



УДК 621.32

**INCREASING THE RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF THE
WORK OF DRILLING PUMPS****ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСІВ****Fedoriv M./ Федорів М.Й.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine.**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019*

Анотація. В статті розроблено методу оцінки енергетичної ефективності електроприводів свердловинних насосів, яка відрізняється можливістю підвищити точність розрахунку втрат у занурювальному електродвигуні, кабелі, трансформаторі, фільтрах та станції управління. Наведено розрахунок питомого енергоспоживання свердловини Долинського родовища. Запропоновано впровадження інтелектуальної технології комплексного моніторингу та адаптивного управління механізованим фондом свердловин у реальному часі.

Ключові слова: електропривід, система електропостачання, відцентровий насос, втрати потужності, енергоефективність.

Вступ.

На сучасному етапі питання, пов'язані з підвищенням енергоефективності технологічних процесів нафтовидобутку, стали особливо актуальними. Це зумовлено постійним зростанням тарифів на електроенергію.

Свердловинний механізований видобуток найбільш енергоємний технологічний процес на підприємствах нафтогазового комплексу. Серед всіх способів експлуатації свердловин основним є використання електровідцентрових насосів з приводом від занурювальних двигунів.

Основний текст.

Ефективність витрат енергії при експлуатації свердловин характеризується такими параметрами як питоме енергоспоживання на видобуток одиниці обсягу свердловинної рідини (об'ємне питоме енергоспоживання) або одиницю маси нафти (масове питоме енергоспоживання) [1]. Незважаючи на те, що споживання потужності в будь-кому з елементів насосної установки можна розрахувати по відомих аналітичних виразах, завдання аналізу ефективності експлуатації кожної конкретної свердловини є досить складним завданням. Це пов'язано з тим, що на енергоспоживання впливає безліч технологічних і експлуатаційних параметрів, таких як густина, в'язкість і обводненість свердловинної рідини, склад газу, градієнти температури і тиску по стовбуру свердловини, характеристики встановленого насосного обладнання та інші. Контроль та планування витрат на сьогоднішній день є для нафтовидобувних компаній вимушеним заходом у зв'язку з постійними коливаннями цін на нафту і важкими економічними умовами. Підприємства змушені займатися оптимізацією споживання енергоресурсів своїх технологічних процесів. Самим



енерговитратним технологічним процесом на підприємствах нафтогазового комплексу є свердловинний механізований видобуток [3].

Основними способами свердловинного видобутку нафти є використання установок електровідцентрових насосів (ЕЦН) і штангових глибинних насосів. На даний час, в зв'язку з необхідністю розробки родовищ з в'язкими важковитягуваними запасами починають активно впроваджуватися установки гвинтових насосів з поверхневим або глибинним приводом. Інжекторні та вібраційні насоси використовуються досить рідко експериментальних свердловинах [4]

Розрахунок нормативного питомого енергоспоживання для свердловини Долинського родовища здійснюємо за такими вихідними даними: тип насосу Е-45=1300, занурювальний електродвигун 32-117, глибина спуску 1690 м., динамічний рівень 1600 м., дебіт по рідині 30 м³/добу, дебіт по нафті 12.5 т/добу.

Для визначення потужності що споживається занурювальним електричним двигуном знаходимо корисну потужність:

$$P_{\text{КП}} = p_{\text{необх}} \cdot Q_{\text{с}} = 13,955 \cdot 10^6 \cdot 28 / (24 \cdot 3600) = 4523 \text{ Вт}$$

За характеристикою насоса $\eta = f(Q)$ для поточного значення подачі $Q=30$ м³/добу знаходимо коефіцієнт корисної дії насосу $\eta_{\text{ЕЦН}} = 29\%$.

Споживана насосом потужність з обліком втрат знаходиться за виразом:

$$P_{\text{ЦН}} = \frac{P_{\text{КП}}}{\eta_{\text{ЦН}}} = \frac{4523}{0,29} = 15595 \text{ Вт}$$

Знаходимо споживану електродвигуном активну потужність.

