

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗХОД НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ПРИ ПОЛУАВТОГЕННО СМИЛАНЕ НА МЕДНИ РУДИ

Теодора Христова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: teodora@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В статията е изследвано влиянието на основните фактори върху специфичния разход на електроенергия на полуавтогенна мелница тип SAG 8,5x5.3. Установено е, че специфичният разход на електроенергия намалява при повишаване на масата на пълнежа, количеството води и руда в мелницата. Той се увеличава с повишаване на оборотите на мелницата и количеството преработена руда, което означава, че специфичният разход на електроенергия се повишава с износването на облицовките. След статистически анализ са получени съответни математически модели между изследваните величини. Направени са модели на взаимното влияние на количеството вода и руда в мелницата върху специфичния разход на електроенергия. Установено е, че специфичният разход на електроенергия се влияе в най-голяма степен от износването на облицовките на този вид машини. Препоръчва се за намаляване на специфичния разход на енергия да се следи съотношението Q/Q_v и да се измерва износването на облицовките.
Ключови думи: специфичен разход на електроенергия, полуавтогенно смилане

INVESTIGATION OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION IN THE SAG MILLING COPPER ORES

Teodora Hristova

Mining and Geology "St. Ivan Rilski" 1700 Sofia, E-mail: teodora@mgu.bg.

ABSTRACT. The article discusses influences of the main factors on the specific consumption of electricity in semi autogenously mill SAG type 8.5x5.3. It was established that the specific energy expense decreases with increasing of the mass of filler, the amount of water and the ore in the mill. It also increases with the increasing the speed of the mill and the quantity of ore processed. This does mean that the specific energy expense increases with the wear of the linings. On the base of statistical analysis mathematical models for the variables investigated were deduced. There were constructed models of mutual influence of the amount of water and ore in the mill on the specific energy expense. It was found that the specific energy expense is influenced in the greatest extent by the wear of the linings of this type of machines. For reducing of specific energy consumption it was recommended monitoring of the ratio Q/Q_v and measurement of wear of liners.

Keywords: specific energy expense, SAG milling

Увод

Увеличеното търсене на продукция, намаляването престоите на машините и увеличаването на производителността са от водещо значение в минната промишленост. Тъй като мелниците са основни консуматори на енергия в една обогатителна фабрика, то приоритет пред мениджърите е да намаляват престоите и разходите, докато технолозите трябва да подобряват качеството на смления материал от гледна точка на извличане на метал.

За поддържането на тези приоритети процесът може да се управлява според различни цели: минимални разходи, висока производителност, качество на продукта, високо к.п.д., енергийна ефективност и други. Сложността на задачата се повишава поради многофакторността на обекта. В такъв случай е необходимо да се избере една цел, която да може да се оцени от реални измерени стойности, засягащи производствения процес.

При избор на критерий за минимизиране на разходите е необходимо да се разграничат видовете разходи - разходи за поддръжка, престои, закупуване на резервни части и

консумативи, труд и енергия. От изброените основен разход е потребената електроенергия.

Фактори, влияещи върху специфичния разход на електроенергия

Потребената електроенергия не дава обективна оценка за разходите спрямо преработената руда, затова се въвежда понятието специфичен разход на електроенергия. Специфичният разход на енергия $E, kWh/t$ се получава като отношение на измерената мощност на двигателя на мелницата към производителността на мелницата по готов продукт за единица време. Специфичният разход на енергия се получава посредством формулата:

$$E = \frac{P}{Q}, kWh/t \quad (1)$$

където:

P - мощността, изразходвана от двигателя на мелницата, kW ;

Q - производителността на мелницата по готов продукт, t/h .

Разходът на електроенергия за смилане в полуавтогенни мелници зависи от редица фактори като: тегло на топковия товар, размер на мелницата, скорост на въртене, плътност на пулпа, едрина на изходния материал, механични свойства на рудата, количество руда, износване на облицовките, форма на лифтерите, физико-механични свойства на рудата и други [Аккерман].

Изборът на фактори, според които ще се определя специфичният разход на електроенергия, трябва да е подчинен на следните изисквания:

- всеки фактор трябва да има определена граница на промяна, т.е. да е контролируем;
- да е управляем, т.е. да се определят нивата в дефиниционната област;
- параметрите му да могат да се измерват точно;
- параметрите да са независими, т.е. да не са функционално свързани;
- параметрите да са съвместими, за да се определят съвместните зависимости.

