

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 621.65.004

І. В. Головань, канд.техн.наук, ст.викл. (ІЕД НАН України), В. О. Поліщук, ст.викл. (НТУУ «КПІ»)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДЛИВУ КАР'ЄРУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

I. V. Holovan, cand. sc. (tech.), senior lecturer (IED NAS of Ukraine), V. O. Polishchuk, senior lecturer (NTUU «KPI»)

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF WATER OUTFLOW OF THE PIT BY RESULTS OF COMPLEX MATHEMATICAL MODELLING

Описана математична модель ЕМС водовідливу кар'єру, що реалізовано засобами пакету блочно-орієнтованого моделювання simulink в системі MatLab. Приведені результати чисельного експерименту по дослідженню режиму роботи діючої ЕМС водовідливу Соснівського гранітного кар'єру. За визначеним критерієм (ККД) оптимізації вибраного параметру (частота живлення електричної машини) підвищена енергоефективність досліджуваної системи, що відображено в порівняльній таблиці.

Ключові слова: математична модель, електромеханічна система, водовідлив, кар'єр, енергоефективність

Описана математическая модель ЭМС водоотлива карьера, что реализована средствами пакета блочно-ориентированного моделирования simulink в системе MatLab. Приведены результаты численного эксперимента по исследованию режима работы действующей ЭМС водоотлива Сосновского гранитного карьера. По определенному критерию (КПД) оптимизации выбранного параметра (частота питания электрической машины), повышена энергоэффективность исследуемой системы, что отобразено в сравнительной таблице.

Ключевые слова: математическая модель, электромеханическая система, водоотлив, карьер, энергоэффективность.

The mathematical EMS model of water outflow a pit that is realized by means of a package of block-oriented modeling of simulink in MatLab system is described. Results of numerical experiment on mode work research of operating EMS of water outflow of the Sosnivsky granite pit are given. Behind a certain criterion (CUA) of optimization the chosen parameter (frequency of power supply electric car) energy efficiency of studied system is increased that is displayed in the comparative table.

Keywords: mathematical model, electromechanical system, water outflow, pit, energy efficiency.

Вступ. Система водовідливу кар'єру представляє собою складний комплекс інженерних споруд і електромеханічного обладнання. У зв'язку із високим рівнем споживання електроенергії системою водовідливу, доцільність

функціонування кар'єру буде визначатись в значній мірі ефективністю експлуатації електромеханічної системи водовідливу.

Досягнення високого рівня економічної ефективності, на етапі проектування електромеханічної системи (ЕМС) водовідливу, вимагає використання комплексного математичного моделювання.

Задача комплексного математичного моделювання полягає у всебічному дослідженні комплексу фізичних процесів, що протікають в системі та врахуванні взаємного впливу її складових частин. Використання комплексного математичного моделювання ЕМС водовідливу дає можливість задіяти підходи багатокритеріальної оптимізації, що підвищує ефективність досліджень і значимість отриманих результатів та дає відповідь на питання про доцільність реалізуемого способу удосконалення системи.

Метою роботи є виявлення можливості підвищення енергоефективності ЕМС водовідливу кар'єру, шляхом дослідження її режимів роботи за допомогою комплексної математичної моделі.

Матеріал і результати дослідження. Зручним інструментом реалізації такого дослідження характеристик ЕМС водовідливної установки є бібліотека імітаційного моделювання динамічних систем Simulink програмного комплексу MatLab.

Математична модель ЕМС включає в себе моделі напірного трубопроводу, гідравлічної і електричної машини, валу машин та електричної мережі (Рис.1).

Математична модель елементів ділянок напірного трубопроводу, блок "Hydraulic Pipeline" та "Pipe Bend" пакету розширення Simscape бібліотеки Simulink, враховує втрати на тертя та явище стискання рідини, нехтуючи інерцією рідини, ефектом гідравлічного удару та зміною тиску, що спричинений прискоренням рідини.

