



УДК 621.7.043

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДРОБИЛЬНО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК

М. І. Сокур<sup>1</sup>, В. С. Білецький<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## RESEARCH OF ENERGY CONSUMPTION OF COMMUNITION-PREPARATION PLANTS

M. Sokur<sup>1</sup>, V. Biletsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University 20, e-mail: [tanyahaikova@ukr.net](mailto:tanyahaikova@ukr.net)

<sup>2</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail [ukcdb@i.ua](mailto:ukcdb@i.ua),

### ABSTRACT

**Purpose.** Measures to save electricity through the introduction of new technology are not only effective, but also solve the problem of increasing the quality characteristics of concentrates. Therefore, the aim of the article is to conduct a comparative analysis of electricity consumption by different mills and units of mining industries and to outline measures for implementation in production to regulate and reduce electricity costs.

**Methodology.** The choice, substantiation and test of the new drive of the MMS 70x23 mill on the basis of the low-speed ( $125 \text{ min}^{-1}$ ) synchronous motor which excludes application of a reducer is made. The obtained experimental data showed that the new drive allows to reduce the power consumption, at the design stage of filling the mill, by 80 kW, compared with similar mills equipped with gear drives.

**Results.** The power consumed by the drive mills depends mainly on the degree of filling of the drum, the relative speed, the efficiency of the drive. Constructed graphically: the dependence of power consumption on the type of drive and the degree of filling of the mill drum; the dependence of power consumption on the speed of the drum of the mill at different degrees of filling it with ore; the dependence of the specific electricity consumption of the mill on the productivity of specific consumption; the dependence of the specific consumption of electricity for grinding in the mill with different drive options on the performance of the concentrate. Therefore, the use of elastic couplings, automatic lubrication systems of open gears, quality control of gearing during PPR can increase the efficiency of the drive by at least 0.5%. The use of automatic speed control of the K-2 conveyor at the crushing plant not only improves the starting conditions, creates a uniform load distribution between the engines in the new drive, but also reduces the specific cost of electricity for ore transportation by 15% or approximately 0.1 kWh / t.

**Practical value.** At the same time, the introduction of measures for pre-magnetic beneficiation of highly magnetic ores, ore sorting, averaging, introduction of radiometric methods of beneficiation, beneficiation, testing of ores in the face, multi-connected control of crushing, crushing and their intensification allows superbuilt. not only reduce the energy consumption of the process by 16-20%, but also significantly increase their productivity without reducing the quality of concentrates. A special place in power management systems is occupied by ASK TP concentrators, which increase productivity by 5-8%, reduce losses of total iron in the tailings by 2-3% and stabilize the content of total iron in the concentrate.

**Key words:** mining and processing plant, energy consumption standards, electricity consumption, drive type, productivity.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** На гірничу промисловість припадає понад 25% споживаної вітчизняною промисловістю енергії. Тому питання економії енергоресурсів при збагаченні залізних руд мають важливе державне значення [1, 2].

На всіх гірничорудних підприємствах Криворізького басейну постійно проводиться робота з економії енергоресурсів, здійснюються заходи щодо раціонального використання електроенергії, газу, води [3, 4].

Проводяться теоретичні і експериментальні дослідження по раціональному енергоспоживанню, керуванню процесами збагачення, подрібнювання і класифікації [5, 6].

При будівництві нових підприємств і реконструкції існуючих на основі техніко-економічних розрахунків повинні впроваджуватися інноваційні технології з електропостачання [7-10].

Тому, розробка і дослідження раціональних схем енергоспоживання підприємств, є актуальною науково-технічною проблемою.

