

02.01.2005
Р 58

618

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Ровінський Віктор Анатолійович

УДК 622.276.53:621.671(047)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАТМЕТРОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ
ДІАГНОСТУВАННЯ ШТАНГОВИХ ГЛИБИННО-НАСОСНИХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА РОЗРОБКА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

05.11.13.– Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2003

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Дата

31.12.03

Реєстр. №

46.24.197

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Заміховський Леонід Михайлович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

завідувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматиками.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Копей Богдан Володимирович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

професор кафедри нафтогазового обладнання;

кандидат технічних наук

Кійко Людмила Миколаївна,

заступник директора науково-виробничої фірми "Зонд", м. Івано-Франківськ

Провідна установа:

ВАТ "Український нафтогазовий інститут"

Міністерства палива і енергетики України, м.Київ.

спеці
техніч
76019

націон
вул.Ка

Вчени
кандид

... ічня 2004р. о 14⁰⁰ годині на засіданні
... ри Івано-Франківському національному

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ

Івано-Франківського
Івано-Франківськ,

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основою комплектації діючого фонду нафтових свердловин є штангові глибинно-насосні установки (ШГНУ), за допомогою яких видобувається близько половини всієї нафти з родовид, що розташовані на території України. Це пояснюється експлуатаційною простотою ШГНУ, яка забезпечує зручність їх експлуатації. Відмови ШГНУ призводять до необхідності проведення ремонту свердловини, що вимагає значного часу та коштів.

Аналіз сучасного стану методів діагностування ШГНУ показав, що найбільш розповсюдженим залишається динамографічний метод, якому попри беззаперечні переваги (простота, оперативність, точність), притаманний ряд недоліків, пов'язаних із діагностуванням стану наземного обладнання та визначенням ступеня зрівноваженості верстата-качалки (ВК). Вагметрографічні методи діагностування, початок розробки яких припав на 60^{-і} роки ХХ століття, не набули свого поширення через низьку точність виділення діагностичної інформації про стан підземного устаткування та необхідність використання для цього дорогого на той час обчислювального обладнання. Водночас у вагметрограмі міститься важлива додаткова інформація про стан механізмів наземної частини ШГНУ. Виділення інформації про стан підземного та наземного обладнання вимагає підвищеної точності вимірювання вагметрограми та розрахунку з неї моментограми для привідного двигуна ШГНУ. У зв'язку з цим проблема вдосконалення вагметрографічного методу діагностування ШГНУ постає в аспекті підвищення точності вимірювання вагметрограм і є актуальною з погляду народногосподарського значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертації є частиною планових науково-дослідних програм із розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах довготривалої науково-дослідної роботи "Розробка теоретичних та методологічних принципів діагностування обладнання нафтогазового комплексу України", частина науково-дослідної теми 45/1, номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №01980005799, що входить в координаційний план Міністерства освіти і науки "Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої розробки нафти і газу з метою отримання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини". Вказаний план входить у національну програму "Нафта і газ України".

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є подальший розвиток вагметрографічного методу діагностування ШГНУ, спрямованого на підвищення ефективності процесу діагностування шляхом удосконалення відомої та розробки нової математичної моделі верстата-качалки, методів і засобів вимірювання споживаної потужності.

НТБ
ЮНТУНГ



as756

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Провести аналіз відомих методів діагностування ШГНУ, акцентувавши увагу на особливостях ватметрографічних методів діагностування та методах і засобах вимірювання споживаної потужності.
2. Вдосконалити існуючі безінерційні моделі і розробити нову діагностичну модель верстатів-качалок з врахуванням явища інерції рухомих мас зрівноважувачих вантажів.
3. Розробити метод визначення маси зрівноважувачих вантажів верстата-качалки.
4. Розробити методичне, технічне та програмне забезпечення експериментальних досліджень технічного стану ШГНУ та верстата-качалки в процесі експлуатації.
5. Розробити метод діагностування ШГНУ з урахуванням швидкості обертання ротора приводу верстата-качалки.
6. Розробити мікропроцесорну систему для реалізації ватметрографічного методу діагностування ШГНУ і оцінити її точність.
7. Провести промислову апробацію розроблених методу і мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на нафтопромислах ВАТ "Укрнафта".

Об'єктом досліджень є механічний спосіб видобутку нафти за допомогою ШГНУ, при експлуатації яких виникають різноманітні дефекти, що спричиняють аварійні ситуації та зміну стану ШГНУ, який не завжди однозначно можна визначити через технічні особливості загальноприйнятого динамографічного методу діагностування.

Предмет дослідження - методи і технічні засоби діагностування ШГНУ за ватметрограмами.

Методи дослідження. Для вирішення аналізу поставлених у роботі задач використовувалися чисельні методи математичного аналізу; методи технічної діагностики; методи системно- і схемотехніки; методи спектрального та кореляційного аналізу, методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вдосконалена статична діагностична модель верстата-качалки, яка дозволяє підвищити точність отримання динамограм у перерахунку з ватметрограм і тим самим збільшити вірогідність оцінки стану заглибного насоса ШГНУ.
2. Вперше створена динамічна діагностична модель верстата-качалки, яка враховує моменти інерції зрівноважувачих вантажів верстата-качалки та ротора її привідного електродвигуна, що дозволяє підвищити на 1...5 % точність оцінки стану заглибного насоса ШГНУ при роботі її в динамічному режимі.
3. Встановлений взаємозв'язок зміни ковзання ротора електродвигуна верстата-качалки від дії навантаження на штангову колону, зумовленого станом заглибного насоса, на основі якого

розроблено метод діагностування ШГНУ за швидкісними характеристиками.

4. Вперше розроблено непрямий метод визначення маси зрівноважуючих вантажів верстата-качалки, використання якого дозволяє підвищити точність перерахунку ватметрограми в динамограму та проводити операції зрівноваження верстата-качалки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці алгоритмів: діагностування ШГНУ за ватметрограмами, визначення мас зрівноважуючих вантажів верстата-качалки та точного вимірювання потужності у межах мінімальних значень;
- створенні первинного перетворювача споживаної потужності для електроприводу верстата-качалки, який може використовуватися і для вимірювання крутного моменту на роторах асинхронних електродвигунів електроприводів механізмів об'єктів нафтогазового комплексу;
- розробці мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ за ватметрографічним методом, що дозволяє підвищити вірогідність постановки діагнозу про її стан;
- створенні програмного забезпечення мовами CodeVision AVR C та Delphi, системи діагностування ШГНУ, що дозволяє реалізувати розроблені алгоритми визначення стану ШГНУ і зрівноваженості верстата-качалки.

