіантів потужності рудника (в межах найбільш ймовірних значень), одним з яких приймається потужність рудника, максимальна по гірським можливостям. Для кожного значення потужності розрахунком встановлюються відповідні йому показники собівартості, питомих капіталовкладень і питомих приведених витрат і на основі порівняння результатів встановлюється оптимальний варіант з мінімумом приведених витрат.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є обґрунтування продуктивності гірничих підприємств, що адаптовані для гірничо-геологічних умов Васиновського родовища.

**Викладення матеріалу та результати.** При розрахунку річної продуктивності необхідно

враховувати показники експлуатації родовища, максимально можливе річне зниження в поточному періоді, а також умови як найповнішого використання коштів виробництва, раціональний режим роботи, застосування ефективної технології та організації гірничодобувного підприємства, передовий досвід, що забезпечує дотримання вимог безпеки і правил технічної експлуатації [5].

Орієнтовна економічно доцільна річна продуктивність визначається за виразом, млн т/рік [6]

$$A_{\text{зод}} = (0,1 \div 0,15) B_n^{0,77}, \quad (1)$$

де  $B_n$  – запаси родовища, які плануються до відпрацювання, млн т.

Орієнтовна річна продуктивність пускового комплексу при відпрацюванні покладів Західний і Центральний до гар.-100 м складе:

Західний, млн т/рік

$$A_{\text{зод}} = (0,1 \div 0,15) \times 19,3^{0,77} = 1,0 \div 1,5;$$

Західний і Центральний, млн.т/рік

$$A_{\text{зод}} = (0,1 \div 0,15) \times 43,3^{0,77} = 1,8 \div 2,7.$$

Орієнтовна річна продуктивність підземного рудника при відпрацюванні покладів Західний і Центральний до гар.-800 м складе, млн т/рік

$$A_{\text{зод}} = (0,1 \div 0,15) \times 252,8^{0,77} = 7,1 \div 10,6.$$

Дана методика визначення значення річної продуктивності підземного рудника носить емпіричний характер, тому для остаточних розрахунків, річна продуктивність підземного рудника повинна бути визначена з урахуванням гірських можливостей.

Річна продуктивність підземного рудника з урахуванням гірських можливостей [7, 8], а також показника інтенсивності експлуатації родовища (річного зниження) визначається за формулою [9], млн т/рік

$$A_{\text{зод}} = \frac{S_p h_g \gamma_r k_y k_m (1 - P)}{(1 - P)}, \quad (2)$$

де  $S_p$  – горизонтальна експлуатаційна площа рудного тіла в межах шахтного поля, м<sup>2</sup>;  $h_g$  – річне зниження гірничих робіт, м;  $\gamma_r$  – об'ємна вага руди в масиві, т/м<sup>3</sup>;  $k_{из}$  – коефіцієнт вилучення руди, частки од.;  $k_y$  – поправочний коефіцієнт на кут падіння покладу, визначається за формулою  $k_y = 0,0066\alpha + 0,606$ , де  $\alpha$  – кут падіння покладу, град.;  $k_m$  – коефіцієнт, що враховує вплив потужності рудного тіла, коливається від 0,6 до 1,25;  $P$ ,  $\Pi$  – відповідно засмічення та втрати при видобутку руди, частки од.

Відпрацювання родовища підземним способом в початковий період доцільно почати пусковим комплексом на ділянці Західного і Центрального покладів з гір. -100 м системами з обваленням руди і налягають порід. Висота поверху, по гірничо-геологічними умовами, з урахуванням застосування потужної самохідної техніки, приймається рівною 100 м при довжині шахтного поля покладів Західна - 3200 м і Центральна - 1400 м. Передбачувані до відпрацювання запаси  $Q$  в розглянутому поверсі відповідно за покладами складають 21,5 та 21,8 млн т. Рудні площі Центрального і Західного покладів для пускового комплексу складають, відповідно 63991,41 і 62999,9 м<sup>2</sup>.