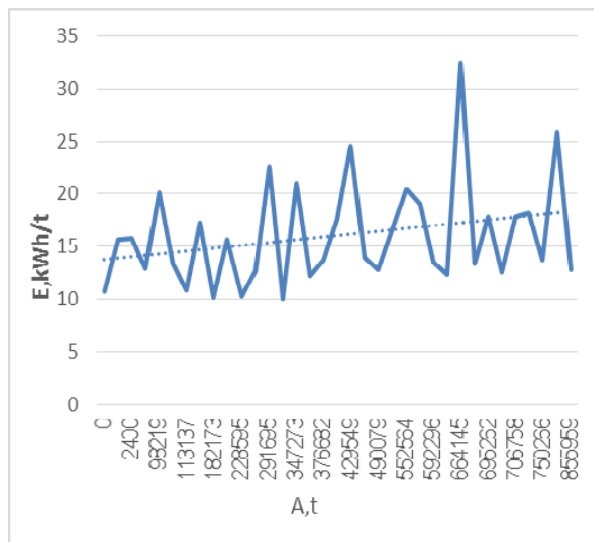
Управляващи фактори в настоящето изследване са:

- ω – ъглова скорост на барабана на мелницата, rad/s . Този параметър е представен от оборотите на двигателя на мелницата - n, min^{-1} , защото предавателното отношение на редуктора и откритата зъбна предавка са постоянни;
- M – маса на средата (пълнежа) на мелницата. Този параметър показва какво е запълването в барабана на мелницата, t и се измерва от товарна клетка на задния лагер на машината;
- Q – натоварване на мелницата с руда, t/h и се измерва от захранваща мелницата лентова везна;
- Q_v – дебит на постъпващата вода, l/h ;
- A - преработката е количеството преработена руда в мелницата от момента на поставяне на нови облицовки на цилиндъра до момента на измерването (този параметър е пропорционален на износването на облицовките на мелницата).

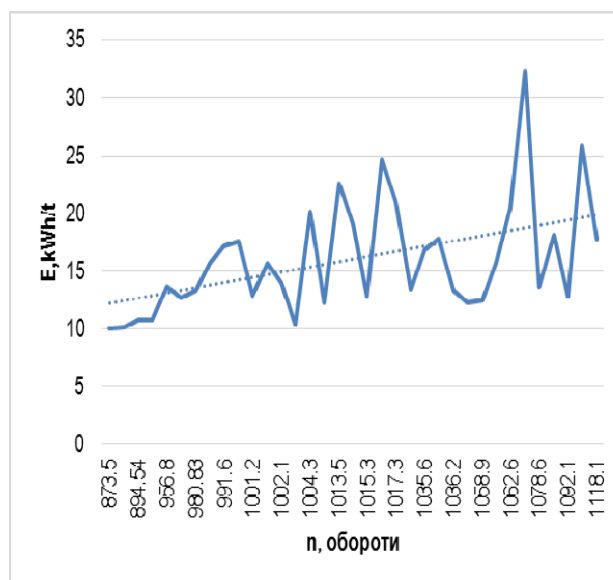
Анализ за влиянието на факторите върху специфичния разход на електроенергия

Данните от измерванията са от полуавтогенна мелница тип SAG 8,5x5.3, смилеща медни руди, но поради съществуващата система за конфиденциалност, те са мащабирани [Минин, Савов, Недялков]. Мелницата се задвижва с асинхронен двигател с мощност 5400 kW и чрез честотен инвертор се регулират оборотите на двигателя. Изчислени са средноаритметични стойности за един час, за да бъде отчетена инерционността на процеса смилане, след което са обработени с програмния продукт Excel, с цел да бъдат показани графично.

Изследвани са зависимостите на основните фактори и влиянието им върху специфичния разход на електроенергия поотделно при сравнително равни други условия. Установи се, че специфичният разход на енергия се повишава с повишаване на количеството на преработена руда и оборотите на двигателя (фиг. 1 и фиг. 2.).