Розроблений метод і мікропроцесорна система діагностування пройшли промислову апробацію на свердловинах 557, 560, 1604 НГВУ "Бориславнафтогаз" та свердловинах Б-320, Б-588, Б-420, Б-463 НГВУ "Надвірнанафтогаз" і прийняті до подальшого впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень використано в навчальному плані – в робочих програмах дисциплін: "Основи теорії надійності і технічної діагностики систем", "Методи і засоби діагностування об'єктів нафтогазового комплексу" та "Проектування систем діагностування", які читаються для студентів спеціальності 7.091401 – "Системи управління та автоматики".

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Проаналізовані особливості побудови вимірювачів потужності електродвигунів для діагностування ШГНУ [1]. Розроблено і досліджено вимірювач потужності приводу верстатів-качалок [2], розглянуто особливості процесу діагностування підземного нафтового обладнання [3]. У роботах, опублікованих у співавторстві, запропоновані конструкції чутливого елементу тензометричного давача [4, 5] та схемні рішення локальної системи діагностування ШГНУ [6]; проведено аналіз схемотехнічних рішень системи на базі ЕОМ для експериментальних досліджень [7] та її макетування з АЦП на основі мікросхеми AD7714 [8]; проаналізовані способи одержання інформації при діагностуванні зрівноваженості верстатів-качалок [9], запропоновано метод експериментального визначення мас зрівноважуючих вантажів верстатів-качалок [10], проведена мінімізація вимірювальних схем апаратної частини [11];

змодельовано похибки цифрових ватметричних систем [12]; вдосконалена статична модель верстата-качалки [13] та запропоновано спосіб побудови динамографічного давача [14].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XVI, XVII, XVIII та XIX міжнародних міжвузівських школах-семінарах "Методи і засоби технічної діагностики" (м. Івано-Франківськ, 1999, 2001, 2003 рр. та м. Йошкар-Ола, 2000, 2002 рр.); 9-^т міжнародній конференції "Сучасні методи і засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики" (м. Ялта, 2001р.); 3-^т науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2002р.); науково-технічній конференції "Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів Леотест-2003" (м. Славське, 2003р.); 4-^т національній науково-технічній конференції "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (м. Київ, 2003р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики (2000 -- 2003 рр.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 14 робіт, із них 3 одноосібні.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, викладених на 124 сторінках тексту, 48 рисунків, 1 таблиці, списку використаних джерел, який містить 99 найменувань, та 12 додатків на 44 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність задачі, показано зв'язок роботи з науковими програмами, визначена мета і задачі досліджень та сформульована наукова новизна отриманих результатів.

У *першому розділі* проведений аналіз традиційних методів діагностування ШГНУ. Встановлено, що загальноновживаним є метод розпізнавання дефектів ШГНУ безпосередньо за характерними ознаками форми кривої динамограми. Його застосовують у поєднанні з візуальним розпізнаванням динамограм. На основі цього методу розроблені алгоритми розрахунку плунжерних динамограм, які більш адекватно описують процеси в підземній частині ШГНУ, та автоматичні і автоматизовані алгоритми визначення технічного стану ШГНУ.

Здійснено аналіз особливостей методів діагностування ШГНУ за ватметрограмами та перспектив їх розвитку. Показано, що ватметрографічні методи не знайшли свого широкого впровадження в складі мобільних систем діагностування ШГНУ внаслідок принципово нижчої точності виділення діагностичної інформації з корисного сигналу. Водночас такі методи є більш перспективними для побудови стаціонарних та напівстаціонарних систем діагностування ШГНУ

завдяки можливості одержання додаткової інформації про стан верстата-качалки та його зрівноваженість.

Проведений аналіз існуючої інформації про технічні засоби, дія яких ґрунтується на вагметрографічних методах, свідчить, що роботи в цьому напрямку ведуться й за кордоном, однак наявна інформація не дозволяє визначити стадію цих робіт і їх результативність.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

У *другому розділі* розглянуті теоретичні передумови вдосконалення вагметрографічного методу діагностування. Аналіз відомих математичних залежностей, які описують механізм верстатів-качалок та придатні для перетворення "вагметрограма/динамограма", показав, що такий опис виконується зі спрощеннями з метою зменшення кількості числових розрахунків. Була розроблена вдосконала модель верстата-качалки, яка враховує явища інерції рухомих мас зрівноважуючих вантажів у відповідності до спрощеної кінематичної схеми (див. рис. 1).

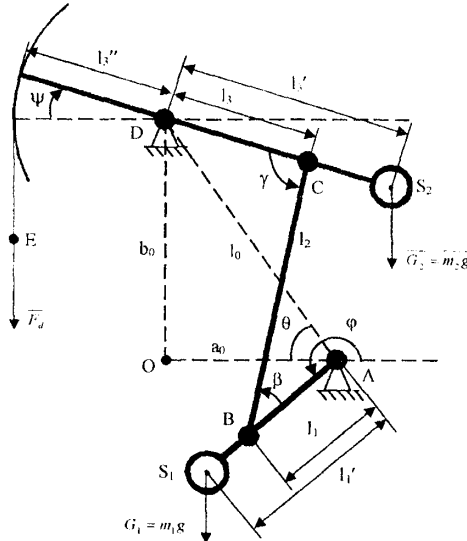


Рис. 1. Спрощена кінематична схема верстата-качалки

Залежність зусилля від крутного моменту на валу кривошипа, який у свою чергу пропорційний до споживаної електричної потужності, може бути описана наступною залежністю:

$$F_d = -G_2 \frac{v_{S2} \cos \alpha_2}{v_E \cos \alpha} - G_1 \frac{v_{S1} \cos \alpha_1}{v_E \cos \alpha} - \frac{M}{(v_E \cos \alpha) / \omega_1} - \phi_2 \frac{v_{S2} \cos \alpha_2'}{v_E \cos \alpha} - \phi_1 \frac{v_{S2} \cos \alpha_1'}{v_E \cos \alpha} - \frac{(v_{S2} \cos \alpha_2'') M_{\#1}}{(v_E \cos \alpha) / \omega_1}, \quad (1)$$