Для забезпечення безпечних умов роботи, а також збереження денної поверхні частина запасів Центральної ділянки не може бути відпрацьована системами з обваленням і залишається в ціликах (орієнтовно близько 20-40%). Їх відпрацювання можлива менш продуктивними системами із закладкою після освоєння потужностей пускового комплексу. Таким чином, видобувні пусковим комплексом запаси Центральної поклади становлять 13,1 ... 14,4 млн т, а рудні площі по гір. - 100м відповідно 38394,8 ... 51193,1 м<sup>2</sup>.

Величина річного зниження за наявної експлуатаційної площі згідно [10, 11] може змінюватися від 5 до 25 м. Дані значення характерні для рудників чорної металургії з застосуванням традиційних схем розтину, підготовки і технологічного обладнання. Аналіз світової практики, показує, що при використанні потужної вантажно-доставочної, прохідницької та бурової техніки, величина річного зниження гірничих робіт зростає до 50 ... 70 м. Для пускового комплексу, враховуючи особливості періоду розвитку робіт, величина річного зниження приймається 15 м.

Приймаємо в розрахунках середню об'ємну вагу руди  $\gamma = 3,41$  т/м<sup>3</sup>. Поправочний коефіцієнт

єнт на кут падіння покладу складає 1,17, а коефіцієнт, що враховує вплив потужності рудного тіла згідно [5], приймається  $k_m = 0,6$ .

Таким чином, річна продуктивність підземного рудника за умовою можливої інтенсивності відпрацювання родовища складе:

по Західному покладу, млн т/рік

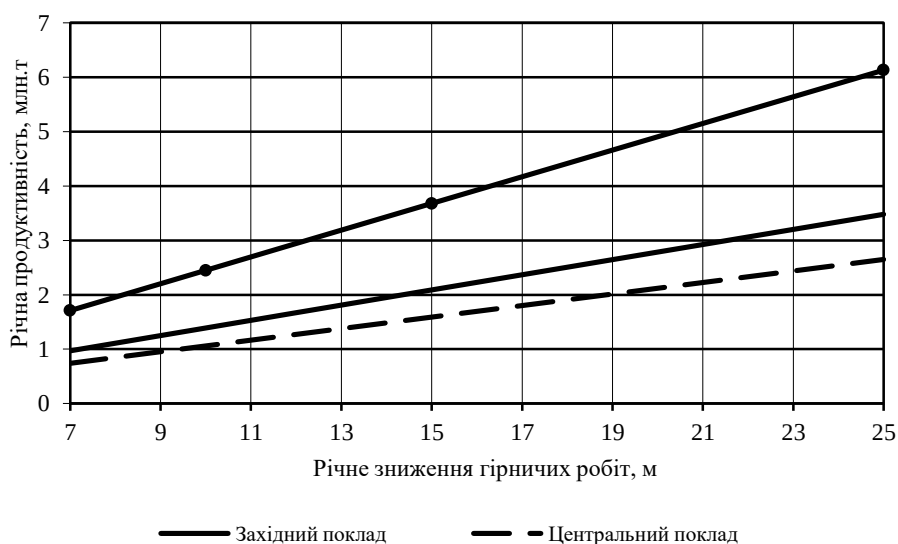
$$A_{zod} = 62991,90 \cdot 15 \cdot 3,41 \cdot 1,17 \cdot 0,6 \cdot \frac{0,84}{0,91} \approx 2,1;$$

по Центральному покладу, млн т/рік

$$A_{zod} = 47993,56 \cdot 15 \cdot 3,41 \cdot 1,17 \cdot 0,6 \cdot \frac{0,84}{0,91} \approx 1,6.$$