При завантаженні 49,9% коефіцієнт корисної дії двигуна складає 0,81

$$P_{\text{ЗЕД}} = \frac{P_{\text{ЕЦН}} + P_{\text{пр}}}{\eta_{\text{ЗЕД}\phi}} = \frac{15595 + 400}{0,81} = 19746 \text{ Вт.}$$

Для визначення втрат в кабельній лінії визначаємо робочий струм занурювального електродвигуна :

$$I = \frac{P_{\text{ЗЕД}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{19746}{\sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 0,72} = 15,835 \text{ А}$$

Втрати в кабелі складають $\Delta P_{\text{КЛ}} = 985 \text{ Вт.}$

Для визначення втрат потужності в трансформаторі знаходимо потужність навантаження трансформатора:

$$S = \frac{P_{\text{ЗЕД}} + \Delta P_{\text{КЛ}}}{\cos\phi} = \frac{19746 + 985}{0,72} = 23793 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Визначимо втрати потужності в двообмотковому трансформаторі:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \Delta P_{\text{х}} + \Delta P_{\text{к}} \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 = 290 + 1970 \cdot \left(\frac{23793}{100000} \right)^2 = 451,3 \text{ Вт}$$

Втрати потужності в станції управління

$$\Delta P_{\text{СУ}} = (P_{\text{ЗЕД}} + \Delta P_{\text{КЛ}} + \Delta P_{\text{ТР}}) \cdot (1 - \eta_{\text{СУ}}) = (19746 + 985 + 451) \cdot (1 - 0,97) = 635,5 \text{ Вт}$$



Сумарні втрати активної потужності, споживаної УЕЦН складають

$$P_{\Sigma} = \frac{P_{\text{ЗЕД}} + \Delta P_{\text{кл}} + \Delta P_{\text{тр}}}{\eta_{\text{СУ}} \cdot \eta_{\text{мф}} \cdot \eta_{\text{вф}}} = \frac{19746 + 985 + 451}{0,97 \cdot 1 \cdot 1} = 21837 \text{ Вт}$$

Нормативної питомої витрати електроенергії установкою ЕЦН на видобуток

Визначимо об'ємне питома енергоспоживання установки ЕЦН:

$$W_{\text{пит}}^{\text{об}} = \frac{P_{\Sigma}}{Q_{\text{год}}} = \frac{21837}{1,167} = 18,712 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$$

Для визначення масового питомого енергоспоживання установки ЕЦН слід використовувати вираз:

$$W_{\text{пит}}^{\text{мас}} = \frac{P_{\Sigma}}{Q'_{\text{год}}} = \frac{21837}{0,525} = 41,594 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$$

Для приведення питомої витрати електроенергії до підйому рідини з глибини один кілометр використовують формули:

$$W_{\text{пит}}^{\text{об}} = \frac{P_{\Sigma}}{H_{\text{д}} \cdot Q_{\text{год}}} = \frac{21837}{1600 \cdot 1,167} = 11,69 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{км} \cdot \text{м}^3$$

$$W_{\text{пит}}^{\text{мас}} = \frac{P_{\Sigma}}{H_{\text{д}} \cdot Q'_{\text{год}}} = \frac{21837}{1600 \cdot 0,525} = 25,99 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{км} \cdot \text{т}$$

Таким чином, для даної свердловини питома енергоспоживання становить 18,7 кВт·год/м³ свердловинної рідини та 41,6 кВт·год/т нафти. Отримані результати практично збіглися з результатами вимірювань (19,0 кВт·год/м³ і 42,3 кВт·год/т), що підтверджує адекватність запропонованої методики.

Оптимізація енергопостачання полягає, перш за все, в точному оперативному підстроюванні режиму роботи насосної установки під мінливі видобувні можливості пласту при глобальному дистанційному моніторингу та діагностиці параметрів свердловини та насосної установки в реальному часі.

З цією метою пропонується інтелектуальна технологія комплексного моніторингу та адаптивного управління механізованим фондом свердловин у реальному часі. Зазначена технологія представляє один з небагатьох резервів зниження собівартості видобутку нафти та газу. Світова практика зараз називає таку технологію як «Intelligent well technology – IWT»: свердловинні технічні засоби з розвиненими логіко-інформаційними можливостями.

Мета застосування засобів IWT - активне управління процесом розробки пласту в реальному часі, яке має переваги які полягають у скорочення експлуатаційних витрат завдяки управлінню свердловиною без спуско-підйомних операцій та зниження ризиків через невизначеність в геології і поведінці пласту.