де v_E, v_{S1}, v_{S2} - швидкості точок E, S_2, S_1 ; G_1, G_2 - ваги противаг, $G_1 = m_1 g, G_2 = m_2 g$;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; M – зрівноважуючий момент, прикладений до кривошипа зі сторони електродвигуна; ϕ_1, ϕ_2 – сили інерції мас m_1 та m_2 ; ω_1 – кутова швидкість обертання кривошипа; $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ – кути відповідно між векторами \vec{F}_d і \vec{v}_E , \vec{G}_1 і \vec{v}_{s1} , \vec{G}_2 і \vec{v}_{s2} ; $\alpha'_1, \alpha''_1, \alpha'_2$ – кути відповідно між векторами $\vec{\phi}_1$ і \vec{v}_{s1} ; M_{ϕ_1} – момент сил інерції всіх рухомих мас, що знаходяться між кривошипом і двигуном, включаючи і масу ротора двигуна ($\dot{M}_{\phi_1} = -\vec{e}_1 J^* \omega$, \vec{e}_1 – кутове прискорення кривошипа, J^* – зведений момент інерції всіх рухомих мас між кривошипом і електродвигуном при зведенні до кривошипного вала). Більшість складових виразу (1) представляються через відомі геометричні розміри верстата-качалки та зведені маси зрівноважуючих вантажів.

При практичному використанні формули (1) виявлена її критичність щодо точності представлення вхідних даних, що пов'язано з особливостями проведення чисельного диференціювання. Тому була розроблена модель, яка не враховує явища інерційності зрівноважуючих вантажів, однак, на відміну від відомих аналогів, враховує криволінійність руху точки з'єднання балансира з шатуном і містить значно меншу кількість обчислень. Для такого випадку показано, що залежність між навантаженням на полірований шток $F_d(t)$ та крутним моментом на валу привідного електродвигуна $Mr(t)$ описується формулою

$$F_d(t) = \frac{1}{l_1 g} \left[\frac{l_1' m_1 g \cos(\varphi(t)) - \frac{Mr(t)}{l_1}}{\sin(\beta(\varphi(t)))} - l_1 \sin \gamma(\varphi(t)) + l_1' m_2 g \cos(\psi(\varphi(t))) \right], \quad (2)$$

де

$$\beta(\varphi) = \arctg \left(\frac{kCB(\varphi) - kAB(\varphi)}{1 + kAB(\varphi)kCB(\varphi)} \right) - \text{кут між кривошипом і шатуном,}$$

$$\gamma(\varphi) = \begin{cases} \pi - \arctg \left(\frac{kDC(\varphi) - kCB(\varphi)}{1 + kDC(\varphi)kCB(\varphi)} \right), & \text{якщо } \arctg \left(\frac{kDC(\varphi) - kCB(\varphi)}{1 + kDC(\varphi)kCB(\varphi)} \right) > 0 \\ -\arctg \left(\frac{kDC(\varphi) - kCB(\varphi)}{1 + kDC(\varphi)kCB(\varphi)} \right), & \text{якщо } \arctg \left(\frac{kDC(\varphi) - kCB(\varphi)}{1 + kDC(\varphi)kCB(\varphi)} \right) \leq 0 \end{cases}$$

- кут між балансиром і шатуном,

$$kAB(\varphi) = l_1 \text{ctg}(\varphi), \quad kDC(\varphi) = \frac{b_0 - \gamma C(\varphi)}{-a_0 - xC(\varphi)}, \quad kCB(\varphi) = \frac{l_1 \cos(\varphi) - \gamma C(\varphi)}{l_1 \sin(\varphi) - xC(\varphi)}$$

- кутові коефіцієнти прямих АВ, DC та СВ,

$$\begin{cases} xC(\varphi) = -a_0 + l_1 \cos \psi(\varphi) \\ \gamma C(\varphi) = b_0 - l_1 \sin \psi(\varphi) \end{cases} - \text{координати точки C,}$$

$$\psi(\varphi) = \arcsin \left[\frac{2l_1 l_0 (\sin \varphi \cdot \sin \theta - \cos \varphi \cdot \cos \theta) - l_1^2 - l_0^2 - l_1^2 + l_2^2}{\sqrt{4l_1^2 ((-l_1 \cdot \cos \varphi - l_0 \cdot \cos \theta)^2 + (l_1 \cdot \sin \varphi - l_0 \cdot \sin \theta)^2)}} \right] - \operatorname{arctg} \left[\frac{l_1 \cdot \cos \varphi - l_0 \cdot \cos \theta}{l_1 \cdot \sin \varphi - l_0 \cdot \sin \theta} \right]$$

- кут повороту балансира.

Проаналізовано особливості визначення механічного моменту редуктора верстата-качалки за вимірюванням споживаної електричної потужності його привідного двигуна. Встановлено, що вимірювання швидкості ротора знижує похибку розрахунку крутного моменту на 0,5...2,5% в залежності від типорозміру електродвигуна.

У *третьому розділі* здійснена розробка діагностичного забезпечення експериментальних досліджень ватметрографічного методу. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень із метою виявлення меж забезпечення необхідної точності вимірюваних ватметрографічних залежностей, достатніх для здійснення перетворення "ватметрограма/динамограма". Методика розроблена з урахуванням особливостей експлуатації нафтовидобувних свердловин та вимірювальних технічних засобів.

Проведене числове моделювання, яке доводить необхідність одержання точних абсолютних значень постійної складової крутного моменту привідного електродвигуна ІПГУ для можливості здійснення розрахунку динамограми з експериментальних ватметрографічних залежностей. Сутність його полягає в наступному. Для відомого сигналу динамограми, представленої в часі, на основі залежності $W(t) = f(Fd(t))$, вираженої з формули (2), розраховується ватметрограма. Далі за залежністю (2) здійснюється розрахунок $Fd(t) = f(W(t))$, $Fd(t) = f(W(t) + \Delta W)$ та $Fd(t) = f(W(t) - \Delta W)$. Рис. 2 ілюструє результати проведених розрахунків для трьох випадків: точних абсолютних значень ватметрограми та додаткових адитивних похибок ± 1 кВт.