На передових ГЗК країни – Південному (ПівдГЗК) і Новокриворізькому гірничо-збагачувальних комбінатах (НКГЗК) та інших це досягається комплексною організацією роботи по розробці прогресивних норм витрат електроенергії і організацією постійного контролю за витратами електроенергії [11]. Тому, доцільне зниження заявленої потужності підприємств і вирівнювання графіків навантаження енергосистем. При цьому досягається значно краще використання генеруючих потужностей, знижуються витрати на виробництво і транспорт електроенергії, заощаджуються первинні енергоресурси [12, 13].

Подальші дослідження енергоспоживання привели до необхідності організації поцехового і

поагрегатного обліку і контролю енергоспоживання, що дозволяє отримувати інформацію про витрати електроенергії, споживаної потужності в усіх технологічних ланках і вчасно виконувати регульовальні заходи [14].

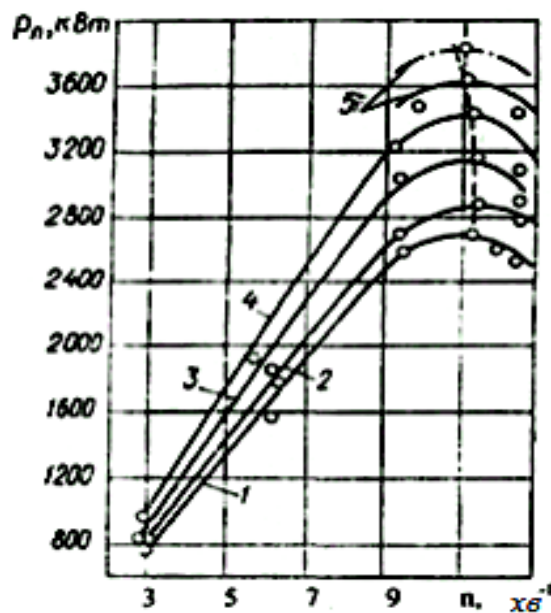
Як впливає з аналізу енергоспоживання на гірничозбагачувальних комбінатах, економії електроенергії можна досягти сукупною оптимізацією всіх виробничих процесів, так як вони є взаємозалежними.

При цьому в багатьох випадках оптимальним енергетичним режимом відповідає максимальна продуктивність збагачувального устаткування з мінімальними питомими витратами електроенергії.

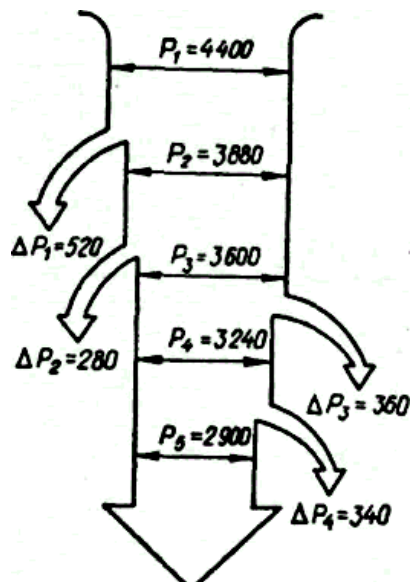
Наприклад, впровадження квадратних футеровок [15] кульових млинів дозволяє знизити витрати електроенергії на 10-15%, не знижуючи продуктивності агрегату [16]. Отже, заходи щодо економії електроенергії за рахунок впровадження нової технології не тільки ефективні, але й вирішують задачі збільшення якісних характеристик концентратів.

**Мета роботи** – провести порівняльний аналіз споживання електроенергії різними за конструкцією млинами та агрегатами гірничих виробництв і сформулювати заходи по регулюванню і зменшенню витрат електроенергії для впровадження у виробництво.

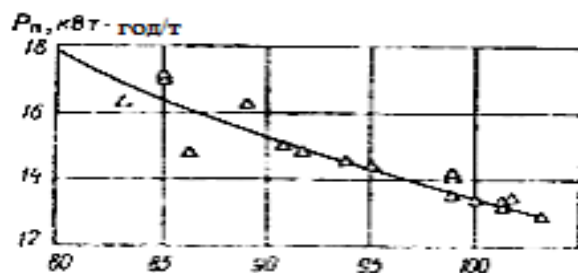
**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Потужність, яка споживається приводами млинів залежить від ступеня заповнення барабана, відносної частоти обертання і ККД приводу. Питома витрата електроенергії залежить також від продуктивності млина (рис. 1, рис. 2, рис. 3) [17, 18].



