

681.518
Є27

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Євчук Ольга Василівна

681.5184 054(043)
УДК 622.276.53:621.671(047)

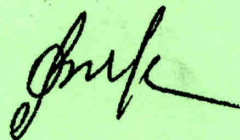
Є27

ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ТА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
ШТАНГОВИХ ГЛИБИННО-НАСОСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ
ВИДОБУТКУ НАФТИ

05.11.13.– Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

М/ІНВ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2004

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 автоматизації.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Копей Богдан Володимирович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

професор кафедри нафтогазового обладнання;

кандидат технічних наук

Вошинський Віктор Станіславович,

директор колективного підприємства "Івано-Франківське спеціальне конструкторське бюро засобів автоматизації", м. Івано-Франківськ.

Провідна установа:

ВАТ "Український нафтогазовий інститут"

Міністерства палива і енергетики України, м.Київ.

Захист відбувається 26 жовтня 2004р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15)

Автореферат розкритий "25" вересня 2004 року

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Дранук М.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Видобування нафти за допомогою штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ) широко розповсюджене у вітчизняній та зарубіжній нафтовій промисловості і відіграє провідну роль у порівнянні з іншими методами нафтовидобування. Це зумовлене насамперед простотою конструкції та невибагливістю в експлуатації верстата-качалки. На території України розташована значна кількість нафтових свердловин, обладнаних ШГНУ, причому спостерігається тенденція до зростання кількості відмов та аварійних станів, що пояснюється насамперед тривалим терміном їх експлуатації (20-30 років). Сьогодні діагностування ШГНУ здійснюється переважно з використанням переносних гідравлічних динамографів, які є складними в експлуатації та не забезпечують можливості автоматизованої обробки вимірних даних. Якість динамографічних методів діагностування, що використовуються на практиці, залежить від досвіду персоналу і, в значній мірі, від суб'єктивних факторів, що спричиняють похибку при розпізнаванні динамограм та віднесенні їх до заздалегідь визначених класів дефектів. У зв'язку з цим, актуальним є завдання вдосконалення динамометричних методів автоматизованого діагностування ШГНУ та створення на їх основі сучасних технічних засобів динамометрування на основі мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки, що має важливе народногосподарське 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 у координаційний план Міністерства освіти і науки "Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки 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 завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення динамометричного методу діагностування ШГНУ, що дозволить підвищити надійність їх експлуатації.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Проаналізувати типи дефектів ШГНУ і відомі методи їх діагностування, зосередивши увагу на динамометричних методах та технічних засобах їх реалізації.

2. Дослідити можливості вдосконалення динамометричних методів, зокрема за рахунок



вибору оптимального способу формування вектора ознак та генерації еталонів технічних станів, а також одночасної оцінки рівня рідини в затрубному просторі свердловини, що дозволить підвищити достовірність діагностування та розширити область застосування динамометричних методів.

3. Розробити автоматизовані методи розпізнавання динамограм для обчислювальних систем нормальної та низької продуктивності.

4. Розробити технічні засоби та мікропроцесорну систему діагностування ШГНУ на основі вдосконалених динамометричних методів.

5. Провести промислову апробацію вдосконалених динамометричних методів та системи діагностування ШГНУ на нафтопромислах ВАТ "Укрнафта".

Об'єктом досліджень є механізований спосіб видобутку нафти за допомогою штангових глибинно-насосних установок, при експлуатації яких виникають дефекти, що спричиняють зміну технічного стану установки та аварійні ситуації.

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

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань використовувалися методи математичної фізики, чисельні методи математичного аналізу, методи технічної діагностики, методи спектрального і кореляційного аналізу та теорії розпізнавання образів. При розробці технічного забезпечення використовувались методи системно- і схемотехніки.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено метод автоматичного розпізнавання динамограм на основі перетворення Уолша, який при забезпеченні вірогідності діагностування, аналогічної відомим методам діагностування ШГНУ вимагає на 30-40% менших обчислювальних затрат.

2. Вперше розроблено метод автоматичного діагностування ШГНУ на основі вейвлет-перетворення, використання якого дозволяє підвищити вірогідність діагностування до 0,84.

3. Отримала подальший розвиток математична модель коливних процесів в колоні насосно-компресорних труб (КНКТ) при роботі ШГНУ з врахуванням рівня рідини в затрубному просторі свердловини, використання якої дозволяє визначити рівень рідини та врахувати його при обчисленні діагностичних ознак і тим самим підвищити вірогідність діагностування.

4. Вперше розроблено метод визначення коефіцієнта тертя штангової колони на основі аналізу динамограм, який в порівнянні з існуючими методами володіє меншою трудосмістю та не вимагає проведення додаткових вимірювань на свердловині, а його використання дозволяє підвищити точність розрахунку еталонних динамограм для різних технічних станів ШГНУ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці алгоритмів динамометричного діагностування ШГНУ на базі методів розпізнавання образів з використанням перетворення Уолша та вейвлет-перетворення;

- створенні тензорезистивного динамометричного перетворювача для діагностування ШГНУ, технічні характеристики якого відповідають кращим зарубіжним аналогам;
- розробці мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на основі мікроконтролера ATmega103 та персональної ЕОМ типу IBM PC, використання якої дозволяє отримати оперативну і вірогідну інформацію про технічний стан ШГНУ в реальному масштабі часу.

Розроблений метод та мікропроцесорна система діагностування пройшли промислову апробацію на свердловинах 8, 774, 1715, 557, 1298, 1604 НГВУ "Бориславнафтогаз" та Б-588, Б-463, Б-420, Б-320, Б-617 НГВУ "Надвірнанафтогаз" і прийняті до подальшого впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджено в навчальному процесі – в робочих програмах дисциплін "Основи теорії надійності і технічної діагностики систем", "Методи і засоби діагностування об'єктів нафтогазового комплексу", "Проектування систем діагностування", які читаються для студентів спеціальності 7.0914.01 – "Системи управління і автоматики".