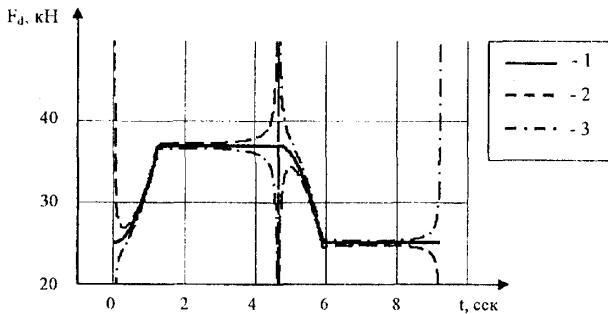


Рис. 2. Результати розрахунку динамограм із ватметрограми за наявності постійних змінень +1кВт (2), -1кВт (3) та без змінення (1)

Проведене моделювання для штучно синтезованих динамограм, які відображають типові

дефекти ШГНУ, а також для експериментально одержаних динамограм, дозволяє зробити висновок про типовість впливу постійного зміщення ватметрограми на форму розрахованої динамограми – утворення асимптотичних розривів на початку та на кінці циклу качання верстата-качалки. Напрямок розривів визначає знак паразитного зміщення ватметрограми. Це дає змогу визначити величину і знак паразитного зміщення та здійснити його корекцію.

Проведена розробка методу діагностування за швидкісними характеристиками приводу ВК, який дозволяє одержувати моментограму на роторі електродвигуна на основі вимірювання його швидкості обертання. Такий метод є доповнюючим до ватметрографічного, оскільки дані від давача обертів електродвигуна використовуються для збільшення точності розрахунку моментограми із ватметрограми. У випадку відмови ватметрографа, розрахунок моментограми здійснюється без вимірювання електричної потужності, що дозволяє збільшити надійність системи діагностування. Метод реалізується в два етапи. На першому етапі проводиться калібрування, під час якого одночасно вимірюються швидкість обертання ротора двигуна та динамограма за цикл качання ШГНУ, після чого обраховуються значення корисного гальмівного моменту на роторі двигуна для кожної точки динамограми та здійснюється інтерполяція залежності між моментом і швидкістю обертання. На другому етапі проводиться вимірювання, під час якого за виміряною швидкістю обертання протягом циклу качання з цієї залежності визначається корисний гальмівний момент ротора і, при необхідності, здійснюється розрахунок динамограми. Перший етап має місце під час проведення ремонтно-профілактичних робіт на ШГНУ, другий – в процесі експлуатації ШГНУ.

Здійснено розробку методики визначення мас зрівноважуючих вантажів. Визначення мас вантажів для кінематичної схеми заміщення верстата-качалки є важливою проблемою при вирішенні задачі аналітичного розрахунку динамограм за ватметрограмами та проведенні процедури балансування верстата-качалки. Задача балансування верстата-качалки полягає в правильному виборі моментів зрівноважуючих вантажів із таким розрахунком, щоб забезпечити якомога більш рівномірний розподіл навантаження та мінімізувати середню потужність споживання ШГНУ. Суть проблеми полягає в тому, що в залежності від типу та конструкції верстата-качалки до значень маси зрівноважуючих вантажів, навіть за умови точно відомої їх величини, слід додати (або відняти) маси незрівноважених у вільному стані несучих конструкцій – головки балансира, кривошипа та шатуна. У такому разі це значення може бути використане для розрахунку на основі залежностей (1) та (2). Суть розробленого методу полягає в чисельному підборі маси вантажів за одночасно знятими динамо- та ватметрографічними залежностями. Для кожного значення пробної маси здійснюється розрахунок ватметрограми за динамограмою і порівнюється з експериментальною ватметрографічною залежністю шляхом знаходження коефіцієнта кореляції. Вибирається те значення маси, для якого величина коефіцієнта кореляції

максимальна. Виходячи з цього, реалізовано алгоритмічно метод знаходження невідомих мас зрівноважуючих вантажів верстата-качалки за допомогою чисельного методу пошуку екстремуму функції.

Розроблена система збору даних, призначена для проведення експериментальних досліджень. Її ядром є стандартна ЕОМ типу IBM PC, яка здійснює зчитування та запис динамограм, ватметрограм та сигналу переміщення ВК. Для підвищення роздільної здатності за часом з 55 до 1 мс до складу системи введений додатковий таймер, виконаний на мікроконтролері. Давач переміщення полірованого штифта сконструйований із використанням оптичного перетворювача "кут повороту/код" і забезпечує похибку вимірювання переміщення 0,25%. Розроблена система є придатною для одержання дослідних даних.

У *четвертому розділі* здійснений порівняльний аналіз розробленої та відомих безінерційних моделей верстатів-качалок. На основі дослідних даних, одержаних із діючих свердловин Надвірнянського та Бориславського НГВУ, проведено перерахунок динамограм за ватметрографічними залежностями із використанням відомих та розроблених аналітичних залежностей. При проведенні експериментів одночасно здійснювався запис динамограми (за допомогою контрольного динамографа) та ватметрограми (за допомогою розробленої системи збору даних), що дало можливість порівнювати одержані динамограми з реальною. Один із порівняльних розрахунків динамограм наведений на рис. 3.

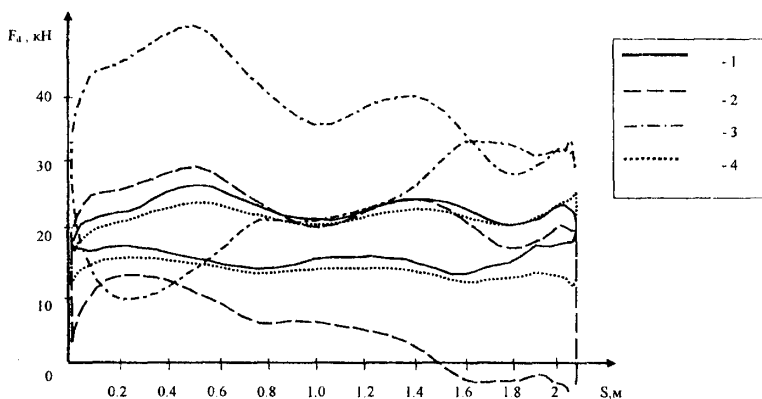


Рис. 3. Експериментальна динамограма, знята на свердловині Б-320 НГВУ "Надвірнанафтогаз" (1) та результати розрахунків динамограм за відомими (2, 3) та розробленою (4) безінерційними моделями

Як видно з рис. 3, найбільш близькою до знятої експериментальної динамограми, розрахована на основі запропонованої моделі.

