

**Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу**

На правах рукопису

Зікратий Сергій Вікторович

УДК 622.24:681.3

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАГЛИБНИХ
ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ**

**Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та
визначення складу речовин**

**Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

**Науковий керівник:
доктор технічних наук,
професор Заміховський Л.М.**



Івано-Франківськ – 2002

№ 196

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДІАГНОСТУВАННЯ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ (УЕВН) В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	11
1.1. Умови виникнення і аналіз поступових відмов установок ЕВН в процесі експлуатації	14
1.2. Визначення параметрів закону розподілу відмов установок ЕВН.....	21
1.3. Аналіз відомих методів та засобів діагностування установок ЕВН в процесі експлуатації.....	24
1.4. Передумови використання енергетичних параметрів установок ЕВН для оцінки їх технічного стану	36
1.5. Аналіз технічних засобів контролю крутного моменту на валу заглубних електродвигунів	39
1.6. Обґрунтування і вибір напрямку досліджень.....	42
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ УСТАНОВОК ЕВН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	44
2.1. Розробка математичної діагностичної моделі відцентрового насосу установки ЕВН.....	44
2.2. Дослідження працездатності установок ЕВН	55
2.2.1. Побудова передавальної функції заглубного електродвигуна.....	56
2.2.2. Побудова передавальної функції відцентрового насоса	57
2.2.3. Побудова передавальної функції установки ЕВН	60
2.3. Знаходження умов працездатності установок ЕВН.....	60
Висновки до розділу	62
РОЗДІЛ 3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ УСТАНОВОК ЕВН.....	63
3.1. Методика проведення стендових і промислових досліджень	63
3.2. Обґрунтування вибору нафтових свердловин для проведення експериментальних досліджень.....	65

3.3. Розробка технічного і програмного забезпечення експериментальних досліджень.....	67
3.4. Стендова установка для проведення експериментальних досліджень	79
3.5. Дослідження статистичних характеристик крутного моменту на валу заглибних електродвигунів	81
Висновки до розділу	83

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ УСТАНОВОК ЕВН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	85
4.1. Дослідження впливу свердловинних факторів на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.....	85
4.2. Дослідження впливу стану робочих органів відцентрового насосу на зміну крутного моменту на валу заглибного електродвигуна.....	91
4.3. Вибір і обґрунтування діагностичної ознаки стану відцентрового насосу	98
4.4. Розробка алгоритму процесу діагностування відцентрового насосу	100
4.5. Результати перевірки адекватності діагностичної моделі відцентрового насосу.....	102
4.6. Визначення умов працездатності установок ЕВН.....	105
Висновки по розділу	106

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ УСТАНОВОК ЕВН.....	108
5.1. Обґрунтування конфігурації системи діагностування установок ЕВН та вибір її основних складових.....	108
5.2. Оцінка критерію організації системи діагностування.....	115
5.3. Оцінка ефективності розробленої системи діагностування	119
5.4. Результати апробації розробленого методу діагностування	126
Висновки до розділу	128
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	131
ДОДАТКИ.....	141

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БД	–	база даних
ВН	–	відцентровий насос
ДО	–	діагностична ознака
ЕВН	–	електровідцентровий насос
ЗЕД	–	заглибний електродвигун
ІВС	–	інформаційно-вимірювальна система
КНКТ	–	колона насосно-компресорних труб
ОД	–	об'єкт діагностування
ОЗП	–	оперативно запам'ятовуючий пристрій
СД	–	система діагностування
СО	–	структурна одиниця
ТЗД	–	технічні засоби діагностування
УЕВН	–	установка електровідцентрових насосів

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема збільшення власного видобутку нафти з метою зменшення залежності від зовнішніх джерел енергопостачання – важлива народногосподарська задача для України. Один з шляхів її вирішення – підвищення надійності і ефективності використання нафтовидобувного обладнання та скорочення витрат на його експлуатацію, що неможливе без застосування сучасних методів та засобів діагностування обладнання.

При експлуатації нафтових родовищ механізованим способом основний об'єм рідини, що видобувається, припадає на заглибні електроустановки для видобутку нафти - установки електровідцентрових насосів (УЕВН). Сьогодні в Україні, незважаючи на зменшення кількості свердловин, що експлуатуються за допомогою УЕВН, видобувається половина всієї нафти і більше 60% супутньої рідини. В основному установки ЕВН використовуються на родовищах Східної України. Так, по НГВУ “Чернігівнафтогаз” ними оснащені 85% діючих свердловин.

Незважаючи на покращення якості експлуатації свердловин в останні роки значно ускладнилися умови експлуатації (збільшення глибини підвісу, значний вміст механічних домішок, значна обводненість пластової рідини та ін.), що призводить до скорочення терміну їх роботи. В зв'язку з цим мають місце багаточисельні відмови і аварії установок ЕВН, що обумовлені, зокрема, значним зносом робочих органів відцентрових насосів (ВН).

Як показав проведений аналіз, із методів діагностування за параметрами робочих процесів установки ЕВН: подачею, напором, потужністю, ККД і ін. (методи параметричної діагностики), жоден не знайшов промислового використання. Серед методів віброакустичної діагностики, які застосовуються на нафтопромислах, жоден не дозволяє визначити технічний стан ВН, а дає лише інтегральну оцінку в цілому по установці ЕВН. Таким чином, задача розробки методу діагностування безпосередньо ВН з метою підвищення надійності

експлуатації і більш повного використання закладеного в них ресурсу є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних програм по розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт “Розробка теоретичних та методологічних принципів діагностики обладнання нафтогазового комплексу України”, частина науково-дослідної теми №45/1, номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ № 01980005799 та “Діагностування стану технічних об’єктів на основі обмеженої інформації про переміщення точок їх поверхні”, частина науково-дослідної теми Дб-Ф, номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №0198U005799, де автор був виконавцем розділів, присвячених розробці методології діагностування УЕВН. Роботи входять в 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 в національну програму “Нафта і газ України”.

Мета роботи: підвищення надійності експлуатації та забезпечення більш повного використання ресурсу, закладеного в установку ЕВН, шляхом розробки її діагностичного забезпечення (моделі, алгоритму, методу та технічних засобів).

Об’єкт дослідження – механізований спосіб видобутку нафти за допомогою установок ЕВН, при експлуатації яких виникають дефекти, що викликають як зміну технічного стану установки ЕВН, так і збільшення витрат споживаної електроенергії, що призводить до зниження ефективності процесу видобутку нафти та виникнення відмов.

Предметом дослідження є встановлення закономірностей зміни крутного моменту на валу заглибного електродвигуна (ЗЕД) установки ЕВН, обумовленого як зносом робочих органів ВН, так і впливом свердловинних факторів та розробка

на їх основі діагностичного забезпечення установки ЕВН – моделі, алгоритму, методу та технічних засобів.

Методи дослідження. При розробці діагностичної моделі використовувалися методи електрогідравлічних аналогій, основні положення теорії електричних машин та теорії звичайних диференціальних рівнянь, а також методи теорії автоматичного управління та основні положення технічної діагностики.

При розробці технічного забезпечення експериментальних досліджень використовувалися методи раціонального планування експерименту, схемотехніки та основні положення теорії статистичних вимірювань. При аналізі результатів експериментальних досліджень і вирішенні задач розробки діагностичного забезпечення установок ЕВН використовувалися: методи спектрального і кореляційного аналізу, основні положення теорії надійності технічної діагностики та методології проектування систем діагностування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні методів діагностування установок ЕВН в процесі експлуатації і визначається наступними основними положеннями:

- вперше створена математична діагностична модель УЕВН, яка дозволяє описати зміну крутного моменту на валу ЗЕД, обумовленого впливом дефектів робочих органів відцентрового насосу (величиною зносу направляючих апаратів, робочих коліс, опорних шайб – нижніх і верхніх та захисних втулок валу);

- створена діагностична модель ЗЕД, відцентрового насосу та установки ЕВН в цілому, яка дозволяє визначити умови її працездатності;

- вперше встановлено закономірності зміни крутного моменту на валу ЗЕД, обумовлені впливом свердловинних факторів;

- встановлено, що напрацювання різних типорозмірів установок ЕВН до відмови на нафтопромислах Східної України описується експоненціальним законом розподілу і визначено його параметри, що дозволило розрахувати показники ефективності розробленої системи діагностування;

– вперше встановлені закономірності зміни рівня гармонічних складових в спектрі крутного моменту на валу ЗЕД, обумовлені зносом робочих органів відцентрового насосу;

– виявлена діагностична ознака – відношення суми рівнів перших трьох гармонік до суми рівнів четвертої та п'ятої гармонік в спектрі крутного моменту, зміна якої характеризує степінь зносу ВН і не залежить від типорозміру установок ЕВН.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

– розробці алгоритму діагностування установки ЕВН в процесі експлуатації, який покладено в основу методу діагностування;

– розробці методу діагностування, який дозволяє отримати об'єктивну і вірогідну інформацію про технічний стан установки ЕВН і на її основі оцінити величину енергетичних витрат на видобуток однієї тони нафти, тобто ефективність установки та проводити ремонт за фактичною потребою;

– визначенні умови працездатності запропонованого методу – граничного значення діагностичної ознаки, до якого можна експлуатувати установки ЕВН;

– розробці системи діагностування установки ЕВН та її програмного забезпечення, яка дозволяє реалізувати розроблений метод;

– розрахунку показників ефективності розробленої системи діагностування, зокрема вірогідності діагностування $D=0,99$, що вказує на правильний вибір схемотехнічних рішень, закладених в систему діагностування.

Розроблений метод і технічні засоби пройшли промислову апробацію на свердловинах №50, 54, 204, 208 Скороходівського родовища НГВУ “Чернігівнафтогаз” і прийняті до подальшого впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень використано в навчальному процесі – в робочій програмі дисциплін “Основи надійності та технічної діагностики”, “Методи і засоби діагностування об'єктів нафтогазового комплексу” і “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. Проаналізовано сучасний стан діагностування установок ЕВН в процесі експлуатації, удосконалено діагностичну модель установки ЕВН з КНКТ [59] та розроблено діагностичну математичну модель відцентрового насосу [55], проведено стендові і промислові дослідження зміни крутного моменту на валу ЗЕД в залежності від технічного стану УЕВН [86], оцінено критерій організації розробленої системи діагностування [95]. В роботах опублікованих в співавторстві: проаналізовані поступові відмови установок ЕВН і визначені параметри закону їх розподілу [14], змодельовано вплив виду зносу робочих органів відцентрового насосу на вібростан установки ЕВН [58], проаналізовані результати досліджень вібростану установок ЕВН в промислових умовах [9] і розроблені окремі напрямки зменшення рівня їх вібрацій [11]. Проведені обробка і аналіз результатів досліджень впливу свердловинних факторів на зміну крутного моменту на валу ЗЕД [85], та визначені умови працездатності установки ЕВН [91]. Розроблені функціональні структурні схеми системи контролю стану [68] та мікропроцесорної системи діагностування [84] установок ЕВН. Здобувач приймав безпосередню участь в проведенні стендових і промислових досліджень та промисловій апробації розроблених методу і технічних засобів.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII Міжнародних міжвузівських школах-семінарах “Методи і засоби технічної діагностики” (м. Івано-Франківськ, 1995, 1997, 1999, 2001 р.р.), (м. Йошкар-Ола – 1996, 1998, 2000 р.р.); науково-технічній конференції “Контроль і управління в технічних системах” (м. Вінниця, 1995 рік); 6-тій Міжнародній науково-практичній конференції „Нафта і газ України – 2000” (м. Івано-Франківськ, 2000 рік); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (1996, 1997,

1999 р.р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики (1996 – 2001 р.р.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 12 робіт, з них 4 одноосібних.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, викладених на 130 сторінках тексту, 38 рисунків, 9 таблиць, списку використаних джерел, що містить 98 найменувань та 10 додатків на 42 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДІАГНОСТУВАННЯ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ (УЕВН) В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сьогодні технічна діагностика отримує все більш широке застосування в різноманітних галузях промисловості. Її основною особливістю є виключення суб'єктивної оцінки технічного стану об'єкту, що можливе лише при вирішенні задач встановлення діагнозу за допомогою різних методів діагностики, і спеціальних технічних засобів, що їх реалізують. Підходи до проблеми діагностування визначаються специфікою об'єкту діагностування (ОД) та умовами його експлуатації.

Об'єктом діагностування в даному випадку виступає установка ЕВН з колоною насосно-компресорних труб (КНКТ) (в подальшому ОД), які представляють собою унікальну динамічну систему, що складається з самостійних за функціональним призначенням підсистем (ЗЕД, ЕВН, гідрозахист, КНКТ) органічно з'єднаних між собою.

Електровідцентрові насоси для видобутку нафти принципово не відрізняються від звичайних відцентрових насосів, що використовуються для перекачування рідин на поверхні землі.

ЕВН представляє собою багатоступінчасту і, в загальному випадку, багатосекційну конструкцію, кількість секцій якої коливається від двох до п'яти. Робочі органи розміщуються в розточці циліндричного корпусу кожної секції. В одній секції може розміщуватися від 50 до 200 ступеней.

Радіальні навантаження, що діють на ротор, сприймаються підшипниками ковзання. Осьова сила, що діє на вал насосної секції, сприймається двохсторонньою опорною п'ятою.

Проточна частина насосу складається із пакету однотипних елементів – ступеней, які утворюють робоче колесо і направляючий апарат.

Ступені, що використовуються в ЕВН, в цілому не відрізняються від ступеней інших відцентрових насосів, але мають ряд особливостей:

- абсолютно малі розміри;
- наявність індивідуальної осьової опори для сприйняття осьової сили в кожній ступені;
- наявність безлопаткового кільця між виходом із робочого колеса і входом на лопатки направляючого апарату, по якому закручений робочим колесом потік рухається в осьовому напрямку;
- розвинуті обривні течії в проточних частинах.

ЕВН приводиться в дію спеціальним заглибним електродвигуном (ЗЕД) трифазного струму. ЗЕД – це маслonaповнений асинхронний з короткозамкнутим ротором електродвигун вертикального виконання, виконаний в сталевому корпусі циліндричної форми.

Розміщення насосу та двигуна безпосередньо на вибої свердловини, обумовлює специфічні габаритні розміри агрегатів. Малі радіальні розміри, що обумовлені внутрішнім діаметром обсадної колони, поєднуються практично з необмеженими осьовими розмірами, що обумовлюється необхідністю створення високих напорів. Робота установки в зануреному стані визначає специфіку конструктивного виконання УЕВН.

Наведені особливості дозволяють розглядати УЕВН як унікальний об'єкт, що не має аналогів. Конструкція УЕВН не відповідає вимогам контролепридатності. Вона не дозволяє використовувати вмонтовані штатні та додаткові засоби для контролю параметрів УЕВН, а умови експлуатації (відсутність прямого доступу до агрегату, велика відстань до гирла свердловини, несприятливі свердловинні умови та ін.) ускладнюють можливість проведення оперативного контролю стану УЕВН.

Виходячи з того, що процеси і явища, які відбуваються в ОД, визначаються поєднанням розмірів і співвідношень конструктивних елементів його вузлів, доцільно при діагностуванні прийняти їх за вихідний структурний параметр. Він

представляє собою будь-який визначаючий розмір або поєднання розмірів (величину зносу робочих органів ВН).

Оскільки в даному випадку неможливо безпосередньо виміряти структурний параметр на об'єкті, який працює, виникає необхідність пошуку таких параметрів, які б знаходилися у тісному зв'язку з структурним параметром і внаслідок цього були інформативними.

Діагностичними ознаками ОД можуть бути параметри робочих і супутніх процесів або їх похідні.

Параметри вихідних робочих процесів визначають функціональні властивості системи (наприклад, подача, потужність, напір, ККД та ін.), дають узагальнену широку інформацію про стан ОД в цілому.

Параметри супутніх процесів (наприклад, температура ЗЕД, вібрація та ін.) дають більш вузьку інформацію про технічний стан ОД.

Отримання інформації про діагностичні ознаки ОД, виходячи з його конструктивних особливостей і специфічних умов експлуатації, є досить складною технічною задачею. В даний час відомі засоби контролю стану ОД можна поділити на [2]:

– засоби контролю параметрів та показників установки, що здійснюють безпосередній вплив на зміну її технічного стану (температура ЗЕД, вібрація УЕВН та ін.);

– засоби контролю характеристик свердловини, пласту та рідини, що добувається, які здійснюють вплив на зміну параметрів установки, а через них на її технічний стан (динамічний рівень, дебіт, температура рідини і т.п.);

– засоби захисту установки ЕВН.

Також, як окрему групу, слід виділити засоби контролю робочих параметрів установки ЕВН (подача, напір, крутний момент на валу ЗЕД, ККД насосу та ін.)

В розділі подається аналіз поступових відмов, визначаються параметри закону їх розподілу, аналізуються методи та засоби діагностування технічного

стану установки ЕВН в процесі експлуатації та обґрунтовується напрямок досліджень.

1.1. Умови виникнення і аналіз поступових відмов установок ЕВН в процесі експлуатації

Дослідження по виявленню джерел і умов, що сприяють виникненню та розвитку дефектів УЕВН найбільш повно представлені в [1]. Наведений нижче аналіз статистичних даних по відмовах УЕВН в НГВУ “Чернігівнафтогаз” за 2000-2001 роки, який базувався на матеріалах актів некатегорійних аварій, показав, що основною відмовою, яка відноситься до поступових відмов, є знос робочих органів відцентрового насосу. Виходячи з цього розглянемо умови виникнення поступових відмов ЕВН. В [2] відмічено, що серед причин, які обумовлюють можливість виникнення дефектів ЕВН і, зокрема, зносу його робочих органів, є експлуатаційні причини.

Тому більш детально зупинимося на їх аналізі. Однією з експлуатаційних причин, яка здійснює найбільший вплив на розвиток зносових процесів, є характеристика свердловинної рідини в яку входять: в'язкість і густина рідини; обводненість; газовий вміст; вміст механічних домішок; вміст корозійно-активних елементів; температура рідини; відкладення парафіну і гідратних пробок.

Аномально низькі темпи відбору нафти підвищеної в'язкості можуть призвести до надмірного зносу елементів насосу [3], а також визвати перегрів ЗЕД, який при недостатньому охолодженні може перегоріти.

При відборі свердловинної рідини з механічними домішками, вміст яких здебільшого складає до 3 г/л [4], абразив, що вільно несеться, руйнує диски і лопатки робочого колеса і частини направляючого апарату, особливо в місцях зміни напрямку руху струменя рідини. В місцях тертя деталей, біля текстолітової опори, в ступиці колеса, пісок, який попадає в зазор, також зношує ці деталі, причому ступиці стираються до валу. Довгий гнучкий вал при обертанні отримує

декілька напівхвиль згину і на його поверхні місця згину чітко показують форму, яку він приймає при роботі насосу [5]. Дослідження характеру зносу втулок робочих коліс і отворів в направляючих апаратах показують, що зношення в цих місцях пов'язане з якістю змащувальної рідини і наявністю механічних домішок [6]. При 1% вмісті піску використання УЕВН повністю виключається [7], так як виникають закупорки свердловинного обладнання бітумними частинками і механічними домішками. При вмісті механічних домішок більше 100 мг/л виникає закупорення прохідних січень і інтенсивний знос робочих органів насосу: коліс, направляючих апаратів, захисних втулок, валу і т.д. [8]. Швидке зношення деталей призводить також до збільшення амплітуди вібрації і, як наслідок, до відкручення або обриву болтів фланцевих з'єднань установки і падіння останньої на вибій свердловини, що досліджено в [1, 9] і підтверджується також в [10]. У зв'язку з цим особлива увага приділяється розробці методів і засобів зниження рівня вібрації УЕВН [11].

