

ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА ПОМПЕН АГРЕГАТ ЗА МИННАТА ПРОМИШЛЕННОСТ

Димитрина Коева*, Валентин Георгиев

Технически университет - Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ 4, Габрово, България

*Кореспондиращ автор: dkoeva@tugab.bg

ENERGY EFFICIENCY OF MINING PUMP UNITS

Dimitrina Koeva*, Valentin Georgiev

Technical University of Gabrovo, 4 Hadgi Dimitar Str., Gabrovo, Bulgaria

*Corresponding author: dkoeva@tugab.bg

Abstract

Centrifugal pumps, with their ability to efficiently handle large volumes of liquids and abrasive slurries, are widely used in the mining industry. They are particularly suitable for mine dewatering. With the right design, this type of pump can successfully handle fluids with abrasive solids and coarse sand. Often, pumping systems are sized for the maximum predicted flow, but may never be used, or may only be needed for short periods of the production cycle. Pumps operating below capacity are a source of hidden energy waste. As pumps wear or become clogged with various materials, their efficiency deteriorates. Oversizing is common and can result in significant energy losses and damage to plant components. By analyzing loading cycles, determining energy losses and the environmental footprint, it is possible to determine the so-called efficiency index. This paper investigates the energy efficiency index of two pump units driven by high voltage motors. Practical and technological solutions for energy and resource efficiency are proposed.

Keywords: energy efficiency

ВЪВЕДЕНИЕ

Енергийните разходи, свързани с работата на електродвигателите, представляват значителна част от общите енергийни разходи при експлоатацията на помпените системи. Използването на неефективни двигатели, работа извън условията на оптимално натоварване, както и възникването на механични или електрически проблеми със самия двигател също могат да доведат до загуба на енергия. Решаването на тези проблеми се счита за базово в стремежа за повишаване на енергийната ефективност. По тази причина подмяната на използваните до момента електродвигатели с такива, използващи честотни преобразуватели за регулиране на честотата на въртене, се налага като подход за намаляване на енергийните разходи на помпените агрегати. Често помпените системи се измерват за максимално предвиждания

дебит, който обаче може никога да не се използва или е нужен само за много кратки периоди от производствения цикъл. Помпените съоръжения, работещи под капацитета си, са причина за загуба на енергия. Основните начини за намаляване на енергийните разходи при помпените агрегати са: намаляване на мощността на помпената система и работа в режим, близък до оптималния; замяна на помпи, работещи неефективно; избор на по-ефективни двигатели и използването на честотно управление.

ТЕХНИЧЕСКИ И НОРМАТИВНИ ИЗИСКВАНИЯ

В ЕС се използват около 8 милиарда електродвигателя, които консумират почти 50% от произведената в ЕС електроенергия. Електрическите двигатели представляват около 50% от световното потребление на електроенергия. Това е

главната причина да се насърчава въвеждането на ефективни електродвигатели и задвижвания като важен принос с намаляване на въглеродните емисии. Секторът е много хетерогенен, със значително разнообразие от технологии, приложения и размери, вариращи от малки двигатели, като тези, които задвижват вентилаторите за охлаждане в компютрите, до огромни двигатели в тежката промишленост. Регламент 640/2009 се прилага за трифазни асинхронни двигатели с мощност между 0,75 и 375 kW и захранващо напрежение до 1000 V. През 2020 г. близо 88 милиона са инсталираните двигатели, които консумират 903 TWh/год. електроенергия. Като се вземат предвид допълнителните разходи от 2,5 млрд. евро за въвеждане в експлоатация на двигатели с по-висока ефективност и за VSD, както и пониските с 13,5 млрд. евро разходи за електрическа енергия, нетните икономии от общите разходи на ЕС-27 за електродвигатели в обхвата на преразгледания регламент към 2030 г. се очаква да бъдат 11 млрд. евро. С Регламент 2019/1781 на Европейската Комисия обхватът по отношение на мощностите се разширява. Включват се още 380 милиона двигателя, които през 2020 г. са консумирали 1326 TWh/г. електроенергия. Това е 56 % от крайното потребление на електроенергия в ЕС-27 през 2020 г. в размер на 2384 TWh, [2]. Регламент (ЕС) 2019/1781 дефинира изискванията за екопроектиране на електродвигатели и задвижвания с променлива честота на въртене в съответствие с Директива 2009/125/ЕО на Европейския парламент и на Съвета, за изменение на Регламент (ЕО) № 641/2009 по отношение на изискванията за екопроектиране на самостоятелни циркулационни помпи и циркулационни помпи, интегрирани в други съоръжения. [3], [4]. Регламентът дефинира изисквания за ефективността на задвижванията с променлива скорост. Задвижванията с променлива скорост имат две нива на ефективност (IE1 и IE2) и регла-

