

Література

1. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / Шидловський А.А., Ковалко М.П., Вишневський І.М. та ін. / Під ред. Шидловського А.А., Ковалко М.П. – К.: УЕЗ, 2001. – 400 с.
2. Шишко Г.Г., Енин П.М. Учет расхода газа. – К.: Урожай, 1993. – 310 с.
3. Марченко Б.Г., Приймак М.В. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем // Праці Ін-ту електродинаміки. – К.: ІЕД НАН України, 1999. – Вип.1. – С.129-153.

а також значною мірою і її технічне забезпечення. Вибрана діагностична ознака повинна

4. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. – К.: Наук. думка, 1973. – 191 с.

5. Мацюк О.В., Приймак М.В. Моделі газонавантажень з врахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – №2 (7). – С.64-69.

6. Мацюк О.В., Приймак М.В. Вкладені стаціонарні послідовності періодичних випадкових процесів та їх використання в задачах обробки газонавантажень // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – №4 (9). – С.94-99.

УДК 681.518:622.323

ВИБІР ДІАГНОСТИЧНОЇ ОЗНАКИ СТАНУ ЗАГЛИБНИХ ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ

Л.М.Заміховський, С.В.Зікратий

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48000,
e-mail: ktsu@nung.edu.ua

В статті обоснован вибор діагностичного признака для оценки технического состояния установки ЭЦН и установлен диапазон ее изменения. За результатами теоретических и экспериментальных исследований установлено, что наиболее точно описывает состояние центробежного насоса распределение мощностей гармонических составляющих в спектре крутящего момента на вале погружного электродвигателя. При этом наиболее информативными являются пять первых гармоник.

In the article the choice of the diagnostic criterion for estimation of the technical state of electrical submersible pump unit is grounded and its range of change is established. Basing on results of theoretical and experimental researches there was established that distribution of harmonic components in the spectrum of ESP motor shaft torque describes most precisely the state of ESP. The most informative are the five first harmonics.

У процесі експлуатації нафтових родовищ механізованим способом основний об'єм рідини, що видобувається, припадає на занурювальні електроустановки для видобутку нафти – установки електровідцентрових насосів (УЕВН). Збільшення видобутку та скорочення витрат на ремонт і обслуговування обладнання неможливе без впровадження сучасних технічних засобів (систем) діагностування стану нафтовидобувного обладнання і зумовлене відсутністю об'єктивної інформації про стан установки ЕВН у процесі експлуатації. Останнє призводить до того, що сьогодні установки ЕВН експлуатують до повної відмови (поки не спрацює автоматика на станції управління), внаслідок чого установка стає повністю непридатною до подальшої роботи і вимагає вартісного ремонту.

Однією з найважливіших задач у процесі розробки будь-якої системи діагностування є вибір діагностичної ознаки (ДО) (параметра чи характеристики, зміна яких найбільш точно відображає зміни стану установки). Оскільки від правильного її вибору залежить ефективність та складність майбутньої системи діагностування,

адекватно відображати зміни в об'єкті діагностування та бути зручною у застосуванні.

Для оцінки стану відцентрових насосів (ВН) однією із таких ознак може бути величина крутного моменту на валі приводного занурювального електродвигуна (ЗЕД) [1]. У той самий час специфіка умов експлуатації та відсутність безпосереднього доступу до об'єкта діагностування не дають можливості використати прямі методи для оцінки величини крутного моменту на валі ЗЕД і зумовлюють використання непрямих (побічних) методів. Зокрема, момент на валі M_b можна визначити через потужність на валі ЗЕД P_b , оскільки між ними існує функціональна залежність [2]:

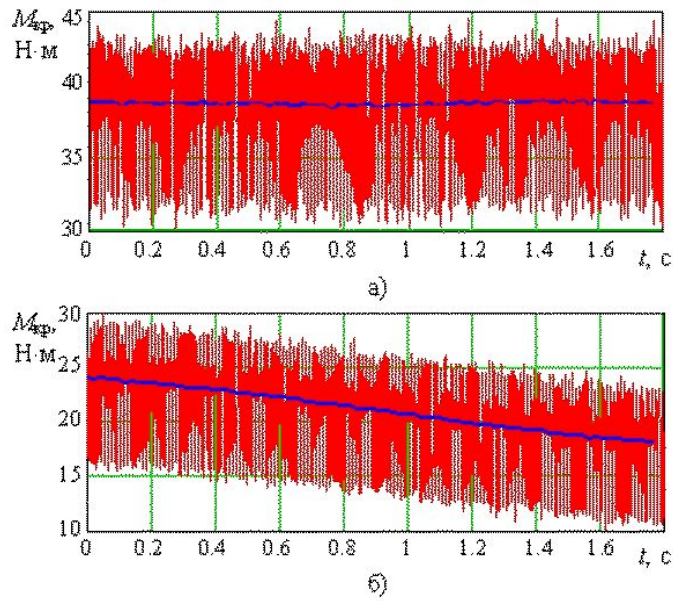
$$M_b = k_n \frac{P_b}{n_{дв}}, \quad (1)$$