Властивості гідравлічної машини, що представляє собою відцентровий насос, задаються робочими характеристиками у вигляді відповідних залежностей, які належать даному насосу (блок Centrifugal Pump пакету розширення Simscape). Дві 3-D характеристики P-Q-W і N-Q-W (де P - напір, Q - подача, W - потужність на валу, N - швидкість обертання валу), що представляються у вигляді поліномів, отримують виходячи з наявності індивідуальної характеристики насосу для двох будь-яких частот обертання робочого колеса [3].

Пакет розширення SimPowerSystems бібліотеки Simulink містить блок "Asynchronous Machine SI Units", що моделює асинхронний двигун з постійними параметрами у відповідності із Т-подібною схемою її заміщення. Похибка отриманих результатів, при дослідженні характеристик машини за такою математичною моделлю, у порівнянні з її каталоговими даними, на всьому діапазоні ковзання може сягати 5-20 %. Тому засобами бібліотеки Simulink та мови програмування MatLab реалізована та використана математична модель асинхронного двигуна, із змінними параметрами схеми заміщення в функції зміни ковзання, струму статора та ротора. Масиви

залежностей параметрів отримані за результатами розрахунку електромагнітного поля машини [1]. Дана модель електричної моделі реалізована в блоці "Subsystem" бібліотеки Simulink під назвою "AD".

Довжина лінії електрокабелю від трансформатора до електричної машини на таких об'єктах може бути значною, що буде спричиняти значне падіння напруги в ньому та великі втрати електричної енергії. Тому в математичній моделі ЕМС, вплив даного фактору на режим роботи враховано, шляхом введення додаткового опору між живленням і електричною машиною (блок "Parallel RLC Branch").

За допомогою блоків "Rotational Spring" та "Rotational Damper" пакета розширення Simscape моделюється вал, шляхом врахування таким чином його жорсткості та в'язкості при крученні.

За допомогою вище описаної математичної моделі змодельовано ЕМС водовідливу Соснівського гранітного кар'єру з метою підвищення її енергоефективності.

Згідно гідрогеологічних даних, сумарний приплив води в кар'єр, на всьому періоді його експлуатації складає 47,5 м³/годину в початковий та 109 м³/годину в кінцевий період експлуатації. Ведення гірничих робіт заплановано на чотирьох добувних горизонтах. Висота кожного добувного горизонту складає 13м. і відповідно до рівня борту кар'єра 21м, 34м, 47м, 61м. Водовідлив здійснюється насосним агрегатом продуктивністю 250-360 м³/годину з напором водяного стовпчика 46-54м, при потужності двигуна 75 кВт. Діаметри труб: для нагнітання – 200 мм, для всмоктування – 250 мм [4].

Водозбірник ємністю 300 м³ розташований на дні другого добувного горизонту кар'єру. Вода з водозбірника після відстоювання механічних домішок видається на борт кар'єру та через трубу довжиною 170м поступає в зливну канаву, а далі самопливом в р. Ірпінь.

При експлуатації кар'єру на третьому і четвертому рівнях добувного горизонту, вода яка поступатиме в забій екскаватора, має відкачуватись пересувною насосною установкою в діючий водозбірник.

Загальний вигляд математичної моделі ЕМС водовідливу кар'єру, засобами бібліотеки Simulink в системі MatLab представлений на рис.1.