Стосовно впливу корозійно-активних речовин на величину і швидкість зносу робочих органів ВН, автор не знайшов наукових публікацій результатів досліджень, за виключенням [12].

Відкладення солей безпосередньо не впливає на знос робочих органів ВН, однак призводить до труднощів в роботі ВН, ускладнює його ремонт, так як розбирання вузлів і деталей стає можливим лишень після відповідної обробки соляною кислотою. Значне відкладення солей призводить до заклинювання робочих коліс, викликає поломку вала або перегорання обмоток ЗЕД.

Наявність в свердловинній рідині вільного газу не впливає на процеси зношення робочих органів ВН, однак впливає на роботу ЗЕД. Так, великі об'єми газу на прийомі ВН викликають нестационарність потоку в НКТ, що призводить до різкого зменшення струмового навантаження і відключення ЗЕД захистом. Останнє вимагає врахування газового фактору при діагностуванні стану робочих коліс ВН за величиною крутного моменту на валу ЗЕД.

Вплив відкладень парафіну на зносіві процеси аналогічний впливу відкладень солей, тобто не сприяє більш інтенсивному зносу робочих органів ВН. Однак наявність механічних домішок сприяє утворенню агрегатів парафіну і солей в об'ємі рідини, що транспортується з свердловини, які прилипають до поверхні робочих органів і злипаються, утворюючи суцільний шар.

Пластові води володіють, як правило, низькою змащувальною властивістю і значно гірше змащують поверхні тертя. Присутність абразивних частин в цих умовах призводить до різкого збільшення зносу робочих органів, а присутність у свердловинній рідині, що видобувається, мінеральної води, яка є корозійно-активною рідиною, різко підвищує знос робочих органів ВН. Велика обводненість нафти призводить до зниження працездатності УЕВН: погіршується змащування; посилюється випадання в осад в застійних порожнинах насоса механічних домішок; погіршується робота гідрозахисту; через інтенсивне тертя деталей насоса, що обумовлене низькими змащувальними властивостями пластової води, значно зростають теплові втрати потужності УЕВН (на 20-25% з 30-60% вмістом води у свердловинній рідині в порівнянні з безводною рідиною [3]).

Висока температура свердловинної рідини, яка може змінюватись від 18,0 до 111,0°C [4], в більшій мірі впливає на працездатність ЗЕД (найбільш характерна відмова – пробій обмотки статора через руйнування гумового ущільнення і попадання пластової рідини у внутрішню порожнину ЗЕД), кабелю і кабельного вводу (порушення ізоляції внаслідок недостатньої стійкості кабелю в газонафтовому середовищі в умовах високих тисків і температур [13]).

Вивчення природи відмов УЕВН не можливе без дослідження даних про напрацювання установок на діючих нафтопромислах. Для аналізу були зібрані дані про відмови УЕВН на протязі 2000-2001 років на Богданівському, Гнідинському, Леляківському та Талалаївському родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз”. При цьому бралися до уваги лишень відмови, пов’язані зі зносом робочих органів насоса, оскільки, згідно статистики, зношення робочих органів ВН є причиною відмови установки ЕВН більш ніж у 50% випадків [14].

Зібрані дані про напрацювання УЕВН були згруповані за родовищами та за типорозмірами. По кожному із родовищ були побудовані гістограми розподілу кількості відмов від часу напрацювання (рис.1.1, рис.1.2).

Отримані статистичні дані були апроксимовані за допомогою методу найменших квадратів, в результаті чого отримано залежності кількості N відмов УЕВН від часу напрацювання T по кожному з родовищ:

по Богданівському родовищу

$$F(t) = -0,789 + \frac{437,228}{t} + 2,565 \cdot 10^{-6} t^2. \quad (1.1)$$

По Гнідинцівському родовищу

$$F(t) = -2,25 + \frac{1,733}{t} - 4,027 \cdot 10^{-7} t^2. \quad (1.2)$$

По Леляківському родовищу

$$F(t) = 38,095 - 0,112t + 8,546 \cdot 10^{-5} t^2. \quad (1.3)$$

По Талалаївському родовищу

$$F(t) = 3,543 + \frac{454,771}{t} + 3,289 \cdot 10^{-3} t - 4,027 \cdot 10^{-7} t^2. \quad (1.4)$$

Як видно з рис.1.1 – 1.2, по всіх родовищах найбільша кількість відмов припадає на перші 50 діб експлуатації установок, в той час як подальший характер

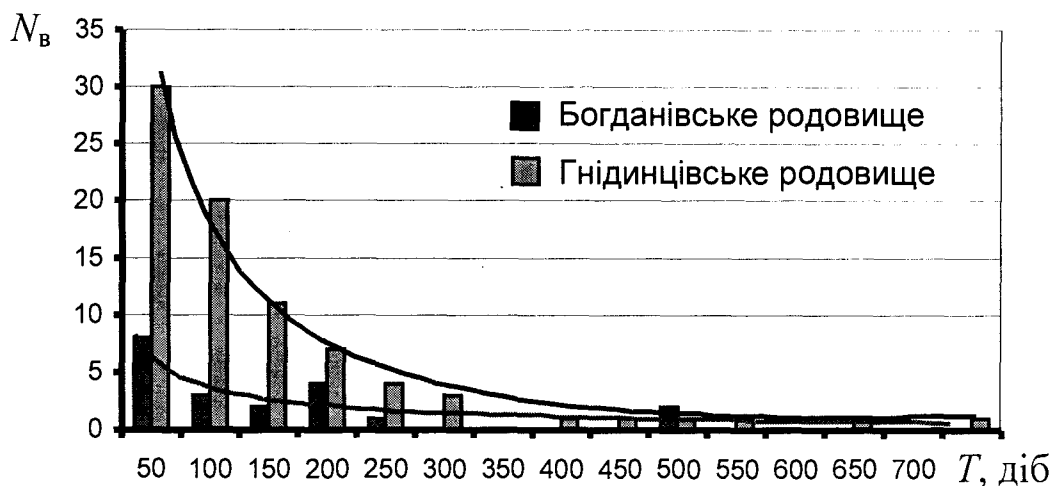


Рис.1.1. Гістограми розподілу кількості відмов N_B установок ЕВН по Богданівському та Гнідинцівському родовищам від часу напрацювання T

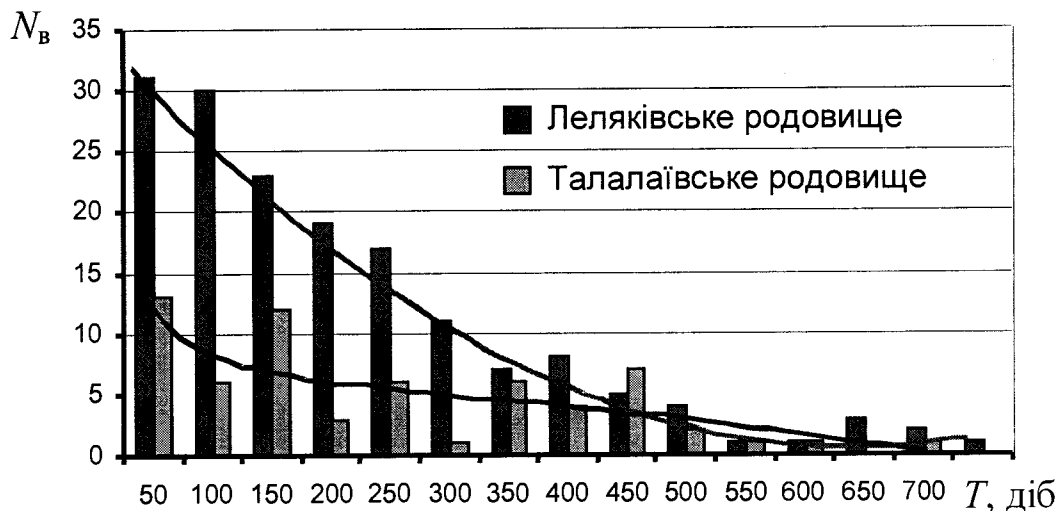


Рис.1.2. Гістограма розподілу кількості відмов N_v установок ЕВН по Леляківському та Талалаївському родовищах від часу напрацювання T

зміни кількості відмов УЕВН від часу напрацювання для кожного з розглянутих родовищ відрізняється.

Так, на Гнідинцівському родовищі (рис.1.1) (середня глибина підвісу установок – 834 м, обводненість продукції – 90,7%, вміст механічних домішок – 143,7 г/м³) більшість відмов (більше 65%) відбувається протягом перших 50-100 діб роботи установки, значно менше число установок працює до 150 діб і лишень невелика їх кількість має напрацювання, що перевищує 300 діб.

На Богданівському родовищі (середня глибина підвісу установок – 1348 м, обводненість продукції – 66,4%, вміст механічних домішок – 110 г/м³) (рис.1.1) майже 50% всіх установок має напрацювання, що не перевищує 50 діб. Інші 50% установок мають напрацювання в межах до 200 діб і лишень незначна кількість установок працює більше 500 діб.

На Леляківському родовищі (середня глибина підвісу установок – 1452 м, обводненість продукції – 70,66%, вміст механічних домішок – 114,58 г/м³) (рис.1.2) зменшення кількості відмов з ростом напрацювання є значно повільнішим. Основна кількість відмов УЕВН зосереджена в часовому інтервалі до 400 діб.

На Талалаївському родовищі (середня глибина підвісу установок – 1990 м, обводненість продукції – 31,284%, вміст механічних домішок – 200,46 г/м³) (рис.1.2) відмови УЕВН більш рівномірно розподілені в інтервалі напрацювання до 500 діб.

Значну кількість відмов в початковий період експлуатації – до 50 діб можна пояснити як важкими умовами роботи установки ЕВН – значна обводненість продукції свердловин та наявність значної кількості механічних домішок, так і, можливо, незадовільною якістю ремонту УЕВН.

Аналіз відмов за типорозмірами УЕВН (рис.1.3–1.5) показав, що чим менший типорозмір установки, тим більше відбувається відмов в початковий період експлуатації. Так, для установок ЕВН5-50 (рис.1.3, 1.4) протягом перших 100 діб відмовило майже 50 відсотків, причому найбільше відмов зафіксовано на протязі перших 50 діб, зокрема це найяскравіше проявляється в установках з напором до 1200 м. При збільшенні величини напору установки відсоток їх відмов в початковий період експлуатації зменшується (рис.1.4), в той час як для високодебітних установок ЕВН5-200 (рис.1.5) значна кількість відмов більш рівномірно розподілена в діапазоні до 300 діб і пік кількості відмов переміщується в район до 100 діб.

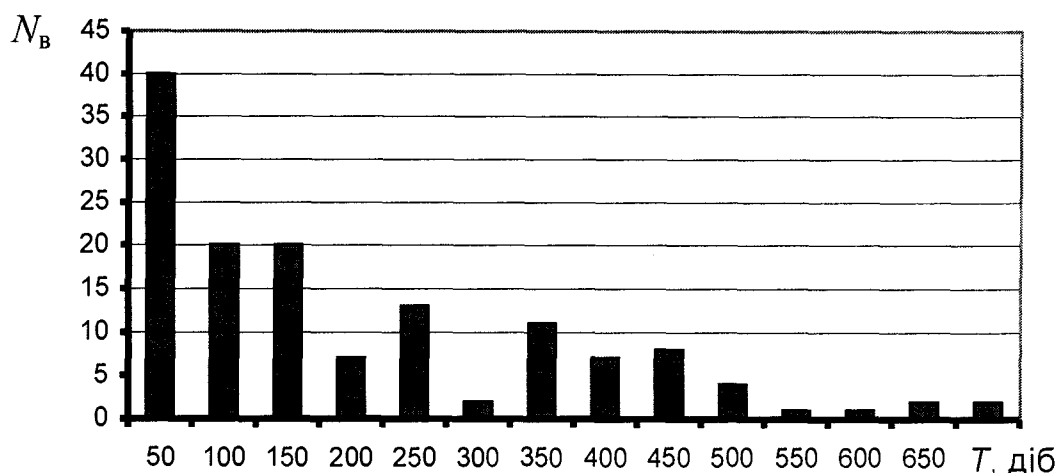


Рис.1.3. Гістограма розподілу кількості відмов N_v установок типу ЕВН5-50 від часу напрацювання T

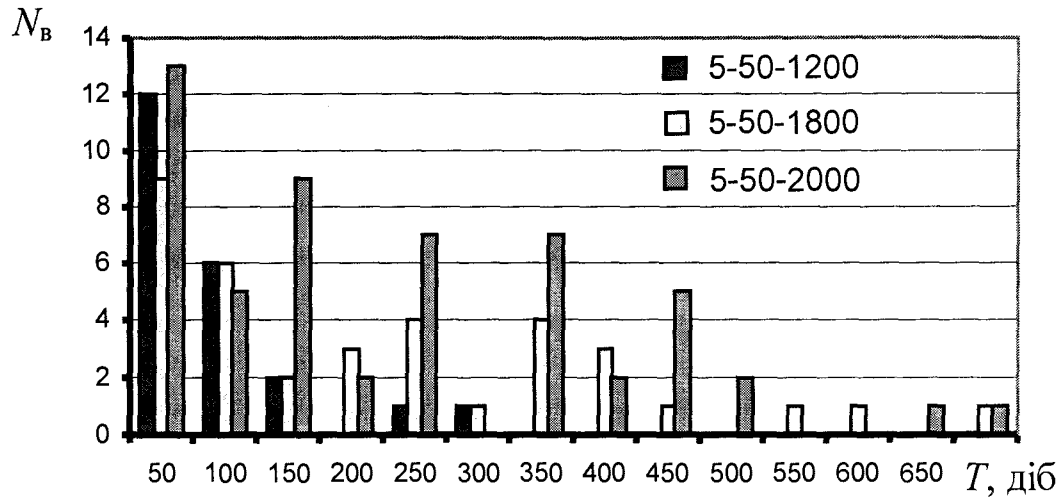


Рис. 1.4. Порівняльні гістограми розподілу кількості відмов N_B різних типорозмірів установок EBH5-50 від часу напрацювання T

Для установок типорозміру EBH5-80 (рис.1.5) характер зміни кількості відмов від напрацювання є близьким до установок типорозміру EBH5-50, що пояснюється майже однаковими розмірами робочих органів в установках обох типорозмірів. А для установок EBH5-125 (рис.1.5) вигляд розподілу відмов наближається до розподілу відмов установок EBH5-200.

Таку значну кількість відмов в початковий період часу для малодобітних

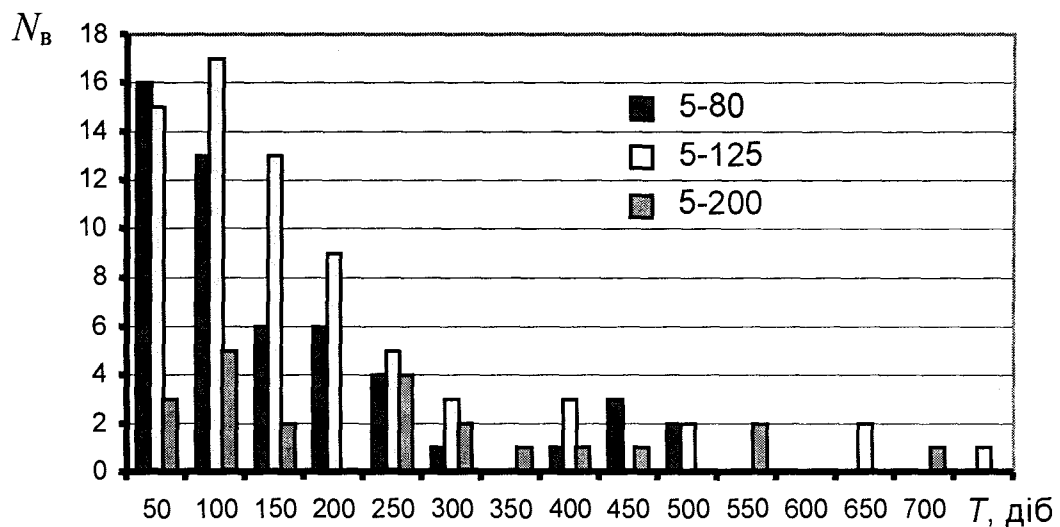


Рис.1.5. Гістограми розподілу кількості відмов N_B установок EBH5-80, EBH5-125 та EBH5-200 від часу напрацювання T

установок можна обґрунтувати малими розмірами її робочих органів, зокрема проточних каналів робочого колеса та направляючого апарату, що призводить до швидкого засмічення установки і, відповідно, виходу з ладу при значній кількості механічних домішок. В той же час у високодебітних установках проточні канали робочих органів мають значно більші габарити, що обумовлює їх менше засмічення, яке поряд із зносом є основною причиною відмов в початковий період експлуатації установки.

На основі проведеного вище аналізу можна зробити висновок, що значна кількість поступових відмов УЕВН вимагає:

- розробки методів діагностування безпосередньо ВН, так як вони виходять з ладу з причин зносу їх робочих органів;
- засобів діагностування поступових відмов, які б дозволили визначати технічний стан ВН в будь-який момент часу і проводити їх ремонт за фактичною потребою;
- обґрунтування періодичності проведення діагностування, оскільки період напрацювання до відмови різний для різних типорозмірів УЕВН.

1.2. Визначення параметрів закону розподілу відмов установок ЕВН

Знання закону розподілу відмов робочих органів ВН і його параметрів необхідне при виборі критерію організації системи діагностування та оцінці її ефективності.

Визначити вид закону розподілу за статистичними даними можна на основі побудови гістограми – графіку статистичної щільності розподілу випадкової величини у вигляді ступінчатого багатокутника [15]. З'єднавши ординати середини інтервалів Δt_i , на які розбивається час спостереження, отримують полігон відповідного показника (крива статистичної щільності). Порівнюючи за зовнішнім виглядом полігон з відповідними теоретичними кривими з

врахуванням характеру появи відмов, приймають гіпотезу про ймовірний даний закон розподілу.

Перевірку допустимості вибраного теоретичного закону (узгодженість експериментальної і теоретичної кривих) можна проводити за різними критеріями узгодження, з яких найбільш розповсюдженими є критерії Колмогорова і Пірсона χ^2 (хі-квадрат). Перший використовується у випадку, коли параметри розподілу апіорі відомі і потрібно після досліду перевірити узгодженість теоретичного і експериментального розподілів, другий – при невідомих параметрах розподілу.