де: $n_{дв}$ – швидкість обертання вала двигуна;
 k_n – коефіцієнт пропорційності.

Потужність на валі двигуна P_b можна визначити через споживану установкою ЕВН по-

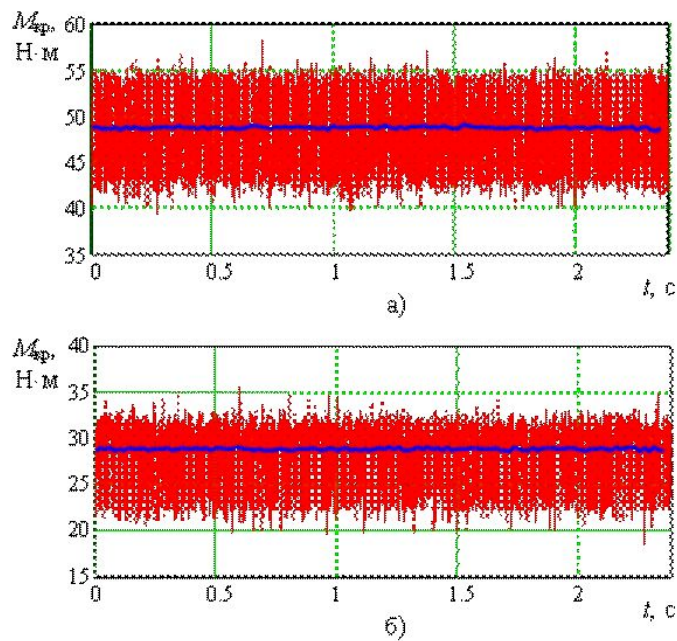
тужність P_c з урахуванням усіх втрат енергії за методом енергетичних діаграм [3]:

Реалізацію залежностей (1) та (2) можна здійснити або програмним шляхом або апаратно [1].



а) новий ВН; б) дефектний ВН (100% зносу)

Рисунок 1 – Моментограми роботи насоса типу EBH5-50-800



а) новий ВН; б) ВН насоса зі зношеними робочими органами (30% зносу)

Рисунок 2 – Моментограми роботи насоса типу EBH5-50-1000

$$P_B = P_C - (\Delta P_{\text{сп}} + \Delta P_{\text{e1}} + \Delta P_{\text{e2}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{дод}} + \Delta P_{\text{хх}}), \quad (2)$$

де: $\Delta P_{\text{сп}}$ – втрати в струмопідводі;
 ΔP_{e1} – втрати в статорі;
 ΔP_{e2} – втрати в роторі,
 $\Delta P_{\text{мех}}$ – механічні втрати;
 $\Delta P_{\text{дод}}$ – додаткові втрати;
 $\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати холостого ходу.