ментът изисква всички задвижвания в обхвата да достигнат ниво IE2. Както към двигателите, така и към задвижванията се прилагат специфични изисквания, например ефективност при различни точки на натоварване по отношение на скоростта и въртящия момент. Това е полезно при оптимизиране на ефективността на целите системи.

Съгласно Директива 2012/С 394/06 хармонизираните стандарти в областта са: EN 60034-2-1:2007 Rotating electrical machines — Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), IEC 60034-2-1:2007 and EN 60034-30:2009 Rotating electrical machines — Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code) IEC 60034-30:2008.

ФОРМУЛИРАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Установено е, че енергийните разходи при помпите могат да се редуцират от 20% до 50%. Разходите по време на целия експлоатационен живот на една помпа се определят на базата на реален товаров профил на помпения агрегат:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d, \quad (1)$$

където: C_{ic} – разходи по закупуването на помпата, (първоначалната инвестиция); C_{in} - инсталационни разходи, свързани с пускане в експлоатация на помпата; C_e - енергийни разходи за електрическа енергия по време на работата ѝ; C_o - други разходи, свързани с текущата работа на помпата; C_m - разходи по поддръжката на помпата и ремонтните работи; C_s – производствени загуби от спиране на помпата; C_{env} - разходи, свързани с изпълнение на екологични изисквания; C_d - разходи по демонтажа и изхвърлянето на помпата. Посоченият израз на разходите (1.1) е познат като Life Cycle Cost (LCC) и се отнася за всяка една помпа, независимо от вида и точното ѝ приложение. Най-голям процентен дял от всички разходи, съпътстващи работата на една помпа - от момента на закупуването до демонтажа и изхвърлянето ѝ, има C_e .

Веднага след разходите за електрическа енергия се нареждат първоначалната инвестиция и разходите по поддръжката ѝ. За да бъде коректно пресмятането, в първоначалните разходи C_{ic} следва да се включат цената на помпата, честотния преобразувател, табло за управление и необходими датчици. Разходите за поддръжка са също са важни, независимо от факта, че по време на експлоатационния си живот обикновено една помпа се обслужва сервизно средно два пъти (смяна на уплътнения и/или лагери). Поддръжката на една помпа е функция на използваната преносна среда, спецификите на приложението, конструкцията на помпата и др. Към разходите по поддръжката е коректно да се включат и средствата, необходими за периодична профилактика на машината и евентуално последващата ѝ повторна настройка.

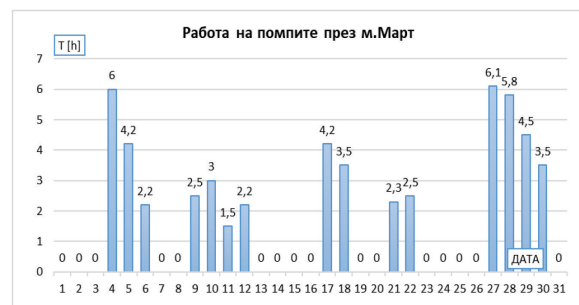
Анализът на работа на една помпа има за цел да понижи в границите на технически възможното стойността на параметъра C_e , т.е. сумата, която се заплаща за електрическа енергия по време на целия експлоатационен цикъл на една помпа. За да се определят възможностите за енергийни спестявания, е необходимо да се построи реалният профил на товара на помпата, който показва какво е действителното натоварване на помпения агрегат. Най-целесъобразно е текущото натоварване на помпата да се наблюдава за дълъг период от време. По този начин полученият товаров график ще бъде най-пълен и коректен.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

