

ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ГЛАВНИ ВОДООТЛИВНИ УРЕДБИ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ

Евтим Кърцелин, Румен Исталиянов

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

РЕЗЮМЕ: Обоснован е подход за оценка енергийната ефективност на главни водоотливни уредби за подземни рудници. Направен е анализ и оценка за влиянието на отделни елементи на водоотливната уредба върху нейната енергийна ефективност.

ESTIMATION OF ABILITIES FOR INCREASING OF ENERGY EFFICIENCY IN MAIN PUMP INSTALLATION FOR SUBTERRANEAN MINES

Evtim Rurzelin, Rumen Istalijanov

University of Mining and Geology "St. Iv. Rilski", Sofia, 1700

ABSTRACT: The method of Estimation of abilities for increasing of energy efficiency in main pump installation for subterranean mines is laid in the paper. Analysis and evaluation of influence of different parts of pump installations on their energy efficiency are done.

Актуалност: Съвременната цивилизация е на прага на нова енергийна криза, предопределена и неизбежна поради следните фактори и причини:

1. Непрекъснато повишаване на цената на енергията и енергоносителите като резултат от намаляване на запасите на невъзобновяеми източници на енергия и значителното увеличаване на разходите за добив.

2. Развитието на енергетиката на основата на невъзобновяеми източници на енергия е пред прага на топлинната бариера, преминаването на която води до неизбежна екологична катастрофа.

3. Развитието на енергетиката на основата на възобновяеми източници на енергия е на етап и възможности, с който не може да се осигурява задоволяване на реалните и непрекъснато нарастващи потребности на съвременната цивилизация.

4. Един от съвременните проблеми на енергетиката, а и на съвременната наука е свързан с високата енергоемкост на различните процеси в производствената дейност и в сферата на комунално-битовото обслужване на обществото.

5. Изследванията показват, че икономията на енергия се явява значително по-евтин и безопасен метод за увеличаване на енергогенериращите мощности, тъй като разходите за икономия на 1 kW мощност са 4-5 пъти по-малки в сравнение с разходите за строителство и въвеждане в експлоатация на 1 kW нови мощност.

Ето защо научните изследвания с крайна цел реализирането икономия на енергия са актуална задача на съвременната наука.

Всяка техническа система, която консумира енергия, се нуждае от изследване и технически анализ, в резултат на който да се направи оценка до колко ефективно е използването на енергията, за да изпълни своите полезни функции – производство на продукция, преобразуване на енергията от един вид в друг, осигуряване на комфорт или предоставяването на полезни услуги на човека.

За провеждане и изпълнение на такъв анализ е необходимо съответен научен инструментариум и преди всичко на методи за определяне на ефективността на използване на енергията в различните производства и процеси.

Общозвестно е, че коефициентът на полезно действие (к.п.д.) се явява най-удобен и универсален показател за ефективното функциониране на енергетичните процеси.

За оценка на енергийната ефективност на елементите на една водоотливна уредба и на уредбата като цяло ще се извърши също на основата на к.п.д.

Изменение на работните характеристики на водоотливната уредба в процеса на експлоатация.

Една от съществените особености при функционирането на водоотливните уредби е свързана с намаляване на основните работни параметри (производителност, напор, к.п.д.) в процеса на експлоатация. Този процес на деградация на уредбата се обяснява с изключително тежките условия за експлоатация, особено при изпомпването на кисели и силно замърсени води. Независимо от това, че във водосборника скоростта на движение на водата е малка и се очаква избистряне на водата, около 40% от твърдите частици в нея се

засмукват и преминават през помпите, което води до интензивното им износване. Ресурсът за машинното време на помпите в нашите подземни рудници достига до 500-700 часа, а съгласно паспортните им данни при чиста вода трябва да работят 6000 часа.

В процеса на експлоатация постепенно се намалява пропускателната способност на тръбопровода.

В резултат от сумарното въздействие на всички тези фактори се изменят работните параметри на помпата: производителност, напор и к.п.д., което в крайна сметка води до преразход на електроенергия за водоотлив.

Влошаване на работните параметри на помпата настъпва в резултат на общите изменения в характеристиките на помпата и тръбопровода. Ето защо за определяне на работната точка е необходим контрол на минимум два параметъра: производителност и напор. Освен това, по параметрите може да се определи к.п.д. на помпата във връзка с изменението на характеристиката за к.п.д..

Ето защо за оценка ефективността за експлоатация на водоотливната уредба е необходимо да се измери производителността, напора, мощността и да се определи фактическия к.п.д. по изчислителен път.