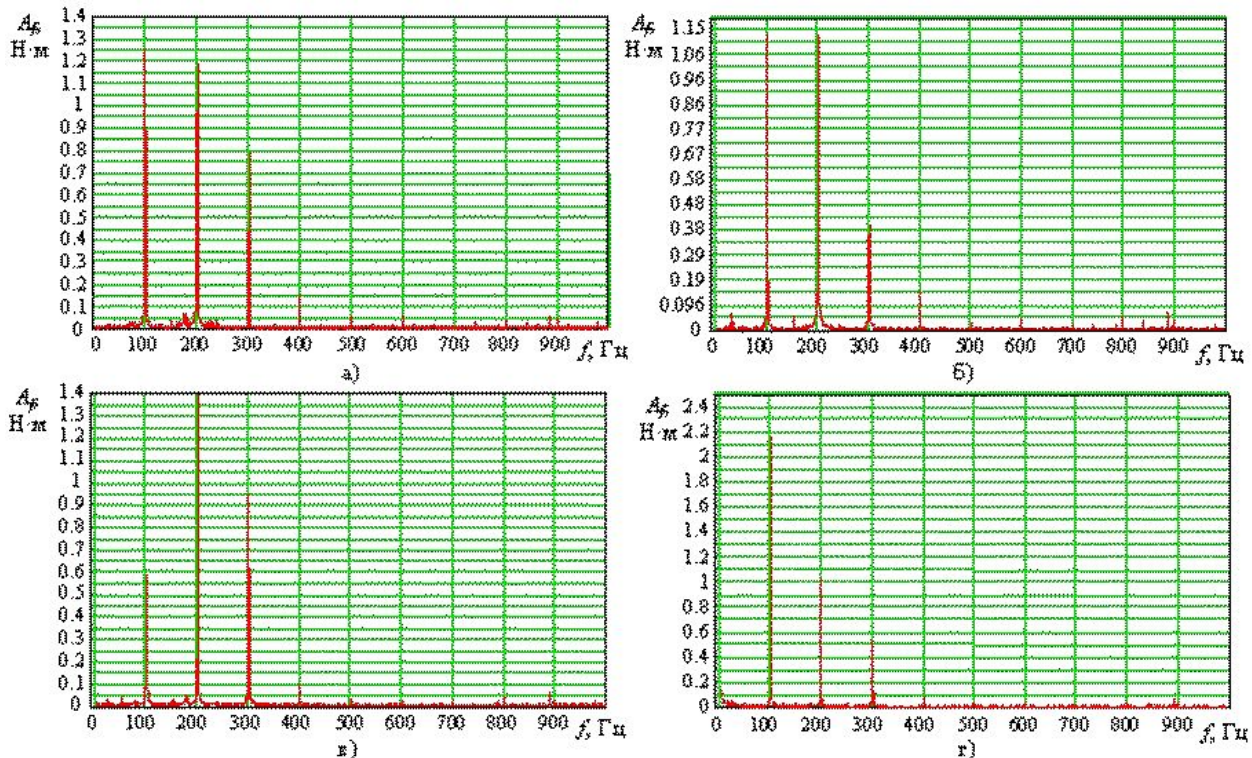
З метою встановлення закономірностей зміни крутного моменту M_ϕ залежно від стану робочих органів ВН, були проведені стендові дослідження на базі прокатно-ремонтного цеху занурювальних електроустановок НГВУ „Чернігівнафтогаз” ВАТ “Укрнафта” (м. Варва) та промислові дослідження на його ж родовищах.

Одержані результати (рис. 1) засвідчили, що навіть для нового насоса (EBH5-50-800)

миттєве значення M_b змінюється в межах до $\pm 18\%$ відносно середнього значення. Для насоса зі зношеними робочими органами окрім миттєвого значення M_b (у межах до $\pm 34\%$) також змінюється і його середнє за період значення крутного моменту (насос з повністю зношеними робочими органами).

значення крутного моменту важко зробити однозначний висновок щодо величини зносу робочих органів ВН, тобто оцінити поточний стан ВН, оскільки для установок різних типорозмірів номінальне значення M_b буде різним.

На рис.3 зображено спектрограми M_b , а в табл. 1 наведено результати визначення його



а) новий ВН; б) ВН після відновлення; в) ВН з частково спрацьованими робочими органами (50% зносу); г) дефектний насос (100% зносу)

Рисунок 3 – Спектрограми крутного моменту насосів ЕВН5-50-800 з різним терміном напрацювання установок

При цьому середнє значення M_b для насоса зі зношеними робочими органами складає лише 56% від цієї ж величини для нового насоса. Зміна значення крутного моменту в межах до 35% відповідає ВН із частково зношеними робочими органами. Зменшення значення крутного моменту для ремонтної УЕВН порівняно з новою можна пояснити початковим притиранням елементів ремонтного насоса, оскільки в ході профілактичного ремонту замінюються лише найбільш зношені робочі органи або замінюються лише підшипники.

Як бачимо на рис. 1 та 2, миттєве значення крутного моменту на валі ЗЕД є неперервною функцією часу, для якої можна застосувати апарат спектрального аналізу з метою більш детального вивчення впливу дефектів вузлів УЕВН на зміну M_b .

Аналогічна ситуація спостерігається також для насоса ЕВН5-5-1000 (рис.2). Зниження моменту в межах 38% (від значення M_b для нового насоса такого ж типорозміру) відповідає насосу з частково зношеними робочими органами.

Аналізуючи одержані результати слід зауважити, що за оцінкою лишень середнього

спектральних складових для нового та дефектного насосів ЕВН5-50-800.