Алгоритм використання χ^2 при оцінці узгодженості теоретичного і статистичного розподілів з врахуванням статистичних значень частот v_i^* передбачає:

1. Визначення міри розбіжності

$$\chi^2 = m \sum_{i=1}^k \frac{(v_i^* - v_i)^2}{v_i},$$

де v_i – теоретична частота;

v_i^* – статистична частота випадкової величини в i -му інтервалі;

k – кількість інтервалів, на які розбитий час спостереження;

m – об'єм вибірки.

2. Знаходження кількості степенів свободи

$$r = k - (s + 1),$$

де s – кількість параметрів теоретичного розподілу.

Теоретична частота і кількість степенів свободи залежать від виду теоретичного закону розподілу [15].

3. Прийняття рішення про узгодженість експериментального і теоретичного законів розподілу.

Обчислене значення χ^2 порівнюють з табличними значеннями, які відповідають вибраній довірчій ймовірності $\alpha = (0,9; 0,95; 0,99)$. Якщо табличні

значення більші за обчислені, гіпотезу приймають, а в противному випадку – відкидають.

Для визначення виду та параметрів закону розподілу були використані узагальнені дані про відмови УЕВН по НГВУ “Чернігівнафтогаз” за 2000-2001 роки (п.1).

Для побудови графіку статистичної щільності розподілу напрацювання до відмови УЕВН весь час спостережень 1100 діб ділимо на $k=22$ інтервали ($\Delta t_i=50$ діб) та визначаємо частоту відмов по кожному інтервалу (рис.1.6).

На основі аналізу рис.1.6 можна висунути гіпотезу про експоненціальний закон розподілу напрацювання до відмови.

У випадку апроксимації даних про відмови установок ЕВН експоненціальним (показниковим) законом розподілу щільність розподілу випадкової величини визначається, як

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

де λ – параметр розподілу, рівний інтенсивності відмов.

Оцінити параметр λ можна на основі середнього напрацювання до відмови

$$\lambda = \frac{1}{T^*},$$

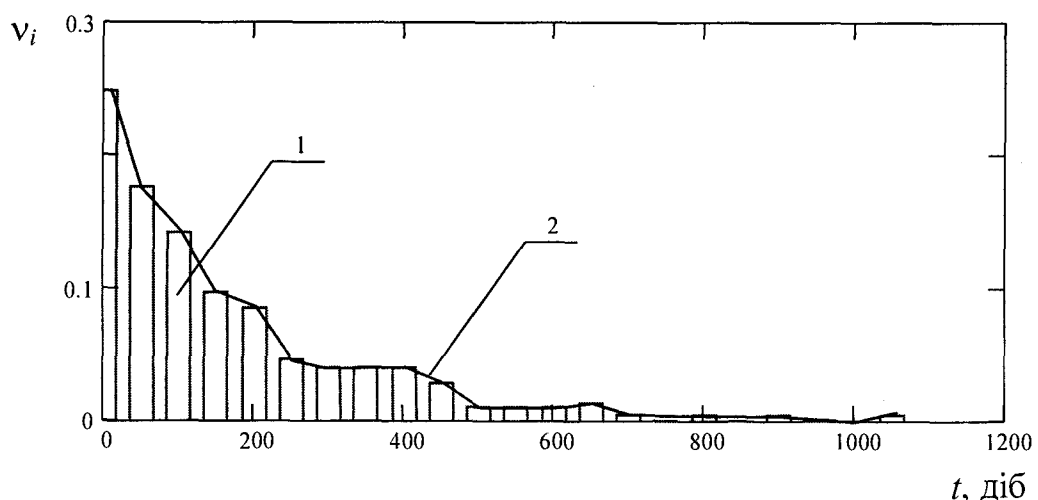


Рис.1.6. Графік статистичної щільності розподілу напрацювання до відмови:

1 – гістограма; 2 – полігон

де $T^* = \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{m}$ – середнє напрацювання до відмови.

Число степенів свободи для експоненціального закону рівне:

$$r = k - 2.$$

Теоретична частота [15]:

$$v_i = e^{-\lambda t_i} - e^{-\lambda t_{i+1}},$$

де t_i – початкове значення випадкової величини в i -ій вибірці;

t_{i+1} – кінцеве значення випадкової величини в i -ій вибірці.

Згідно результатів обчислень середнє напрацювання до відмови УЕВН становить 188 діб, звідси інтенсивність відмов рівна $2,232 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

Результати розрахунку значення критерію χ^2 наведено в Додатку А.

Розрахункове значення критерію χ^2 рівне 12,753.

Критичне значення критерію при довірчій імовірності 0,99 та числу степенів свободи, що рівне $r=20$, становить 37,6. Отже, обчислене значення є меншим за критичне і гіпотезу про експоненціальний закон розподілу напрацювання до відмови УЕВН можна прийняти.

1.3. Аналіз відомих методів та засобів діагностування установок ЕВН в процесі експлуатації

По складності і глибині задач, що вирішуються, з врахуванням технічної особливості, оснащеності технічними засобами діагностування, складності і об'єму виконуваних робіт діагностування УЕВН слід розділити на три рівні [1, 16].

Перший рівень – перевірка стану УЕВН. Вирішення основної задачі на цьому рівні заключається у віднесенні станів вузлів УЕВН до одного з раніше встановлених. Діагноз на цьому рівні, як правило, встановлюється шляхом співставлення виміряних параметрів з рекомендованими допустимими значеннями цих параметрів.

Другий рівень – виявлення дефектів елементів і вузлів УЕВН. По результатах вимірювань ідентифікуються дефекти, дається їх якісна оцінка по діагностичних параметрах.

Третій рівень – прогнозування стану системи. Основна задача діагностування заключається у визначенні часу безвідмовної роботи установки.

Сьогодні більшість відомих методів діагностування УЕВН слід віднести до першого рівня, а виявлення дефектів здійснюється, як правило, візуально після розбирання установки в ремонтному цеху.

Як було відмічено вище, оцінку технічного стану УЕВН можна здійснити за робочими параметрами, основними з яких є подача насоса Q , ККД насоса η , потужність N та напір H , характеристики електричного струму в системі електроприводу, характеристики струмопідводу (опір ізоляції) та за параметрами супутніх процесів (нагрів ЗЕД, вібрація).

Контроль за робочими характеристиками ВН обумовлений тим, що по мірі зносу робочих органів ВН працездатність останнього зменшується, внаслідок чого знижуються значення його параметрів Q , H , N , η .

Контроль подачі дозволяє виключити непродуктивну роботу установки в випадку зриву подачі при наявності газу, відсутності подачі при поломці валу насоса чи спрацюванню робочих органів насоса і запобігти виходу з ладу заглибного двигуна через перегрів його обмоток внаслідок відсутності охолодження корпусу двигуна рідиною, що видобувається.

Контролювати подачу насосу можна шляхом встановлення на кожній свердловині окремих дебітомірів з електричним вихідним сигналом. Крім того, контролювати подачу можна і непрямыми методами. Так, в роботі [17] пропонується аналізатор подачі, робота якого базується на аналізі споживаної ЗЕД активної потужності. При визначенні активної потужності пристрій дозволяє врахувати втрати в кабелі та потужність холостого ходу. Аналізатор дозволяє вести оперативний облік піднятої на поверхню рідини.

В роботах [18, 19] за діагностичну ознаку приймають струм, що споживається ЗЕД. Контроль зміни вказаного показника здійснюється на основі аналізу діаграм, що знімаються амперметром із самописцем. Найбільш широке застосування знайшли добові та тижневі діаграми споживаного струму (в подальшому діаграми), які дозволяють спостерігати за режимом роботи насосної установки на протязі всього періоду її експлуатації.

Аналіз діаграм дозволяє розрізнити ряд режимів роботи УЕВН, таких як "Нормальний пуск та стабільна робота", "Коливання в подачі електроенергії", "Блокування насоса газом", "Пуск на важкій рідині", "Періодична відкачка", "Помилкові пуски", "Надмірна кількість пускових циклів", "Газовий режим (умови роботи з наявністю вільного газу на прийомі насосу)", "Відсутність струмового навантаження", "Низьке навантаження, що приводить до пошкодження", "Періодична відкачка з регульованим циклом", "Перевантаження", "Наявність шламу", "Багатократні "шокові" пуски", "Нестійкий режим", "Плаваюче навантаження". Отримувати струмові діаграми можна за допомогою самопишучих амперметрів, що встановлюються в шафі управління установкою.

Пристрій "Старт" також здійснює контроль за енергетичними параметрами роботи установки ЕВН [19]. Степінь завантаження двигуна визначається активною складовою струму ЗЕД $I_{\cos\varphi}$, для зменшення залежності якої від напруги живлення введена корекція по активній складовій напруги $U_{\cos\varphi}$.

Сигнал, пропорційний завантаженню двигуна, визначається виразом:

$$I_{\text{здв}} = I_{\text{дв}} \cos\varphi + U_{\text{дв}} \cos\varphi, \quad (1.5)$$

де φ – зсув фаз між напругою та струмом двигуна.

Захист від перевантаження здійснюється шляхом контролю амплітудного значення струму в кожній фазі.

Але, як правило, контроль лише одного параметру не дозволяє якісно оцінити стан установки ЕВН, тому більшість відомих методів діагностування УЕВН базуються на контролі сукупності параметрів.

В роботі [21] пропонується проводити оцінку режиму роботи установки в свердловині за такими параметрами, як дебіт свердловини, втрати потужності в двигуні та нагрів ЗЕД.

В основу методу покладено рівняння:

$$t_{\text{дв}} = \frac{\Theta_{\text{т}}}{44F^4 \sqrt{\frac{v}{5}}} + t_{\text{р}}, \quad (1.6)$$

де $\Theta_{\text{т}}$ – кількість тепла, що виділяється в двигуні за одиницю часу, яка пропорційна втратам потужності в ЗЕД;

F – площа поверхні охолодження ЗЕД;

v – середня швидкість руху рідини в зазорі між двигуном та обсадною колоною свердловини, яка прямо пропорційна дебіту свердловини;

$t_{\text{р}}$ – температура рідини, що омиває ЗЕД.

Знаючи температуру ЗЕД та втрати тепла за (1.6) можна знайти швидкість обтікання та, відповідно, дебіт свердловини.

На основі контролю заданих параметрів можна виявити ряд наступних відмов УЕВН за такими ознаками:

- "порив в ліфті насосно-компресорних труб" - підвищення температури ЗЕД при одночасному збільшенні втрат в ньому. Значне зниження табличного значення дебіту свердловини;
- "злом валу насосу" - підвищення температури ЗЕД, зменшення втрат в ньому. Зупинка подачі ВН;
- "запарафінування ліфта, забитий прийом насосу" - підвищення температури ЗЕД при одночасному незначному збільшенні втрат. Зниження табличного значення дебіту;
- "зрив подачі" - підвищення температури ЗЕД на 5°C і більше, зниження втрат в ЗЕД, підвищення динамічного рівня;
- "неправильний вибір напруги живлення" - значне перевищення табличного дебіту над фактично вимірним;

– "зміна напруги живлення на $\pm 10\%$ " - підвищення температури ЗЕД, збільшення втрат на 20%.

Складність реалізації методу полягає в необхідності вимірювання температури ЗЕД та дебіту свердловини.

Наведений метод реалізовано в спеціальному пристрої контролю, який складається зі штатного мегометра безперервного контролю ізоляції та додатково під'єданого терморезистора до нульової точки зірки обмотки статора ЗЕД.

З метою оперативного використання формули (1.6) розроблені спеціальні таблиці для приблизного визначення втрати потужності в двигунах ЗЕД-20, ЗЕД-40 за параметрами споживаного струму та напруги на виході станції управління та таблиці для визначення дебіту свердловини в залежності від температури ЗЕД та кількості тепла, що виділяється.

Недоліком пристрою є необхідність доробки ЗЕД, тобто встановлення в ньому терморезистора, та необхідність складання окремих таблиць для визначення дебіту по кожній конкретній свердловині, оскільки при цьому необхідно врахувати температуру пластової рідини, діаметр обсадної колони та типорозмір ЗЕД.

Слід також відмітити, що визначення потужності за споживаним струмом та напругою на виході станції управління дає значну похибку оскільки не враховуються всі втрати потужності в системі.

В [22] пропонується на основі контролю тиску, що розвиває ВН та споживаної ЗЕД потужності при пуску чи зупинці установки визначати узагальнені характеристики ВН та ЗЕД за допомогою яких можна оцінити технічний стан установки. Пропонуються наступні узагальнені характеристики:

$$E_n = \frac{kP}{N_n} = \frac{\eta_n}{Q_n} = f_1(Q), \quad (1.7)$$

$$E_{дв} = \frac{1}{N_1} = f_2(N_n), \quad (1.8)$$

де k – відомий коефіцієнт пропорційності;

p – диференціальний тиск ВН;

N_n, η_n, Q_n – відповідно потужність на валу, ККД та подача ВН;

N_1 – споживана ЗЕД потужність.

Використання залежностей (1.7), (1.8) вимагає прийняття наступних припущень:

- незмінність характеристики ККД для ЗЕД;
- відсутність впливу зміни густини рідини на ККД насосу;
- зміна ККД насосу обумовлюється лише за рахунок перетоку рідини через ущільнення, причому приріст витoku у всьому діапазоні тисків, що розвиває ВН, пропорційний цьому тиску.

Застосування методу передбачає:

- вимірювання і запам'ятовування тиску ВН P та споживаної ЗЕД потужності N_1 в процесі закриття напірної засувки;
- визначення N_n із залежності (1.8);
- визначення Q із залежності (1.7);
- за значеннями P_0 і $N_{н0}$ (при повністю закритій засувці) із (1.7) визначають приріст подачі, який відповідає змінам витoku через ущільнення по відношенню до попереднього циклу контролю;
- корекція поточних значень Q з врахуванням зміни витoku;
- визначення коефіцієнтів (1.7) методом найменших квадратів за уточненими значеннями Q та відповідними значеннями P і N_n .

Застосування даного методу вимагає періодичної зупинки установки.

Здійснювати контроль за температурою обмоток ЗЕД та за тиском на прийомі насосу дозволяє вести імпульсна термоманометрична система ТМС-3 [23], яка складається із свердловинного (розміщеного в нижній частині ЗЕД) та наземного блоків (розміщеного в станції керування). В якості каналу передачі інформації використовується силовий кабель живлення, свердловинний перетворювач під'єднується до нульової точки статорної обмотки ЗЕД. Система

забезпечує безперервний контроль тиску на прийомі ВН та температури ЗЕД, що дозволяє продовжити термін служби ЗЕД, запобігаючи перегріву обмоток.

Основним недоліком ТМС-3 є необхідність модернізації ЗЕД, що вимагає додаткових затрат та знижує надійність кабельного вводу.

Контролювати сукупність енергетичних параметрів дозволяє також система логічного контролю за роботою ЗЕД, що створена фірмою Borg-Warner Co. З цією метою в систему закладено контрольні графічні залежності зміни напруги, струму, температури та потужності в часі, з якими безперервно порівнюються діючі значення цих параметрів. При недопустимому їх відхиленні від контрольних залежностей видається сигнал на відключення установки [21].

Інтегральним показником, який характеризує зміну подачі, напору та потужності ВН є ККД. Значення ККД характеризує втрати в насосі, які залежать від технічного стану елементів його проточної частини.

Порівняно новим напрямком діагностування УЕВН є контроль їх технічного стану за характеристиками вібраційних процесів, що супроводжують їх роботу.

Стан УЕВН в процесі експлуатації можна визначити за інформативними характеристиками складного коливного процесу, базуючись на наступних принципах:

- вібрація є природним явищем для УЕВН і тому, навіть при її найкращому стані, виходячи з конструктивних особливостей елементів установки, завжди буде мати місце вібрація, рівень якої можна розглядати як нормальний;

- збільшення вібрації вище нормального рівня свідчить про наявність механічного дефекту;

- кожний механічний дефект визиває виникнення вібрацій своїм особливим шляхом.

В більшості відомих на сьогодні робіт з вібродіагностики УЕВН вирішуються задачі оцінки технічного стану окремих вузлів установки на стадії стендових випробовувань після ремонту [24, 25, 26, 27, 28, 29]. Питання контролю вібростану установки ЕВН в процесі експлуатації розглядається в [2, 9]. В [1]

закладені науково-методологічні основи вібродіагностики УЕВН з колоною НКТ і розроблені методи діагностування стану установки, зокрема, за:

- рівнем частотних складових в спектрі амплітудної огинаючої віброшвидкості поздовжніх коливань в смузі 1/3 октави з центральною частотою 2,0 кГц;
- рівнем характерної спектральної складової коливань системи УЕВН з КНКТ.

В першому випадку за діагностичну ознаку приймаються частотні складові в спектрі амплітудної огинаючої віброшвидкості поздовжніх коливань.

Недоліком методу є те, що при діагностуванні установки ЕВН неможливо однозначно виділити який-небудь пріоритетний дефект, що найбільше впливає на її технічний стан, тобто, неможливо прив'язати зміну компонент амплітудної складової спектру до певного виду дефекту.

В той же час зміна субгармонічних складових роторної гармоніки свідчить про збільшення радіального зазору в підшипниках ковзання, зміна амплітуди роторної і лопаткової гармонік – про зміну величини незрівноваженості ротора і гідродинамічної незрівноваженості валу насосу, а зміна амплітуди складових лопаткової гармоніки – про збільшення зносу елементів робочих ступеней насосу.

Таким чином, контролюючи частотний склад і наведені вище складові спектру амплітудної огинаючої віброшвидкості в смузі 1/3 октави, через певний час напрацювання установки ЕВН можна визначити дефекти, які мають найбільший вплив на ресурс установки, а знаючи їх порогові величини – визначити час її напрацювання.

В другому методі за ДО приймають характерну частотну складову спектру вібрації, яку можна виділити в спектрі частот конкретної установки ЕВН протягом її певного часу напрацювання.

Для реалізації цього методу необхідно зняти усереднений (за 10-15 миттєвими спектрами) спектр вібрації в широкій смузі частот в початковий період експлуатації системи. Потім процедуру повторюють, порівнюють отриманий

спектр з попереднім і виділяють характерну спектральну компоненту, амплітуда якої має тенденцію до збільшення. В подальшому знімають усереднений спектр у вузькому діапазоні частот, що включає дану складову. За зміною амплітуди даної складової судять про зміну технічного стану установки. Збільшення швидкості її зміни свідчить про наближення до граничного стану.

Основна складність реалізації методу полягає в необхідності контролю широкої смуги частот спектру вібрації в початковий момент експлуатації, оскільки теоретично неможливо визначити характерну складову спектру вібрації конкретної установки.

Перевагою методу є те, що в подальшому контролюється лише характерна складова спектру вібрації в вузькій смузі частот, що значно спрощує та прискорює процес діагностування.

Недоліком методу є те, що не всі дефекти однаково впливають на характерну складову спектру вібрації, тому завжди існує можливість пропустити дефект, який мало впливає на її рівень.

Загальним недоліком вказаних методів є порівняно невисока точність, оскільки підвищення рівня вібрації не завжди може відповідати досягненню УЕВН граничного стану, тому що джерелами вібрації в насосі можуть бути також гідродинамічні явища. В цьому випадку необгрунтований підйом установки призведе до невикористання закладеного в неї ресурсу.