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Проведено аналіз сучасного стану технічних засобів для реалізації динамометричного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок [1], а також методів і засобів контролю вимірювання рівня рідини в свердловинах, обладнаних ШГНУ [2]. Розроблено метод визначення коефіцієнта тертя при обрахунку плунжерних динамограм [3]. У роботах, опублікованих у співавторстві, досліджено можливість визначення рівня рідини в свердловині за характеристиками коливних процесів ШГНУ [9]; проаналізовано основні проблеми, що виникають при розробці методу контролю рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах за динамограмою [6]; використаний математичний апарат кореляційних функцій для оцінки технічного стану ШГНУ [4]; розроблено методику виділення інформативних ділянок для аналізу вібраційного процесу в штанговій колоні [5]; розроблене програмне забезпечення системи діагностування ШГНУ [7]; запропоновано спосіб побудови динамографічного давача для діагностування ШГНУ [8]; розроблено спосіб обробки динамометричної інформації, що забезпечує інваріантність результату діагностування до форми сигналу переміщення полірованого штоку ШГНУ [10]. Автор приймала безпосередню участь у проведенні промислових досліджень і обробці експериментальних даних.

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, 2001, 2003 рр. та м. Йошкар-Ола, 2000, 2002 рр.); 3^а науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2002 р.); науково-технічній конференції "Фізичні методи та засоби контролю

середовищ, матеріалів та виробів Леотест-2003" (м. Славське, 2003 р.); 4^{-а} національній науково-технічній конференції "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (м. Київ, 2003 р.); 11^{-а} міжнародній конференції "Сучасні методи і засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики" (м. Ялта, 2003 р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики (2000 - 2003 рр.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 10 робіт, з них 3 одноосібних.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 119 сторінках тексту, 48 рисунків, 11 таблиць, списку використаних джерел, який містить 112 найменувань, та додатків на 54 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі проаналізовані дефекти вузлів ШГНУ і причини, що їх зумовлюють. На основі аналізу процесів виникнення і розвитку дефектів ШГНУ зроблено висновок, що максимальної ефективності при вирішенні завдань діагностування технічного стану ШГНУ можна досягти за умови контролю як дефектів установки, так і причин, що їх зумовлюють, в тому числі параметрів технологічного режиму роботи свердловини (динамічного рівня рідини в затрубному просторі та властивостей рідини, що видобувається).

У роботі здійснено аналіз конструктивних особливостей ШГНУ з точки зору контролепридатності та проведений аналіз методів діагностування ШГНУ, який показав, що всі відомі методи мають обмеження як за кількістю станив, що розпізнаються, так і за допустимим ступенем динамічності режиму експлуатації ШГНУ, що не забезпечує необхідну вірогідність розпізнавання. Проведений також аналіз технічних засобів діагностування ШГНУ, який показав, що динамометричні системи з давачами вставного та накладного типу мають певні переваги і недоліки, які визначають переважну область їх застосування: накладні на полірований шток - для оперативного динамометрування при використанні в мобільних системах, вставні між траверсами канатної підвіски - для стаціонарних систем діагностування. На основі проведеного аналізу здійснене обґрунтування і вибір напрямку досліджень.

У другому розділі проведена розробка методів діагностування ШГНУ. Запропоновано за діагностичну ознаку використовувати модифіковану різницеву криву - результат віднімання реальної динамограми від еталонної. Перевага запропонованої модифікованої різницевої кривої в

порівнянні з відомим методом – інваріантність щодо різного часу ходу вниз і вгору полірованого штока верстата-качалки та краща компенсація динамічних складових динамограми. Показано, що ряд відомих методів ґрунтуються на алгоритмах розпізнавання образів з формуванням вектора ознак із коефіцієнтів розкладу в деякій системі функцій, зокрема в базисі Фур'є, та розглянута можливість використання інших ортогональних перетворень, зокрема дискретного перетворення Уолша та вейвлет-перетворення стосовно діагностування ШГНУ. Вибір перетворення Уолша був обумовлений тим, що воно вимагає проведення лише операцій додавання та віднімання (без множення та розрахунку тригонометричних функцій, як це необхідно для перетворення Фур'є). Досліджена кількість коефіцієнтів перетворення Уолша, достатня для передачі динамограми без суттєвих спотворень сигналу – 16. Ця кількість коефіцієнтів перетворення за якістю відтворення початкового сигналу відповідає 8-ми коефіцієнтам перетворення Фур'є, однак по часу розрахунку випереджає останнє.

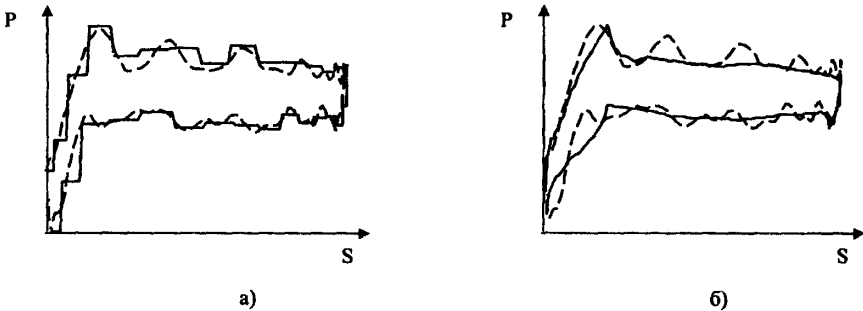


Рис. 1 Динамограма для свердловини 196 НГВУ "Бориславнафтогаз", відновлена з 16 коефіцієнтів перетворення Уолша (а) та 16 коефіцієнтів вейвлет-перетворення (б)

Застосування вейвлет-перетворення зумовлене високими апроксимаційними можливостями його базисних функцій, що дозволяє досліджувати не лише розподіл енергії сигналу по частотах, але і зміну цього розподілу в часі. При застосуванні вейвлет-перетворення (ВП) за схемою "динамограма → (пряме ВП) → 16 коефіцієнтів ВП → (зворотнє ВП) → відновлена динамограма" виявлено, що на відновленій динамограмі чітко виявляються характерні точки, які можна використовувати у відомих методах діагностування ШГНУ за логічними ознаками, оскільки саме в пошуку характерних точок полягала основна складність цих методів. Вигляд отриманої динамограми наближається до ідеалізованої паралелограмної динамограми, що надає можливість використання спрощених паралелограмних еталонів. Проведений розрахунок характеристик відновлюваного сигналу для різної кількості коефіцієнтів вейвлет-перетворення, показав, що для відсутності суттєвих спотворень форми відновленої динамограми необхідно використовувати 16 коефіцієнтів.