Основною гармонікою спектра крутного моменту є гармоніка частотою $f_0 = 100$ Гц та кратні їй гармоніки $2f_0, 3f_0, 4f_0, 5f_0$, а також субгармонічні складові дробової кратності $1/2f_0, 1/3f_0$. Основна енергія спектра зосереджена в смузі 0-600 Гц. При цьому найбільшу амплітуду мають складові $f_0, 2f_0, 3f_0$. Незначне зростання рівня складових у діапазоні 800-900 Гц, у тому числі субгармонічних складових, зумовлюється проявами електромагнітної вібрації в двигунах.

Порівнюючи одержані спектри (рис. 3, табл. 1) можна зробити висновок про вплив зносових процесів у робочих органах ВН на спектральний склад крутного моменту. Так, процес зношування робочих органів насоса викликає поступове зниження амплітуди основної гармоніки (до 52% – за частково зношених робочих органів) та зростання рівня другої гармоніки. Проте, під час досягнення установкою граничного стану відбувається зворотний процес, рівень першої гармоніки зростає, а другої – знижується. Зміну рівнів інших складових досить важко систематизувати. Погіршення тех-

Таблиця 1 – Залежність рівня спектральних складових у спектрі крутного моменту та його середнього значення від стану ВН типу ЕВН5-50-800

Технічний стан насоса	Момент, Н·м	Рівень спектральних складових, Н·м								
		f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$	$8f_0$	$9f_0$
новий	38,171	1,14	1,18	0,6	0,16	0,06	0,056	0,014	0,035	0,078
ремонтний	32,719	1,135	1,133	0,399	0,151	0,03	0,042	0,025	0,049	0,064
з промислу (50% знос робочих органів)	29,408	0,584	1,388	0,974	0,096	0,029	0,026	0,018	0,038	0,061
з промислу (100% знос робочих органів)	19,354	2,171	1,026	0,534	0,085	0,033	0,03	0,018	0,039	0,07

Таблиця 2 – Обчислене значення діагностичної ознаки за результатами стенових досліджень

Технічний стан насоса	Рівень спектральних складових, Н·м					Значення діагностичної ознаки
	f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	
ЕВН5-50-800:						
– новий	1,14	1,18	0,6	0,16	0,06	14,73
– ремонтний	1,135	1,133	0,399	0,151	0,03	15,74
– з промислу (50% знос робочих органів)	0,584	1,388	0,974	0,096	0,029	24,57
– з промислу (100% знос робочих органів)	2,171	1,026	0,534	0,085	0,033	32,6
ЕВН5-50-1000:						
– новий	1,9	0,72	0,61	0,176	0,044	15,74
– ремонтний	1,44	0,64	0,51	0,11	0,06	16,25
– з промислу (30% знос робочих органів)	1,64	0,8	0,28	0,11	0,05	18,0
ЕВН5-50-1800:						
– з промислу (30% знос робочих органів)	2,544	1,02	0,46	0,15	0,08	18,4

нічного стану УЕВН призводить також до зростання рівня субгармонічних складових $\frac{1}{2}f_0$, $\frac{1}{4}f_0$.

Вказана тенденція спостерігається з незначними відхиленнями і в спектрах крутного моменту на валі ЗЕД для насоса ЕВН5-50-1000 [4].

Аналізуючи одержані результати можна зробити висновок, що знос робочих органів ВН викликає зниження крутного моменту на валі ЗЕД. Причому зниження значення крутного моменту більше ніж на 60% може вказувати на недоцільність подальшої експлуатації УЕВН. Окрім того, зниження значення M_v зумовлюється також впливом експлуатаційних чинників [5], що призводить до неоднозначності висновків стосовно технічного стану УЕВН. Додаткову інформацію про стан установки ЕВН можна одержати зі спектра крутного моменту, оскільки знос ВН викликає зниження основної гармоніки та появу субгармонічних складових дробової кратності, однак загалом така інформація не дає змоги якісно оцінити стан УЕВН.