Якщо представити спектр у вигляді n -мірного вектору (n дискретних спектральних відліків), то можна проводити розпізнавання окремих дефектів установки (також представлених відповідними n -мірними векторами) на основі відомої міри близькості [1]. За міру близькості стану установки до певного класу дефектів можна використати косинус кута між векторами. За еталонний вектор приймається спектр, отриманий в початковий момент експлуатації установки ЕВН. По мірі її напрацювання і зміни технічного стану обчислюються поточні спектри, які порівнюються з еталонним та спектрами, що відповідають характерним дефектам. При цьому найбільш вірогідні результати діагностування

досягаються при використанні спектрів віброшвидкості поздовжніх коливань установки ЕВН.

Основна складність полягає в формуванні класів дефектів, оскільки вібрації, які генеруються окремими вузлами установки, накладаються.

Також на основі контролю за вібростаном установки ЕВН [30, 31] можна здійснити прогнозування залишкового ресурсу установки за величиною зміни амплітуди віброшвидкості поздовжніх коливань системи на основі моделі лінійного тренду та методики прогнозування "П-відмов", тобто відривів окремих частин установки і їх падіння на вибій свердловини [32].

Щодо вимірювання параметрів вібрації установки ЕВН, слід зауважити, що специфіка роботи ОД не дозволяє використовувати безпосередньо універсальні засоби вимірювання і вимагає розробки спеціалізованих засобів вимірювання параметрів вібрації в процесі експлуатації.

Система контролю вібростану УЕВН з колоною НКТ [33] дозволяє проводити вимірювання поздовжніх та поперечних коливань КНКТ (на відстані 30-50 м від гирла свердловини) з наступною передачею результатів вимірювання на гирло свердловини і реєстрацією на магнітний носій.

Дана система складається з двох блоків: блоку перетворення параметрів вібрації та блоку вимірювання і реєстрації.

Блок перетворення параметрів вібрації є вібропружною вимірювальною муфтою, яка аналогічна з'єднувальній муфті для НКТ але має дещо більші по діаметру та довжині розміри. В корпусі муфти розміщено давачі (два акселерометри), нормуючий підсилювач та перетворювач напруга-струм.

Блок вимірювання і реєстрації параметрів вібрації розміщено на гирлі свердловини. В блок входить комутатор, диференціальний підсилювач, інтегратор, амплітудний детектор, схеми вимірювань та індикації, узгоджуючий підсилювач та блок живлення.

Блоки з'єднуються між собою за допомогою вимірювального кабелю. Вібропружна муфта розміщується на відстані 30-50 м від гирла свердловини з

метою недопущення впливів обв'язки обсадної колони на результати вимірювань.

Для отримання інформації про вібростан УЕВН використовується колона НКТ як механічний канал зв'язку.

Для більш точного вимірювання рівня вібрацій установки ЕВН на вибої свердловини система може комплектуватися субблоком вимірювання вібрацій (СВВ), який працює в складі імпульсної системи телеконтролю ІСТ-1, що використовується для безперервного контролю пластового тиску на прийомі ВН та температури обмоток ЗЕД з передачею інформації по силовому кабелю.

Застосування СВВ в комплекті з системою дозволяє підвищити надійність отриманих результатів контролю вібростану системи та їх вірогідність.

Застосування системи передбачає встановлення свердловинного блоку лише при монтажі установки і вимагає застосування окремого кабелю, що знижує надійність системи діагностування.

Для дослідження розповсюдження вібрацій по колоні НКТ та оцінки її вібростану може застосовуватися автономна інформаційно-вимірювальна система АІВС-КНКТ [33]. Система дозволяє здійснити вимірювання параметрів поздовжніх та поперечних коливань, а також поздовжніх, поперечних та крутильних деформацій на контрольованих ділянках колони НКТ по всій її довжині; передачу результатів вимірювань на гирло свердловини; реєстрацію отриманої інформації на будь-який носій. Система дозволяє одночасно контролювати до 16-ти ділянок НКТ.

Система складається з трьох функціонально завершених блоків: вимірювального модуля, блоку збору та передачі інформації, блоку реєстрації інформації.

Конструктивно вимірювальний модуль (ВМ) виконаний у вигляді тензовіброметричної муфти, яка аналогічна з'єднувальній муфті для НКТ. ВМ включає 5 давачів (2 акселерометри та 3 тензодавачі).

Блок збору та передачі інформації розміщено на гирлі свердловини. Він складається з 20-ти комутаторів, кожний з яких може одночасно підключити до

вимірювального каналу один ВМ. ВМ з'єднані між собою 15-ти жильним кабелем.

Такий варіант системи передбачає обробку отриманої інформації в лабораторних умовах з використанням спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи, що не є придатним для оперативної оцінки технічного стану установки ЕВН.

Як і попередня, розглянута система може бути змонтована лише одночасно з монтажем самої установки і вимагає застосування окремого броньованого кабелю для з'єднання свердловинних блоків, що знижує надійність системи при встановленні ВМ на значній віддалі від гирла свердловини, оскільки існує велика ймовірність пошкодження кабелю при монтажних роботах.

Для оперативної діагностики системи "УЕВН-КНКТ" в процесі експлуатації в [34] пропонується використати спеціалізовану систему автоматизованої вібродіагностики на базі мікропроцесорного комплексу (САВД). САВД – дворівнева мультипроцесорна система, верхній рівень якої складають модуль центрального процесора, що використовує в якості периферійних пристроїв пульт оператора та реєстратор інформації.

Нижній рівень складають мікропроцесорні вимірювальні модулі, які крім своїх безпосередніх функцій (вимірювання параметрів вібрації), забезпечують виконання найпростіших алгоритмів обробки інформації, що дозволяє звільнити ресурси модуля центрального процесора при реалізації алгоритмів прогнозування залишкового ресурсу системи та ін.

Система дозволяє, крім реалізації раніше згадуваних алгоритмів вібродіагностування системи, вирішувати також наступні основні задачі:

- активного впливу на ОД в відповідності із результатами діагностування;
- апроксимацію характеристик давачів та корекції їх похибок;
- вимірювання та реєстрацію значних об'ємів діагностичної інформації в реальному масштабі часу;
- управління ходом експерименту і його синхронізація із різноманітними фізичними процесами.

1.4. Передумови використання енергетичних параметрів установок ЕВН для оцінки їх технічного стану

Відомі методи контролю крутного моменту складають дві основні групи: методи безпосередньої оцінки за допомогою давачів крутного моменту (прямі вимірювання) та побічні методи.

Прямі методи вимагають встановлення на об'єкті контролю відповідних давачів в спеціальних контейнерах, а для зв'язку з реєструючими приладами на поверхні необхідно мати лінії зв'язку. Все це вимагає значних матеріальних затрат та й надійність глибинних давачів є низькою. Крім того, установка ЕВН є неконтролепридатною, в зв'язку з чим відпадає можливість використання прямих методів. Тому розглянемо більш детально побічні методи вимірювання крутного моменту.

Суть побічних методів полягає в моделюванні системи “двигун-струмопровід” по тому чи іншому принципу. В результаті обробки первинної інформації про комплексну напругу та струм живлення у відповідності з прийнятою моделлю отримують інформацію про крутний момент на валу двигуна.

Існує три принципи побічних методів вимірювання крутного моменту на валу двигуна [35].

Методи, що базуються на використанні закону Ампера, у відповідності з якими крутний момент визначається через силу струму якоря та магнітну індукцію.

Застосування цих методів для асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором вимагає спеціального пристрою для виміру сили струму ротора. Цей пристрій монтується всередині двигуна і складається зі статорного та роторного пакетів, причому роторні стержні утворені продовженими стержнями ротора двигуна. Тобто реалізація даного методу вимагає розробки спеціального двигуна і є непридатною для ЗЕД.

Метод еквівалентних схем заключається в моделюванні електродвигуна схемою заміщення.

Якщо опори схеми моделі подібні опорам еквівалентної схеми реального двигуна то при живленні двигуна і моделі від одного джерела струму, струми, що споживаються моделлю та двигуном будуть подібні. В цьому випадку електромагнітна потужність двигуна буде відповідати потужності, що розсіюється на опорі, який імітує опір ротора.

При цьому можливі два випадки:

- встановлення величини опору ротора в відповідності з модулем струму, що споживається з мережі;
- встановлення величини опору ротора в функції комплексу споживаного струму (по модулю і фазі).

Проведені дослідження свідчать [35], що вигреш в точності для другого випадку в порівнянні з першим є незначним і тому не виправдовує ускладнення схеми приладу.

Прилад, створений на основі вказаного методу [36], дозволяє контролювати порівняно велику кількість даних. З іншого боку, в схему приладу входять такі елементи, як нестандартний статичний перетворювач потужності, блоки втрат та визначення частоти обертання. Крім того, необхідно застосовувати фільтр струмів прямої послідовності та автоматичний компенсатор. Вказане підвищує вартість приладу та знижує його надійність в промислових умовах.

Метод енергетичних діаграм. Суть методу полягає в аналізі потужності, що споживається з мережі живлення. Розглянемо енергетичну діаграму системи “двигун-струмопровід” [37, 38] (рис.1.7). Як видно з діаграми, потужність, що споживається з мережі, перетворюється в потужність на валу P_v з рядом втрат: в струмопідводі $\Delta P_{сп}$, в статорі ΔP_{e1} , в роторі ΔP_{e2} , механічних $\Delta P_{мех}$, додаткових $\Delta P_{дод}$, холостого ходу $\Delta P_{хх}$.

Окремі види втрат визначаються за формулами:

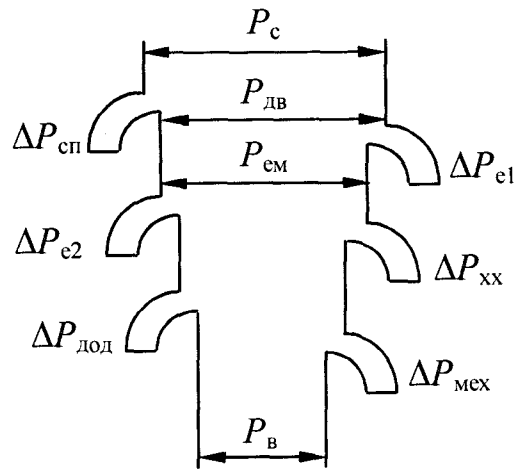


Рис.1.7. Енергетична діаграма системи "струмопідвід-двигун"

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{\text{сп}} &= 3r_{\text{сп}}LI^2, \\
 \Delta P_{\text{е1}} &= 3r_1I^2, \\
 \Delta P_{\text{е2}} &= 3r_2I^2 = sP_{\text{ем}}, \\
 \Delta P_{\text{лод}} &= 0.005 P_{\text{дв}}, \\
 P_{\text{дв}} &= P_{\text{п}} - \Delta P_{\text{сп}}, \\
 P_{\text{вм}} &= P_{\text{дв}} - \Delta P_{\text{е1}},
 \end{aligned}
 \tag{1.9}$$

де P_c – потужність, що підводиться до системи „струмопідвід-двигун” на поверхні;

$P_{\text{ем}}$ – електромеханічна потужність двигуна;

$r_{\text{сп}}, r_1, r_2$ – опори відповідно струмопідводу, статора та ротора;

L – довжина струмопідводу;

I – фазний струм.

Механічні втрати в двигуні обумовлені тертям в підшипниках та тертям ротора об рідину, що заповнює двигун. Вони залежать від типу двигуна, в'язкості рідини і для конкретних умов ці втрати можна вважати постійними.

Отже, виходячи з енергетичної діаграми, потужність на валу

$$P_{\text{в}} = P_{\text{сп}} - \Sigma \Delta P, \tag{1.10}$$

де $\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{сп}} + (\Delta P_{\text{е1}} + \Delta P_{\text{е2}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{лод}}) + \Delta P_{\text{хх}}$.

Момент на валу двигуна

$$M_{\text{в}} = \frac{30P_{\text{в}}}{\pi n_{\text{дв}}} = \frac{30P_{\text{в}}}{\pi n_{\text{с}}(1-s)}, \quad (1.11)$$

де $n_{\text{с}}$ – синхронна частота обертання.

Аналізуючи наведені вище методи слід відмітити, що найбільш перспективними стосовно ЗЕД УЕВН є метод енергетичних діаграм. Застосування вказаного методу не вимагає доробки двигуна та не потребує застосування складних комплектуючих.

1.5. Аналіз технічних засобів контролю крутного моменту на валу заглибних електродвигунів

Сьогодні відсутні розробки технічних засобів контролю крутного моменту на валу ЗЕД, що, в основному, обумовлено відсутністю досліджень взаємозв'язку технічного стану установки ЕВН та крутним моментом на валу ЗЕД. Проте контроль крутного моменту на валу двигуна широко використовується в електробурінні, в якому також застосовуються заглибні електродвигуни в якості приводу породоруйнівного інструменту. Тому розглянемо ті технічні засоби, що знайшли застосування для контролю крутного моменту на валу електробура і можуть бути застосовані до ЗЕД.

В роботі [39] приводиться аналіз відомих технічних засобів контролю крутного моменту на валу ЗЕД. Всі описані технічні засоби використовують побічні методи визначення величини крутного моменту. В зв'язку з відсутністю прямого доступу до об'єкту та складністю з використанням глибинної апаратури найбільшого розповсюдження здобув метод енергетичних діаграм.

В нафтовій промисловості для контролю крутного моменту на валу електробура використовуються вимірювач крутного моменту ОМ-40 [40], вимірювач крутного моменту на валу електробура [41] і серія приладів УКМ [37].

Принцип дії ОМ-40 полягає в тому, що потужність на валу приймається

пропорційною потужності, що споживається з мережі. Різниця між споживаною потужністю і потужністю на валу двигуна полягає у постійних втратах, що приймаються рівними втратам холостого ходу.

Вимірювання потужності в ОМ-40 здійснюється фазочутливим квадратичним детектором, що виконує операцію множення за формулою:

$$|\dot{x} + \dot{y}| - |\dot{x} - \dot{y}| = 4xy \cos \varphi,$$

де \dot{x} і \dot{y} – фазні струм та напруга,

φ – зсув по фазі.

Прилад показує лише приблизне значення крутного моменту на валу двигуна, оскільки не враховує втрат у двигуні, струмопідводі та залежність моменту від ковзання.

Принцип дії вимірювача крутного моменту на валу електробура [41] аналогічний приладу ОМ-40. Перемноження двох величин фазної напруги та фазового струму здійснюється шляхом ділення одного множника на величину обернено пропорційну другому множнику.

Для зменшення похибки вимірювання в схемі є додатковий корегуючий ланцюг автоматичної компенсації втрат у струмопідводі та двигуні.

Пристрій УКМ-1 використовується при симетричному живленні. Він реалізує наступний алгоритм:

$$P_{\text{в}} = \alpha P_{\text{н}} - (a_1 + a_2 L) I^2 - \Delta P.$$

Коефіцієнти α , a_1 , a_2 , ΔP розраховуються для різних типів двигунів електробурів і струмопідводів при номінальному ковзанні.

При визначенні потужності на валу враховується величина активної потужності, що споживається системою з поверхні із врахуванням ковзання $\alpha P_{\text{н}}$, втрати потужності в обмотках двигуна $a_1 I^2$, втрати потужності в струмопідводі $a_2 L I^2$ і коефіцієнт ΔP , що відповідає втратам потужності, які не залежать від струму.

Похибка при вимірюванні потужності пристроєм УКМ-1 становить 12%.

Пристрій УКМ-3 [37] використовується для контролю моменту на валу електробура при несиметричному живленні. При цьому, на відміну від УКМ-1, в ньому застосовується віднімання струмів, а не напруг, що дозволило спростити пристрій та підняти точність вимірювань. Величина основної похибки цього приладу становить $\pm 3\%$.

Пристрої [42], [43] реалізують алгоритми (1.10)–(1.11). Пристрій [42] реалізовано на основі серійних давачів активної потужності Е80 і струму Е100 класу точності 0,5 і аналогових блоків обчислювальної операційної системи АКССР, яка має основну похибку не більше $\pm 0,5\%$, що дозволяє знизити основну похибку пристрою до $\pm 1,5\%$.

Пристрій може застосовуватися для вимірювання моменту як при наявності асиметрії струмів у фазах, так і в симетричних системах струмопідводу.

Застосуванням корегуючого ланцюга, що використовує додаткові вимірювання струму в трьох фазах двигуна, досягається значне зменшення похибки, що пов'язана із втратами потужності у двигуні і струмопровідному кабелі, а також зі зміною ковзання двигуна і несиметрією струмопідводу.

В пристрої [43] при визначенні швидкості обертання валу реалізується алгоритм:

$$\omega_B = \omega_c \cdot \alpha_s P_B, \quad (1.12)$$

де $\alpha_s = \omega_c b_s$, b_s – коефіцієнт пропорційності,

ω_c – синхронна частота обертання.

Пристрій дозволяє враховувати втрати в струмопідводі, при цьому сигнал корегується в залежності від глибини свердловини, втрати в двигуні, а також втрати на холостому ході.

З вище наведеного видно, що вітчизняними і зарубіжними дослідниками роботи по дослідженню зміни енергетичних параметрів в залежності від зміни технічного стану УЕВН не проводились. Виключення становить роботи [17, 28], в яких використовують аналіз споживаної потужності установки для контролю за подачею. Всі відомі технічні засоби призначені, в основному, для вимірювання

побічним методом крутного моменту на валу електробуру, однак їх схемотехнічні рішення можуть бути використані для контролю крутного моменту на валу ЗЕД.

1.6. Обґрунтування і вибір напрямку досліджень

Дослідження умов виникнення і аналіз поступових відмов УЕВН на нафтопромислах Східної України показали, що основною причиною є знос робочих органів ВН, обумовлений як наявністю значної кількості механічних домішок у свердловинній рідині, так і вібрацією установки ЕВН в процесі експлуатації. Причому, вібрація не лише приводить до зносу елементів установки, але й зміна розмірів останніх (знос) викликає збільшення рівня вібрації. Відмічено, що найбільша кількість відмов спостерігається у низькодебітних установках ЕВН, тобто тих, які найбільше використовуються і час експлуатації яких до відмови перебуває в межах 60 діб. Тому актуальною є задача діагностування стану УЕВН і проведення їх ремонту за фактичною потребою. При цьому основну увагу слід приділити методам, які дозволяють діагностувати стан конкретного вузла установки – ВН.

Проведений аналіз досліджень сучасного стану діагностування УЕВН в процесі експлуатації показав, що вони розвиваються, в основному, за двома окремими напрямками, один з яких базується на використанні в якості діагностичних ознак параметрів її вихідних робочих процесів – потужності, струму, подачі, ККД, тощо (методи параметричної діагностики), а другий – параметрів супутніх процесів, що супроводжують роботу ЕВН, таких як температура і вібрація (методи віброакустичної діагностики).

Як показав аналіз, сьогодні найбільш широке промислове використання знайшли методи вібродіагностики установок НКТ, методологічні основи яких ґрунтовно розроблені в [1]. Однак, методи вібродіагностики, за винятком окремих, не дозволяють визначити технічний стан УЕВН на рівні їх основних вузлів – ЗЕД і ВН.