Розширення області застосування динамометричних методів можливе за рахунок

одночасного визначення за динамограмою рівня рідини в затрубному просторі свердловини. При цьому, окрім необхідності використання вимірювальних засобів високої точності, постає проблема визначення складової тертя в сигналі навантаження, неточність визначення якої вносить суттєву помилку в розраховане значення рівня. Існуючі методи визначення коефіцієнта тертя вимагають або спеціальних досліджень на свердловині із зміною режиму її роботи, або знання значної кількості параметрів (густини і вязкості рідини, конфігурації свердловини тощо), окремі з яких можуть змінюватись у процесі експлуатації. Запропоновано метод визначення коефіцієнта тертя на основі розрахунку плунжерних динамограм за формулами Вірновського, який ґрунтується на тому, що при невірно заданому коефіцієнті тертя форма розрахованої плунжерної динамограми спотворюється, причому степінь спотворення залежить від похибки заданого коефіцієнта тертя відносно дійсного, що і дозволяє визначити дійсне його значення.

На рис. 2 наведені результати розрахунку плунжерних динамограм із наземної, знятої на свердловині Б-420 НГВУ "Надвірна нафтогаз" (глибина спуску насоса 1800м, довжина ходу 3м, кількість качань за хвилину – 6.5) при заданих коефіцієнтах тертя 0; 0.2 та 0.5. Розрахунки проводились у середовищі MathCad за відомими формулами Вірновського для навантаження на нижньому кінці штангової колонії. В даному випадку чітко видно, що найближчим до дійсного є значення $b=0.2$, а форма динамограми змінюється з прямокутної на опуклу при менших за дійсний значеннях коефіцієнта тертя та на ввігнуту - при більших.

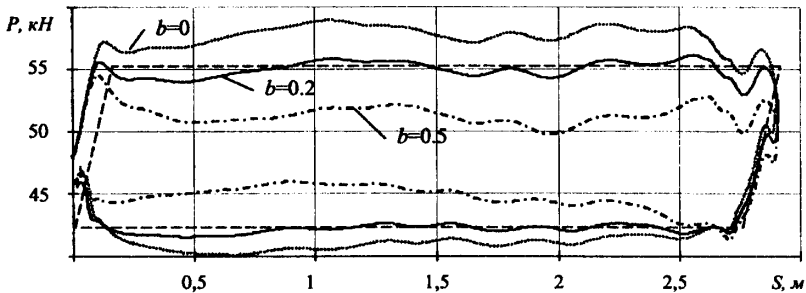


Рис.2. Плунжерні динамограми для свердловини Б-420 НГВУ "Надвірна нафтогаз", розраховані при різних значеннях коефіцієнта тертя (- - - - теоретична плунжерна динамограма)

На рис. 3,а приведено розраховані середні значення відхилення плунжерних динамограм від теоретичної на інтервалах руху штангової колонії вниз та вгору при зміні коефіцієнта тертя b від 0 до 0.5 з кроком 0.05. Обидві криві перетинають вісь абсцис при значенні $b = 0.166$, що і можна вважати дійсним значенням коефіцієнта тертя.

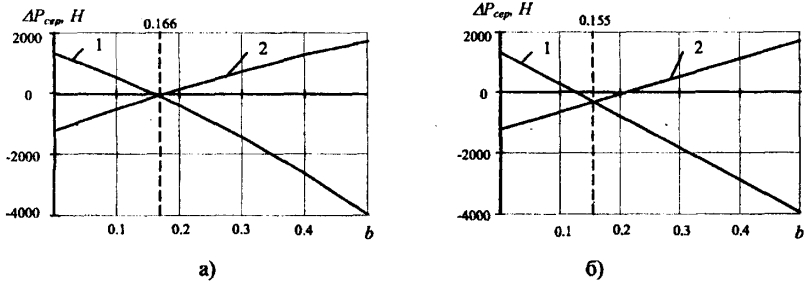


Рис.3. Залежність середнього відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної при русі штангової колони вгору (1) і вниз (2): а) при зміні коефіцієнта тертя з кроком 0.05; б) лінійно апроксимована по двох точках

Приведена на рис. 3,а залежність є досить близькою до лінійної. Враховуючи наявність похибки вимірювання динамограми, систематичної похибки моделювання при розрахунку плунжерної динамограми, а також можливість деякої зміни реального коефіцієнта тертя в процесі експлуатації ШГНУ, можна запропонувати лінійну апроксимацію цієї залежності за двома точками, розрахованими для двох вибраних значень коефіцієнта тертя, наприклад, 0 та 0.5, як на рис.3,б. Дійсним значенням коефіцієнта тертя в цьому випадку слід вважати абсцису точки перетину кривих 1 і 2. Порівняння результатів, приведених на рис.3, свідчить, що похибка визначення коефіцієнта тертя при такому спрощенні є незначною (не перевищує 3%). Плунжерні динамограми, розраховані для отриманих значень коефіцієнта тертя 0.166 та 0.155, візуально фактично не відрізняються, а різниця між ними менша, ніж між двома динамографами, знятими за два послідовні цикли качання ШГНУ.