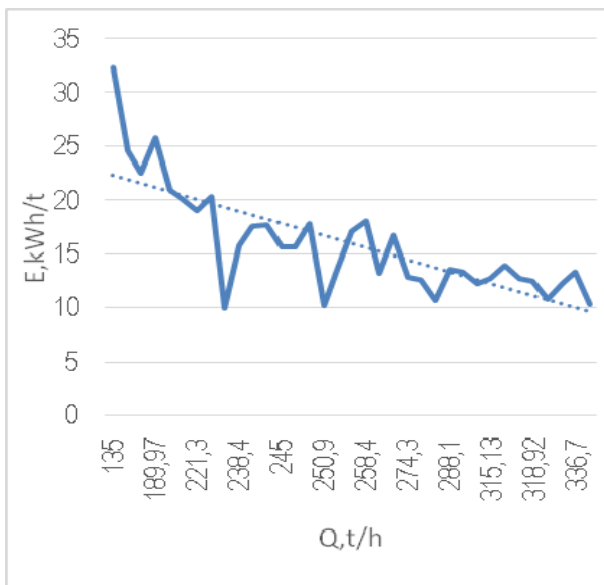
Фиг. 1. Зависимост на специфичния разход на енергия от количеството преработена руда (износване на облицовките)



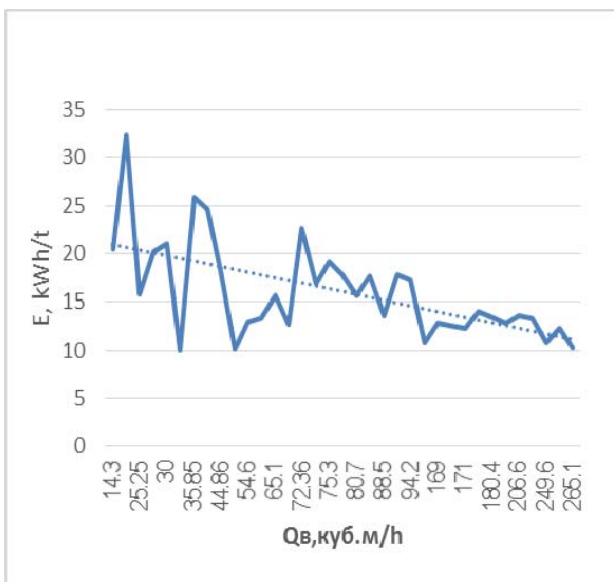
Фиг. 2. Зависимост на специфичния разход на енергия от натоварването с руда

Тази тенденция може да се обясни с факта, че намалената височина на лифтерите води не само до увеличаване на обема на мелницата, съответно промяна на пропускателната ѝ способност, но и до намаляване на капацитета за повдигане на товара. Установено е, че увеличаването на скоростта на подаване на материали води до намаляване на времето за пребиваване на частиците в мелницата и до производството на пулп с по-големи частици по размер. По-високата скорост на захранване и по-големите частици водят до по-слабо извличане в процеса флотация [Минин, 2012]. Освен това с износването на лифтерите на барабана трябва да се увеличават и оборотите му (фиг. 2), за да се поддържа постоянна относителната му скорост, което води до увеличаване на специфичния разход на електроенергия.

От друга страна, специфичният разход на енергия намалява с повишаване на запълването на мелницата с руда и вода (фиг. 3, фиг. 4).



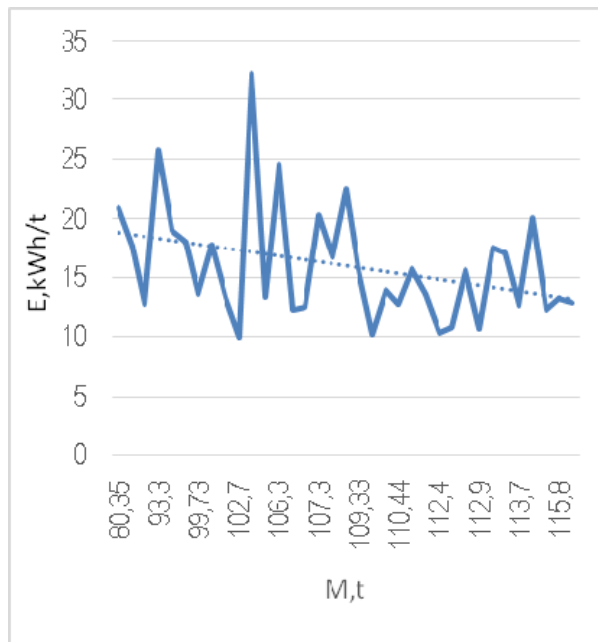
Фиг. 3. Зависимост на специфичния разход на енергия от запълването с руда