Впровадження таких технології пов'язано з необхідністю проведення великого обсягу наукових досліджень з різних проблем, обумовлений як з експлуатацією самої свердловини, так і з експлуатацією обладнання, що обслуговує свердловину.



Основними функціями IWT - систем є: регулювання депресії на пласт; безперервний контроль і управління комплексом «пласт- свердловина - насосна установка»; моніторинг процесів у стовбурі та свердловинній зоні пласта; оперативна інтерпретація даних і моделювання.

Основна інформація надходить від засобів вимірювання та контролю параметрів блоку занурювального насоса: до 30 параметрів кожної свердловини та насосної установки кущового майданчика; а також обчислення до 10 параметрів пласта, свердловин та насосних установок.

Головним об'єктом управління є занурювальний насос. Необхідно забезпечити: дистанційне керування насосними установками: автоматизацію та оптимізацію роботи свердловини; виведення на заданий режим; завдання та підтримка вибірного тиску; забезпечення максимального дебіту свердловини; додаткові сервісні функції: отримання КВД свердловини; отримання індикаторної діаграми свердловини. Більшість параметрів змінюється рахунок зміни продуктивності занурювального насоса. Гнучке управління насосними установками можливо при використанні частотно-регульованого приводу (ЧРП) для приводного двигуна насосної установки.

Режим роботи свердловини задають з допомогою перетворювача частоти (ПЧ), вибираючи робочу точку (коефіцієнт продуктивності свердловини) на фактичній індикаторній діаграмі (кривій притоку), попередньо знятої, наприклад, під час виведення свердловини на режим. По робочій точці визначають потрібний вибірий тиск, на який налаштовується насосна установка шляхом регулювання частоти ЗЕД. При цьому для встановлення та підтримки тиску на прийомі забезпечується необхідна якість перехідного процесу задля уникнення кидків і перерегулювання управляючих впливів і регулювання параметрів, які негативно відбиваються на надійності і довговічності занурювального електродвигуна та відцентрового насоса. Одночасно контролюються граничні значення вібрації корпусу і температура обмоток занурювального електродвигуна.

Режим роботи динамічної системи «пласт - свердловина - насосна установка» встановлюють і підтримують шляхом зміни продуктивності відцентрового насоса за допомогою перетворювача частоти в функції вибірного тиску, що відповідає умові узгодження характеристики закінчення, що визначається продуктивністю насоса і характеристики притоку (реальної індикаторної діаграми свердловини) в заданій робочій точці.

Для забезпечення перелічених вище функцій важливе значення мають характеристики частотно-регульованого приводу занурювального насоса, від яких, в першу чергу, залежить надійність і якість функціонування системи [5].

Застосування у приводі ЧРП моделі ПЧС-300 дозволяє керувати швидкістю приводного електродвигуна ЗЕД занурювального насоса і змінювати продуктивність насоса потрібним чином.

Трифазна напруга живлення від мережі надходить на частотний інвертор із регульованою вихідною частотою ПЧС-300. На виході інвертора встановлені дроселі (у кожній фазі) і трифазний трансформатор, що підвищує ТМПН. Асинхронний трифазний електродвигун ЗЕД приводу занурювального насоса



підключений до вторинних обмоток трансформатора ТМПН кабелем довжиною до 2000 м.