Що стосується методів параметричної діагностики, то жоден з них не знайшов промислового впровадження. В той же час, як показує практика експлуатації УЕВН, зміна потужності ЗЕД може обумовлюватися не лише впливом свердловинних факторів, але й технічним станом вузлів і елементів установки.

Результати попередньо проведених експериментальних досліджень показують, що більш інформативною ДО є величина крутного моменту на валу ЗЕД. Так, при забитті робочих органів ВН крутний момент зростає, а при їх зносі – спадає. В зв'язку з цим перспективним є використання в якості ДО стану ВН крутного моменту на валу ЗЕД. Проведений аналіз засобів контролю крутного моменту на валу ЗЕД показав їх відсутність стосовно УЕВН, однак має місце значна кількість розробок, присвячених ЗЕД для електробуріння, схемотехнічні підходи яких можна використати для вирішення поставленої задачі.

Виходячи з викладеного вище, для розробки методу діагностування ВН необхідно вирішити наступні основні задачі:

1. Розробити теоретичні засади методу діагностування.
2. Провести комплекс експериментальних досліджень, для чого розробити їх методичне, технічне та програмне забезпечення.
3. Встановити закономірності зміни крутного моменту на валу ЗЕД обумовлені зносом робочих органів ВН.
4. Виявити діагностичну ознаку стану ВН за характеристиками крутного моменту та розробити на її основі алгоритм і метод діагностування ВН.
5. Розробити технічні засоби для реалізації методу діагностування стану ВН та провести їх промислову апробацію.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ УСТАНОВОК ЕВН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Розробка математичної діагностичної моделі відцентрового насосу установки ЕВН

Ефективне вирішення задач діагностування установок ЕВН може бути отримано лише на основі комплексних теоретичних і експериментальних досліджень множини S станів, в яких вони можуть знаходитися при експлуатації. Такі дослідження найбільш зручно проводити за допомогою аналітичних описів або графоаналітичних представлень основних властивостей установок ЕВН як об'єктів діагностування, які називаються діагностичними моделями.

В загальному випадку під діагностичною моделлю УЕВН розуміють формальний її опис або графоаналітичне представлення, яке відображає основні зміни, що проходять в ОД при експлуатації.

В якості діагностичних моделей складних технічних систем можуть розглядатися диференціальні рівняння, логічні співвідношення, діаграми проходження сигналів, графи причинно-наслідкових зв'язків та інш. [44, 45, 46].

Стосовно установок ЕВН в якості діагностичних моделей найбільш часто використовують аналітичні моделі [47, 48, 49] і структурно-функціональні схеми [1, 46], які дозволяють визначити функціональні зв'язки між структурними і вихідними параметрами її функціональних вузлів і окремих елементів.

В розділі 1 було відмічено, що основною поступовою відмовою установок ЕВН на нафтопромислах України є знос її робочих органів, тому основну увагу в цьому розділі приділяємо розробці діагностичної моделі саме відцентрового насосу з використанням аналітичних моделей.

При розробці діагностичної моделі ВН використаємо метод електрогідравлічних аналогій, який базується на систематичному переносі теорії електричних кіл в гідравліку [50, 51, 52]. При цьому електричні рівняння

переходять у відповідні гідравлічні співвідношення, що завжди виконуються і на основі яких можна складати гідравлічні схеми та аналізувати їх тими ж добре розвиненими методами, що і електричні кола [53].

Найбільшого поширення отримала аналогія, коли тиск P розглядається як напруга U , а об'ємна витрата Q як струм I та відповідно вводиться поняття гідравлічного імпедансу – величини, що характеризує повний опір руху рідини.

Використання поняття гідравлічного імпедансу дозволяє видозмінити відоме рівняння Ейлера для ВН з нескінченною кількістю лопаток:

$$gH_{\infty} = u_2 v_{2k} - u_1 v_{1k},$$

де H_{∞} – напір ВН;

u_1, v_{1k}, u_2, v_{2k} , – відповідно абсолютні та колові швидкості руху частинки рідини на вході та виході з робочого колеса,

до вигляду, зручного для складання схем заміщення ВН:

$$\rho g H_{\infty} = \rho g H_0 - R_l Q_{\infty},$$

де ρ – густина рідини, що перекачується;

H_0 – напір ВН при закритій напірній засувці (аналог електрорушійної сили в електричному колі);

Q_{∞} – подача ВН;

R_l – внутрішній гідравлічний опір ВН (не залежить від режиму роботи ВН і визначається геометрією робочих органів).

Такий підхід значною мірою сприяє розумінню фізичних процесів в відцентровому насосі та спрощує їх моделювання.

Використовуючи розроблену в [54] методику, розглянемо наступні умовні категорії ВН:

Ідеалізований ВН (ІВН) – одноступеневий та однопотоковий ВН з нескінченною кількістю безмежно тонких лопаток для перекачування ідеальної рідини, в якому відсутні втрати потужності.

Теоретичний ВН (ТВН) – аналог ІВН, обладнаний колесом із скінченною кількістю лопаток певної товщини, в якому відсутні об'ємні, гідравлічні та

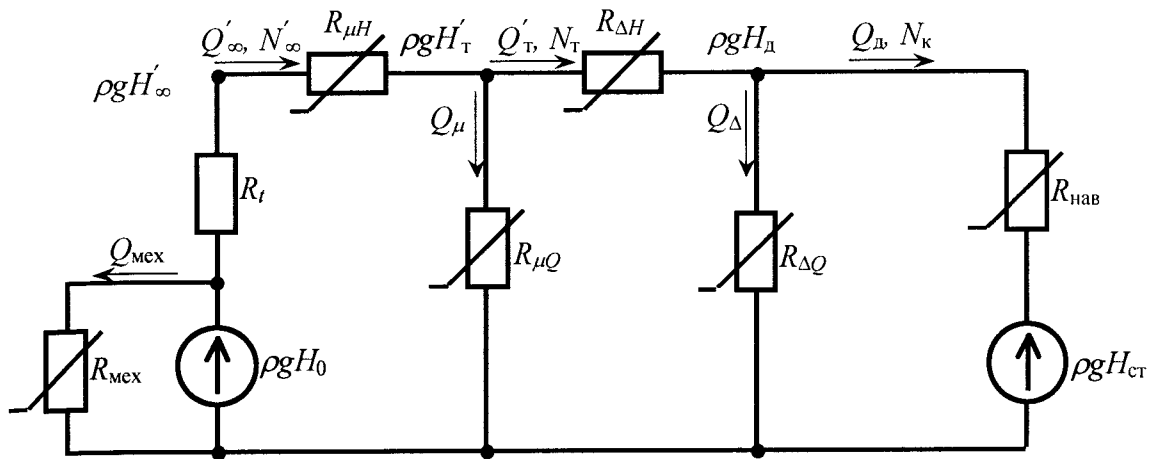


Рис.2.1. Схема заміння електровідцентрового насоса

механічні втрати.

Реальний ВН (РВН) – реальний аналог ТВН із втратами потужності, що працює з однорідною рідиною. При цьому нехтується стисливість рідини, а тепловий режим вважається сталим.

Схема заміння реального ВН, яка базується на фізиці процесів, буде мати вигляд наведений на рис.2.1,

де H'_∞ , H'_T , H'_d , Q'_∞ , Q'_T , Q'_d , N'_∞ , N'_T , N_K – відповідно напори, витрати та потужності ІВН, ТВН, РВН;

Q_μ , Q_Δ – об'ємні втрати рідини спричинені відповідно скінченою кількістю лопатей K_d та зворотніми зв'язками через ущільнення;

$Q_{\text{мех}}$ – об'ємні втрати рідини, що відповідають механічним втратам енергії;

R_t – внутрішній гідравлічний опір РВН;

$R_{\text{мех}}$ – нелінійний опір, що відображає механічні втрати енергії;

$R_{\mu Q}$, $R_{\mu H}$ – нелінійні опори, що відображають вплив скінченої кількості лопатей на витрату і напір насосу;

$R_{\Delta Q}$, $R_{\Delta H}$ – нелінійні опори, що відображають об'ємні та гідравлічні втрати енергії;

H_0 – напір на виході РВН в режимі холостого ходу ($Q=0$);

$H_{\text{ст}}$ – статичний напір в зовнішньому трубопроводі.

На схемі заміння параметри режиму ІВН і ТВН, що функціонально пов'язані з параметрами дійсного режиму РВН, позначені з індексом “'”, так як в

режимі холостого ходу РВН витрата $Q'_{\infty}{}^{xx}$ буде відмінною від нуля, оскільки при цьому мають місце витрати $Q_{\mu}{}^{xx}$ та $Q_{\Delta}{}^{xx}$, тоді як в режимі уявного ідеального ХХ ІВН дана витрата рівна нулю. Аналогічно, в режимі “обриву” напірного тракту РВН напір $H'_{\infty}{}^{обр} > 0$, на відміну від такого ж ідеального режиму ІВН, в якому $H_{\infty}{}^{обр} = 0$.

На основі схеми заміщення можна записати систему рівнянь [55] в системі відносних одиниць, коли всі величини, що характеризують роботу насосу, виражаються в частках від номінальних значень цих параметрів, що широко використовується в теорії електричних машин та дозволяє спростити аналіз режимів роботи насосу:

$$\left. \begin{aligned} Q'_{\infty} - Q_{*\mu} - Q'_{*T} &= 0, \\ Q'_{*T} - Q_{*\Delta} - Q_{*d} &= 0, \\ Q_{\text{мех}} R_{\text{мех}} &= H_{*0}, \\ -Q_{*\Delta} R_{*\Delta Q} + H_{*d} &= H_{*ст}, \\ Q'_{\infty} (R_{*t} + R_{*\mu H}) + Q_{*\mu} R_{*\mu Q} &= H_{*0}, \\ -Q_{*\mu} R_{*\mu Q} + Q_{*T} R_{*\Delta H} + Q_{*\Delta} R_{*\Delta Q} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Для розв'язку систему доповнюємо рівняннями зв'язку

$$\left. \begin{aligned} R_{*\mu H} &= \left(\frac{H_{*0}}{Q'_{\infty}} - R_{*t} \right) \cdot (1 - \mu_H), \\ R_{*\mu Q} &= R_{*\mu H} \frac{\mu_H}{(1 - \mu_H)(1 - \mu_Q)}, \\ R_{*\Delta Q} &= \frac{\eta_0^{\text{ном}}}{1 - \eta_0^{\text{ном}}} \sqrt{H_{*d}}, \\ R_{*\Delta H} &= \frac{C_2}{Q'_{*T}} \left(Q'_{*T} - \frac{C_1}{\eta_0^{\text{ном}}} \right)^2 + C_0 Q'_{*T}, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де коефіцієнти C_0, C_1, C_2 визначаються як:

$$C_1 = \frac{2\Delta H_{*r}{}^{xx} \eta_0^{\text{ном}} Q_{*d}^{\text{обр}} (\eta_0^{\text{ном}} Q_{*d}^{\text{обр}} - 1)}{(\eta_0^{\text{ном}} Q_{*d}^{\text{обр}})^2 (\Delta H_{*r}{}^{xx} - \Delta H_{*r}^{\text{ном}}) - (\Delta H_{*r}{}^{xx} - \Delta H_{*r}^{\text{обр}})}, \quad (2.3)$$

$$C_2 = \left(\eta_0^{\text{ном}} / C_1 \right)^2 \Delta H_{*r}{}^{xx}, \quad (2.4)$$

$$C_0 = (\eta_0^{\text{НОМ}})^2 \Delta H_{*Г}^{\text{НОМ}} - C_2(1 - C_1)^2, \quad (2.5)$$

де $\Delta H_{*Г}^{\text{XX}}$, $\Delta H_{*Г}^{\text{НОМ}}$, $\Delta H_{*Г}^{\text{обр}}$ – гідравлічні втрати відповідно в режимах холостого ходу, номінальному та “обриву” напірного тракту;

$Q_{*Д}^{\text{обр}}$ – подача РВН в режимі “обриву” напірного тракту;

$\eta_0^{\text{НОМ}}$ – номінальне значення об’ємного ККД.

Розв’язуючи систему рівнянь (2.1)–(2.2) одним із чисельних методів визначаємо невідомі параметри $Q'_{*\infty}$, $Q'_{*\mu}$, $Q'_{*Г}$, $Q_{*\Delta}$, $Q_{*\text{мех}}$, $R_{*\mu H}$, $R_{*\mu Q}$, $R_{*\Delta H}$, $R_{*\Delta Q}$, $H_{*Д}$.

Так, наприклад, для установки УЕВН5-50-1800, яка є найбільш типовою для умов НГВУ “Чернігівнафтогаз”, вихідними даними для розрахунку будуть основні конструктивні та режимні параметри:

- кількість ступеней насосу $L=384$;
- зовнішній та внутрішній діаметри робочого колеса;
- кількість лопаток $K_{\text{л}}=7$;
- лопатевий кут на зовнішньому діаметрі $\beta_{\text{л}2}=25^\circ$;
- товщина лопаті $\delta_{\text{л}}=0,0015$ мм;
- номінальна подача $Q_{\text{л}}^{\text{НОМ}}=50$ м³/добу;
- номінальний напір $H_{\text{л}}^{\text{НОМ}}=1800$ м;
- номінальний повний ККД насосу $\eta^{\text{НОМ}}=0,54$;
- частота обертання ротора насосу $n^{\text{НОМ}}=2814$ об/хв;
- статичний напір $H_{\text{ст}}=0$ м,

та розрахункові параметри:

- еквівалентні розміри насосу;

$$D_{2e} = D_2 \sqrt{L} = 1,382;$$

$$D_{1e} = D_1 \sqrt{L} = 0,417;$$

$$D_{1ep} = \frac{D_{1e}}{(\lg(D_{1e}/D_{2e}) + 1,3)^2} = 0,686;$$

$$m_{Dp} = D_{2e}/D_{1ep} = 2,015;$$

$$k_{Dp} = \frac{m_{Dp}^2 - 1}{m_{Dp}^2} = 0,754;$$

– напір в режимі закритої напірної засувки:

$$H_0 = k_{Dp} \left(\frac{\pi D_{2e} n}{60} \right)^2 \frac{1}{g} = 2184;$$

– коефіцієнт швидкохідності

$$n_s = 3,65 n_{\text{НОМ}} \sqrt[4]{(Q_{\text{д}}^{\text{НОМ}})^2 \left(\frac{L}{H_{\text{д}}^{\text{НОМ}}} \right)^3} = 77,56;$$

– повна споживана з валу ЗЕД потужність

$$N_c^{\text{НОМ}} = \frac{\rho g H_{\text{д}}^{\text{НОМ}} Q_{\text{д}}^{\text{НОМ}}}{1000 \eta^{\text{НОМ}}} = 21,381 \text{ кВт};$$

– об'ємний ККД

$$\eta_o^{\text{НОМ}} = \frac{1}{1 + 0,68 n_s^{-0,66}} = 0,963;$$

гідравлічний ККД

$$\eta_{\text{г}}^{\text{НОМ}} = 1 - 0,42 \cdot \left[\lg \left(4500 \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{д}}^{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}} \eta_o^{\text{НОМ}}}} \right) - 0,172 \right]^{-2} = 0,734;$$

– механічний ККД

$$\eta_{\text{мех}}^{\text{НОМ}} = \frac{\eta^{\text{НОМ}}}{\eta_o^{\text{НОМ}} \eta_{\text{г}}^{\text{НОМ}}} = 0,608;$$

– внутрішній механічний ККД

$$\eta_{\text{мв}}^{\text{НОМ}} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_s^2}} = 0,88;$$

– коефіцієнт об'ємного стиснення робочого потоку лопатками насосу

$$\mu_Q = 1 - \frac{0,73 K_{\text{л}} \delta_{\text{л}} m_{Dp}}{D_{2E} (m_{Dp} - 1)} = 0,989;$$

– коефіцієнт зниження напору під впливом скінченої кількості лопаток

$$\mu_H = \frac{1}{1 + \frac{H_0 \eta_r^{\text{НОМ}} \pi}{H_d^{\text{НОМ}} K_l} \sin(\beta_{2л} - \sigma)} = 0,827;$$

– внутрішній гідравлічний опір в системі відносних одиниць

$$R_{*t} = \left(\frac{H_0}{H_d^{\text{НОМ}}} - \frac{1}{\eta_r^{\text{НОМ}} \mu_H} \right) \eta_o^{\text{НОМ}} \mu_Q = 0,117;$$

– постійне значення опору вітки моделювання механічних втрат

$$R_{*мех} = \left(\frac{H_0}{H_d^{\text{НОМ}}} \right)^2 \frac{\eta^{\text{НОМ}}}{1 - \eta_{мв}^{\text{НОМ}}} = 11,216;$$

– номінальне значення розрахункового кута навантаження

$$\gamma_p^{\text{НОМ}} = \pi \left(1 - \frac{H_d^{\text{НОМ}} k_{Dp}}{H_0 \mu_H \eta_r^{\text{НОМ}}} \right) \mu_Q \eta_o^{\text{НОМ}} = 0,894;$$

– режимні параметри в відносних одиницях

$$H_{*д}^{\text{ХХ}} = \frac{\gamma_p^{\text{НОМ}}}{\sin(\gamma_p^{\text{НОМ}})} = 1,147,$$

$$Q_{*д}^{\text{обр}} = \sqrt{\frac{H_{*д}^{\text{ХХ}}}{H_{*д}^{\text{ХХ}} - 1}} = 2,796;$$

– гідравлічні втрати напору в характерних режимах

$$\Delta H_{*г}^{\text{ХХ}} = \frac{H_0}{H_d^{\text{НОМ}}} \mu_H - H_{*д}^{\text{ХХ}} = 0,316,$$

$$\Delta H_{*н}^{\text{ХХ}} = \frac{1}{\eta_r^{\text{НОМ}}} - 1 = 0,361,$$

$$\Delta H_{*г}^{\text{обр}} = \left(\frac{H_0}{H_d^{\text{НОМ}}} - \frac{Q_{*д}^{\text{обр}} R_{*t}}{\mu_Q} \right) \mu_H = 1,189.$$

Розрахункові коефіцієнти C_0 , C_1 , C_2 визначаємо за формулами (2.3)–(2.5).

Звідки $C_0=0,142$; $C_1=5,275$; $C_2=0,0105$.