Опитът от експлоатация на водоотливни уредби в подземни рудници показва, че върху надеждната и икономичната работа на водоотлива съществено влияние оказва появата на неизправности в редица елементи на водоотливната уредба. Към тези елементи на първо място трябва да се отнесът смукателния кош и смукателния клапан на помпения агрегат. В резултат на това се увеличава съпротивлението и вакуума в смукателния тръбопровод, което води не само до влошаване на икономичната работа на помпите, но най-често и до пълна загуба на работоспособност на помпения агрегат в резултат на възникването на кавитационни режими и разрушаване на работното колело. Към същият резултат води и едно значително разгерметизиране на смукателния тръбопровод на помпения агрегат. Ето защо най-често се препоръчва да се осигурява интегрален контрол за изправността на смукателния тръбопровод чрез фактическия вакуум.

В напорната част на тръбопровода най-нисконадежни елементи се явяват обратните клапани и спирателните кранове с електроздвижки. Отказите или неточната работа на последните водят до повишаване на съпротивлението на тръбопровода и намаляване на неговата пропускателна способност.

Изправното състояние на напорната част на тръбопровода е възможно да се контролира по к.п.д. на тръбопровода: $\eta_{тр} = H_p / H_m$. За тази цел е необходимо да се измерва манометричният напор на помпата.

Систематизирано събиране на данни за количествена оценка на надеждността и икономичното функциониране на водоотливните уредби не е провеждано в страната и такива данни липсват. Това се обяснява с голямата трудоемкост и голямата продължителност на изследванията, които трябва да се правят за събиране на необходимата статистическа информация. Отделни изследвания проведени в тази област, свидетелстват за

изключително ниската надежност на водоотливните уредби.

Резултатите от експлоатацията свидетелстват за изключително ниските показатели за икономичност и надежност на функциониране на водоотливни уредби и за необходимостта от коренно изменение на утвърдилата се практика за експлоатация и обслужване. За повишаване на ефективната работа на водоотливните уредби е възможно да се върви по следните направления:

- създаване на специално, високо надежно обзавеждане;..

- внедряване на средства за диагностика на състоянието на обзавеждането на помпените уредби с цел своевременно определяне настъпването на неикономични режими на работа и своевременно провеждане на профилактика и ремонт за отстраняване на откази в ранния стадий на тяхната регистрация;

- обосноваване и внедряване на икономични режими на работа на главни и участъкови помпени уредби (работа на помпите извън зоните на върхово натоварване на енергийната система, работа на помпение агрегат на два напорни тръбопровода, оптимизация паралелната работа на два помпени агрегата, оптимизация схемата и броя на задвижките в помпената камера и др.)

За повишаване на ефективната работа и функционирането, главните водоотливни уредби е възможно да се разглеждат като обект, състоящ се от две части (системи) – електрическа и механична.

Електрическата част включва в себе си: система за електроснабдяване (СЕС) на главна водоотливна уредба на подземен рудник, електродвигатели за главните помпи (ЕД), апаратура за автоматично управление (ААУ). Към механичната част се включва - смукателен и напорен тръбопровод (СТ и НТ) и главни помпи(ГП).

Анализът на отказите и причините за тяхното възникване свидетелстват, че в периода на експлоатация на водоотливната уредба възникват както внезапни, така и постепенни откази. Първите са свързани с дефекти от заводското производство, качеството на монтажа и се проявяват преди всичко в периода на провеждане на единичните изпитания и 72 – часовите проби. Вторият вид откази се проявяват в установен режим при експлоатация и са свързани с експлоатационното износване на елементи от водоотливната уредба. Параметрите на определени елементи от нея се влошават постепенно, достигайки до гранични стойности, след което настъпва отказ. При това част от елементите влошават своите параметри без видимо изменение на показателите за икономичност (елементи на електрическата част на уредбата), други (за механичната част) предизвикват изменение на електрическите и технологични параметри (производителност, напор, к.п.д., електропотребление и др.)

Постепенните откази на отделните елементи е възможно да се открият чрез измерване на контролираните параметри и при приближаването им към граничните стойности да се планира провеждането на профилактични мероприятия по възстановяване или поддържане на елементите в работоспособно състояние при определен срок и обем на работа. Диагностика е възможно да се използва за контрол качеството на ремонтните работи.

Определяне на енергийната ефективност на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация

С помощта на енергитичния подход ще се направи оценка за енергийната ефективност на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация.