Фиг. 4. Зависимост на специфичния разход на енергия от количеството вода в мелницата

На фиг. 5 е показано отношението на специфичния разход на електроенергия в зависимост от масата на пълнежа (средата). Теоретично би следвало с повишаване на масата на пълнежа да се повишава и мощността, черпена от двигателя, но от друга страна се подобрява смилането поради повишаване на броя на ефективните удари. Поради това, че масата на пълнежа се променя в малки граници, в случая тази величина почти не влияе на относителния разход на електроенергия.

Статистическият анализ на получените резултати може да се обработи по два начина. Единият е чрез математично формулирани зависимости, които са доказали адекватността си. Другият е чрез използването на компютърни програми, в които е заложена теорията от по-горе спомената литература.



Фиг. 5. Зависимост на специфичния разход на енергия от масата на пълнежа в мелницата

Таблица 1
Резултати от статистическия анализ

параметър	модел	R-square d
Преработка, A	$E = 5,07742 \cdot 10^{-6} A + 14,0207 \frac{1}{A^2}$	92,18%
Обороти, n	$E = 40177,1 \frac{1}{n} + 15,589 \cdot 10^{-6} n^2$	93,35%
Количество руда, Q	$E = 54047,89 \cdot Q$	98,07%
Маса на пълнежа, M	$E = 0,556969 \cdot M - 3,79653 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot M$	92,55%
Количество вода, Qv	$E = 37,57 \cdot 10^{-3} Q_v + 20,05 \frac{1}{Q_v^2}$	96,29%

където E е специфичен разход на електроенергия, kWh/t

Програма, в която е заложена теоретичната постановка, е STATGRAFICS. Чрез нея са разработени модели за оценка на коефициентите в следните модели (таблица 1):

а/ линеен модел, описващ зависимостта на специфичния разход и количеството преработена руда;

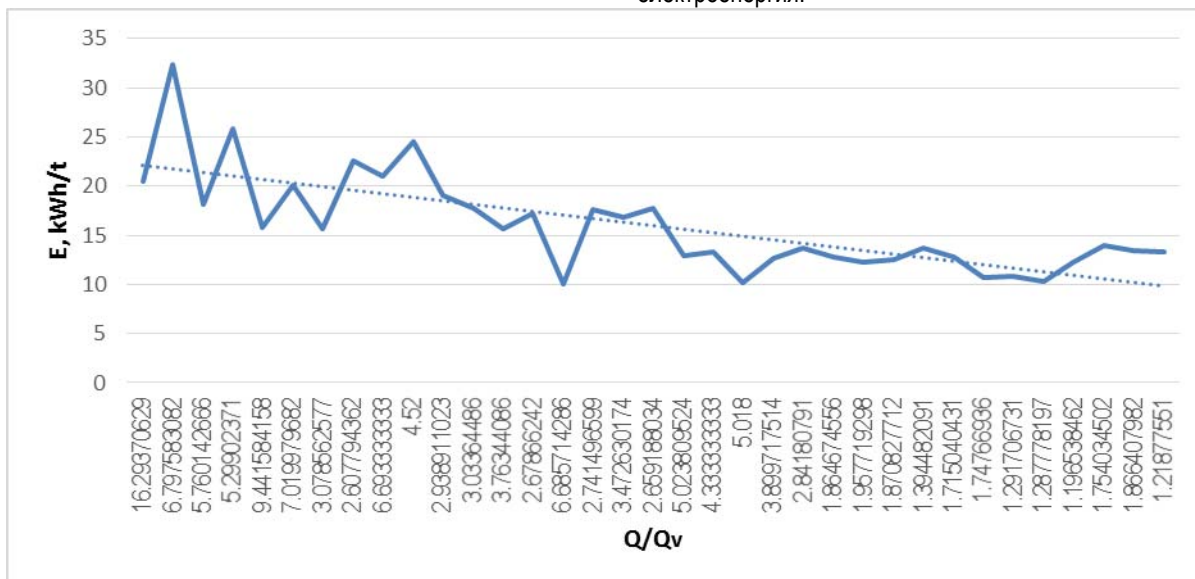
б/ модел от втори ред, даващ връзка между специфичния разход на енергия и производителността, оборотите, пълнежа и количеството вода.