Підставивши отримані значення параметрів ВН в систему рівнянь (2.1)–(2.2)

та провівши очевидні перетворення, отримаємо систему рівнянь у вигляді:

$$\left. \begin{aligned}
 Q'_{*\infty} - Q_{*\mu} - Q'_{*T} &= 0, \\
 Q'_{*T} - Q_{*\Delta} - Q_{*д} &= 0, \\
 Q_{\text{мех}} &= 0,158, \\
 -Q_{*\Delta} R_{*\Delta Q} + H_{*д} &= 0, \\
 Q'_{*\infty} (0,117 + R_{*\mu H}) + Q_{*\mu} R_{*\mu Q} &= H_{*0}, \\
 -Q_{*\mu} R_{*\mu Q} + Q_{*T} R_{*\Delta H} + Q_{*\Delta} R_{*\Delta Q} &= 0, \\
 R_{*\mu H} &= \frac{0,306}{Q'_{*\infty}} - 0,0202, \\
 R_{*\mu Q} &= 434,405 R_{*\mu H}, \\
 R_{*\Delta Q} &= 25,987 \sqrt{H_{*д}}, \\
 R_{*\Delta H} &= \frac{0,0105}{Q'_{*T}} (Q'_{*T} - 5,275 Q'^{\text{НОМ}}_{*T})^2 + 0,142 Q'_{*T}.
 \end{aligned} \right\} (2.6)$$

Для спрощення розрахунків представимо систему рівнянь (2.6) у вигляді, позначивши $Q'_{*\infty} \rightarrow x_1$, $Q_{*\mu} \rightarrow x_2$, $Q'_{*T} \rightarrow x_3$, $Q_{*д} \rightarrow x_4$, $R_{*\mu H} \rightarrow x_5$, $R_{*\mu Q} \rightarrow x_6$, $R_{*\Delta H} \rightarrow x_7$, $R_{*\Delta Q} \rightarrow x_8$, $H_{*д} \rightarrow x_9$ (із системи вилучене 3-тє рівняння, оскільки з нього явно виражається невідома змінна $Q_{\text{мех}}$, що не входить в інші рівняння):

$$\left. \begin{aligned}
 f_1 &= x_1 - x_2 - x_3 = 0, \\
 f_2 &= x_3 - x_4 - Q_{*д} = 0, \\
 f_3 &= -x_4 x_9 + x_{10} = 0, \\
 f_4 &= 0,117 x_1 + x_1 x_5 + x_2 x_6 - 1,769 = 0, \\
 f_5 &= -x_2 x_6 + x_3 x_7 + x_4 x_8 = 0, \\
 f_6 &= x_1 x_5 + 0,02 x_1 - 0,306 = 0, \\
 f_7 &= x_6 - 434,405 x_5 = 0, \\
 f_8 &= x_8^2 - 675,0124 x_9 = 0, \\
 f_9 &= -x_3 x_7 - 0,116 x_3 + 0,132 x_3^2 + 0,316 = 0.
 \end{aligned} \right\} (2.7)$$

Якщо $f=(f_1, f_2, \dots, f_9)$ вектор, то систему можна подати у вигляді $f(x)=0$. Подамо її у вигляді $x=\varphi(x)$. Дана формула задаватиме ітераційний процес для знаходження x_i . Умовою збіжності ітераційного процесу є стискуваність відображення $x=\varphi(x)$ і

$$\|\varphi(x'') - \varphi(x')\| \leq \Theta \|x'' - x'\|, \quad \Theta < 1.$$

Оцінимо величину Θ . Розглянемо функцію $\varphi^{(m)}(x)$. Звідки, виходячи з означення норми, одержимо:

$$\|\varphi(x'') - \varphi(x')\| \leq \max_m \max_x \sum_{k=1}^n \left| \frac{\partial \varphi^{(m)}}{\partial x^{(k)}} \right| \|x'' - x'\|.$$

Враховуючи, що:

$$\|\varphi'\| = \max_m \sum_k \left| \frac{\partial \varphi^{(m)}}{\partial x^{(k)}} \right| \|x'' - x'\|$$

то для оцінки Θ можна скористатися рівністю

$$\Theta = \max_x \|\varphi'(x)\| < 1.$$

Побудова $\varphi(x)$ здійснюється за формулою

$$\varphi(x) = \bar{x} + \bar{r}(x) \cdot f(\bar{x}),$$

де $\bar{r}(x)$ – взагалі довільна матриця функцій. Якщо вибрати $\bar{r}(x) = -(f'(x))^{-1}$ то одержується метод Ньютона. Для розглянутої матриці

$$\left\{ \frac{\partial f^i}{\partial x_j} \right\} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -x_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_4 & 1 \\ (0,18 + x_5) & x_6 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -x_6 & x_7 & x_8 & 0 & -x_2 & x_3 & x_4 & 0 & 0 \\ (0,02 + x_3) & 0 & 0 & 0 & x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -434,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2x_8 & -67 \\ 0 & 0 & (-x_7 - 0,17 + 0,26x_3) & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Таким чином, алгоритм збіжності вимагає перевірки умови $\Theta \leq 1$ на кожному кроці ітераційного процесу. На кожному кроці ітераційного процесу необхідно знаходити матрицю обернену до $\{\partial f^i / \partial x_j\}$.

Прийнявши позначення для матриці $\{\partial f^i / \partial x_j\}^{-1} = h_{ij}$ запишемо формулу ітераційного процесу

$$x_j^{i+1} = x_j^i - \sum_{k=1}^9 h_{jk} f_k(x_1^i, x_2^i, x_3^i, \dots, x_{10}^i), \quad (2.9)$$

де $j = \overline{1,9}$ – кількість невідомих змінних.

Реалізація описаного методу в програмному середовищі MathCad дозволяє отримати напірну характеристику ВН (рис.2.2). Отриману напірну характеристику за допомогою методу найменших квадратів можна описати наступним виразом:

$$H(Q) = 2069,38 - 0,0278Q - 0,0914Q^2. \quad (2.10)$$

Визначення робочого режиму ЕВН (напір та подача) неможливе без врахування умовної характеристики свердловини $H_{св} = f(Q)$, що враховує затрати енергії на подолання гідравлічних втрат від агрегату до гирла свердловини. Точка перетину умовної характеристики свердловини з характеристикою ВН відповідає матеріально-енергетичному балансу системи “насос-свердловина”.

Напір ВН можна порахувати, як

$$H_n = H_{ст} + \Delta H_d + \frac{p_r + p_{тр}}{\rho g}, \quad (2.11)$$

де p_r – заданий тиск на гирлі свердловини;

$p_{тр}$ – втрати тиску на тертя в трубах і місцевих опорах;

ΔH_d – падіння рівня рідини в свердловині відносно статичного рівня під час роботи установки ЕВН;

Падіння рівня рідини в свердловині під час роботи установки ЕВН можна

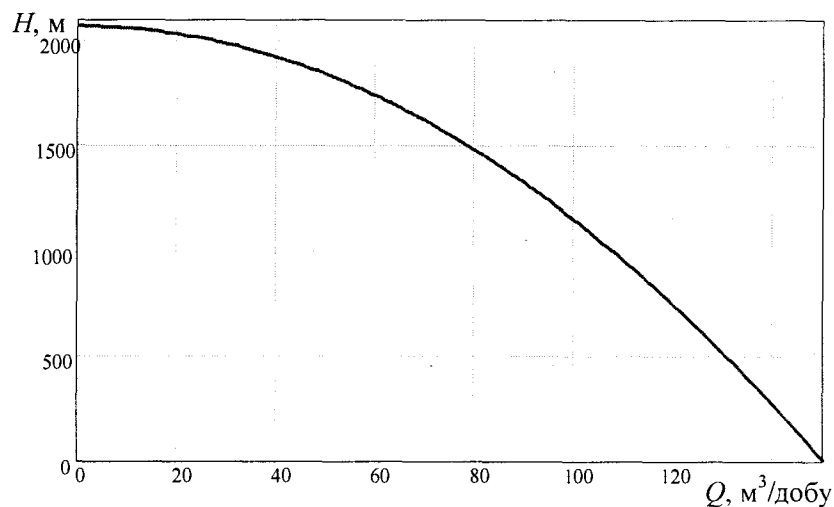


Рис.2.2. Напірна характеристика установки УЕВН5-50-1800

визначити як (приймаючи лінійний режим фільтрації)

$$\Delta H_d = \frac{Q}{k\rho g},$$

де k – коефіцієнт продуктивності свердловини.

Лінійні втрати тиску при відсутності штуцера і однакових діаметрах підйомних труб, визначаються як

$$p_{тр} = 8\lambda\rho \frac{L}{\pi^2 d^5} Q^2,$$

де L – глибина спуску насосу;

d – внутрішній діаметр насосних труб;

λ – коефіцієнт стиснення струменя, що для насосно-компресорних труб можна прийняти $\lambda=0,03$ [56, 57].

Спільний розгляд отриманих напірних характеристик (2.10) та умовних характеристик свердловин (2.11) дозволяє змоделювати реальні режими роботи установки ЕВН.

Таким чином, отримана математична модель ВН дозволяє адекватно описати процеси, що відбуваються в відцентровому насосі та визначити номінальні значення крутного моменту і його значення при зносі робочих органів насосу в залежності від умов конкретної свердловини.

В 1.1 було відмічено, що величина зносу робочих органів ВН обумовлена також вібростаном установки ЕВН. Внаслідок зносу і інших процесів типу корозії, фретінг-корозії і кавітації проходить зміна показників технічного стану і параметрів вібрації як самої установки ЕВН з колоною НКТ, так і, в основному, робочих органів ВН. Таким чином, дефекти робочих органів ВН зв'язані з вібраційними процесами по-різному. Вони можуть викликатися вібраційними процесами, а також самі викликати або змінювати їх. У зв'язку з викладеним, доцільним було б враховувати також вплив вібрації на зміну крутного моменту на валу ЗЕД. Тим більше, що при видобутку свердловинної рідини значної густини, при включенні ЗЕД виникають значні крутні моменти, які призводять до виникнення крутильних коливань установки ЕВН з колоною НКТ.

Такі аналітичні дослідження були проведені [58, 59], основні їх результати наведені в додатку Б.

2.2. Дослідження працездатності установок ЕВН

Об'єкт вважається працездатним, якщо він може виконувати поставлені перед ним задачі або покладені на нього функції. Зазвичай на практиці дозволяється деяке відхилення відносно якості виконання функцій об'єктом, яке дозволяє допускати деякі зміни в стані об'єкту та говорити про наявність підмножини станів $\{N_1\}$, при яких об'єкт ще вважається працездатним [66]. Зміна стану об'єкту в встановлених межах може розглядатися як зміна степені працездатності, або запасу працездатності об'єкту, при цьому $N_i \in N_1$. Якщо зміна стану об'єкту виходить за допустимі межі, тобто $N_i \notin N_1$, то об'єкт втрачає свою працездатність – наступає відмова.

Аналіз працездатності об'єкту передбачає визначення умов при яких об'єкт може виконувати покладені на нього функції. Ці умови називаються умовами працездатності об'єкту. Крім того, аналіз працездатності передбачає вибір сукупності величин, які дозволяють перевірити умови працездатності та визначити метод їх контролю.

Умови працездатності можна сформулювати на основі аналізу моделі ОД або отримати на основі аналізу моделі ОД чи на основі експерименту при дослідженні реального об'єкту. При цьому умови працездатності визначаються як обмеження на зміну динамічних та статичних характеристик або сукупності параметрів ОД.

Для безперервних лінійних об'єктів умови працездатності в загальному випадку можуть бути задані як обмеження на переміщення полюсів і нулів в комплексній площині. Задана область допустимих переміщень полюсів і нулів в комплексній площині визначає обмеження на зміну динамічних властивостей об'єкту та його працездатність. Аналіз в комплексній площині і формування умов працездатності, як вимога знаходження коренів передавальної функції в заданій

області, дозволяє порівняно легко здійснити перехід до задання умов працездатності в часовій або частотній областях, чи в області параметрів, що контролюються.

2.2.1. Побудова передавальної функції заглибного електродвигуна

Для приводу ЗЕД використовуються спеціальні вертикальні асинхронні дво полюсні електродвигуни. Трифазний асинхронний двигун наближено можна розглядати як аперіодичну ланку, коли вихідною величиною є кутова швидкість ротора. Тому передавальна функція буде мати вигляд:

$$W_d(p) = \frac{k_1}{T_m p + 1}, \quad (2.12)$$

а динамічні параметри

$$k_1 = \frac{\left(\frac{\partial M_d}{\partial \alpha}\right)_0}{\left(\frac{\partial M_d}{\partial \alpha}\right)_0 - \left(\frac{\partial M_o}{\partial \alpha}\right)_0} = \frac{k_m}{\beta_{d0} - \beta_{o0}}, \quad (2.13)$$

$$T_m = \frac{J}{\left(\frac{\partial M_d}{\partial \alpha}\right)_0 - \left(\frac{\partial M_o}{\partial \alpha}\right)_0} = \frac{J}{\beta_{d0} - \beta_{o0}},$$

де M_o – момент опору, Н м;

β_d, β_o – жорсткість механічної характеристики двигуна і моменту опору, Н·м·с/рад;

α – параметр управління (вхідна величина).

k_m – коефіцієнт чутливості двигуна по моменту до змін вхідної величини.

Параметром управління асинхронного двигуна може бути напруга на статорі, індуктивний опір фази статора, активний опір фази ротора і т.д. В даному випадку вхідною величиною є напруга на статорі.

При практичних розрахунках динамічні параметри трифазного двигуна визначаються наступним чином. За відомими номінальними даними ЗЕД знаходиться величина критичного ковзання

$$s_k = s_{\text{ном}} \frac{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - [1 + 2(1 - \lambda)s_{\text{ном}}]}}{1 + 2(1 - \lambda)s_{\text{ном}}}, \quad (2.14)$$

де $s_{\text{ном}}$ – номінальне ковзання;

$\lambda = M_{\text{д.мах}} / M_{\text{д.ном}}$ – перевантажувальна здатність двигуна;

$M_{\text{д.мах}}$ – максимальне значення моменту двигуна.

Потім будується механічна характеристика двигуна за формулою

$$M_{\text{д}} = \frac{2\lambda M_{\text{д.ном}}(1 + s_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2s_k}. \quad (2.15)$$

При цьому вважають, що значення ковзання двигуна s змінюється від одиниці до нуля. Далі будується крива залежності зміни моменту опору від кутової швидкості $M_c = f(\omega)$. До точки перетину двох характеристик проводяться дотичні. Тангенси кутів α_c і $\alpha_{\text{д}}$, утворені дотичними з віссю ординат, дають значення жорсткостей цих характеристик: $\text{tg} \alpha_c = \beta_c$ і $\text{tg} \alpha_{\text{д}} = \beta_{\text{д}}$.

Для визначення постійної часу T_m необхідно знати величину моменту інерції двигуна J .

2.2.2. Побудова передавальної функції відцентрового насосу

Для побудови передавальної функції ВН, необхідно розглянути процеси, що протікають у ньому.

У ВН рідина, яка підводиться до робочого колеса, має певний напрям руху (вздовж осі валу) і певну швидкість v_0 . При вході в колесо струмінь починає відхилятися в радіальному напрямку, а швидкість змінюється до v_1 . Продовжуючи рух по робочих каналах колеса, рідина буде збільшувати швидкість і при виході дійде до величини v_2 (рис.2.3).

Частинки рідини, проходячи по каналах робочого колеса, будуть здійснювати складний рух, оскільки поряд із обертанням разом з колесом з переносною швидкістю u вони будуть переміщуватися вздовж лопаті колеса з якоюсь відносною швидкістю ω , абсолютна швидкість рідини v влюбій точці каналу колеса визначається як геометрична сума швидкостей u і ω .

Для побудови передавальної функції виберемо вхідну та вихідну величини. Вхідною величиною буде кутова швидкість обертання валу, а вихідною – подача.

Подача ВН визначається розмірами проточних каналів і меридіанною швидкістю рідини на виході з робочого колеса. Площа f живого сечення потоку рідини, що виходить з робочого колеса, визначається як сума сечень всіх каналів колеса на його зовнішньому діаметрі D_2

$$f = \pi D_2 b_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} b_2, \quad (2.16)$$

де z – число лопаток колеса ВН;

s_2 – товщина лопаті;

b_2 – висота лопаті.

Абсолютна швидкість рідини на виході з робочого колеса v_2 може бути розкладена на дві складові: меридіанну $v_{2m} = v_2 \sin \alpha_2$ і переносну $v_{2n} = v_2 \cos \alpha_2$.

Таким чином, теоретична подача ВН (або вірніше - витрата рідини через робоче колесо) може бути виражена рівнянням:

$$Q_{\tau} = \left(\pi D_2 b_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} b_2 \right) v_2 \sin \alpha_2. \quad (2.17)$$

На практиці, як відомо, за рахунок різниці напорів на вході і виході з робочого колеса завжди мають місце втрати рідини. Частина рідини, що виходить

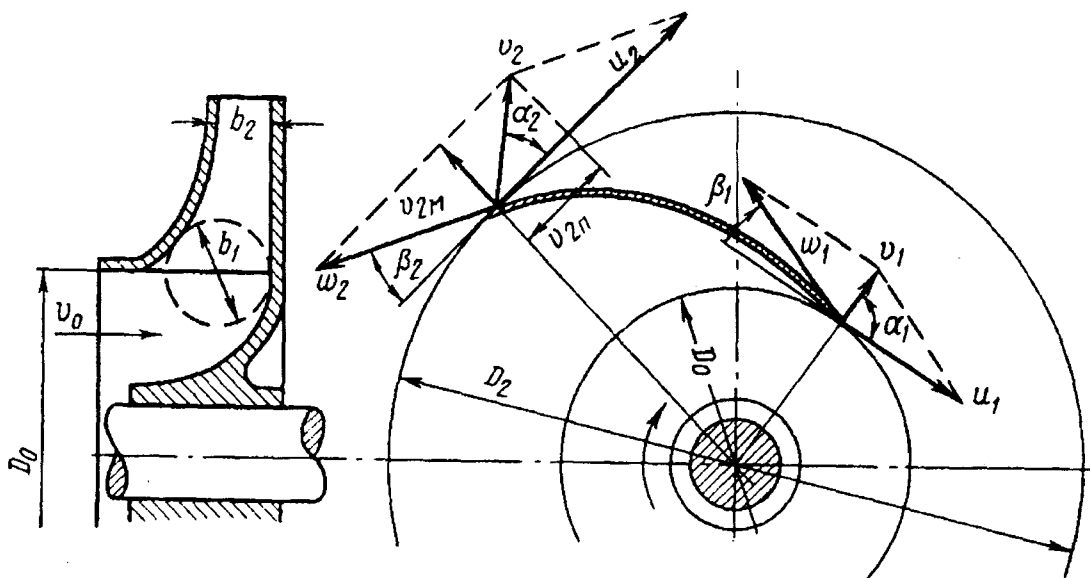


Рис. 2.3. До визначення передавальної функції ВН

з робочого колеса, через зазори повертається знову до входу в колесо, що зменшує напір. Величина втрат залежить від величини зазорів, характеру і стану ущільнень між рухомими і нерухомими деталями ВН.

Отже, в формулу для визначення дійсної подачі ВН можна ввести коефіцієнт втрат, що характеризує об'ємний коефіцієнт корисної дії

$$\eta_o = \frac{Q}{Q+q}, \quad (2.18)$$

де q – втрати через зазори;

Q – дійсна подача ВН.

Отже, дійсна подача

$$Q = \eta_o \left(\pi D_2 b_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} b_2 \right) v_2 \sin \alpha_2. \quad (2.19)$$

З трикутника швидкостей на виході з робочого колеса (рис.2.3) на основі теореми синусів можна записати:

$$v_2 = \frac{u_2 \sin(\beta_2)}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}. \quad (2.20)$$

Підставивши (2.20) в (2.19) і враховуючи, що $u_2 = D_2 \omega / 2$, отримаємо

$$Q = \eta_o \left(\pi D_2 b_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} b_2 \right) \frac{D_2 \sin(\beta_2) \sin(\alpha_2)}{2 \sin(\alpha_2 + \beta_2)} \omega. \quad (2.21)$$

Оскільки при послідовному з'єднанні робочих коліс подача ВН визначається подачею одного колеса, то одержана формула (2.21) описує подачу ВН в цілому.