Аналогічно проведений перерахунок динамограм із ватметрографічних залежностей з

використанням для розрахунку розробленої динамічної моделі верстата-качалки.

Аналіз даних здійснено за допомогою середовища MathCAD, де після зчитування цифрових ватметрографічних даних, збержених у файлі, здійснене перетворення до динамограм, їх відображення у вигляді графіків та розрахунок коефіцієнта кореляції (коефіцієнта подібності) між одержаними динамограмами та динамограмами, знятими контрольним динамографом. Результати обрахунків, наведені в табл. 1, свідчать про підвищення точності розрахунку динамограм при використанні запропонованих моделей.

Таблиця 1. Значення коефіцієнта кореляції між динамограмами, знятими динамографом, та обрхованими за відомими і розробленими моделями

Свердловина, дата проведення експерименту	Значення коефіцієнта кореляції			
	модель Л.Ф.Куліковського та В.О.Крічке	модель Н.Т.Абдуласва та ін.	безінерційна модель (2)	інерційна модель (1)
Свердловини НГВУ "Надвірна нафтогаз"				
Б-320 (07.11.01)	0.797	0.617	0.815	0.924
Б-320 (05.06.02)	0.838	0.701	0.9	0.95
Б-320 (13.06.02)	0.778	0.687	0.751	0.851
Б-420 (24.12.03)	0.781	0.16	0.926	0.944
Б-588 (19.06.02)	0.568	0.483	0.888	0.903
Б-588 (27.03.03)	0.715	0.616	0.715	0.767
Свердловини НГВУ "Борислав нафтогаз"				
560 (15.03.02)	0.18	-0.327	0.825	0.864
557 (15.03.02)	0.28	-0.277	0.693	0.711
1604 (04.04.02)	0.725	0.726	0.78	0.812

Проведена перевірка швидкісного методу діагностування ШГНУ шляхом імітаційного моделювання за допомогою програмного симулятора MathLAB. На вхід стандартної моделі асинхронного електродвигуна були подані оцифровані значення сигналу корисного гальмівного моменту $M(t)$, одержані в результаті експериментальних вимірювань. Досліджувалась поведінка функцій швидкості обертання ротора електродвигуна $\omega(t)$ та споживаної електричної потужності $P(t)$. Результати моделювання наведені на рис. 4.

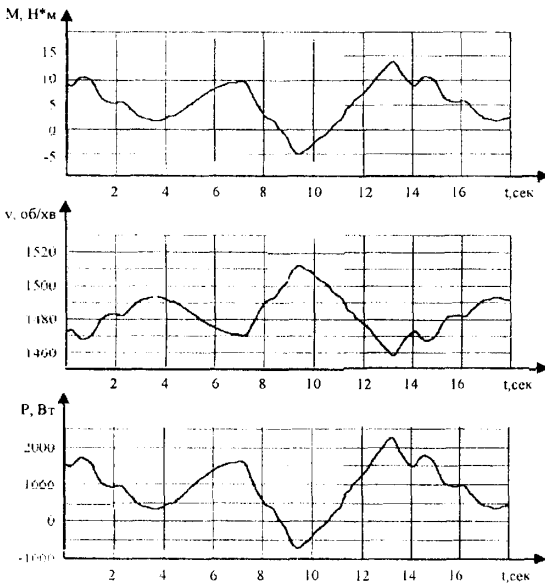


Рис. 4. Результати моделювання функцій $P=f(M)$ і $v=f(M)$, представлені у вигляді часових характеристик

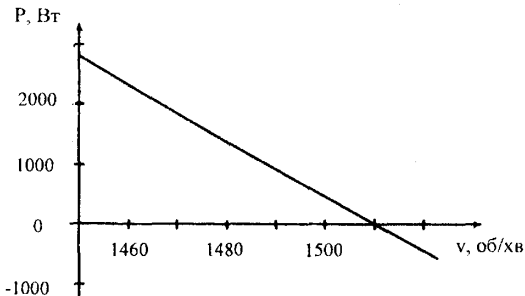


Рис. 5. Графік залежності споживаної потужності P від швидкості обертання ротора електродвигуна v

електродвигуна ШГНУ.

Проведена перевірка методики визначення мас зрівноважуючих вантажів на основі експериментальних даних. Для свердловини Б-320, оснащеної верстатом-качалкою типу СКН-10-3312, у результаті проведених розрахунків одержані графічні залежності, наведені на рис. 6.

З рис. 4 видно, що функція швидкості обертання $v(t)$ є обернено-пропорційною до вхідного корисного гальмівного моменту $M(t)$ та споживаної електричної потужності $P(t)$ і тому може бути використана як діагностична ознака. При цьому залежність $P(v)$, одержана шляхом вилучення змінної часу t , практично лінійна, як це представлено на рис. 5.

Проведено аналіз частотних характеристик споживаної потужності електроприводу верстатів-качалок. Підтверджено, що розклад в спектр у базисі Фур'є усередненого на періоді 50 Гц сигналу споживаної потужності та струму дозволяє виділити інформацію про стан редуктора та електрообладнання ШГНУ. Для підвищення верхньої межі смуги пропускання сигналу, який містить діагностичну інформацію, зроблено висновок про донільність проведення розкладу в спектр сигналу струму споживання або миттєвої потужності привідного

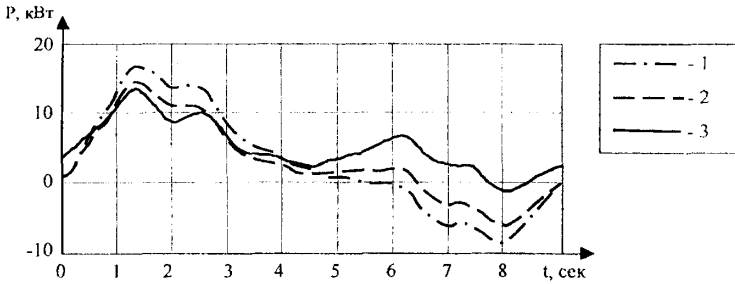


Рис. 6. Ватмстрограми: 1 - виміряна експериментально, 2 - розрахована для маси 2400 кг, 3 - розрахована для маси 2340 кг

У цьому випадку коефіцієнт кореляції становить $K_k=0.902$ при масі вантажу на кривошійі 2340 кг. Розрахунок ватмстрограми здійснений за залежностями $W(t) = f(Fd(t))$, вираженої з (2), з сигналу динамограми, знятої синхронно з ватмстрограмою. Здійснивши обчислення для випадку маси вантажу 2400 кг (номінальна маса згідно технічної документації), одержано коефіцієнт кореляції, що становить $K_k=0.878$, при цьому візуально помітні відмінності в графічних залежностях на рис. 6. Проведений розрахунок коефіцієнта кореляції для деякого діапазону мас вантажів, представлений на рис. 7.