Проведене моделювання власних коливань КНКТ, з врахуванням тертя, тиску рідини в затрубному просторі та періодичного навантаження під дією ваги рідини. Схематичне зображення підземної частини ШГНУ, яка підлягає моделюванню, наведено на рис.4. При цьому коливання нижньої частини КНКТ відбуваються в рідині, тобто в середовищі з опором, а верхньої частини – в газовому середовищі, опір якого можна вважати нульовим, що описується відповідними хвильовими рівняннями:

$$\text{при } 0 < x < H \quad \frac{\partial^2 u_B}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_B}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$\text{при } H < x < L \quad \frac{\partial^2 u_H}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_H}{\partial x^2} - \beta \frac{\partial u_H}{\partial t}, \quad (2)$$

де a – швидкість звуку в матеріалі труб, β – коефіцієнт опору середовища.

Початкові умови приймаються нульовими:

$$u_B|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u_B}{\partial t}|_{t=0} = 0, \quad u_H|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u_H}{\partial t}|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

Крайові умови для (1):

$$u_B|_{x=0} = 0, \\ u_B|_{x=H} = u_H|_{x=H}. \quad (4)$$

Крайові умови для (2) з врахуванням поперечної деформації під дією тиску рідини та поздовжньої деформації під дією ваги стовпа рідини:

$$\frac{\partial u_H}{\partial x}|_{x=H} = \frac{\mu Dg}{2dE} \rho_B H, \quad (5)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, D – внутрішній діаметр КНКТ, d – товщина стінки, ρ_B – густина рідини всередині КНКТ;

$$\frac{\partial u_H}{\partial x}|_{x=L} = \frac{1}{F_T} \left(\frac{m_p g}{E} - F_{st} \varepsilon_{st}(t) \right) + \frac{\mu Dg}{2dE} (\rho_B L - \rho_3 (L - H)) \quad (6)$$

де ρ_3 – густина рідини зовні КНКТ, $\varepsilon_{st}(t)$ –

відносна деформація штанг:

$$\varepsilon_{st}(t) = \begin{cases} \frac{S_0}{2} (1 - \cos \omega t), & 0 < t < t1 \\ \frac{m_p g}{EF_{st}}, & t1 < t < \frac{T}{2} \\ \frac{S_0}{2} (1 - \cos \omega t) - \frac{m_p g}{EF_{st}}, & \frac{T}{2} < t < t2 \\ 0, & t2 < t < T \end{cases} \quad (7)$$

$$t1 = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{2m_p g}{EF_{st} S_0}\right), \quad t2 = \frac{T}{2} + t1, \quad \omega -$$

кутова швидкість руху полірованого штока, $m_p = (L - H)(F_{TB} - F_{st})\rho_B$ – маса рідини всередині КНКТ, S_0 – довжина ходу, F_T, F_{TB}, F_{st} – площі перерізу відповідно НКТ, кільцевого отвору всередині НКТ та штанг.

Конструктивні особливості обладнання гирла свердловини не дозволяють встановити вібродавачі безпосередньо на колону НКТ. Тому

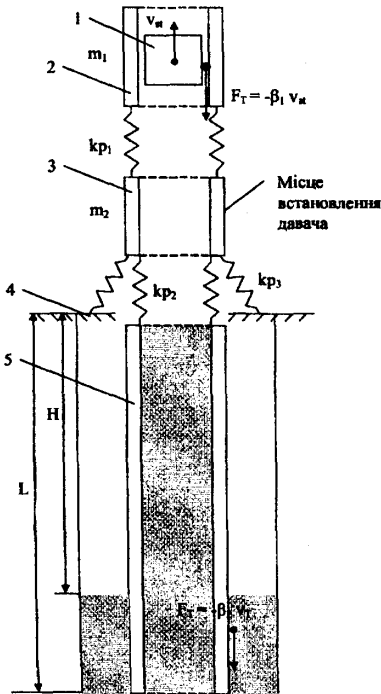


Рис.4. Розрахункова модель ШГНУ:

- 1 – полірований шток;
- 2 – сальник;
- 3 – трійник;
- 4 – планшайба;
- 5 – КНКТ.

модель (1,2) може бути застосована лише в стаціонарних системах контролю, які допускають зміну конструкції обладнання гирла свердловини. При проведенні досліджень в нестационарному варіанті системи діагностування акселерометр можна встановлювати на трійнику, який з'єднаний з КНКТ різьбовим з'єднанням за допомогою муфти. Це вимагає доповнення вищеописаних аналітичних залежностей шляхом проведення моделювання обладнання гирла свердловини (див. рис. 4).

Система рівнянь, що описує рух даної системи, відрізнятиметься від розглянутої вище, поперше, крайовою умовою для верхнього кінця КНКТ, і, по-друге, наявністю рівнянь руху трійника і сальника, які розглядаються як тверді тіла. Рівняння руху сальника, вважаючи тертя між сальником і полірованим штоком прямо пропорційним швидкості полірованого штока:

$$\frac{d^2 u_{m1}}{dt^2} = \frac{k_{p1}}{m1} u_{m1} - \frac{k_{p1}}{m2} u_{m2} - \frac{\beta_1}{m1} \frac{\partial u_{st}}{\partial t}, \quad (8)$$

де $m1$ – маса сальника, $m2$ – маса трійника, u_{m1} – переміщення сальника, u_{m2} – переміщення трійника, u_{st} – переміщення полірованого штока, β_1 – коефіцієнт тертя між сальником і полірованим штоком.

Рівняння руху трійника

$$\frac{d^2 u_{m2}}{dt^2} = \frac{k_{p1}}{m2} u_{m1} - \frac{(k_{p1} - k_{p2} - k_{p3})}{m1} u_{m2} - \frac{k_{p2}}{m2} u_B|_{x=0}, \quad (9)$$

де k_{p1} – коефіцієнт жорсткості різьбового з'єднання між сальником і трійником, k_{p2} , k_{p3} – коефіцієнти жорсткості різьбового з'єднання між трійником і КНКТ.