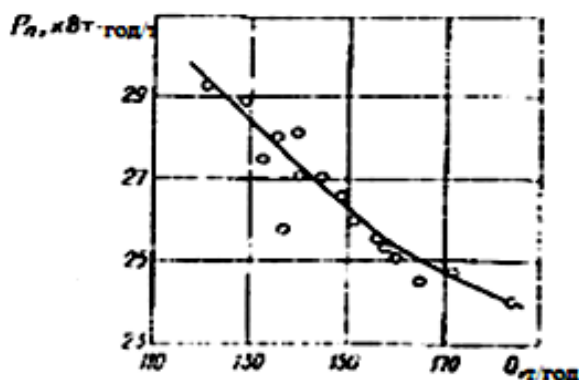
**Рисунок 1** – Залежність споживаної потужності від частоти обертання барабана млина при різному ступені заповнення його рудою: 1-4 – для нової футеровки; 5 – для зношеної футеровки (1 –  $\varphi = 0,28$ ; 2 –  $\varphi = 0,33$ ; 3 –  $\varphi = 0,38$ ; 4 –  $\varphi = 0,46$ ; 5 –  $\varphi = 0,55$ )



**Рисунок 2** – Енергетична діаграма розподілення і втрат потужності в елементах привода млина МБ-90-30  $P_1, P_2$  – потужності, споживані синхронними двигунами і двигунами постійного струму;  $P_3$  – корисна потужність на валу двигуна постійного струму;  $P_4$  – потужність на виході редуктора;  $P_5$  – корисна потужність, яка передається на барабан млина;  $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_4$  – втрати потужності відповідно в обертаючому перетворювачі, в двигуні постійного струму, редукторі та відкритій зубчатій передачі



а)



б)

**Рисунок 3** – Залежність питомих витрат електроенергії млина ММС-70-23 (а) і МБ-90-30 (б) від продуктивності за питомим споживанням

У таблиці 1 наведені дані за однотипними млинами, що виготовляються вітчизняними заводами і закордонними фірмами. Подані дані показують, що питома енергоємність привода млина більш висока на вітчизняних млинах. Це пояснюється більш високими ступенями заповнення

барабанів цих млинів при роботі й більш високими частотами обертання. Тому при подальших розробках і створенні нових млинів підвищеного об'єму потрібен ретельний аналіз і обґрунтування вибору таких параметрів як частота обертання і ступінь заповнення барабана.