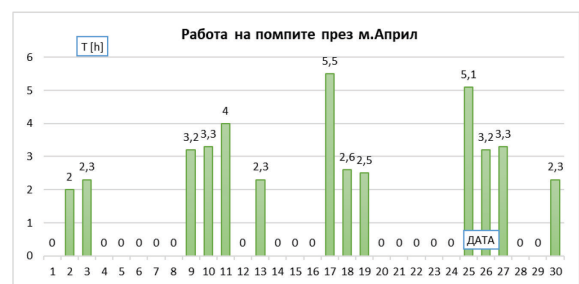
Обект на анализ е работата на помпени агрегати, използвани при разработването и експлоатацията на находища по открит начин. Освен основните разкривни и добивни участъци, се изграждат водоотливни съоръжения, спомагащи за нормалната работа на машини и съоръжения.

В разглеждания случай на водосборен пункт, изграден на първи разкривен хоризонт са монтирани три броя центро-

бежни помпи тип 300Д70 с технически характеристики: $n=1450\text{min}^{-1}$; $Q=300\text{l/s}$; $H=64\text{m}$; $\eta=85\%$; $NPSH=6,4\text{ m}$; $P=315\text{ kW}$. Всяка помпа се задвижва от трифазен електродвигател тип АО355У-4М с технически данни: $P_{\text{н}} = 315\text{ kW}$ – номинална мощност на вала на двигателя; $U_{\text{н}} = 6000\text{ V}$ – номинално захранващо напрежение; $I_{\text{н}} = 38\text{ A}$ – номинален ток; $n=1450\text{ min}^{-1}$ – номинална честота на въртене; $\cos\varphi=0,87$ – фактор на мощността. Електрозахранването е осъществено от кабелна линия, изпълнена с кабел TSCGEWOU 6/10 kV 3x70+35mm². Управлението за пускане и спиране на всяка една помпа се извършва чрез Малогабаритна Модулна Комплектна Разпределителна Уредба (ММКРУ) 6 kV. ММКРУ разполага с три модула - вход 6 kV, изход 6 kV, модул защита и управление на електродвигател. Работата на помпите от водосборен пункт за месеците март и месец април 2024 г. може да се проследи в графиките на фиг. 1 а) и 1 б).



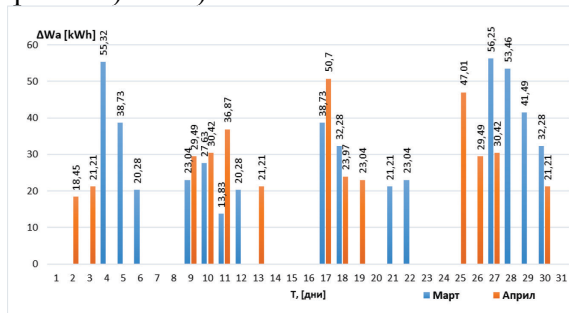
Фиг. 1 а). Месечен профил на натоварването и работните часове на помпите за месец Март, 2024.



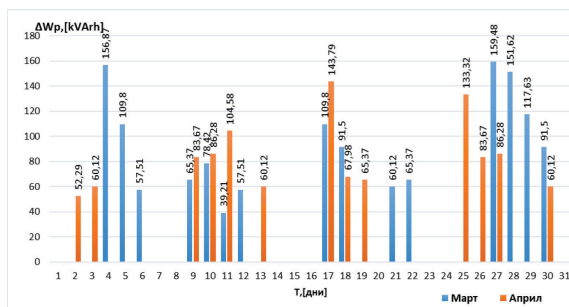
Фиг. 1 б). Месечен профил на натоварването и работните часове на помпите за месец Април, 2024.