Изпомпването на водата в един подземен рудник е технологичен процес, за протичането на който е необходимо да се извърши определена работа (да се изразходва определено количество енергия) за преместването на определено количество вода от едно ниво на друго, по-високо ниво.

Съгласно основния закон за преобразуване и съхранение на енергията, извършената работа (изразходваното количество енергия) за протичането на този процес (преместването на определено количество вода от едно ниво на друго, по високо ниво) ще бъде равна на потенциалната енергия на количеството преместена (изпомпана) вода.

За определяне на енергийната ефективност на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация чрез к.п.д. е необходимо да се определят следните показатели – теоретичен и действителен специфичен разход на енергия за изпомпване на 1 m³ вода на височина 1 m.

В международната измервателна система SI [1] механичната работа и енергия имат една и съща измерителна единица [джаул J], която се дефинира със следния израз:

$$W = A = F \cdot s = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

където: F- сила [N]; s – път [m].

Силата на теглото на едно тяло се дефинира с изрази:

$$F = G = m \cdot g$$

където: m – маса на тялото [kg]; g =9,81– земно ускорение [m/s²].

Зависимостта между масата и обема на едно тяло се дефинира с понятието обемно тегло ρ със следния израз:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

откъдето следва зависимостта:

$$m = \rho \cdot V$$

където: V – обем на тялото [m³];

На основание изложеното за определяне на потенциалната енергия на едно тяло с обемно тегло ρ , обем V, повдигнато на височина h се получава следният израз:

$$W_{\text{nom}}^{\text{mex}} = \rho \cdot g \cdot V \cdot h \text{ [J]} \quad (1)$$

За определяне на теоретичния специфичен разход на енергия за изпомпването на 1 m³ вода на височина 1 m ще се приемат следните стойности:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3;$$

$$V = 1 \text{ m}^3;$$

$$h = 1 \text{ m};$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

След заместване на тези стойности във формула (1) се получава:

$$W_{\text{nom}}^{\text{mex}} = \rho \cdot g \cdot V \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 1 = 9810 \text{ J} \quad (2)$$

В измервателната система SI е в сила следната зависимост:

$$1 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J} \quad (3)$$

С отчитането на (3) израза (2) се преобразува в следния вид:

$$W_{\text{nom}}^{\text{el}} = \frac{W_{\text{nom}}^{\text{mex}}}{3,6 \cdot 10^3} = \frac{9810}{3,6 \cdot 10^3} = 2,725 \text{ Wh}$$

за изпомпването на 1 m³ вода на височина 1 m.

От проведеното експериментално изследване на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация е получена следната усреднена експериментална стойност за специфичен разход на електроенергия:

$$W_{\text{deuct}}^{\text{el}} = 6,48 \text{ Wh} \text{ за изпомпването на } 1 \text{ m}^3 \text{ вода на височина } 1 \text{ m.}$$

За к.п.д. на водоотливните уредби в експлоатация се получава следната стойност:

$$\eta_{\text{ур}} = \frac{W_{\text{теор}}}{W_{\text{деуект}}} \cdot 100 = \frac{2,725}{6,48} \cdot 100 = 42\%$$

От получената стойност за к.п.д. може да се направи извода за ниска енергийна ефективност на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация

К.П.Д. на електрическата мрежа

К.п.д. на електрическата мрежа се определя с изрази:

$$\eta_{\text{мр}} = \frac{P_p}{P_p + \Delta P_{\text{ел.мр}}}$$

където:

$\Delta P_{\text{ел.мр}}$ - загуби на мощност в захранващата електромрежа;

Консумираната мощност от електродвигателя зависи от неговото натоварване и е възможно да се изрази чрез номиналните му параметри по формулата:

$$P_p = k_{\text{нат}} \cdot P_n \cdot \eta_{\text{дв}}$$

където:

$k_{\text{н}}$ - коефициент на натоварване;

$\eta_{\text{дв}}$ – к.п.д. на двигателя.

Номиналната мощност на двигателя се определя чрез номиналния ток и номиналното напрежение на двигателя по формулата:

$$P_n = \sqrt{3} U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n$$

Загубата на активна мощност в електрическата верига от двигателя до Централната подземна подстанцията на рудника се определя с израз:

$$\Delta P_{ел.мр} = 3 \cdot k_{нат}^2 \cdot I_n \cdot R_{мр}$$

Където:

- $R_{мр}$ - активно съпротивление на захранващата кабелна мрежа и се определя с израз:

$$R_{ел.мр} = \frac{L}{\gamma \cdot S}$$

L - дължина на кабелната мрежа (m);

S - сечение на силовите жила на кабела (mm²);

γ - проводимост на материала от който са изготвени жилата на кабела.