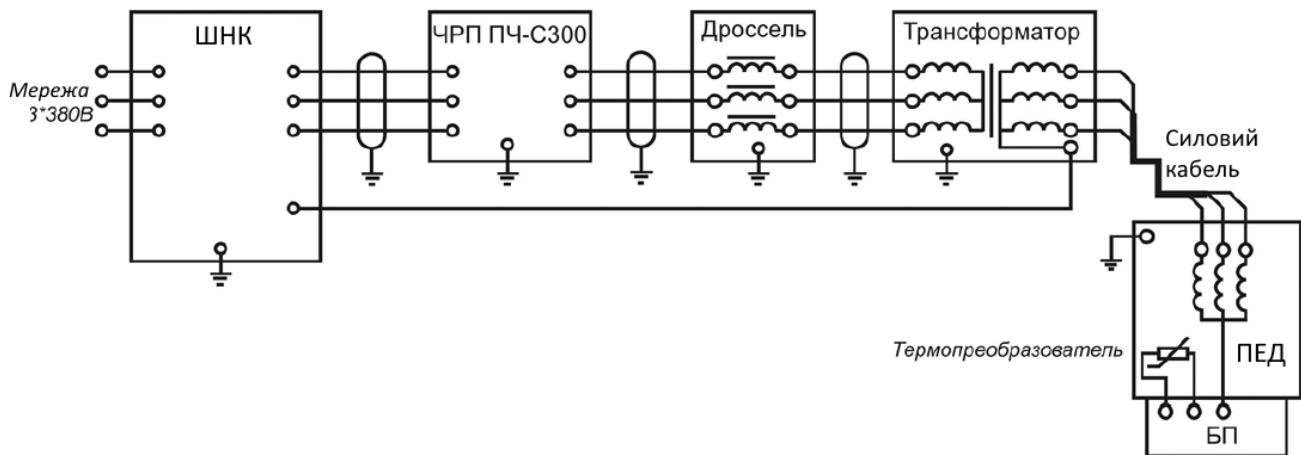


Рисунок 1 Схема приводу занурювального насоса

Конструктивно приводний електродвигун, занурювальний насос та датчики вимірюваних фізичних величин об'єднані в занурювальний модуль, який опускається у свердловину. Занурювальний модуль з'єднаний з іншими компонентами приводу, які встановлюються на поверхні, довгим з'єднувальним кабелем.

Запропоновано технологія безумовно буде основою для підвищення надійності та енергоефективності нафтогазового електрообладнання.

Висновки

1. Розроблено методику оцінки енергетичної ефективності електроприводів свердловинних насосів, яка відрізняється можливістю підвищити точність розрахунку втрат саме в електричній частині установки ЕЦН: у занурювальному електродвигуні, кабелі, трансформаторі, фільтрах та станції управління.

2. Наведено розрахунок питомого енергоспоживання свердловини Долинського родовища по вихідних даних. Здійснено порівняння з даними вимірювань споживаної потужності. Питоме енергоспоживання становить 18,7 кВт·год/м³ свердловинної рідини та 41,6 кВт·год/т нафти. Ці дані практично збіглися з результатами вимірювань (19,0 кВт·год/м³ і 42,3 кВт·год/т).

3. Запропоновано впровадження інтелектуальної технології комплексного моніторингу та адаптивного управління механізованим фондом свердловин у реальному часі. Ця технологія представляє один з небагатьох резервів зниження собівартості видобутку. Світова практика зараз називає таку технологію як «Intelligent well technology – IWT»: свердловинні технічні засоби з розвиненими логіко-інформаційними можливостями.

Література:

1. Надійність електропостачання. Навчальний посібник / М.Й. Федорів, М.І. Михайлів – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. –183 с.



2. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). – К.: вид-во Ліп-К., 2009. – 504 с.

3. Федорів М.Й., Галушак І.Д., Проблема підвищення надійності релейного захисту в електроенергетичних системах . Sworld –International scientific integration : Збірник матеріалів конференції , 2020 с.92-94 (9-10 листопада) (Index Copernicus).

4. Хакимянов, М.И., Хусаїнов, Ф.Ф., Шафіков, И.Н. Проблеми підвищення енергетичних характеристик електроприводів штангових свердловинних насосів // Электротехнические системы и комплексы. – 2017. – №2 (35).– С. 35–40. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-2\(35\)-35-40](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-2(35)-35-40)

5. Хамитов, Р.Н., Ковальов, А.Ю. Управління занурювальними двигунами установк ЕЦН по мінімуму сумарних втрат // Промислова енергетика. 2011. – № 1. – С. 42-46.

***Abstract.** The article develops a methodology for assessing the energy efficiency of electric drives of well pumps, which is distinguished by the possibility of increasing the accuracy of calculating losses in the submersible electric motor, cable, transformer, filters and control station. The calculation of the specific energy consumption of the well of the Dolyna field is given. The introduction of intelligent technology of complex monitoring and adaptive management of the mechanized fund of wells in real time is proposed.*

***Keywords:** electric drive, power supply system, centrifugal pump, power losses, energy efficiency.*