**Таблиця 1** – Порівняльні данні електроспоживання вітчизняних та закордонних млинів

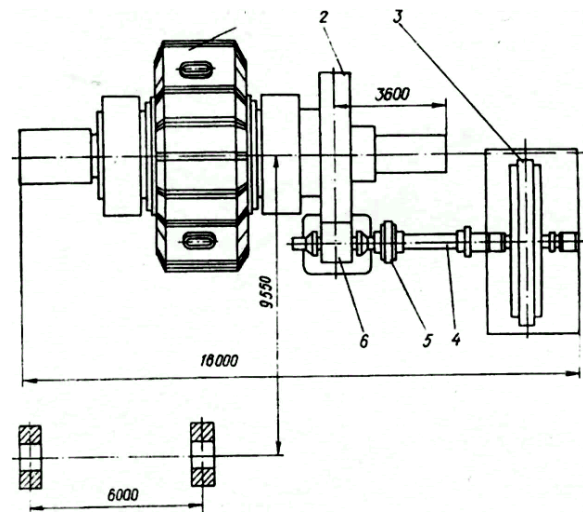
Тип млина	Показники	Заводи НКМЗ, СТЗ	Закордонна фірма (країна)		
			Алліє Чалмерс (США)	Моргардс-Гаммер (Швеція)	Драгон (Франція)
Стержневий	Діаметр млинів, м Ступінь заповнення,% Відносна швидкість від критичної, % Питома енергоємність привода, кВт/м <sup>3</sup>	3,2-4,5 40-41 60 31,5-30,5	3,05-3,96 38-41 - 16,8-15,8	2,4-4,5 - 50,5-61,0 12,8-17,8	3,1 33-34 60 18,3-18,4
Кульовий з центральним завантаженням	Діаметр млинів, м Ступінь заповнення,% Відносна швидкість від критичної, % Питома енергоємність привода, кВт/м <sup>3</sup>	3,2-5,5 42-43 75-80 28,1-33,3	3,05-3,96 40-45 - 16,6-19,5	2,4-5,3 - 75 14,6-29,1	3,15 39-41 75 22,5-35,1
Кульовий з ґратами	Діаметр млинів, м Ступінь заповнення,% Відносна швидкість від критичної, % Питома енергоємність привода, кВт/м <sup>3</sup>	3,2-4,5 47-50 78-80 27,8-34,3	3,05-3,96 42-46 - 16,9-20,5	3,2-3,8 - 75 16,0-23,6	3,15 43-45 75 27,9-25,0
Рудогальковий млин	Діаметр млинів, м Ступінь заповнення, % Відносна швидкість від критичної, % Питома енергоємність привода, кВт/м <sup>3</sup>	4,0-5,5 40-50 81 19,2-19,6		3,15-6,5 45 75 12,2-17,5	
Само-подрібнення	Діаметр млинів, м Ступінь заповнення, % Питома енергоємність привода, кВт/м <sup>3</sup>	7-9 45-50 20-25			

Що стосується помольного обладнання збагачувальних фабрик ГЗК України, то при їхній реконструкції необхідно знизити частоту обертання барабана на млинах II і III стадії, шляхом установки нових валів-шестерень зі зменшеним числом зубів. Це дозволить зменшити витрати електроенергії на приводах млинів II і III стадій від 2 до 5%, що складе близько 100 млн. кВт·год за рік.

Приводи млинів різних типів, що виготовляються в даний час Новокраматорським машинобудівним заводом (НКМЗ) і Сизранським турбобудівним заводом (СТЗ) обладнані, здебільшого, синхронними двигунами і відкритою зубчастою передачею. За винятком млинів СТЗ типу ММС-70х23, привод яких складається зі швидкохідного (1000 хв.<sup>-1</sup>) синхронного двигуна, 2-ступеневого редуктора і відкритої зубчастої передачі. Але застосування редуктора пов'язано не тільки зі збільшенням експлуатаційних витрат (за рахунок ремонтів редуктора), але і зменшенням коефіцієнта технічного використання (КТВ) млина і ККД привода. Це призводить до збільшення електроспоживання млинами цього типу, приблизно, на 5%.

Дослідженнями, проведеними інститутом Механобрчормет разом з Інгулецьким ГЗК привод млина ММС 70х23 був визнаний технічно й економічно недоцільним. Обґрунтовано та випробувано новий привод млина ММС 70х23 на базі тихохідного (125 хв.<sup>-1</sup>) синхронного двигуна. Такий привод виключає застосування редуктора (рис. 4). Експерименти показали, що новий привод дозволяє знизити споживану потужність, при проектному ступені заповнення млина, на 80 кВт, порівняно з аналогічними млинами, обладнаними редукторними приводами.

Річна економія електроенергії по одному млині ММС 70х23 з безредукторним приводом складає близько 0,5 млн. кВт·год, а загальний економічний ефект складає 110,8 тис. грн. на один млин.