Сечението на захранващата линия се избира по икономична плътност на тока с използване на следния израз:

$$S = \frac{k_n \cdot I_n}{\gamma}$$

С отчитане на записаните по-горе, изрази за к.п.д. на електрическата мрежа се получава следният израз:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \eta_{дн}}{U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot j}}$$

Величините влизащи в горната формула имат следните числени стойности:

$j=2,0 \div 2,5 \text{ A/mm}^2$; $L=50 \div 100 \text{ m}$; $\cos \varphi=0,75 \div 0,95$; $U_n=6000 \text{ V}$.

В този случай променливата част на знаменателя в последната формулата се изменя в границите (0,6 ÷ 1,8) · 10⁻³, а стойността на к.п.д. на мрежата $\eta_{мр}=0,999 \div 0,998$.

Ако се отчете загубата на енергия на цялата захранваща мрежа до главната понижаваща подстанция на повърхността, то с достатъчна точност к.п.д. на ел.мрежата може да се приеме за постоянен и равен на $\eta_{ел.мр}=0,98$.

К.П.Д. на електродвигателя

К.п.д. на електродвигателя зависи от неговото натоварване и се характеризира с общите загуби в двигателя $\Delta P_{дв}$. Номиналният к.п.д. на двигателя се определя с израз:

$$\eta_{дв} = \frac{P_n}{P_n + \Delta P_{дв}}$$

Загубите на мощност в двигателя се разделят на постоянни (K) и променливи (P). Постоянните загуби не зависят от натоварването на двигателя, а променливите са пропорционални на квадрата на тока и коефициента на натоварването. Следователно, за загубите в двигателя е възможно да се напише следният израз:

$$\Delta P_{дв} = K + P = K + P_n \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 = K + P_n \cdot k_n^2 + P_n \cdot (a + k_n^2)$$

Където: - $a=k/P_n$ - константна величина за двигателите (за асинхронни двигатели $a=0,5 \div 1,0$)

Фактическата стойност за к.п.д. на двигателите се определя с израз:

$$\eta_{дв} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{дв}}{P_{дв}}}$$

Отчитайки, че фактическата мощност за двигателя е възможно да се изрази чрез коефициента за неговото натоварване:

$$P_{дв} = k_n \cdot P_n$$

Формулата за к.п.д. на електродвигателя ще приеме следния вид:

$$\eta_{дв} = \frac{1}{1 + \frac{(1 + \eta_{дн}) \cdot (a + k_n^2)}{\eta_{дн} \cdot k_n \cdot (a + 1)}}$$

От горният израз следва, че влияние върху к.п.д. на двигателя е възможно само чрез изменение на неговото натоварване. Натоварването на електродвигателите, задвижващи помпите за главен водоотлив на подземен рудник по правило не е по ниско от 75% от номиналния. Отчитайки това, може да се приеме, че к.п.д. на двигателя в процеса на експлоатацията на водоотливната уредба не се изменя и е равен на неговата номинална стойност. За на асинхронните двигатели от справочната литература се определя к.п.д. в границите на 0,9 ÷ 0,96.

Хидравлични загуби

Хидравличните загуби в помпата представляват по същество загуби от триене при движение на течността в каналите на проточната част на помпата и вихрови загуби или загуби от удар. Загубите на триене нарастват квадратично с увеличаване на производителността на помпата. Загубите на удар са равни на нула само при номинална производителност на помпата, и нарастват

квадратично с отклонение на фактичестката производителност на помпата от нейната номинална стойност.

Възникването на загуби на мощност в помпата се проявява в намаляването на фактическия напор в сравнение с теоретичните възможности. Отношението на действителния напор H_z към неговата теоретична стойност H_e представлява по същество хидравличния к.п.д. на помпата.

$$\eta_{хидр} = \frac{H_z}{H_e}$$

На този етап от развитие теорията на центробежните помпи няма разработен надежден метод за аналитично определяне на хидравличните загуби и хидравличния к.п.д. на помпата. Тези загуби се определят с производителността на помпата, която в процеса на експлоатация се отклонява от номиналната стойност, а следователно и хидравличния к.п.д. ще се определя от фактическия режим на работа на помпата към тръбопровода.