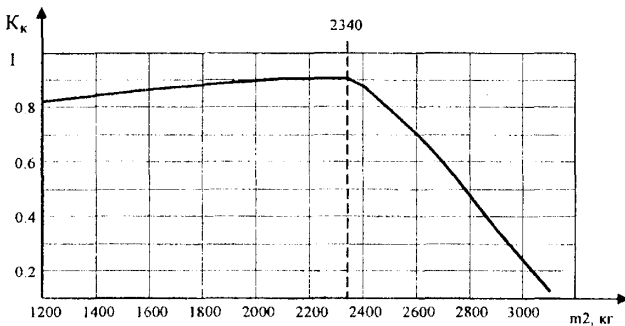


Рис. 7. Графік залежності коефіцієнту кореляції K_k від маси вантажу на кривошійі m_2 для свердловини Б-320

Наявність максимуму забезпечує можливість реалізації числового алгоритму його знаходження.

Слід зауважити, що визначена в такий спосіб маса вантажу є не абсолютна (одержана в результаті прямого зважування), а зведена, тобто враховує маси інших елементів ВК, що впливають на співвідношення моментів у механічній системі. Обчислене за такою методикою

значення маси при розрахунках слід підставляти у залежність $Fd(t) = f(W(t))$, представлену як (1) або (2) – лише тоді результати обчислень можна вважати вірними. У випадку одночасного розрахунку мас двох вантажів (основний випадок) – досліджувана кореляційна функція є двовимірною. Встановлено, що використання методу діагностування за швидкісними характеристиками ВК та методу визначення мас зрівноважувочих вантажів у поєднанні з ватметрографічним методом дозволяє підвищити достовірність розрахунку динамограм на 0,5...7,5%.

В н'ятому розділі здійснена розробка мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ за ватметрографічним методом, обгрунтована конфігурація мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на основі теоретичних досліджень та результатів обробки експериментальних даних.

Проведена характеристика існуючих проблем та розробка алгоритму функціонування спеціалізованого вимірювача потужності споживання привідного електродвигуна ШГНУ. Показано, що в зв'язку з широким діапазоном навантажень електродвигуна існує необхідність побудови цифрового перетворювача потужності з низьким значенням похибки у межах мінімальних значень вимірювання. Здійснено аналіз похибок, притаманний цифровим ватметрографічним системам, які пов'язані з неодноразовістю вимірювання інформації у каналах струму і напруги та нестабільністю частоти живлення 50 Гц. Проведена оцінка цих величин та запропонований інтерполяційний алгоритм для їх корекції.

Розроблено цифровий ватметрографічний вимірювальний перетворювач, побудований за схемою двох ватметрів. Його структурна схема наведена на рис. 8.

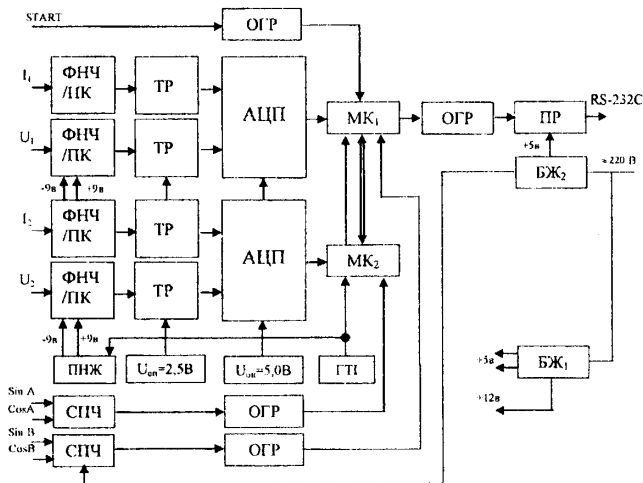


Рис. 8. Структурна схема ватметрографічного вимірювального перетворювача В-3

У схемі використані наступні умовні скорочення: ФНЧ/ПК – фільтр низьких частот/підсилювальний каскад, ТР – транслятор рівня вхідного сигналу, АЦП – аналогово-цифровий перетворювач, МК₁ – ведучий мікроконтролер, МК₂ – ведений мікроконтролер, ОГР – оптико-гальванічна розв'язка, ПР – перетворювач рівня TTL/RS-232C, БЖ₁ – блок живлення внутрішніх кіл схеми, БЖ₂ – блок живлення інтерфейсних частин, ГТГ – генератор тактових імпульсів, ПДЖ – перетворювач напруги живлення, U_{оп} – джерело опорної напруги, СПЧ – схема перетворення частоти. Сигнал START свідчить про початок робочого циклу ВК.

Здійснена розробка принципової схеми ватметрографічного вимірювального перетворювача та числове моделювання його вхідних кіл за допомогою програмного середовища MicroCAP, яке доводить справедливості проведеного розрахунку. Розроблене програмне забезпечення для мікроконтролерів AT90S8535 на мові CodeVision AVR C забезпечує функціонування ватметрографічного вимірювального перетворювача В-3. Розроблене програмне забезпечення для ПЕОМ мовою Delphi для діагностичної системи дозволяє проводити вимірювання ватметрограм та швидкісних характеристик, здійснювати розрахунок динамограм на основі ватметрографічних залежностей та представляти електричні сигнали (струми, напруги та потужності) у часових та спектральних формах. Крім того, існує можливість визначення маси зрівноважуючих вантажів ВК на основі одночасно вимірних динамограми та ватметрограми. Це дозволяє проводити діагностування ШГНУ та зрівноважування ВК.