**Рисунок 4** – Схема безредукторного привода млина ММС-70-23: 1 – барабан; 2 – вінцева шестерня ( $z=254, m=20$ ); 3 – електродвигун СДС-19-56-48 ( $P=1600$  кВт,  $n=125$  хв); 4 – проміжний вал; 5 – муфта; 6 – вал-шестерня відкритої передачі ( $z=27, m=20$ )

Інгулецький ГЗК, по документації інституту Механобрчормет, перевів усі млини ММС 70х23 на безредукторний привод. На збагачувальній фабриці №1 Лебединського ГЗК дотепер продовжують працювати застарілі млини із заводськими приводами, які обладнані редукторами. Тому при реконструкції зазначеної фабрики рекомендується перевести млини ММС 70х23 на безредукторний

привод, що дозволить знизити витрату електроенергії по фабриці в розмірі близько 8,0 млн. кВт. год на рік (рис. 5, рис. 6) [4, 17].

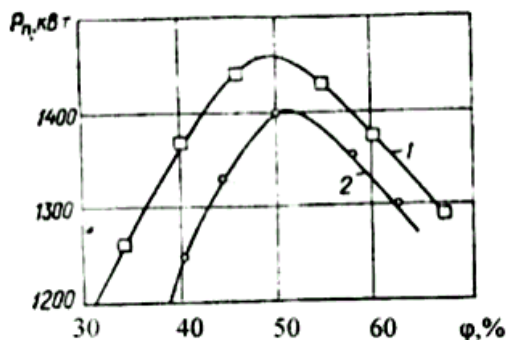


Рисунок 5 – Залежність споживаної потужності від типу приводу і ступеня заповнення барабана млину ММС-70-23:1 – редукторний привод; 2 – безредукторний привод

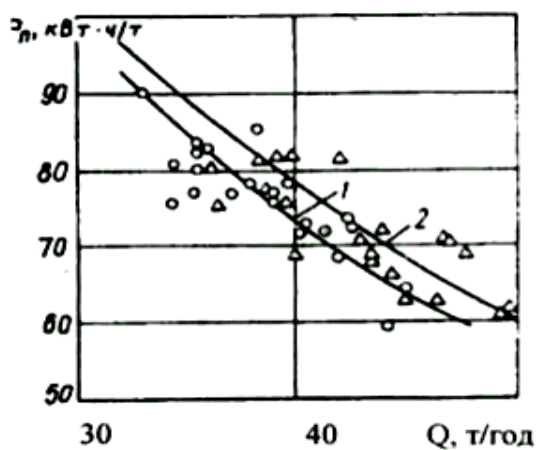


Рисунок 6 – Залежність питомих витрат електроенергії на подрібнення в млині з різними варіантами приводів від продуктивності по концентрату: 1 – безредукторний привод; 2 – редукторний привод

Обстеженням, проведеним інститутом Механобрчормет на млинах різних типів (самоподрібнювання, рудногалькових, кульових із ґратами, кульових з центральним розвантаженням) показано, що кожному типу млинів відповідає визначений характер залежності коливань електронавантаження, що, як відомо, повторює характер змін моменту опору на валу двигуна.

При цьому загальним для всіх млинів є пульсуючий характер моменту опору, який для млинів самоподрібнювання, рудногалькових і кульових з центральним розвантаженням є періодичним, а для млинів кульових із ґратами – аперіодичним.

Пульсації є наслідком комбінованого впливу ряду факторів таких, як точність виготовлення і монтаж зубчастих коліс, порушень у зубчастому зчепленні, що виникають при експлуатації, міцність сполучних елементів у системі двигун-млин, наявність і якість мастила та інше.

Пульсація струму статора приводить до наведення струмів у демпферній обмотці та, як наслідок, до збільшення теплових втрат у двигуні, підвищення витрат електроенергії.