Як відомо, передавальна функція є відношенням вихідної величини до вхідної [67]. В нашому випадку вхідною величиною є кутова швидкість, а вихідною – подача. Отже, передавальна функція ВН запишеться як:

$$W_n(p) = \frac{\eta_o D_2 b_2}{2} \left(\pi D_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} \right) \frac{\sin(\beta_2) \sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}, \quad (2.22)$$

$$\text{або } W_n(p) = k_2, \quad (2.23)$$

$$\text{де } k_2 = \frac{\eta_o D_2 b_2}{2} \left(\pi D_2 - z \frac{s_2}{\sin \beta_2} \right) \frac{\sin(\beta_2) \sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}.$$

Аналізуючи (2.23) відмітимо, що ВН можна представити підсилюючою ланкою.

2.2.3. Побудова передавальної функції установки ЕВН

Установку ЕВН можна представити як послідовне з'єднання ЗЕД, гідрозахисту, ВН і колони НКТ. Вхідною величиною для двигуна є напруга на статорі, а вихідною – кутова швидкість валу. Остання, в свою чергу, є вхідною величиною ВН, для якого вихідною величиною є подача. Передавальну функцію гідрозахисту, який складається з компенсатора та протектора і лише передає крутний момент від ЗЕД до ВН і служить, в основному, запобіганню попадання свердловинної рідини у внутрішню порожнину ЗЕД, можна не враховувати. Отже, передавальна функція УЕВН запишеться як послідовне з'єднання аперіодичної ланки (ЗЕД) та підсилюючої ланки (ЕВН).

Охопивши систему одиничним від'ємним зворотним зв'язком отримаємо передавальну функцію УЕВН

$$W(p) = \frac{W_d(p)W_n(p)}{1 + W_{зв}(p)W_d(p)W_n(p)} = \frac{k_1 k_2}{T_m p + k_1 k_2 + 1}. \quad (2.24)$$

2.3. Знаходження умов працездатності установок ЕВН

Задача знаходження умов працездатності в вигляді обмежень на переміщення коренів характеристичного рівняння в комплексній площині дозволяє застосувати метод малого параметра для визначення умов працездатності в області параметрів, що контролюються [66].

Модель об'єкту може бути представлена характеристичним рівнянням (знаменник передавальної функції УЕВН)

$$T_m p + k + 1 = 0, \quad (2.25)$$

де $k = k_1 k_2$.

Корінь характеристичного рівняння

$$p_{01} = -\frac{1+k}{T_m}. \quad (2.26)$$

Під дією зовнішніх факторів змінюється стан УЕВН, внаслідок чого змінюються параметри характеристичного рівняння.

Умови працездатності на комплексній площині можна задати у вигляді

$$|p_1 - p_{01}| \leq \delta, \quad (2.27)$$

де p_{01} – ідеальний корінь характеристичного рівняння (установка ЕВН без дефектів);

p_1 – реальний корінь характеристичного рівняння;

δ – граничне відхилення реального кореня рівняння від ідеального.

Для того щоб визначити умови працездатності в області динамічних параметрів T_m і k , необхідно визначити допустимі зміни цих параметрів. Оскільки при розробці методу діагностування розглядаються поступові відмови, що обумовлені зносними явищами в ВН, то в характеристичному рівнянні буде змінюватися лише величина, пов'язана з технічним станом ВН, тобто k .

Для визначення зміни δ в комплексній площині задамо Δk на параметр, що контролюється, тобто $k_1 = k + \Delta k$.

Застосуємо метод малого параметру, при якому рішення характеристичного рівняння записується в формі:

$$x(t) = x_0(t) + \sum_{i=1}^n x_i(t) \Delta k^i. \quad (2.28)$$

Візьмемо з розкладу (2.28) два старших члени $p_1(\Delta k) = p_0 + p_1 \Delta k$ і підставимо в характеристичне рівняння (2.25):

$$T_m(p_0 + p_1 \Delta k) + \Delta k + 1 = 0. \quad (2.29)$$

При збереженні рівності (2.29) будемо вважати рівними коефіцієнти при Δk лівої та правої частин рівняння:

$$T_m p_1 + 1 = 0. \quad (2.30)$$

Корінь рівняння (2.30) рівний

$$p_1 = -\frac{1}{T_m}.$$

З рівняння (2.27) можна записати:

$$\Delta k \leq \frac{\delta}{|p_1|} = \delta T_m. \quad (2.31)$$

Отже, область працездатності на контрольований параметр можна записати

як

$$k_1 = k - \delta T_m. \quad (2.32)$$

Вираз (2.32) визначає умови працездатності УЕВН в області динамічних параметрів.

Висновки до розділу

1. На основі використання методу електрогідравлічних аналогій розроблена діагностична модель ВН, яка дозволяє змоделювати вплив зносу робочих органів ВН: робочих коліс, направляючих апаратів, захисних втулок валу, опорних шайб на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

2. Виходячи з положення, що вібрація УЕВН з КНКТ, є одним із з важливих факторів зносу робочих органів ВН, була розроблена діагностична модель УЕВН, яка дозволяє моделювати вплив вібрації (крутильних та поздовжніх коливань УЕВН з КНКТ) на зміну крутного моменту на валу ЗЕД і тим самим підвищити точність діагностичної моделі ВН.

3. На основі використання основних положень теорії автоматичного управління розроблена діагностична модель УЕВН у вигляді характеристичного рівняння, яка дозволяє визначити умови її працездатності в області динамічних параметрів шляхом обмеження переміщення коренів характеристичного рівняння на комплексній площині.

РОЗДІЛ 3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ УСТАНОВОК ЕВН

3.1. Методика проведення стендових і промислових досліджень

Методика проведення стендових експериментів була розроблена таким чином, щоб в результаті проведених досліджень можна було виявити вплив технічного стану робочих органів ВН на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

Методика передбачала вимірювання крутного моменту на валу ЗЕД побічним методом через контроль споживаної потужності.

Для експериментальних досліджень відбиралися, в основному, установки типорозміру ЕВН5-50 та ЕВН5-80, як найбільш поширені на нафтопромислах Східної України. Всі випробовування проводилися на базі прокатно-ремонтного цеху (ПРЦ) заглибних електроустановок (ЗЕУ) НГВУ “Чернігівнафтогаз” (м.Варва).

Весь комплекс експериментів складався із окремих серій, що обумовлювалося поставленими задачами дослідження.

Перша серія експериментів була направлена на дослідження впливу дефектів ЗЕД на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

При цьому використовувалися:

- нові та ремонтні ВН;
- нові, ремонтні ЗЕД та ЗЕД, які відпрацювали на свердловині і відправлені на демонтаж, при умові, що опір ізоляції дозволяє використати їх при проведенні стендових експериментів.

Порядок проведення експериментів полягав у наступному.

Проводився монтаж установки ЕВН і опускали її в стендову свердловину, конструкція якої розглянута в п.3.4.

Після завершення монтажу установки ЕВН і підключення інформаційно-вимірювальної системи підключали її до мережі живлення і проводили запис

енергетичних параметрів роботи установки на протязі до 5 хвилин. Далі установку вимикали, піднімали із свердловини і проводили заміну ЗЕД, а потім знову опускали у свердловину і повторювали процес вимірювання.

Після завершення експериментів всі ЗЕД, за винятком нових і ремонтних, підлягали демонтажу і виявленню дефектів згідно методики відбракування, яка використовувалася в ПРЦ ЗЕУ. За результатами дефектації ЗЕД складався акт.

Друга серія експериментів була направлена на дослідження впливу дефектів ВН на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

Дана серія експериментів передбачала комплектацію установок ЕВН новими, ремонтними ВН, а також дефектними ВН, які відпрацювали на свердловині і були відправлені на ремонт.

Подальший порядок проведення експериментів був аналогічний першій серії експериментів.

Третя серія експериментів була направлена на дослідження комплексного впливу дефектів ЗЕД і ВН на зміну загального вібростану і величину крутного моменту на валу ЗЕД.

При проведенні вказаної серії експериментів використовувалися ЗЕД першої серії експериментів і ВН другої.

Подальший порядок проведення експериментів аналогічний наведеному вище.

Четверта серія експериментів була направлена на дослідження впливу зміни напруги живлення та дефектів ВН на зміну загального вібростану установок ЕВН та зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

ЗЕД є критичними до напруги живлення $U_{жив}$, тому напруга, яка підводиться до обмоток ЗЕД, повинна бути стабільною. Рекомендований діапазон зміни $U_{жив}$ від -10.0% до $+5.0\%$ від номінальної. При проведенні експериментальних досліджень діапазон зміни $U_{жив}$ був вибраний в межах від -15.0% до $+10\%$ від номінальної.

Вказана серія експериментів проводилась згідно порядку, наведеному вище, з врахуванням наступного: вимірювання крутного моменту проводилось в процесі

ступінчатої зміни напруги живлення від $U_{\text{жив}} = -15.0\%U_{\text{ном}}$ до $U_{\text{жив}} = +10.0\%U_{\text{ном}}$ з кроком $\Delta U = 75$ В.

Остання серія експериментів була направлена на дослідження діапазону зміни крутного моменту на валу ЗЕД, обумовленого зносними процесами робочих органів ВН.

За результатами дефектації ВН визначалися найбільш зношені робочі колеса, направляючі апарати, захисні втулки валу та опорні шайби. Збирався один ВН із таких елементів і проводилися його випробування в стендовій свердловині згідно порядку, наведеному вище.

Програма стендових досліджень наведена в додатку В1.

Основний об'єм промислових досліджень було проведено на нафтопромислі №4 НГВУ "Чернігівнафтогаз", фонд якого складає 155 насосних свердловин, а середня глибина спуску насосів – 1850 м. В основному використовуються установки типорозмірів УЕВН5-50 та УЕВН5-80.

Методика проведення експериментів передбачала для установок ЕВН, що досліджувалися, проведення детального опису дефектів, що мали місце, і вимірювання величини зносу окремих елементів ВН у випадку припинення експлуатації УЕВН, обумовленої її відмовою, з демонтажем і відправкою на ремонтну базу для подальшого розбирання.

Програма промислових досліджень наведена в додатку В2.

3.2. Обґрунтування вибору нафтових свердловин для проведення експериментальних досліджень

Проведення комплексу експериментальних досліджень вимагає охоплення якомога більшого фонду свердловин, що характеризуються різними свердловинними умовами. Останнє вимагає значних часових та фінансових затрат. В той же час, раціональний підхід до вибору нафтових свердловин для проведення всього комплексу досліджень дозволяє зменшити загальну кількість

охоплених дослідженнями свердловин при забезпеченні заданої адекватності отриманих результатів.

Оскільки метою промислових досліджень було виявлення впливу свердловинних факторів та впливу зносу робочих органів ВН на величину крутного моменту на валу ЗЕД, вибір нафтових свердловин обумовлювався наступними факторами:

– напрацюванням УЕВН, при цьому відбиралися свердловини з різним терміном напрацювання установки при однакових свердловинних умовах (дослідження впливу зносу робочих органів ВН);

– прояв свердловинних факторів (значна обводненість продукції, значний вміст механічних домішок, падіння динамічного рівня, газовий фактор, тощо).

– типорозмір УЕВН.

З метою скорочення об'єму експериментальних досліджень, при збереженні їх інформативності, з усього фонду свердловин відбиралися свердловини одного родовища з відомими параметрами пласта, які експлуатувалися установками ЕВН визначеного типорозміру з заданими параметрами режиму відкачки свердловинної рідини і глибиною спуску установки.

Для проведення досліджень були вибрані свердловини Скороходівського родовища, що характеризується різноманітністю свердловинних умов. Оскільки для умов НГВУ „Чернігівнафтогаз” найбільш поширеним типом установок є установки типу ЕВН5-50, то, в основному, досліджувалися свердловини, що експлуатуються даним типорозміром установки ЕВН. Напрацювання установок становило від 4 діб (Скороходи 50) до 413 діб (Скороходи 54). В основному, термін напрацювання установок рівномірно розподілений в межах 100 діб. Обводненість продукції становила від 10% (Скороходи 92) до 99,9% (Скороходи 80). Максимальний вміст механічних домішок становить 157 мг/л (Скороходи 80, 204) при середньому вмісті механічних домішок до 100 мг/л. Дебіт свердловин становив від 25 м³/добу (Скороходи 54) до 80 м³/добу (Скороходи 208, 78). Розглядалися свердловини як з постійним динамічним рівнем (Скороходи 52, 66,

54, 204, 208, 73, 78, 80), так і свердловини, в яких рівень відкачувався протягом певного часу (Скороходи 92, 50, 90).

Таким чином, вибраний фонд свердловин дозволив охопити прояви найбільш типових свердловинних факторів та дослідити вплив зносу робочих органів ВН на величину крутного моменту на валу ЗЕД.

3.3. Розробка технічного і програмного забезпечення експериментальних досліджень

Для проведення експериментів згідно наведених вище методик було розроблене спеціальне технічне забезпечення [68], яке дозволяло записувати результати вимірювань безпосередньо в ЕОМ, що є зручним для подальшої обробки результатів. Загальна структурна схема системи вимірювання наведена на рис.3.1.

Інформаційно-вимірювальна система складається із трьох первинних перетворювачів ПП-1, ПП-2, ПП-3 для вимірювання фазних струмів (вимірювальні трансформатори струму типу ТКС 75/5), трьох первинних перетворювачів ПП-4, ПП-5, ПП-6 для вимірювання фазних напруг (вимірювальні трансформатори напруги типу НОМ); мультиплексора МтП; АЦП та

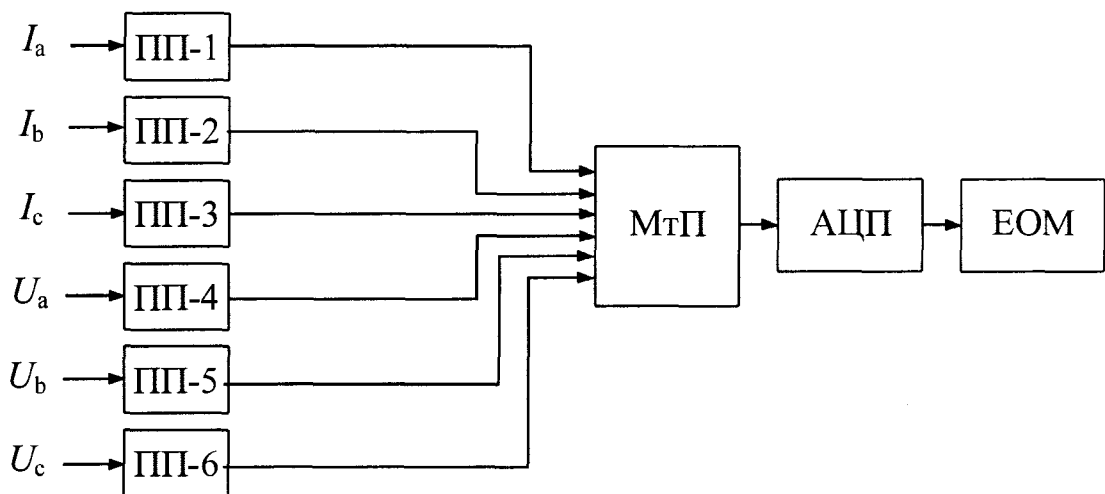


Рис.3.1. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

мікропроцесорного пристрою МПП. З метою спрощення системи і зменшення трудовитрат на її виготовлення як МПП використано персональний IBM – сумісний комп'ютер класу AT286/287. Їхнє програмне забезпечення може без змін використовуватися на більш сучасних комп'ютерах.

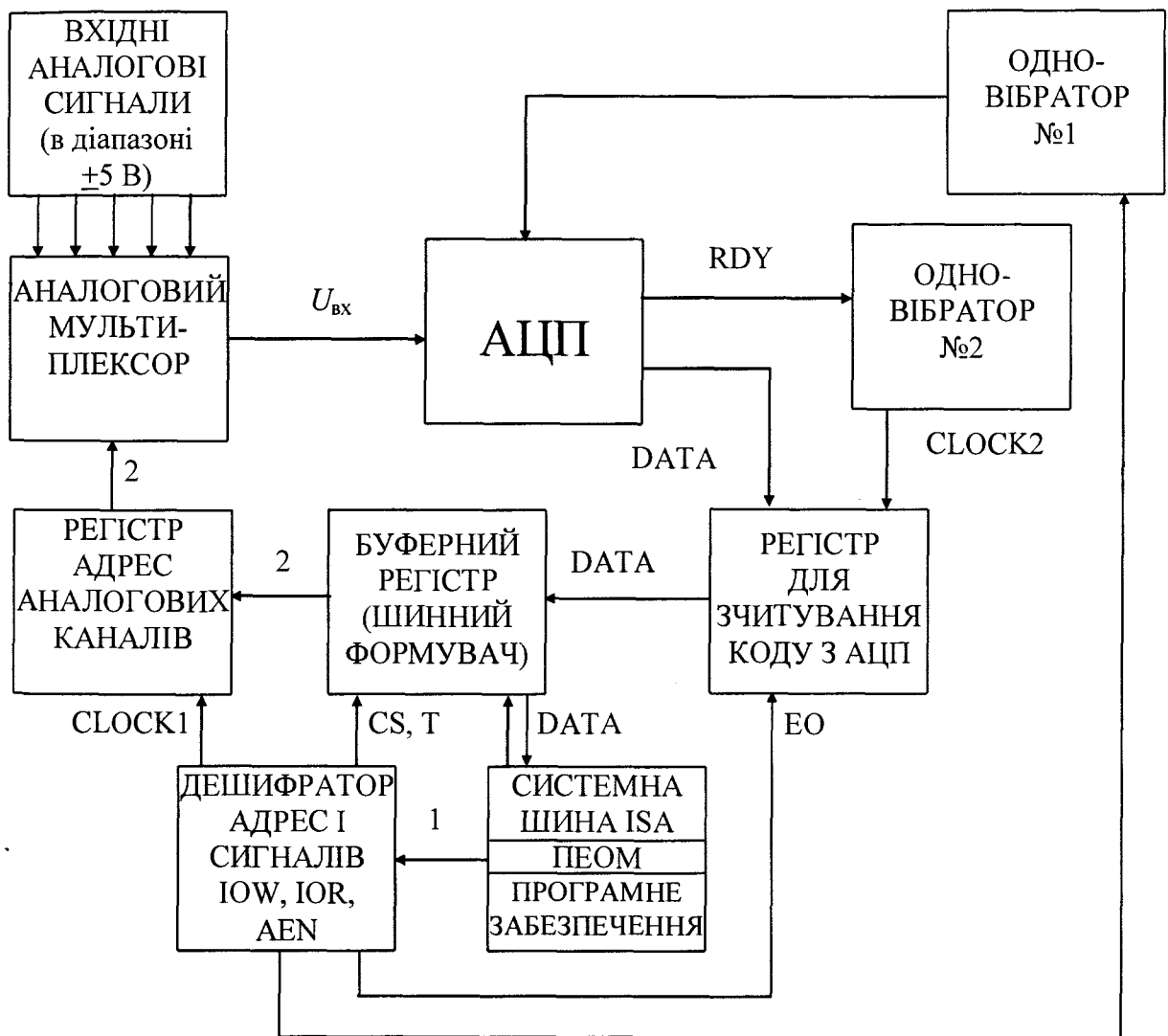
Як було зазначено в розділі 1, крутний момент на валу ЗЕД можна визначити тільки побічними методами, зокрема через підведену до нього потужність [69, 39].