Като фактор с най-висок процент достоверност е количеството руда. Тъй като стойността на показателя на доверителна вероятност (P-value) в статистическото изследване е по-малко от 0.05 (критичната стойност), съществува статистически значима връзка между специфичния разход на енергия и количеството руда (Q) с ниво на доверие 99%. Коефициентът на множествена корелация е 98,071% между изследваните величини. Стандартната грешка на разчета показва отклонение

2,35964. Тази стойност може да се използва за изграждане на прогнозни граници. Средната абсолютна грешка (MAE) е 1,70652. От резултатите за функцията на разпределение може да се направят изводи за най-често срещаните режими на работа на дадения агрегат, както и за появата на нетипични ситуации.

От статистическия анализ е видно, че всички резултати са с доверителна вероятност (P-value) 0. Процентите на множествена корелация са над 90%.

За намаляване на специфичния разход на енергия в процеса на производство могат да се регулират някои от влияещите фактори. От направения статистически анализ се вижда, че най-високи проценти на достоверност на моделите към експерименталните данни са получени за количеството руда и количеството подавана към мелницата вода. Стойностите на тези два параметъра са основни за качеството на смления продукт в полуавтогенните мелници. Поради тази причина е изследвано съвместното влияние на факторите количеството преработена руда и количеството вода върху специфичния разход на електроенергия.



Фиг. 6. Зависимост на специфичния разход на енергия от съотношението на количеството руда към вода в мелницата

От фигура 6 се вижда, че специфичният разход на електроенергия намалява при намаляване на отношението между величините Q/Q_v , защото пулпът преминава по-бързо през мелницата. При статистическата обработка на данните се отчете, че коефициентът на множествена корелация между величините е 92,866%. Специфичният разход на електроенергия се влияе от тези фактори по зависимостта:

$$E = 0,688844 \frac{Q}{Q_v} + 13,3383 \frac{Q_v^2}{Q^2} \quad (2)$$

Изводи

Получените резултати от измерванията и статистическият анализ на специфичния разход на електроенергия на мелницата показват следното:

- специфичният разход на електроенергия се влияе в най-голяма степен от няколко параметъра, а именно: от износването на облицовката, количеството вода, оборотите на барабана на мелницата, масата на средата и най-съществено - от натоварването на мелницата с руда;

- с увеличаване на количеството преработена руда се повишава и специфичният разход на енергия на мелницата;

- увеличаването на оборотите на барабана води и до увеличаване на специфичния разход на енергия – известен закон от физиката;

- при повишаване на натоварването на мелницата с руда се намалява специфичният разход на енергия, което се дължи на това, че масата на рудата практически не влияе на мощността на мелницата от една страна, а от друга постъпването на повече руда води и до получаването на по-голямо количество смлян продукт (по висока относителна производителност);

- при увеличаване на масата на средата на мелницата би следвало да се повишава и специфичният разход на енергия на мелницата, защото най-много енергия се черпи за издигането на топките и едрите късове руда, но поради повишаването на производителността на мелницата - специфичният разход на енергия намалява.

За да се намали специфичният разход на енергия без да се намалява качеството на продукцията се препоръчва следното:

- да се следи съотношението Q/Q_v да бъде под 2;
- да се следи чрез измерване износването на облицовките и да се направи изследване за оптималните режими на работа на мелницата спрямо износването на облицовките на барабана. Известно е, че износването на облицовката на барабана в процентно изражение е малко, което не влияе съществено на производствения процес. Основно се износват лифтерите.

За целта са нужни допълнителни изследвания, като трябва да се снемат по-подробни данни за:

- определяне на оптималното количество на запълване на мелницата с цел минимизиране на специфичния разход на електроенергия;
- промяната на формата на лифтерите с износването им.

Литература

- Аккерман Ю. Э., Букаты Г. и др., Справочник по обогащению руд, изд. „Недра”, Москва, 1982
- Минин, И., Савов. С., Недялков П., „Отчет по договор 2030/2014 „ (Архив на НИС в МГУ „Св. Иван Рилски”)
- Минин И., Монтаж, експлоатация и ремонт на барабанни мелници, изд. Авангард Прима, София, 2012

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Електротехника“