Обемни загуби

Обемните загуби в помпата са свързани с утечките на вода през луфтовете в уплътненията и разтоварното устройство. От действието на корозията, износването на разтоварните устройства и на уплътненията в процеса на експлоатация луфтовете се увеличават, а обемните загуби нарастват. Големината на утечките се оценява чрез обемния к.п.д. на помпата:

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q + \delta}$$

където δ – обемни загуби на вода, които са от порядъка на 3÷5% от производителността на помпата Q .

Механични загуби

Механичните загуби в помпата се предизвикват от триенето на работните колела на помпата и течността, а така също и от триене в уплътненията и лагерите. Тези загуби се оценяват с механичния к.п.д., който се дефинира като отношение на хидравличната мощност N_z към мощността на вала на двигателя N_e :

$$\eta_{мех} = \frac{N_{хидр}}{N_e} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_z (Q + \delta)}{N_e}$$

Общ к.п.д. на помпата

Общият к.п.д. на помпата ще се определя с израза:

$$\begin{aligned} \eta_{ном} &= \eta_{хидр} \eta_{об} \eta_{м} = \\ &= \frac{H_z}{H_e} \cdot \frac{Q}{Q + \delta} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot H_z (Q + \delta)}{N_e} = \\ &= \frac{\rho \cdot g \cdot H_z \cdot Q}{N_e} \end{aligned}$$

Стойностите на отделните к.п.д. на една помпа се изменят в следните граници:

- $\eta_x = 0,7 \div 0,95$;
- $\eta_o = 0,93 \div 0,99$;
- $\eta_m = 0,89 \div 0,95$.

С отчитане на стойностите на η_x , η_o , η_m общия к.п.д. на помпата е в границите на $0,5 \div 0,75$.

Следователно, к.п.д. на цялата водоотливна уредба съществено зависи от к.п.д. на помпата, която се явява елемент от цялата система. Изменяйки се в твърде широки граници ($0,5 \div 0,75$) к.п.д. на помпата се определя преди всичко от ефективното функциониране на цялата уредба.

К.П.Д. на тръбопровода

К.п.д. на тръбопровода зависи от загубите на напор в неговите елементи и се определя със следния израз:

$$\eta_{тр} = \frac{H_z}{H_m}$$

Където: H_m – манометричен напор на помпата (m).

В резултат на повишеното съпротивление в смукателния тръбопровод, износването на спирателните кранове, обратни клапи, замърсяване на смукатели, частична разхерметизация, к.п.д. на тръбопровода в процеса на експлоатация търпи изменения.

С отчитане на ограниченията по условието за устойчива работа на помпата към тръбопровод:

$$\frac{H_z}{H_m} \leq 0,95$$

К.п.д. на тръбопровода е невъзможно да бъде по-голям от $0,95$.

Представлява интерес определянето на възможния максимален к.п.д. на водоотливната уредба. Ако приемем че:

- $\eta_{мр} = 0,98$;
- $\eta_{дв} = 0,94$;
- $\eta_{ном} = 0,7$;
- $\eta_{тр} = 0,95$.

То за максималния общ к.п.д. на помпената уредба ще се получи:

$$\begin{aligned} \eta_{max} &= \eta_{мр} \eta_{дв} \eta_{ном} \eta_{тр} = \\ &= 0,98 \cdot 0,94 \cdot 0,7 \cdot 0,95 = 0,62 \end{aligned}$$

Отчитайки, че среднестатистическите к.п.д. за водоотлив на подземни рудници е в границите на 0,42, е възможно да се твърди, че съществува потенциална възможност за икономия на енергия в границите на 20% при едновременно повишаване на надежността на функциониране на водоотливните уредби за сметка на използване на средствата за диагностика, действието на който е основано на енергитичния принцип за анализ ефективността на експлоатация на водоотливните уредби.

Литература

Джаков Е., Международна система измерителни единици, С., Техника, 1975.

Гейер В. Г. и др – Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М., Недра, 1987г.

Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Под ред. на В.Н. Казанцева., М.Энергоатом издат, 1993г.

Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-02-04), Д.И. “Техника”, София, 1971.

Наредба №3 за устройство на електрическите уредби, “Балкан прес”АД, София, 2004.

Правилник по безопасността на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01), Д.Ф. “Полиграфичен комбинат.”, София, 1992.

Колесников А.И. и др., Энергобережение в промышленных и коммунальных предприятиях., Москва, Инфра-М, 2005.

*Препоръчана за публикуване от
Катедра “Електрификация на минното производство”, МЕМФ*