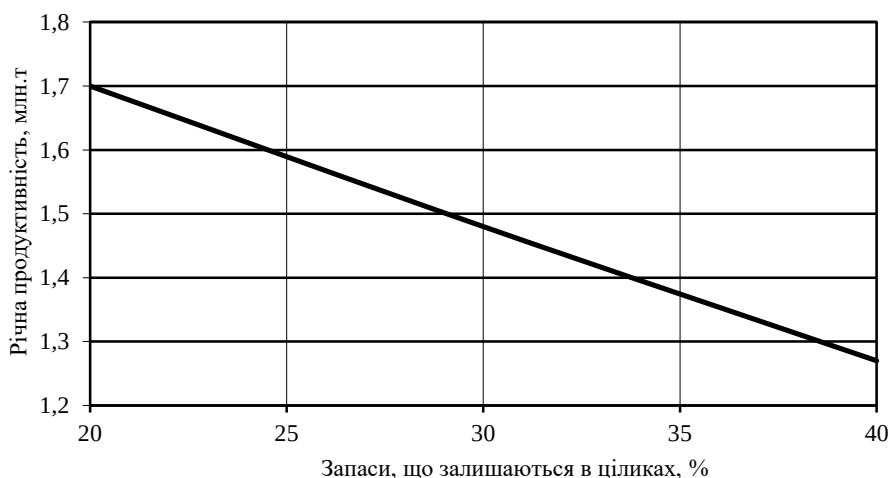
Звідси сумарна річна продуктивність пускового комплексу за умови розвитку гірничих робіт одночасно по Західному і Центральному покладах, може становити близько 3,7 млн т [12, 13].

Зміна величини річного зниження гірничих робіт, обумовлена технологічними факторами, тягне за собою зростання або зниження значення річної продуктивності пускового комплексу. Графіки залежності річної продуктивності пускового комплексу підземного рудника від величини річного зниження гірничих робіт наведені на рис 1.



**Рис. 1.** Залежність зміни річної продуктивності пускового комплексу від річного зниження гірничих робіт, при 25% запасах залишаються в цілинах Центральної частини покладу

Вплив геометричних параметрів охоронного цілика, розташованого в межах Центрального покладу, на значення річної продуктивності пускового комплексу по покладах наведені на рис. 2.



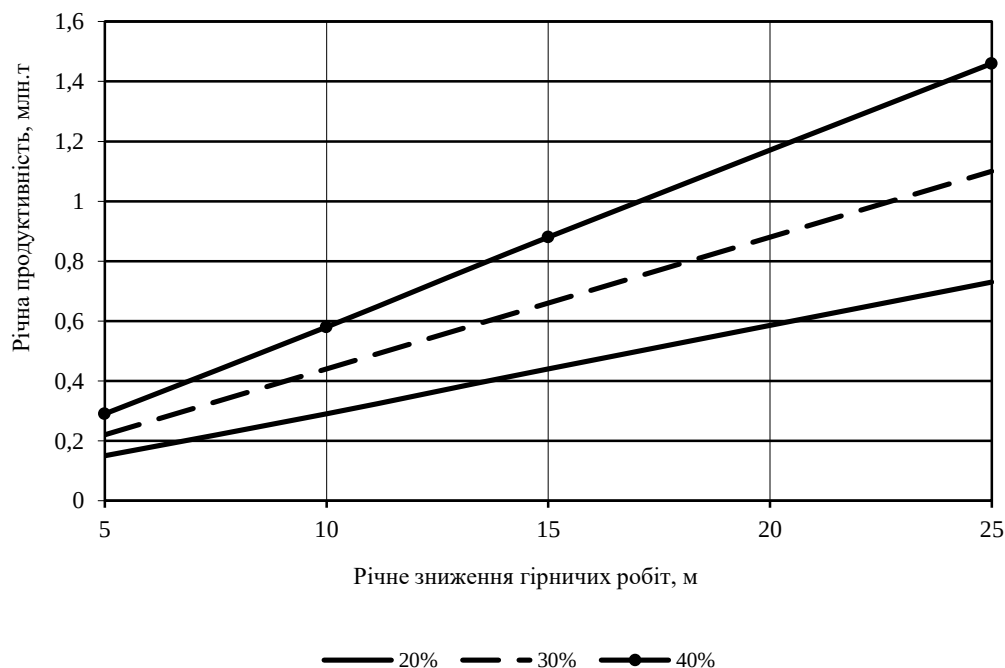
**Рис. 2.** Залежність зміни річної продуктивності пускового комплексу від процентного співвідношення запасів що залишаються в цілинах Центрального покладу, при річному зниження гірничих робіт 15 м