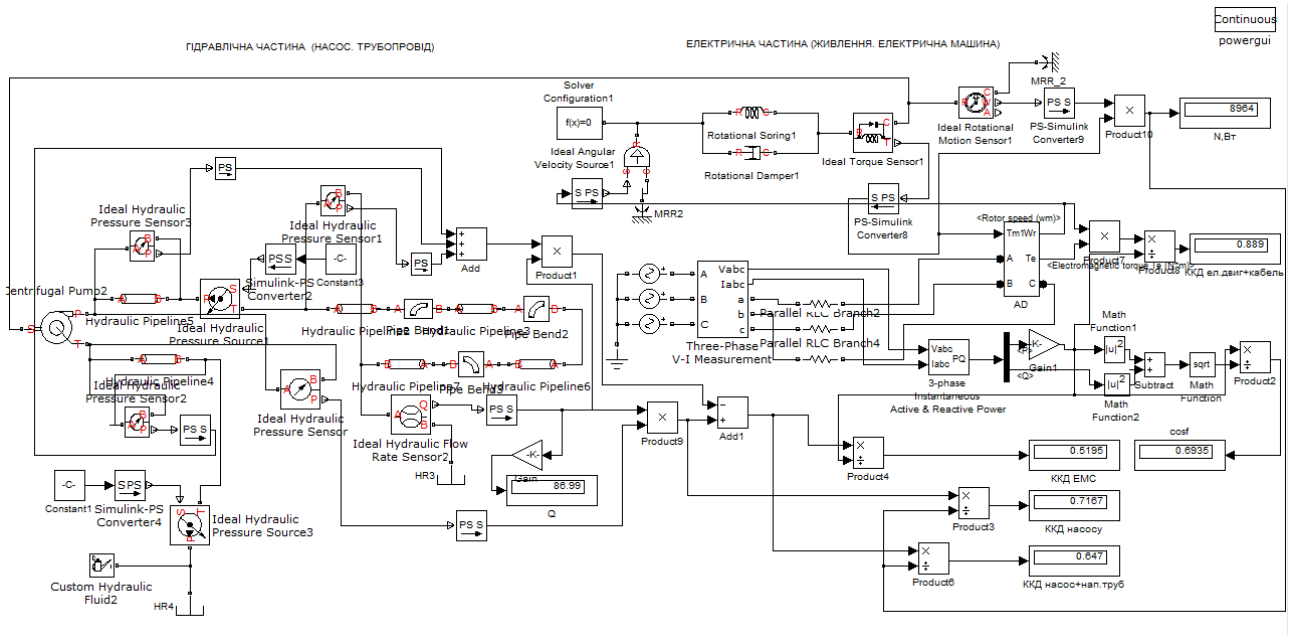


Рис.1. Загальний вигляд математичної моделі ЕМС водовідливу кар'єру

За результатами проведеного чисельного експерименту на даній моделі ККД діючої ЕМС водовідливу, при веденні гірничих робіт на 1-2 видобувних уступах, становив 0.42, $\cos\varphi=0.85$. Коефіцієнт потужності виміряний з фізичного експерименту становить теж 0.85, що свідчить про високу відповідність математичної моделі фізичній.

Підвищити енергоефективність ЕМС водовідливу можливо декількома шляхами та в кожному окремому випадку може бути застосований свій підхід [2]. В нашому випадку підвищення енергоефективності ЕМС можливе в результаті комплексного підходу, який полягає у виборі та обґрунтуванні технологічної схеми водовідливу та знаходженні оптимального режиму її роботи. За критерій оптимізації був вибраний найвагоміший параметр енергоефективності - ККД.

За результатами дослідження режимів роботи діючої ЕМС водовідливу був проведений аналіз ймовірних шляхів підвищення її енергоефективності. В результаті чого пропонується змінити технологічну схему водовідливу, яка полягає в розміщенні водозбірника в низовині поточного добувного горизонту ведення гірничих робіт. Це позбавить в необхідності використання пересувної насосної установки на 3 та 4 рівнях добувного горизонту. При експлуатації насосної установки з 1 по 4 рівень видобувного уступу режим роботи установки буде різко змінюватись, що призведе до зниження її ефективності. Одним з ефективних способів регулювання режиму роботи, для підвищення енергоефективності установки, в даному випадку, може бути використання дискретного частотно-регульованого електроприводу. Частота живлення в моделі змінювалась по відомому закону регулювання $U/f = \text{const}$.

Як вже вище зазначалось, для підвищення ефективності математичного моделювання, необхідно задіяти підходи оптимізації режиму роботи ЕМС. Оптимізація режиму роботи проводилась при варіюванні одного параметра, а

саме частоти живлення електричної машини. Використовуючи алгоритми оптимізації, що закладені в системі Matlab, було знайдено величини частот живлення, які відповідають максимальним значенням ККД ЕМС водовідливу при експлуатації її на кожному добувному горизонті. Отримані значення частот живлення електричної машини для 1-4 добувних горизонтів становлять 50, 60, 70, 80Гц відповідно.