Початкові умови нульові

$$u_{m1}|_{t=0} = 0, \quad u_{m2}|_{t=0} = 0. \quad (10)$$

Крайова умова для верхнього кінця КНКТ, який вважається пружно з'єднаним з трійником:

$$\frac{\partial u_B}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{k_{p2}}{EF_T} u_B - \frac{k_{p2}}{EF_T} u_{m2} \quad (12)$$

Решта рівнянь аналогічні наведеним вище для залежностей (1,2).

Результати числового моделювання, проведеного для системи рівнянь (1 - 12), вказують на те, що зміна рівня призводить до зміни амплітуд окремих гармонік у спектрі вібросигналу. Однак практична реалізація методу визначення рівня на основі цієї залежності вимагає застосування вібродавачів високої точності (не гірше 0,5%) з широким динамічним діапазоном та мінімальними спотвореннями в області низьких та інфранизьких частот. Крім того, як свідчить аналіз реальних вібросигналів, вимірюваних на трійнику НКТ, у їх спектрі міститься значна кількість складових, переважно в області середніх та частково низьких частот, що не описуються в рамках розглянутої моделі і потребують високоякісної фільтрації для забезпечення вірогідності результатів. Це

ускладнює задачу розробки методу вимірювання рівня на основі характеристик коливних процесів, однак не виключає можливості його реалізації за умови подальшого розвитку і покращення характеристик засобів вимірювання та обробки вібраційних процесів.

У *третьому розділі* здійснена розробка методики проведення експериментальних досліджень, яка передбачає одночасне вимірювання динамограм за допомогою системи динамометрування ШГНУ та гідравлічного динамографа.

Технічне забезпечення ґрунтується на використанні тензорезистивних датчиків накладного типу, 24 розрядного АЦП типу AD7714, мікроконтролера типу I8051 та плати вводу аналогових даних ПЕОМ типу IBM PC. Використання мікроконтролера дозволило збільшити часову роздільну здатність з 55мс (системний таймер EOM) до 1,125мс. Розроблене програмне забезпечення, реалізує простий процес управління збором і обробки даних та інтерфейс користувача (див. рис.5).

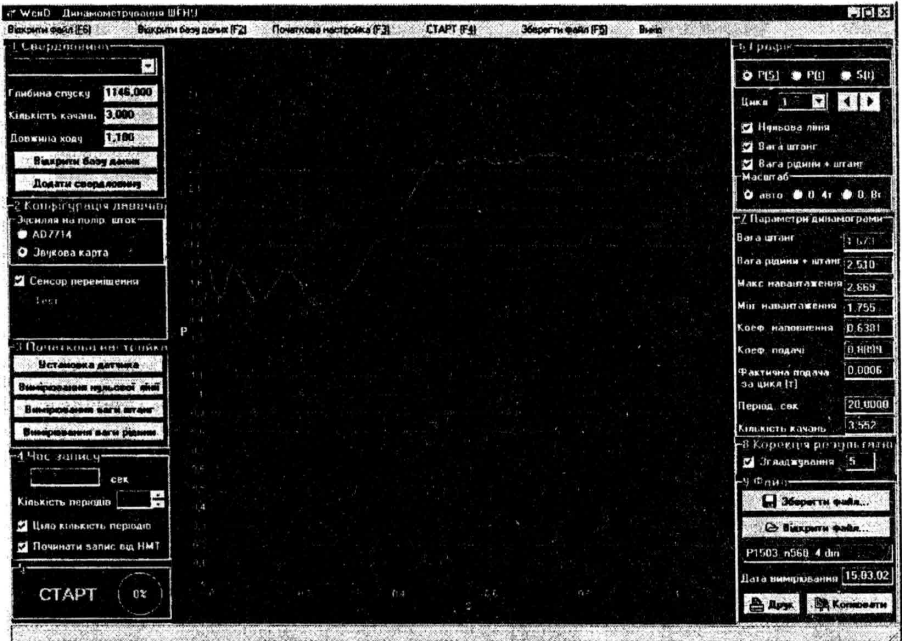


Рис. 5. Зовнішній вигляд головного вікна програми динамометрування ШГНУ

Для проведення експериментальних досліджень здійснена розробка необхідного технічного та програмного забезпечення. Для досліджень було вибрано 25 свердловин НГВУ "Надвірнанафтогаз" та "Бориславнафтогаз" з різними експлуатаційними параметрами (глибина спуску від 400 до 2400м, довжина ходу від 0,9 до 3м, кількість качань від 3 до 7 за хвилину). Для кожної свердловини формувались паралелограмні еталони технічних станів "нормальна робота"

(НР), "прихват плунжера" (ПП), "низька посадка плунжера" (НПП), "вплив газу" (ВГ), "низький динамічний рівень" (НДР), "витік в нагнітальній частині" (ВНЧ), та "витік в приймальній частині" (ВПЧ). Проведено розрахунок мір подібності між дослідними та сталонними векторами ознак, використовуючи відстані за Евклідом (dE), Хеммінгом (dH), та коефіцієнт кореляції (Rxy). Результати розрахунків наведено в табл. 1. За співвідношенням кількості вірних діагнозів до загальної кількості експериментів було визначено вірогідність діагностування для кожного із методів.