Для умов подальшого відпрацювання охоронних ціликів гор.-100 м, (варіант системи розробки із закладкою [14]) графіки залежності річної продуктивності підземного рудника від річного зниження і параметрів охоронних ціликів наведені на рис. 3.

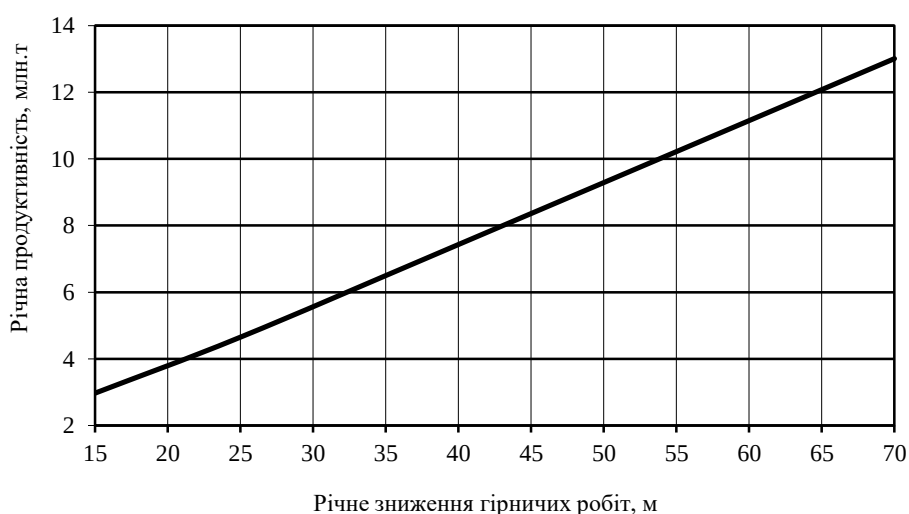
Графік зміни річної продуктивності підземного рудника при одночасному відпрацюванні покладів Західний і Центральний з урахуванням повної та своєчасної підготовки робочих горизонтів в залежності від річного зниження гірничих робіт представлений на рис. 4.

З огляду на викладене вище, приймаємо річну продуктивність для підземної відпрацювання Васіновського родовища в початковий період його експлуатації  $A_{200} = 2,0 \dots 4,0$  млн т.

Обсяг підземного видобутку руди з урахуванням існування вертикального підйому може бути збільшений до значень, розрахованих за умовою можливої інтенсивності відпрацювання (4,0...10,0 млн т/рік).



**Рис. 3.** Залежність зміни річної продуктивності при відпрацюванні охоронного цілика покладу Центральний від річного зниження гірничих робіт і процентного співвідношення запасів залишених в ціликах



**Рис. 4.** Залежність зміни річної продуктивності при відпрацюванні родовища підземним способом до глибини 800 м

При цьому, період відпрацювання розвіданих до глибини 800 м запасів складе, років

$$t_{np} = \frac{k_n Q_{общ}}{A_{зод}} = \frac{0,85 \cdot 209,5}{4,0 \dots 10} = 17 \dots 44.$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Річна продуктивність пускового комплексу за гірськими можливостями та за умови розкриття тільки покладу Західний становить близько 2,0 млн т. За умовою можливої інтенсивності відпрацювання обсяг підземного видобутку на родовищі може бути збільшений до 4,0 ... 10,0 млн т / рік. У цьому випадку термін служби періоду відпрацювання розвіданих до глибини 800 м запасів складе 17 ... 44 років. В подальшому необхідно розглянути можливості відпрацювання частини покладу Центральний в межах охоронного цілика системами із закладкою та при цьому нарощувати інтенсивність відпрацювання Васиновського родовища.