Порівняльна характеристика результатів математичного моделювання ЕМС водовідливу приведена в табл.1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика результатів математичного моделювання ЕМС водовідливу

	Приплив води, м ³ /год	Подача води насосом м ³ /год	Потуж. на валу, кВт	ККД двигуна, %	ККД двигун+ ел.кабель, %	ККД насоса, %	ККД насос+ напір.труб. %	ККД ЕМС, %	
ЕМС водовідливу до модерніз. на 1,2 гор.	47.5-68	245.8	50.4	93.0	85.0	75.0	50.0	42.0	
ЕМС водовідливу після модернізації	1 гор.	47.5	88.5	9.0	89.0	87.7	71.8	64.7	52.0
	2 гор.	68	112	18.3	91.0	89.2	68.5	61.8	51.5
	3 гор.	88	128	28.5	91.7	89.3	68.8	62.1	52.3
	4 гор.	109	138	38.2	92.	89.8	70.0	63.8	54

Висновки

Таким чином, результатом комплексного моделювання ЕМС водовідливу є: підвищення ККД системи до 52-54% при експлуатації її на всіх добувних горизонтах, зменшення потужності електричної і гідравлічної машини з 75кВт до 45 кВт та з 60кВт до 9-38кВт відповідно, що частково компенсує капітальні витрати на перетворювач частоти та виключення в необхідності заміни насосної установки при переході на наступний добувний горизонт. Беручи до уваги, що проектний термін експлуатації кар'єру становить близько 24 років, таке покращення ефективності ЕМС водовідливу переконує в необхідності проведення даної модернізації.

Список використаних джерел

1. Popovych O.M. Holovan I.V. Vyznachennya parametriv zastupnoyi skhemy asynkhronnoho dvyhuna ta yikh neliniynykh zalezhnostey za rezultatamy polovoho

analizu // Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrayiny. Zb.nauk.prats. –2012. – Vyp.31. – S. 38-48.2.

2. Shevchuk S.P. Povyshenie effektivnosti vodootlivnyh ustanovok: Ucheb.posobie. – K.: UMK VO, 1990. – 104s.

3. Shevchuk S.P., Popovych O.M., Svitlytskyy V.M. Nasosni, ventilyatorni ta pnevmatychni ustanovky: pidruchnyk. – K.: NTUU "KPI", 2010. – 308 s.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2014 р.

УДК 621.316.

І. О. Гунько, асп., П. Д. Лежнюк, д.т.н., проф. (ІнЕЕЕМ ВНТУ)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ

І. О. Hunko, postgraduate, P. D. Lezhniuk, doc. of tech. sc., prof. (InPEEN VNTU)

OPTIMAL CONTROL OF NORMAL MODES OF EES BY INCREASING RELIABILITY HIGH-VOLTAGE INPUTS

Розглянуто метод оперативного визначення коефіцієнта залишкового ресурсу трансформатора, який, на відміну від існуючих, шляхом врахування, серед інших, і коефіцієнтів залишкового ресурсу високовольтних вводів, дозволяє зменшити похибку прогнозування технічного стану силового трансформатора та виявляти трансформатори, в яких стан високовольтних вводів обґрунтовано обмежує їх регулювальний ефект.

Ключові слова: оптимальне керування, оливнонаповнені високовольтні вводи, короткозамкнений контур, тепловізор.

Рассмотрен метод оперативного определения коэффициента остаточного ресурса трансформатора, который, в отличие от существующих, путем учета коэффициентов остаточного ресурса высоковольтных вводов, позволяет уменьшить погрешность прогнозирования технического состояния силового трансформатора и определить трансформаторы, в которых состояние высоковольтных вводов обоснованно ограничивает их регулировочный эффект.

Ключевые слова: оптимальное управление, маслонаполненные высоковольтные вводы, короткозамкнутый контур, тепловизор.

Describes the method of determining the coefficient of operative residual life of the transformer, which, unlike existing ones can reduce the error of prediction of technical condition of the power transformer and the coefficients of residual life of high-voltage inputs, and identify transformers in which the state of high-voltage inputs reasonably limits their adjustment effect.

Keywords : optimal control, oil-filled inputs, short-circuit, infrared controller.

Вступ. В наш час особливостями електроенергетичних систем (ЕЕС) стали складність внутрішніх і зовнішніх зв'язків, наявність адаптивних