Характерна е работа с различен интервал на време и продължителност, ко-

ето се дължи на непостоянния приток на вода във водосборника. С оглед правилна оценка на възможностите за енергийни спестявания, аналитично определяме загубите на активна и реактивна енергия, според отработените от помпените агрегати часове. Загубите са представени на фиг. 2 а) и 2 б).



Фиг. 2 а). Загуби на активна енергия за помпите за месеците Март и Април, 2024.



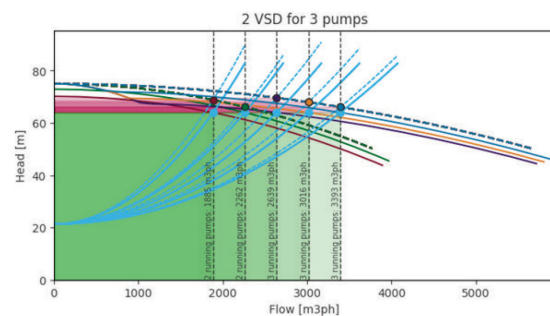
Фиг. 2 б). Загуби на реактивна енергия за помпите за месеците Март и Април, 2024.

От данните и направените изчисления, се потвърждава непостоянния характер с различна продължителност на интервалите на работа на помпените агрегати, т.е. с различна продължителност на включване. Следователно консумираната електрическа енергия и енергийните загуби за различните месеци също са различни.

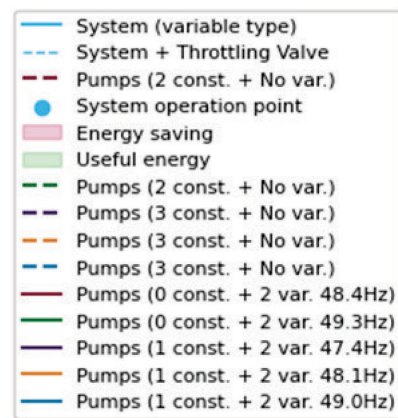
Според получените резултати, енергийните разходи биха могли да се намалят с поддръжката на оптималната работа на помпените агрегати, с по-рядкото пускане, но за по-продължително време, а също така и с въвеждане на честотни регулатори. С тези действия ще бъде подобрен пусковия процес на двигателите и честотата на въртене на двигателите ще бъде съобразно необходимия дебит.

Възможните енергийни спестявания и техния екологичен отпечатък проверя-

ваме чрез софтуерен продукт, [5] при въведени действителни работни параметри: номинален напор 64m, максимален напор 75m, номинален дебит 1257m³/h, номинална скорост 1489 min⁻¹, номинална мощност на агрегата 251.72kW. Определя се натоварването на отделните двигатели при въвеждане на честотно управление, фиг. 3 и фиг. 4. Определят се спестените въглеродни емисии и енергийни спестявания.



Фиг. 3 Натоварване на отделните двигатели при честотно управление.



Фиг. 4. Цветен код към фиг. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общите енергийни разходи при задвижвания с променлива скорост се редуцират с 4%, извършените инвестиции имат 7.1 години срок на изплащане, реализирани са 30 t спестени въглеродни емисии за 1 година (569 g CO₂ eq/kWh). Извършени са проверки за възможни претоварвания при превишена скорост и превишено време на пускане.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по проект към Тех-

*нически университет - Габрово 2404С
“Приложни математически изследвания за
енергийна и икономическа ефективност на
електрообзавеждането в условията на
енергиен преход”.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.motioncontroltips.com/what-are-current-and-future-meps-for-electric-motors/>
- [2] Eurostat Energy Balance, April 2023, <https://energy-efficient->

products.ec.europa.eu/product-list/electric-motors_en

- [3] Document 32019R1781, OJ L 272, 25.10.2019, p. 74–94, <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj>
- [4] Document 32009R0640, OJ L 191, 23.7.2009, p. 26–34, <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/640/oj>
- [5] Schneider Electric software for motor control solutions for processes, machines and buildings, <https://ecostruxure-motor-management.se.app/design>