Таблиця 1. Результати діагностування

№ свердловини	Вірний діагноз	Діагнози при використанні різних способів формування вектора ознак та різних мір подібності								
		Перетворення Фур'є			Перетворення Уолша			Вейвлет - перетворення		
		dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy
1298	НР	НР	ВГ	ВГ	НР	НР	НР	НР	НР	НР
1604	НР	НПП	НПП	ВГ	НР	НР	НР	НР	НР	НР
320	НР	ВГ	ВГ	ВНЧ	НР	НР	НР	НР	НР	НР
420	НР	ВГ	ВГ	НДР	НР	НР	НР	НР	НР	НР
557	НР	НДР	ВГ	ВПЧ	НР	НР	НР	НР	НР	НР
774	НР	ВГ	ВГ	ВНЧ	НР	НР	НР	НР	НР	НР
1616	ВГ	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
101	ВГ	ВГ	НПП	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
24	ВГ(ВПЧ)	ВГ	ВГ	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
28	ВГ(ВПЧ)	НДР	НДР	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
463	ВГ(ВПЧ)	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
161	ВГ(ВПЧ)	ВГ	ВГ	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
196	НДР	ВНЧ	ВНЧ	ВПЧ	НПП	НПП	НПП	НДР	НДР	НДР
560	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР
158	НДР	ВГ	ВГ	ВГ	ВГ	ВГ	ВГ	ВГ	НДР	ВГ
967	НДР	ВНЧ	ВНЧ	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	ВНЧ	НДР
8	ВПЧ	НДР	НДР	НПП	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
1715	ВПЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
588	ВПЧ	ВПЧ	НДР	НДР	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
104	ВПЧ	ВГ	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
950	ВНЧ	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
581	ВНЧ	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
68	ВНЧ	НДР	ВГ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
54	ПП	ВГ	НПП	ВГ	ПП	ПП	ПП	ПП	ПП	ПП
63	НПП	НДР	НДР	ВПЧ	НПП	ВНЧ	НПП	НПП	НПП	НПП
Кількість вірних діагнозів		9	7	13	20	20	20	21	21	21
%		36	28	52	80	80	80	84	84	84
В середньому		38.7			80			84		

Отримані результати показують, що вірогідність діагностування є найвищою у випадку використання вейвлет-перетворення і складає 84%, що на 16% більше, ніж для методу різницевої кривої, та на 30-50% більше, ніж при використанні перетворення Фур'є. Що стосується вибору

міри подібності, то загалом найбільшу кількість правильних діагнозів було отримано у випадку використання коефіцієнту кореляції. Відповідно до цього розроблено алгоритм діагностування ШГНУ з використанням вейвлет-перетворення для формування вектора ознак та коефіцієнта кореляції в якості міри подібності.

У *четвертому розділі* на основі проведених теоретико-експериментальних досліджень здійснена розробка системи діагностування ШГНУ та конструкції вставного давача навантаження. Проведена розробка функціональної схеми системи діагностування та принципових схем окремих її вузлів (див.рис. 6), а також програмного забезпечення для мікропроцесорних вузлів системи.

Розроблена конструкція міжтраверсного давача навантаження (рис. 7, в), в якій реалізована двоточкова схема прикладення навантажень, яка в порівнянні з існуючими триточковими схемами (рис. 7, а,б) забезпечує більш повне використання деформаційних властивостей матеріалу, а, отже, більшу чутливість.

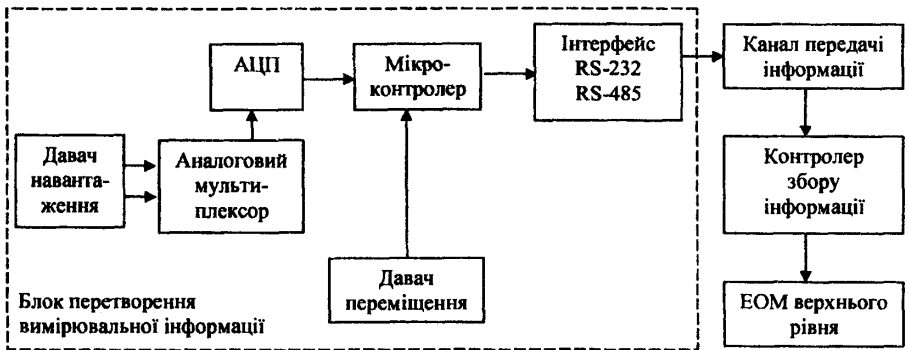


Рис.6. Блок-схема системи динамометрування ШГНУ

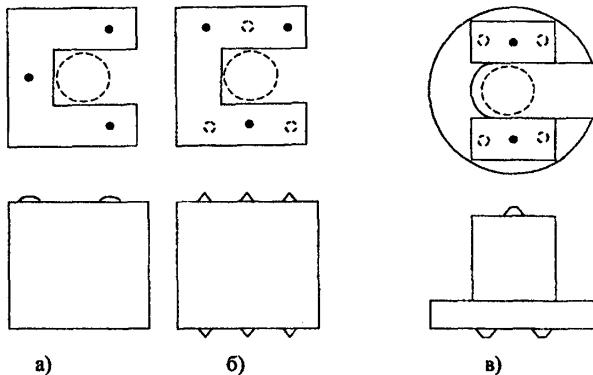


Рис.7. Схема прикладення навантажень для міжтраверсного давача навантаження (а, б – для існуючих конструкцій, в – для запропонованої конструкції)

Крім того, необхідна кількість тензомостових схем зменшується з трьох до двох, а порівняно із схемою рис. 7,6 досягається зменшення впливу перекосів при встановленні давача.

Проведена розробка структурної схеми калібрувального гідравлічного стенду для визначення метрологічних характеристик вставних та накладних динамографів. Даний пристрій дозволяє створювати сталонні зусилля "на стиск" та "на розтяг" і надає можливість експериментального визначення зусилля, що витрачається на подолання паразитних сил тертя в ущільненнях. Розроблена методика калібрування накладних та вставних динамографів, та калібрувальна програма, призначення якої – формування файлу калібрувальних коефіцієнтів сплайн-інтерпольованої залежності вихідного сигналу давача зусилля від прикладеного навантаження. Цей файл записується в електрично-перепрограмовану пам'ять мікроконтролера AT90S8535, що входить до складу блоку первинного перетворення вимірювальної інформації.