Проведений детальний аналіз низки даних стенових та промислових досліджень, частина яких наводиться в табл. 1, показує, що не існує визначеної закономірності зміни конкретних гармонічних, субгармонічних чи спектральних складових у спектрі крутного моменту, які б однозначно характеризували величину зносу робочих органів ВН. У той самий час встановлено, що розподіл потужностей гармонічних складових однозначно відображає зміну технічного стану робочих органів ВН. Тому за ДО може бути прийнята сума гармонік, що мають найбільшу амплітудну складову (потужність). Такими гармоніками є перші п'ять. З метою одержання безрозмірної величини ДО і оперування невеликими її числовими значеннями за ДО було прийнято відношення суми рівнів першої, другої та третьої гармонік до суми рівнів четвертої та п'ятої гармонік.

$$\Xi = \frac{A_{f_0} + A_{f_1} + A_{f_2}}{A_{f_3} + A_{f_4}}$$

Таблиця 3 – Обчислене значення діагностичної ознаки за результатами промислових досліджень

Тип УЕВН	№ св.	$T_{\text{напр}}$, діб	Спектральні складові					Діагностичні ознаки
			f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	
ЕВН5-50-1800	90	4	1,46	0,68	0,66	0,06	0,16	13,727
	50	12	3,1	0,42	0,84	0,07	0,16	19,3956
	204	19	2,2	0,8	0,24	0,08	0,12	17,2
	208	57	2,36	0,53	0,63	0,093	0,081	21,346
	54	413	3,19	0,3	0,7	0,08	0,06	30,92
ЕВН5-5-2000	92	4	1,04	0,49	0,2	0,032	0,086	15,66
	80	7	1,01	1,27	0,78	0,16	0,06	14,9
	66	93	2,4	0,18	2,4	0,1	0,1	25,9

де A_{f_i} – рівень відповідних гармонік, $i = \overline{0,4}$.

Обчислені значення та відповідні вихідні дані, одержані за результатами стендових та промислових досліджень, наведено відповідно в табл. 2 та табл. 3.

Аналізуючи таблиці 2 і 3 можна зробити висновок, що значення ДО знаходиться в межах 14–33 відносних одиниць. Відмінному технічному стану УЕВН (початкове значення ДО) відповідає значення ДО, що рівне $\Xi=14$, а за досягнення ДО рівня $\Xi=32$ стан УЕВН відповідає незадовільному та вимагає негайного проведення ремонтних робіт.

Як бачимо на табл. 2 і 3, значення ДО переважно визначається технічним станом робочих органів ВН і не залежить від типорозміру та впливу експлуатаційних чинників. Наближення значення ДО до критичного рівня для УЕВН 5-50-1800, що експлуатувалася у свердловині №54, свідчить про близьку відмову (на момент контролю УЕВН вже відпрацювала 413 діб).

На основі викладеного вище можна зробити висновок, що вибрана діагностична ознака адекватно відображає стан відцентрового насоса і може бути покладена в основу методу діагностування установок ЕВН за крутним моментом на валі ЗЕД.

Література

1. Заміховський Л.М., Зікратий С.В. Система контролю технічного стану установок ЕВН в процесі експлуатації // Тези доп. 3-ої

міжнарод. наук.-техн. конф. "Контроль і управління в технічних системах". – Вінниця, 1995. – Частина I. – С.253-254.

2. Заміховський Л.М., Гринів П.П., Панчук В.Г. Сучасний стан методів і технічних засобів контролю крутного моменту на валі занурювальних двигунів / Івано-Франк. ін-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 1993. – 17 с. – Рук. деп. в ДНТБ України 10.10.93, №2274 – Ук 93.

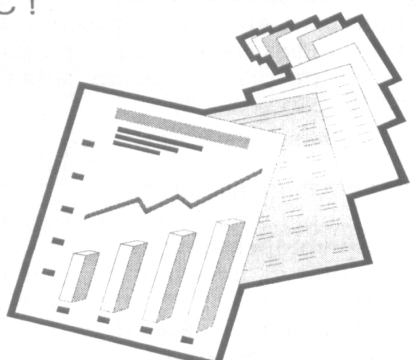
3. Кацман М.М. Электрические машины и трансформаторы. Ч. II. Машины переменного тока. – М.: Высшая школа, 1976. – С.186.


4. Зікратий С.В. Дослідження впливу технічного стану установок ЕВН на величину крутного моменту на валі ЗЕД // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ., 1999. – Вип.36 (т.8). – С.295-301.

5. Заміховський Л.М., Зікратий С.В. Дослідження впливу свердловинних факторів на ефективність експлуатації установки ЕВН та зміну крутного моменту на валі ЗЕД // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ, 2001. – Вип.37 (т.6). – С.194-200.

МИ ЧЕКАЕМО НА ВАС !

МІСЦЕ ВАШОЇ РЕКЛАМИ





З питань виготовлення і розміщення реклами звертатися:
м. Івано-Франківськ, 76019, вул. Карпатська 15, ІФНТУНГ,
Редакція журналу "Розвідка та розробка нафтових і газових
родовищ", тел.: (03422) 42002, тел./факс: (03422) 42139.