Проведена оцінка загальної похибки вимірювання потужності для ватметрографічного вимірювального перетворювача В-3, яка складає 0,438%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу вдосконалення ватметрографічного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ). Вирішення цієї проблеми має важливе народногосподарське значення у галузі нафтовидобування, яке підтверджується підвищенням ефективності використання ШГНУ та подовженням терміну їх експлуатації.

1. На основі проведеного аналізу відомих методів і засобів діагностування ШГНУ сформульовані задачі, які потребують вирішення. Виявлено, що використання існуючих методик не забезпечує достатньої вірогідності виділення інформації про стан підземного обладнання насосної установки на основі обробки ватметрографічних залежностей. Розглянуті відомі засоби діагностування ШГНУ, побудовані за методикою ватметрографування, і виявлені обмежені їх можливості щодо кількості дефектів, які розпізнаються. Встановлено відсутність новітніх вітчизняних розробок у цьому напрямку.

2. Розроблені математичні діагностичні моделі верстата-качалки, які дозволяють описати функцію передачі верстата-качалки без урахування та з урахуванням явищ інерції зрівноважуючих вантажів ВК.
3. Здійснена розробка та алгоритмічна реалізація методу визначення мас зрівноважуючих вантажів ВК, використання якого не вимагає застосування складних розрахункових методів та, на відміну від них, дозволяє враховувати масу інших вузлів ВК.
4. Розроблено метод діагностування ШГНУ за швидкісними характеристиками приводу верстата-качалки, використання якого дозволяє підвищити точність експериментального визначення корисного гальмівного моменту на роторі привідного електродвигуна ШГНУ і тим самим підвищити точність відтворення динамограми. Проведено числове моделювання методу діагностування за швидкісними характеристиками, результати якого підтвердили його принципову придатність для діагностування ШГНУ.
5. Проведено аналіз особливостей використання цифрової реалізації методу двох вагметрів для вимірювання потужності споживання ШГНУ та вказані шляхи компенсації систематичних похибок неодновременності вимірювання, що виникають при цьому.
6. Створена мікропроцесорна система діагностування ШГНУ, в основу якої покладені розроблені методи та спеціалізований вимірювальний перетворювач споживаної потужності приводу ВК. Проведений метрологічний аналіз системи діагностування, який показав, що сумарна похибка визначення потужності складає 0,438%.
7. Розроблене діагностичне програмне забезпечення, призначене для автоматизації діагностування ШГНУ та для проведення процесу зрівноважування ВК, яке в складі мікропроцесорної системи діагностування пройшло промислову апробацію на нафтопромислах НГВУ "Бориславнафтогаз", результати якого підтвердили їх ефективність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ровінський В.А. Особливості побудови вимірювачів потужності електричних двигунів для діагностики штангових глибинно-насосних установок // Держ. міжвід. наук.-техн. збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Сер.: Техн. кібернетика та електриф. об'єктів паливно-енерг. компл. - Вип.37 (т.6). - Івано-Франківськ, 2001. - С. 209-215.
2. Ровінський В.А. Вимірювач потужності приводу верстатів-качалок // Методи та прилади контролю якості. - 2002. - №9. – С. 57-59.
3. Ровінський В.А. Діагностування підземного нафтового обладнання // Матеріали 9^ї міжнар. конф. "Сучасні методи і засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики". – Ялта, 2001. – С.

61-62.

4. Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Васьків О.В. Вдосконалення тензометричного давача автоматизованої системи діагностування штангових глибинно-насосних установок // *Методи та прилади контролю якості*. - 2002. - №8. - С. 19-21.
5. Васьків О.В., Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Шумада В.М. Тензометричний давач для діагностування штангових глибинно-насосних установок // *Держ. міжвід. наук.-техн. зб.: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. - Сер.: Техн. кіберн. та електриф. об'єктів паливно-енерг. комплексу. - Вип. 37 (Т. 6). - Івано-Франківськ, 2001. - С. 201-209.
6. Васьків О.В., Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Шумада В.М. Локальна система діагностування штангових глибинно-насосних установок // *Держ. міжвід. наук.-техн. зб.: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. - Сер.: Методи і засоби технічної діагностики. - Вип. 37 (Т. 8). - Івано-Франківськ, 2000. - С. 166-173.
7. Крижанівський С.І., Побережний Л.Я., Ровінський В.А. Удосконалена автоматизована випробувальна система з ЕОМ для дослідження корозійно-механічного руйнування // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. - Вип. 1/2002 (12). - С. 292-294.
8. Побережний Л.Я., Ровінський В.А. Вимірювальний комплекс з АЦП на основі мікросхеми AD7714 // *Збірник наукових праць П^І Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів*. - Донецьк, 2002. - С. 199-201
9. Ровінський В.А., Заміховський Л.М. Способи одержання інформації при діагностиці зрівноваженості верстатів-качалок // *Матеріали конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання"*. - Івано-Франківськ, 2002. - С. 116-117.
10. Свчук О.В., Ровінський В.А., Заміховський Л.М. Про методи експериментального визначення мас зрівноважуючих вантажів верстатів-качалок // *Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об'єктів: Збірник наукових праць*. - Львів, 2003. - С. 175-177.
11. Ровінський В.А., Заміховський Л.М. Мінімізація апаратної частини електронних вимірювальних систем // *Держ. міжвід. наук.-техн. збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. - Сер: Техн. кібернетика та електриф. об'єктів паливно-енерг. компл. - Вип.36 (Т.6). - Івано-Франківськ, 1999.- С. 129-134.
12. Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Свчук О.В. Моделювання похибки цифрових вагметричних систем // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. - 2003. - №1. - С. 83-86.
13. Ровінський В.А., Заміховський Л.М. Вдосконалена статична модель верстата-качалки // *Матеріали 4^ї наук.-тех. конф. "Неруйнівний контроль та технічна діагностика"*. - Київ, 2003. - С. 290-293.

14. Євчук О.В., Ровінський В.А., Заміховський Л.М. Спосіб побудови динамографічного давача для діагностування штангових глибинно-насосних установок // Матеріали 4^ї наук.-тех. конф. "Неруйнівний контроль та технічна діагностика". – Київ, 2003. – С. 287-289.