Здійснена розробка контролера збору інформації К-103, структурна схема якого представлена на рис 8, призначеного для накопичення динамометричної інформації та проведення попереднього автоматичного діагностування ШГНУ. Для цього розроблене програмне забезпечення для контролера з використанням мови E-Lab AVR Pascal, яке забезпечує запис динамограми для вибраної свердловини протягом одного циклу качання, відображення динамограми на графічному дисплеї, оперативне діагностування технічного стану ШГНУ за динамограмою, зберігання архіву динамограм у флеш-пам'яті, перегляд архіву динамограм, передача архіву динамограм до ЕОМ верхнього рівня та прийом від ЕОМ списку свердловин і родовищ.



Рис.8. Структурна схема контролера збору інформації К-103

Проведена оцінка точності вимірювань, яка показала, що сумарна зведена похибка вимірювання навантаження розробленої системи складає 1,39%.

Проведена промислова апробація розроблених методів та мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на нафтопромислах НГВУ "Бориславнафтогаз" та "Надвірнанафтогаз" ВАТ "Укрнафта".

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання вдосконалення динамографічного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок. Вирішення цієї проблеми має суттєве значення з точки зору підвищення ефективності роботи нафтовидобувних підприємств за рахунок збільшення терміну експлуатації ШГНУ та підвищення ефективності їх використання.

1. У результаті проведеного аналізу відомих засобів і методів діагностування ШГНУ. встановлено, що їх використання не забезпечує необхідної вірогідності автоматичного розпізнавання динамограм, а відсутність вітчизняних розробок у цьому напрямі, оптимізованих з точки зору економного використання обчислювальних ресурсів мікропроцесорної техніки та придатних для використання в мобільних системах діагностування ШГНУ, визначає актуальність поставлених в роботі завдань.

2. Розроблено метод визначення коефіцієнта тертя штангової колонни, необхідний для розрахунку плунжерних динамограм та синтезу динамографічних еталонів, які розраховуються для кожної свердловини, що досліджується. Метод ґрунтується на аналізі динамограм, одержаних експериментальним шляхом, і дозволяє оперативно визначати коефіцієнт тертя без проведення спеціальних додаткових експериментів на свердловині.

3. У результаті досліджень взаємозв'язку коливних процесів колонни НКТ із рівнем рідини в затрубному просторі свердловини обґрунтована принципова можливість створення методу визначення рівня рідини на основі аналізу характеристик цих процесів. Встановлено, що характеристики сучасних засобів вимірювання параметрів вібрації не дозволяють створити на їх основі пристрої вимірювання рівня рідини в свердловині із необхідними показниками точності і вірогідності.

4. Розроблені методи розпізнавання динамограм:

- на основі вейвлет-перетворення, застосування якого дозволяє підвищити вірогідність діагностування на 15-40% порівняно із розпізнаванням динамограм з використанням перетворення Фур'є та різницевої кривої;
- на основі функціонального базису Уолша, який може бути реалізований за допомогою цілочисельної арифметики і вимагає для цього незначної кількості обчислень, а вірогідність результатів діагностування співставима з результатами, отриманими за допомогою існуючих методів.

5. Для реалізації вдосконаленого динамометричного методу розроблена система діагностування ШГНУ на основі мікроконтролерів AT90S8535 та ATmega103, використання якої дозволяє проводити оперативне діагностування ШГНУ в автоматичному та напівавтоматичному режимах, здійснювати вимірювання навантаження та переміщення, проводити запис та відтворення динамографічних залежностей. Проведений метрологічний аналіз показав, що

сумарна похибка вимірювання навантаження складає 1,39%.

6. Проведена промислова апробація розроблених методів та мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на нафтопромислах НГВУ "Бориславнафтогаз" та "Надвірнанафтогаз" ВАТ "Укрнафта", результати якої підтвердили їх ефективність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Євчук О.В. Сучасний стан технічних засобів для реалізації динамометричного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. - №1. – С.42-45.
2. Євчук О.В. Сучасний стан методів і засобів контролю вимірювання рівня рідини в свердловинах, обладнаних ШГНУ. // Міжвід. наук.-техн. збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби діагностування. - Івано-Франківськ, 2000. - Вип.37 (т.8). – С.218-225.
3. Євчук О.В. Метод визначення коефіцієнту тертя при обрахунку плунжерних динамограм // Методи та прилади контролю якості. – 2003. - №10. – С.55-58.
4. Бандура В.В., Євчук О.В., Заміховський Л.М., Шумада В.М. Використання математичного апарату кореляційних функцій для оцінки технічного стану ГНШУ// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу.– Івано-Франківськ, 1999.– Вип.36 (том 6).- С.184-194.
5. Євчук О.В., Бандура В.В., Заміховський Л.М. Методика виділення інформативних ділянок для аналізу вібраційного процесу в штанговій колоні штангової глибинно-насосної установки // Матеріали 6-ї Міжнар. наук.-пр. конф. "Нафта і газ України-2000". – Івано-Франківськ, 2000. – Т.3. – С. 301-307.
6. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Контроль рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах за динамограмою // Методи та прилади контролю якості. – 2002. - №9. – С.55-56.
7. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Програмне забезпечення системи збору діагностичної інформації про стан штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти. // Матеріали конференції "Сучасні прилади і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання". – Івано-Франківськ, 2002. – С.121-122.
8. Євчук О.В., Заміховський Л.М., Ровінський В.А. 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.
9. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Дослідження можливості оцінки рівня рідини в свердловині за характеристиками коливних процесів ШГНУ // Науковий вісник Івано-Франківського

національного технічного університету нафти і газу. – 2003. - №2(6). – С.25-29.

10. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Забезпечення інваріантності динамометричного методу діагностування ШГНУ до форми сигналу переміщення полірованого штока // Матеріали 11-й междунар. конф. "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". – Ялта-Київ, 2003. – С. 115-117.