### Список літератури

1. **Тонких А.И.** Техничко-экономические расчеты при подземной разработке рудных месторождений: учеб. пособие / **А.И. Тонких, В.Н. Макишин, И.Г. Ивановский** – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 137 с.
2. **Агошков М.И.** Конструирование и расчеты систем и технологии разработки рудных месторождений. – М.: Наука, 1965 г.
3. **Агошков М.И., Малахов Г.М.** Подземная разработка рудных месторождений. – М.: Недра, 1966 г.
4. **Симаков В.А.** Горная производительность рудника. – М.: 1978 г.
5. **Шестаков В.А.** Проектирование рудников. – М.: Недра, 1987 г.
6. Отчет о детальной разведке Васиновского месторождения железистых кварцитов, проведенной в 1983-1989 гг., с подсчетом запасов по состоянию на 01.08.89.: Книга 1. Текст отчета/ ГКГУ Укргеология. ПГО Южукргеология. Приазовская геологоразведочная экспедиция; № ГР 39-83-119/21; Инв. № 52079. – Волноваха, 1989. – 434 с.
7. Конъюнктура железной руды. – Горный мир №1, 2006. – С.4.
8. Early investments in technology pay dividends for LKAB. Foscor S. – Engineering & Mining Journal, 2005, №9. – P. 38-40.
9. **Андреев Б.Н., Сергеева А.А., Андреев Н.Б.** Строительство и эксплуатация шахт вблизи рудных карьеров: современный мировой опыт, тенденции развития геотехнологий // Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2007. – Вип. 17. – С. 37 – 40.
10. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с подземным способом разработки ВНТП 13-2-85. – Л.: Гипроруда, 1986. – 130 с.
11. Справочник по горнорудному делу / Под ред. **В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеевна.** – М.: Недра, 1983. – 816 с.
12. Подземная разработка железистых кварцитов / **Бабаянц Г.М., Вертлейб Л. К., Журин Н. Я.** и др. – М.: Недра, 1988. – 168 с.
13. Инструкция «Нормативы потерь и засорения руды при подземной разработке магнетитовых кварцитов на рудниках Кривбасса». – Кривой Рог: НИГРИ, 1989.
14. **Кравченко В.П., Куликов В.В.** Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 200 с.

УДК 681.5:621.311.243

С.О. РОМАНОВ, О.О. ГРАММ, асистенти, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. тех. наук., доц.  
Криворізький національний університет

### МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ГЕНЕРАЦІЇ АКТИВНОЇ ТА КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

**Мета.** Метою статті є розробка моделі системи керування сонячною електростанцією за умов роботи її у відповідності до вимог мережі та з врахування потреб споживача, яким постає оператор систем передачі електроенергії.

**Методи дослідження.** Методи дослідження в даній роботі включають аналітичне дослідження систем генерування електроенергії від сонячного випромінювання та математичне моделювання генерування електроенергії.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано систему керування, що дозволяє працювати сонячній електростанції за різних режимів роботи. Такі режими роботи включають в себе як стандартний режим на генерування максимальної активної потужності за будь-яких умов, так і роботу у неоптимальному режимі за умов отримання замовлення на електроенергію від оператора систем передачі. Такими неоптимальними режимами є резервування активної енергії для компенсації коливання частоти, внаслідок динамічної зміни погодних умов, а також за підтримки немаксимального значення активної потужності при отриманні замовлення від споживача. Також система здатна працювати у