До підвищення витрат електроенергії приводить також відсутність на ГЗК автоматичних систем маслозмащування відкритих зубчастих передач, що не забезпечує ефективної роботи передачі й знижує ККД привода. Крім того, до зниження ККД привода приводить також наявність порушень у зубчастому зачепленні та відсутність еластичних з'єднань між двигуном і млином. Тому застосування еластичних муфт, систем автоматичного змащення відкритої зубчастої передачі, контроль за якістю зубчастого зачеплення при ППР можуть дати підвищення у ККД привода не менш, ніж на 0,5%. Якщо взяти до уваги, середній коефіцієнт завантаження приводів млинів 0,8, коефіцієнт використання устаткування 0,9, то при зазначеній загальній установленій потужності приводів млинів від застосування зазначених вище заходів може бути отримана економія електроенергії в розмірі не менше 32 млн. кВт.год/рік.

Одним зі способів економії електроенергії при роботі важких конвеєрів дробильних фабрик є виключення витрат електроенергії на холості ходи. Це особливо важливо для тих механізмів, що характеризуються періодичністю завантаження матеріалу або нерівномірністю завантаження протягом зміни. Раніше була випробувана система автоматичного регулювання швидкості привода конвеєра К-2 на дробильній фабриці. Випробування показали, що застосування зазначеної системи забезпечує не тільки поліпшення умов пуску, створює рівномірний розподіл навантаження між двигунами в новому приводі, але і забезпечує зниження питомих витрат електроенергії на транспортування руди на 15% або, приблизно, на 0,1 кВт.год/т. Тому запропоновано при проектуванні нових і реконструкції діючих дробильних фабрик застосовувати регульований привод для великих конвеєрів, які характеризуються нерівномірністю завантаження матеріалом, що транспортується. Це може забезпечити додаткову економію електроенергії в розмірі близько 30 млн. кВт.год за рік.

За даними інституту Механобрчормету при впровадженні піскових насосів з регульованим приводом Т.АРД-250 і поліуретановими та карбідними покриттями коліс підвищується термін служби в 2-4 рази, а економія електроенергії складає 5-10%. Одночасно, за рахунок нового керуючого впливу можна підвищити ефективність роботи гідроциклонів II і III стадій на 10-15%. Впровадження дробарок з розподілом споживання знижує витрати електроенергії на 10-15% і крупність за класом плюс 20 мм, також знижується на 10-15%.

## ВИСНОВКИ.

Таким чином, використання при рудопідготовці попереднього магнітного збагачення сильно-магнітних руд, сортування руд, усереднення, впровадження радіометричних методів збагачення, випробування руд у вибої, багатозв'язне керування процесами подрібнювання, дроблення та їхня інтенсифікація дозволяє не тільки знизити енергоємність процесу на 16-20%, але і значно підвищити їхню продуктивність, не знижуючи якості концентратів.

Важливе місце в системах керування економією електроенергії займають АСК ТП збагачувальних фабрик, що дозволяють підвищити продуктивність на 5-8%, знизити втрати загального заліза в хвостах на 2-3% і стабілізувати вміст загального заліза в концентраті.

При цьому питання підвищення ККД привода млина не вичерпується тільки виключенням зі схеми привода окремих елементів і зниженням на цій основі витрат електроенергії. Питання підвищення ККД привода є також актуальним для всіх тих млинів, що обладнані безредукторним приводом з тихохідними синхронними двигунами. Такими приводами обладнані понад 800 одиниць млинів із загальною встановленою потужністю приводних двигунів близько 1 млн. кВт.

## REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокур Н.И., Потураев В.Н., Бабец Е.К. *Дробление и измелчение руд*. Кривой Рог: ВЭЖА, 2000. 290 с.
2. Воробьев В.В., Хорошман В.А. Экспериментальное обоснование параметров низкотемпературного метода разрушения горных пород. *Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*

*тут», Серія: «Гірництво». НТУУ «КПІ»:ЗАТ «Тех.новибух», 2012. № 22. С. 97–101.*

3. *Инженерная геология (з основами геотехніки): підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. Г. Суярко, В. М. Величко, О. В. Гаврилюк, В. В. Сухов, О. В. Нижник, В. С. Білецький, А. В. Матвеев, О. А. Улицький, О. В. Чуенко; за заг. ред. проф. В. Г. Суярка. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. 278 с.*

4. Сокур М. І., Білецький В. С., Ведмідь І. А., Робота Є. М. *Рудопідготовка: дроблення, подрібнення, грохочення: монографія*. Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2020. 494 с.

5. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. *Основи техніки та технології збагачення корисних копалин: навчальний посібник*. К.: Ліра-К, 2020. 634 с.

6. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. *Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина І. Підготовчі процеси*. Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. 202 с.

7. Tverda O., Vorobyov V. *Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off high ledges in the quarries. Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2015. №1. С. 63–73.

15. Ivasiv V., Yurych A., Zabolotnyi S., Yurych L., Bui V., Ivasiv O. *Determining the influence of the condition of rock-destroying tools on the rock cutting force*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 1.No 1 (103). PP. 15–20.

16. *Переробка корисних копалин: Підручник / Смирнов В. О., Білецький В. С. — Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2019. — 607 с.*

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Показано, що дослідження енергоспоживання привели до необхідності організації поцехового і поагрегатного обліку і контролю енергоспоживання, що дозволяє в реальному масштабі часу отримувати інформацію про витрати електроенергії, споживаної потужності в усіх технологічних ланках і вчасно виконувати регульовальні заходи. Таким чином, створивши ефективну підсистему АСК ТП контролю і керування енергоспоживання гірничо-збагачувального комбінату, енергетики разом з технологами можуть розробляти організаційно-технічні плани економіки енергії, які пов'язані з планами раціоналізації технології та поліпшенням організації виробництва. Показано, що у частині приводів, установлених на подрібнювальному устаткуванні збагачувальних фабрик ГЗК України, доцільно при їхній реконструкції розглянути питання деякого зниження частоти обертання барабана на млинах II і III стадії, шляхом установки нових валів-шестерень зі зменшеним числом зубів. Таке зниження відносної частоти обертання з 80 до 75-78% від критичної може зменшити витрати електроенергії на приводах млинів II і III стадій від 2 до 5%, що складе близько 100 млн. кВт·год за рік.

**Ключові слова:** гірничо-збагачувальний комбінат, норми енергоспоживання, витрати електроенергії, тип приводу, продуктивність.

## **ABSTRACT (IN RUSSIAN)**

Показано, что исследование энергопотребления привели к необходимости организации цехового и поагрегатного учета и контроля энергопотребления, что позволяет в реальном масштабе времени получать информацию о расходах электроэнергии, потребляемой мощности во всех технологических звеньях и вовремя делать регулировочные мероприятия. Таким образом, создав эффективную подсистему АСУТП контроля и управления энергопотребления горно-обогатительного комбината, энергетики вместе с технологами могут разрабатывать организационно-технические планы экономики энергии, связанные с планами рационализации технологии и улучшением организации производства. Показано, что в части приводов, установленных на дробильном оборудовании обогатительных фабрик ГОКов Украины, целесообразно при их реконструкции рассмотреть вопрос некоторого снижения частоты вращения барабана на мельницах II и III стадии, путем установки новых валов-шестерен с уменьшенным числом зубов. Такое снижение относительной частоты вращения с 80 до 75-78% от критической может уменьшить расходы электроэнергии на приводах мельниц II и III стадий от 2 до 5%, что составит около 100 млн. кВт·ч за год.

**Ключевые слова:** *горно-обогатительный комбинат, нормы энергопотребления, расходы электроэнергии, тип привода, производительность.*

## **ABOUT AUTORS**

**М. І. Сокур**, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**В. С. Білецький**, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»