АНОТАЦІЯ

Євчук О.В. Вдосконалення динамометричного методу та технічних засобів діагностування штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти. – 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, 2004.

Робота присвячена питанням вдосконалення динамометричного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок. У зв'язку з цим проаналізовані типи дефектів ШГНУ та причини, що їх зумовлюють. Показано, що максимальної ефективності діагностування можна досягти за умови контролю причин, що зумовлюють дефекти ШГНУ, та параметрів технологічного режиму роботи свердловини. Для вирішення поставленого завдання було вдосконалено динамометричний метод діагностування ШГНУ. Розроблено методи автоматизованого діагностування ШГНУ з використанням перетворення Уолша та вейвлет-перетворення. Створено математичну модель коливних процесів колони НКТ, що дозволяє пов'язати їх характеристики із рівнем рідини в затрубному просторі свердловини. Запропоновано метод визначення коефіцієнта тертя на основі розрахунку плунжерних динамограм.

На основі проведених теоретико-експериментальних досліджень здійснена розробка системи діагностування ШГНУ та конструкції вставного давача навантаження. Проведена розробка функціональної схеми системи діагностування та принципів схем окремих її вузлів, а також програмного забезпечення для мікропроцесорних вузлів системи. Проведено метрологічний аналіз розробленої системи та первинного перетворювача.

Ключові слова: штангова глибинно-насосна установка, динамограма, метод діагностування, давач навантаження, система діагностування.

АННОТАЦИЯ

Євчук О.В. Усовершенствование динамометрического метода и технических средств диагностирования штанговых глубинно-насосных установок для добычи нефти. – 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, 2004.

Работа посвящена вопросам усовершенствования динамометрического метода диагностирования штанговых глубинно-насосных установок (ШГНУ). В связи с этим проанализированы типы и причины дефектов ШГНУ. Показано, что максимальной эффективности диагностирования можно достичь при условии контроля причин, которые приводят к появлению дефектов ШГНУ, а также параметров технологического процесса добычи нефти в скважине. В результате анализа существующих методов и технических средств установлено, что их применение не обеспечивает необходимой точности и достоверности диагностирования, и определены пути усовершенствования динамометрического метода диагностирования ШГНУ.

Предложена модификация существующего метода разностной кривой для диагностирования ШГНУ, позволяющая достичь более достоверных результатов для скважин, работающих в динамическом режиме. Проанализированы различные способы формирования совокупности диагностических признаков, в частности с использованием ортогональных преобразований. Разработан метод автоматизированного диагностирования ШГНУ с использованием преобразования Уолша, что позволило снизить количество вычислительных операций алгоритма и тем самым уменьшить время работы автоматизированной диагностической системы, а также вейвлет-преобразования, использование которого позволяет повысить достоверность диагностирования на 15-40% по сравнению с существующими методами.

Предложен метод определения коэффициента трения на основе результатов расчета плунжерной динамограммы. Данный метод определения коэффициента трения более технологичен, поскольку для своей реализации не требует проведения специальных экспериментов, связанных с выводом ШГНУ из рабочего режима. Разработана математическая модель колебательных процессов колонны НКТ с учетом трения, давления жидкости в затрубном пространстве скважины и периодической нагрузки, обусловленной приложением веса жидкости внутри колонны НКТ к ее нижнему концу, а также с учетом места установки датчика. Данная модель создаст возможность использования характеристик колебательных процессов для определения уровня жидкости в затрубном пространстве скважины. Учет коэффициента трения и уровня жидкости позволяет повысить точность расчета эталонных динамограмм технических состояний ШГНУ и тем самым повысить достоверность диагностирования динамометрическим методом.

На основании результатов теоретико-экспериментальных исследований разработана функциональная схема системы диагностирования ШГНУ, а также конструкции вставного датчика нагрузки. Разработаны и принципиальные схемы отдельных узлов системы диагностирования – блока преобразования измерительной информации и контроллера сбора информации. Кроме того,

разработано диагностическое программное обеспечение, включающее управляющие программы низкого уровня, предназначенные для работы с микроконтроллерными узлами системы диагностирования, и программу верхнего уровня для визуализации процесса динамометрического диагностирования. Проведен метрологический анализ разработанной системы и первичного преобразователя. Суммарная погрешность измерения нагрузки составляет 1,39%.

Проведены экспериментальные исследования разработанных методов и системы диагностирования на скважинах НГДУ "Надворнаянефтегаз" и "Бориславнефтегаз", подтвердившие работоспособность системы и эффективность предложенных усовершенствований динамометрического метода диагностирования ШГНУ.

Ключевые слова: штанговая глубинно-насосная установка, динамограмма, метод диагностирования, датчик нагрузки, система диагностирования.

ABSTRACT

Yevchuk O.V. Improvement of dynamometering method and technical means for diagnostics of beam-pump units. - 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, 2004.

The work is dedicated to the improvement of dynamometering method for diagnostics of beam pump units. According to this, the defects of beam pump units and its causes have been analyzed. It was showed that maximum effectiveness of diagnostics can be achieved when monitoring causes of defects of beam pump units and parameters of operating practices of an oil well. To solve this task the dynamometering method for diagnostics of beam pump units was improved. The methods of automated diagnostics of beam pump units using Walsh and wavelet transforms have been developed. The mathematical model of vibratory motion of oil-well tubing was created, that allows to connect vibration characteristics with liquid level of a well. The method of determining constant of friction based on downhole dynagraphs calculation was offered.

Basing on accomplished theoretical and experimental researches, the diagnostic system for beam pump units and load sensor have been worked out. The functional scheme of diagnostic system and schematic circuit of its units as well as software for microprocessor units have been developed. The metrological analysis of sensing device and diagnostic system was accomplished.

Keywords: beam pump unit, dynagraph, diagnostic method, load sensor, diagnostic system.