АНОТАЦІЯ

Ровінський В.А. Вдосконалення ватметрографічних методів діагностування штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти та розробка технічних засобів для їх реалізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м.Івано-Франківськ, 2003.

Робота присвячена питанням контролю технічного стану штангових глибинно-насосних установок. Акцентована увага на використанні ватметрографічних методів діагностування ШГНУ. З цією метою проведено вдосконалення ватметрографічного методу та розроблені технічні засоби для контролю технічного стану штангових глибинно-насосних установок. Запропонована методика дозволяє об'єднати переваги двох відомих методів діагностування ШГНУ – динамографічного та ватметрографічного, забезпечивши при цьому визначення більшої кількості технічних станів об'єкта діагностування. Дана методика дозволяє визначати зведену масу компенсаційних вантажів верстата-качалки, яка необхідна для процесу його зрівноважування. Методика враховує швидкість обертання ротора привідного електродвигуна верстата-качалки та розрахована на багатоваріантність використання, яка має на меті за рахунок надлишкового введення сигналів, що містять діагностичну ознаку, забезпечити покращені характеристики з точки зору надійності в експлуатації, що важливо для стаціонарних та напівстаціонарних систем.

Розроблено ватметрографічний вимірювальний перетворювач, в якому враховано особливості експлуатації ШГНУ. Проведено метрологічний аналіз та натурні дослідження розробленого пристрою.

Ключові слова: ватметрограма, момент, ШГНУ, верстат-качалка, діагностування, контроль, швидкість обертання.

АННОТАЦИЯ

Ровинский В.А. Усовершенствование ваттметрографических методов диагностирования штанговых глубинно-насосных установок для добычи нефти и разработка технических средств для их реализации. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения состава веществ. - Ивано-Франковский

национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2003.

Работа посвящена вопросам контроля технического состояния штанговых глубинно-насосных установок (ШГНУ). Большое внимание в ней уделено использованию ваттметрографических методов диагностирования ШГНУ. Проведена работа по усовершенствованию математических моделей станков-качалок (СК) с учетом инерционных свойств их движущихся частей, а также более полного учета особенностей их кинематической схемы. Модернизация ваттметрографического метода проведена с точки зрения возможности получения динамограмм из ваттметрографических зависимостей, в связи с распространением динамографирования как основного средства диагностирования ШГНУ.

Показано, что для улучшения качества преобразования "ваттметрограмма/динамограмма" необходимо повышение точности расчета крутящего момента асинхронного электродвигателя ШГНУ из значения его измеренной потребляемой мощности. В связи с этим предложено учитывать изменение скорости вращения ротора электродвигателя при расчете его крутящего момента. Кроме того, установлено наличие асимптотических разрывов динамограмм, рассчитанных из ваттметрографических зависимостей, при наличии паразитной постоянной составляющей в сигнале ваттметрограммы.

Принимая потери преобразования асинхронного электродвигателя как постоянную составляющую, предложен способ ее компенсации при расчетах на основе учета знаков асимптотических разрывов в граничных точках цикла качания СК. Проведена разработка метода скоростных характеристик, использующего сигнал скорости вращения ротора электродвигателя в качестве источника диагностической информации, который может быть использован для диагностирования ШГНУ в случае потери работоспособности основного ваттметрографа. Принимая во внимание возможный широкий диапазон механических нагрузок электродвигателя ШГНУ, к ваттметрографу выдвинуты требования повышенной точности преобразования в области минимальных значений потребляемой мощности.

Разработан метод косвенного определения приведенных масс уравновешивающих грузов СК, основанный на расчете из данных, полученных в результате синхронного динамо- и ваттметрографирования. При этом значения масс, полученные при расчетах, учитывают массы остальных движущихся частей СК, чем повышают качество преобразования "ваттметрограмма/динамограмма" и упрощают проведение уравновешивания СК. Метод основан на поиске максимума двумерной корреляционной функции, полученной для экспериментальной и расчетных ваттметрограмм. При этом ряд расчетных ваттметрограмм может быть получен из экспериментальной динамограммы на основе усовершенствованной математической модели СК для полного диапазона возможных значений масс уравновешивающих грузов.

Предложено для оценки состояния редуктора СК и электрооборудования использовать

спектральное представление сигналов тока потребления и мгновенной мощности электродвигателя ШГНУ без усреднения на периоде 50Гц, с целью расширения частотного диапазона спектров исследуемой функции.

С учетом полученных теоретических результатов разработана микропроцессорная система диагностирования ШГНУ, включающая в себя преобразователь электрической мощности В-3 и персональную ЭВМ с диагностическим программным обеспечением. Преобразователь электрической мощности выполнен по двухпроцессорной схеме для улучшения показателя надежности. В качестве вычислительных средств использованы микроконтроллеры AT90S8535. Диагностическое программное обеспечение в составе системы позволяет производить измерение ваттметрограмм, динамограмм и скоростных характеристик, расчет динамограмм на основе ваттметрографических зависимостей, временное и спектральное отображение сигналов. Система прошла промышленные испытания и может быть использована нефтедобывающими предприятиями.

Ключевые слова: ваттметрограмма, момент, ШГНУ, станок-качалка, диагностирование, контроль, скорость вращения.

ABSTRACT

V.A. Rovinskiy. Improvement of powermetering methods of diagnostics of beam-pump units and working out the technical means for their implementation. - Manuscript.

The thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.11.13 – "Methods and Devices of Testing and Defining of Matter Composition". – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil And Gas, Ivano-Frankivsk, 2003.

The work is dedicated to the problems of technical state monitoring of beam-pump units. The attention was focused on using powermetering methods of diagnostics of beam-pump units. Toward this end the improvement of powermetering method has been accomplished and technical means for technical state monitoring of beam-pump units are developed. The proposed method allows to unite the advantages of two known methods of diagnostics, namely powermetering and dynamometering, providing determination of greater amount of technical states. This method allows determining the resulted mass of counterweights of machine-tool, which is needed for the process of his rapid balancing. The method takes into account rotation speed of rotor of electric motor, and thus using additional diagnostic signals provides improved characteristics of reliability, which is important for stationary and partly stationary diagnostic systems.

The powermetering device adjusted to exploitation conditions of beam-pump units has been developed. The metrological analysis and model researches of the developed device is conducted.

Keywords: powermeter card, torque, beam-pump unit, diagnostics, monitoring, rotation speed.