Споживану потужність в трифазному колі без нульового проводу можна визначити методом трьох ватметрів, через контроль трьох фазних напруг та трьох фазних струмів [69, 70]. Отже, для контролю споживаної потужності необхідно записувати одночасно шість сигналів.

Оскільки фазні напруги живлення різних типорозмірів ЗЕД знаходяться в межах від 500 до 1500 В, а струм від 25 до 60 А, то для їх приведення до нормованих величин (сигнал напруги величиною до ± 5 В) застосовувалися первинні перетворювачі – вимірювальні трансформатори напруги з додатковим подільником напруги, для забезпечення вихідного сигналу в межах ± 5 та вимірювальні трансформатори струму з опором відомої величини у вторинній обмотці, спад напруги на якому пропорційний величині вимірюваного струму. Величини опорів вибираються таким чином, щоб спад напруги на них не перевищував 5 В.

Аналого-цифровий перетворювач. Для розробленої системи вхідними є шість нормованих аналогових сигналів в діапазоні ± 5 В. Всі сигнали – з промисловою частотою 50 Гц ($I_a(t)$, $I_b(t)$, $I_c(t)$, $U_a(t)$, $U_b(t)$, $U_c(t)$). Процес аналого-цифрового перетворення було реалізовано на одній мікросхемі одноканального АЦП, а саме функціонально завершеному АЦП порозрядного зрівноваження К1113ПВ1, що може працювати з двополярним вхідним сигналом, має вбудоване джерело опорної напруги та внутрішній генератор тактових імпульсів [72, 73, 74, 75]. Для вказаної мікросхеми максимально допустима частота дискретизації $F_{d\ max}$ не перевищує 33 кГц.

Для комутації вхідних сигналів використовується аналоговий мультиплексор, який призначений для почергового виставлення на вході мікросхеми АЦП напруги кожного з вищеназваних сигналів у відповідності з кодом, наявним на виході “Регістру адрес аналогових каналів” (рис.3.2). Запис до регістру адреси довільного з наявних каналів ініціюється програмно. Поточна адреса аналогового каналу надходить з системної шини ISA, наскрізно проходить через буферний регістр і фіксується в регістрі адрес аналогових каналів, визначаючи який із вхідних аналогових сигналів буде в даний момент часу надходити на АЦП і виступати в якості сигнала $U_{вх}$. Керування роботою всіх



1 – Адреси звертання до пристрою, сигнали IOW, IOR, AEN

2 – Адреси аналогових каналів

Рис.3.2. Функціональна схема АЦП

регістрів схеми здійснюється дешифратором на основі сигналів “1” системної шини ISA.

Під “адресами звертання до пристрою” мається на увазі те, що адаптер для спрjaження АЦП з ПЕОМ, здійснюючи інфообмін з комп’ютером, в цілому функціонує як один із системних портів вводу/виводу. Тобто, існують спеціально зарезервовані системні адреси, за якими процесор через системну шину ISA звертається до пристрою, здійснюючи операції зчитування/запису даних, аналогічно тому, як це відбувається при роботі зі стандартними портами [76].

Запуск процесу аналого-цифрового перетворення також ініціюється програмно відразу після виставлення чергової адреси одного з аналогових каналів.

Одновібратори №1 та №2 призначені для формування імпульсів певної тривалості з метою забезпечення правильності спрацювання логічних схем деяких елементів пристрою. Сигнал “ ST ” (Start) запуску АЦП надходить з дешифратора на одновібратор №1, який формує одиничний імпульс з тривалістю, необхідною для початкового встановлення (“скидання” результату попереднього аналого-цифрового перетворення) і нового запуску АЦП.

Після завершення мікросхемою АЦП процесу формування результату перетворення на інформаційних входах “Регістрів для зчитування коду з АЦП” даний результат виставляється у вигляді додаткового двійкового коду. Сигнал готовності результату RDY (Ready) запускає одновібратор №2, який формує одиничний імпульс CLOCK 2, котрим тактуються “Регістри для зчитування коду з АЦП ”, забезпечуючи занесення до них поточного оцифрованого відліку.

Однією з особливостей роботи системи є те, що програма, яка здійснює зчитування даних з АЦП, не виставляє запитів готовності результату перетворення. Не задіяно також і ліній запиту переривання. Після виставлення адреси аналогового каналу та запуску АЦП читання готового результату аналого-цифрового перетворення здійснюється через строго фіксований проміжок часу, за який мікросхема АЦП гарантовано встигає сформувати код. Тобто програмним шляхом реалізується затримка на час t_3 , який дещо більший від часу, необхідного

АЦП для формування результату перетворення та занесення його до регістрів для зчитування коду з АЦП. Такий підхід дещо відрізняється від традиційного, коли сигналом RDY формується переривання або коли після запуску АЦП програмним шляхом через достатньо малі проміжки часу циклічно формується запит готовності результату перетворення. Проте перевагою запропонованого способу є те, що усувається залежність від стабільності частоти внутрішнього тактового генератора АЦП та від незмінності часових параметрів обох одновібраторів. Отже, тривалість інтервалу часу між вибіркою двох суміжних оцифрованих відліків буде більш постійною величиною, ніж при традиційних підходах, так як величина часової похибки практично залежатиме тільки від точності внутрішнього тактового генератора МПП.

Механізм формування фіксованої часової затримки може бути різним. В даному випадку застосовано один з найпростіших способів – формування “порожнього” програмного циклу. Тому тривалість часової затримки (а відтак – і загальна частота дискретизації) напряду залежатиме від тактової частоти процесора. Окрім того, при виникненні потреби застосування сучасних ПЕОМ, в яких реалізовано принцип “програмного конвеєра” (зокрема – машин класу Pentium), в процесі безпосереднього створення файлів з вибірками оцифрованих відліків необхідно було б використати дещо інші механізми для програмного відстежування фіксованих коротких проміжків часу.

Після завершення стадії очікування готовності результату, коли результат аналого-цифрового перетворення практично гарантовано є зафіксованим в регістрах для зчитування коду з АЦП, мікропроцесором, через системну шину ISA, здійснюється зчитування даного відліку (спочатку – до акумулятора, потім – з акумулятора до оперативної пам'яті ПЕОМ). Далі реалізується повернення до процедури виставлення адреси аналогового каналу, запуску АЦП, і т. д. Таким чином проводиться накопичення в ОЗП ПЕОМ вибірки оцифрованих відліків вхідних аналогових сигналів.

Шлях проходження оцифрованих відліків вхідних аналогових сигналів (“DATA”) пролягає через:

а) реєстри для зчитування коду з АЦП, які тактуються блоком АЦП за допомогою “одновібратора №2”, а відкриваються для читання – за допомогою сигналу ЕО, який формується дешифратором ;

б) буферний реєстр (шинний формувач), який призначений не для “запам’ятовування” даних, які надходять на його входи, а для наскрізного одностороннього “пропускання” (або непропускання – при “забороненому” стані) даних.

Принципова електрична схема АЦП та її опис наведено в додатку Д1.

Опис асемблер-програми зчитування даних з АЦП. Програма призначена для формування файлу вибірки восьмибітних оцифрованих відліків вхідних аналогових сигналів, що надходять на вхід АЦП по шести аналогових каналах. Розмір цього файлу прийнято рівним 65535 байт. Його формат (послідовність чергування відліків з різних каналів) вже було попередньо обумовлено при розробці структурної схеми спроектованої системи.

Програма створює файл з іменем “сс” для виводу вибірки оцифрованих відліків на магнітний диск. Для виконання операцій створення, відкриття і закриття файлу та запису вибірки відліків з оперативної пам’яті (ОЗП) у файл використовуються стандартні функції 21-го (INT 21h) переривання DOS.

Процедура зчитування організована у вигляді двох вкладених циклів. При кожному виконанні внутрішнього циклу відбувається виставлення адреси аналогового каналу і запуск АЦП, після чого зчитується один відлік з одного із шести вхідних каналів.

При однократному виконанні зовнішнього циклу здійснюється зчитування до ОЗП “ пакету” розміром вісім відліків із шести вхідних каналів. Кількість зовнішніх циклів прийнято рівною 8192, тобто загальний об’єм вибірки складає 65536 відліків.

Ключовими командами процесу функціонування асемблер-програми для інфообміну між 8-ми канальним АЦП й МПП є:

а) OUT [DX], AL (при DX=300h) – виставлення адреси аналогового каналу у відповідності із значенням, що міститься в AL ;

б) `OUT [DX], AL ()` – ініціалізація запуску АЦП (незалежно від вмісту регістра `AL`);

в) `IN AL, [DX]` – занесення результату аналого-цифрового перетворення до акумулятора (при `DX=300h` - старшої тетради, при `DX=301h` - молодшої).

Як видно з блок-схеми (рис.3.3), регістр `SI` виступає в якості лічильника

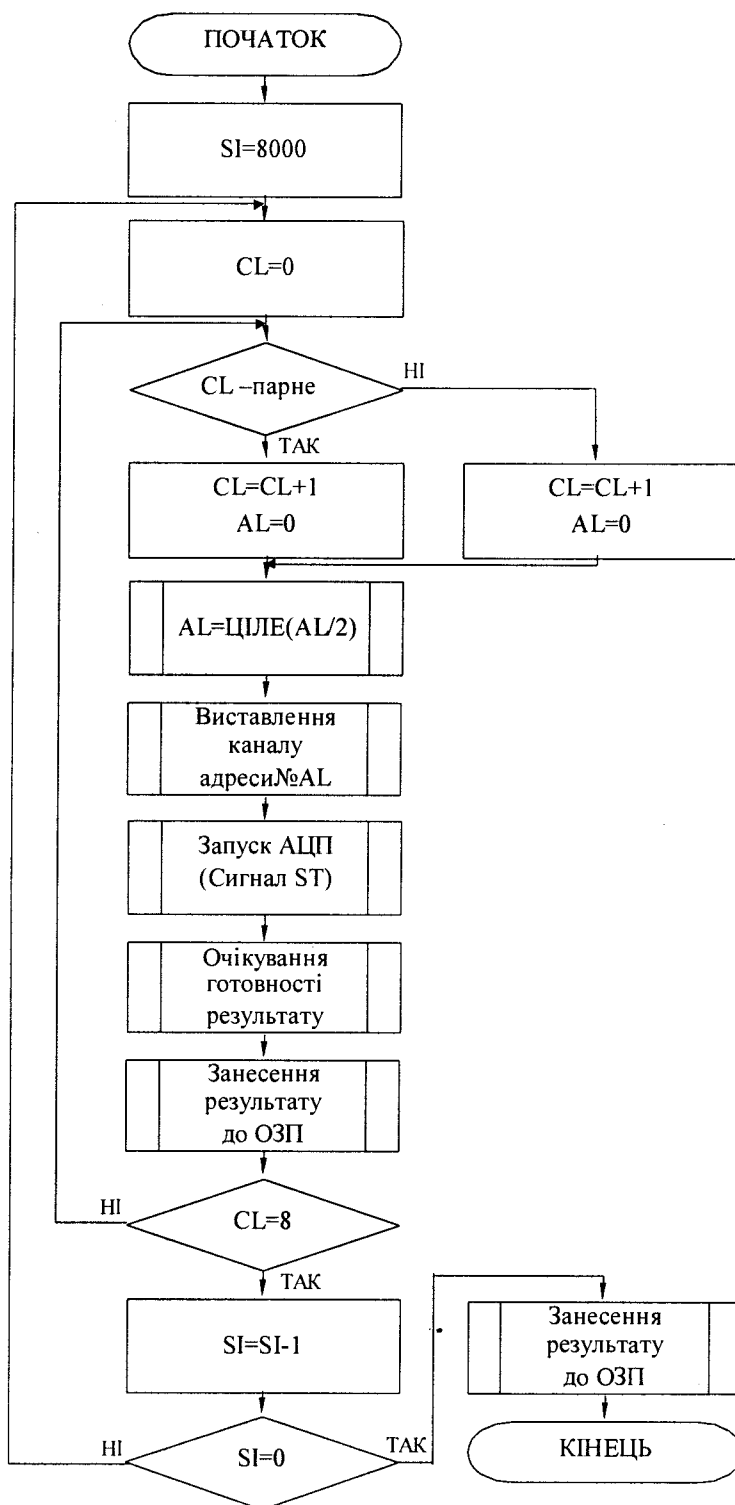


Рис. 3.3. Блок-схема асемблер-програми зчитування даних з АЦП

зовнішнього циклу. Регістр CL має подвійне призначення: з одного боку він виступає в якості лічильника внутрішнього циклу, а з іншого – задіяний у формуванні адрес аналогових каналів в реєстрі AL.

За допомогою реєстру VX здійснюється адресація “комірок” ОЗП, в яких накопичуються відліки вибірки. В реєстрі DX зберігається поточна адреса звертання до пристрою (300h або 301h) або, інакше кажучи, адреса порту вводу-виводу, яка використовується при виконанні команд IN та OUT (ввід та вивід через порт).

Акумулятор (реєстр AX) використовується для проміжного накопичення (зберігання) операндів при виконанні операцій вводу-виводу. Саме в AX (AL) формуються зчитані значення оцифрованих відліків та адреси аналогових каналів (при виконанні команд вводу–виводу через порт – IN та OUT) .

Окремо слід пояснити зміст операції “ Виставлення адреси каналу №AL/2”, що практично реалізується шляхом відкидання (нехтування значенням) молодшого двійкового розряду адреси аналогового каналу, яка знаходиться в реєстрі AL. Інакше кажучи, адресація здійснюється трьома старшими двійковими розрядами молодшої тетради реєстру AL.

Для створення фіксованої часової затримки при очікуванні готовності результату аналого-цифрового перетворення використовується “порожній” цикл. Лічильником цього циклу слугує реєстр SX (для проміжного зберігання значення CL при цьому застосовують реєстр AL).

Процедури з номерами 9 і 14 (“очікування готовності результату” і “запис вибірки у файл”) доцільно розглядати як підпрограми, механізм реалізації яких може бути довільним і не впливатиме суттєво на загальне функціонування системи.

Запис вибірки оцифрованих відліків у файл на жорсткий магнітний диск (ЖМД) (допускається використання і гнучких магнітних дисків (ГМД)) здійснюється вже після накопичення всієї вибірки в ОЗП. Це обумовлено необхідністю усунення впливу менш швидкодіючого запам’ятовуючого пристрою на інтервали часу між сусідніми відліками.

Текст програми наведено в додатку Д2.

Розробка програми обчислення крутного моменту. При розробці програми обчислення крутного моменту на валу ЗЕД застосовувався метод енергетичних діаграм (розділ 1).

Потужність, що підводиться до системи «струмопідвід-ЗЕД», обчислюється на основі вибірки оцифрованих відліків струму та напруги в кожній фазі системи живлення.

Для обчислення значення потужності та моменту на валу ЗЕД було використано алгоритм на основі формул (1.10) та (1.11).

Програма обчислення крутного моменту на валу ЗЕД була написана за допомогою пакету Turbo C [77]. Це забезпечує можливість перенесення програмного алгоритму з універсальної ПЕОМ на більш спеціалізований мікроконтролер або сигнальний процесор. При використанні великої кількості універсальних бібліотек математичних функцій, які можуть бути задіяні багатьма компіляторами високого рівня, реалізація такого перенесення виявиться занадто ускладненою. З іншого боку, вимоги до швидкодії даного алгоритму є некритичними, тому цілком реальною є можливість уникнути написання вищеназваної програми на асемблері. Окрім того, перевагою компілятора Turbo C, в даному випадку, є можливість більш простої, порівняно з асемблером, відладки програми, а також оперативної модифікації і оптимізації алгоритмів обчислення та діагностування.

Назва виконавчого модуля програми обчислення крутного моменту на валу ЗЕД – `moment1.exe`. В якості вхідних даних для розробленої програми виступає файл первинної вибірки оцифрованих відліків вхідних аналогових сигналів.

Крім основного результату – величин потужності на валу – P_v та моменту на валу ЗЕД – M_v , програма видає також результати проміжних розрахунків, які виводяться на дисплей при кожному запуску даної програми.

Проміжними результатами роботи програми, які можна використати для контролю правильності обчислень, є:

– Загальна кількість періодів коливань сигналів напруги і струму, що було використано в процесі обчислень.

– Найбільші і найменші амплітудні значення (що позначені в програмі іменами $MAXMAX$ і $MINMAX$ з відповідними індексами), а також середні амплітудні значення напруги та струму в кожній фазі.

– Найбільші і найменші значення періодів коливань (позначені в програмі іменами $Tmax$ і $Tmin$ з відповідними індексами) даних сигналів з промисловою частотою 50 Гц, а також середні значення періодів цих коливань. Значення величин періодів коливань виражені кількістю відліків (відносно застосованої частоти дискретизації сигналів).

– Найбільші і найменші значення кутів зсувів фаз (позначені в програмі іменами $FImax$ і $FImin$ з відповідними індексами), а також – середні значення кутів зсувів фаз між відповідними напругами і струмами. Значення величин кутів зсувів фаз виражені в градусах.

– Значення активної (P), реактивної (Q) та повної потужності (S), що подається з поверхні в струмопроводі.

– Втрати активної потужності в струмопроводі P_{sp} , статорі $Pe1$, роторі $Pe2$, механічні і додаткові втрати (P_{mech} і P_{dod}) та втрати холостого ходу P_{xx} .

– Величина активної потужності, котру підведено безпосередньо до двигуна P_{dv} , та електромеханічна складова активної потужності, яка рівна P_{dv} за виключенням втрат в статорі $Pe1$.

Окрім того, обчислені значення активної, реактивної і повної потужності (P , Q та S), а також потужності та моменту на валу ЗЕД (P_v та M_v) дописуються (при кожному запуску) у файл `report.log`.

Крім того, програма дозволяє здійснити корекцію середніх значень кутів зсувів фаз між відповідними сигналами фазних напруги та струму, так як допускається можливість того, що деякі з вхідних сигналів можуть знаходитись у протифазі (через некоректне підключення первинних перетворювачів).

Допоміжне програмне забезпечення. Допоміжне програмне забезпечення призначене для контролю правильності під'єднання давачів до системи

(вимірювальні трансформатори напруги і струму), забезпечення можливості контролю параметрів вхідних сигналів, тощо. Потреба в створенні такого забезпечення обумовлена тим, що при використанні в складі системи ПЕОМ з мінімальною конфігурацією апаратно-програмних засобів застосування стандартних пакетів універсальних прикладних програм для математичних обчислень та візуалізації дискретизованих сигналів (наприклад – MathCAD) буде надзвичайно неефективним. Розроблені спеціалізовані програми в значній мірі полегшують завдання коректного під'єднання та експлуатації системи.

Програма `osc_row.exe` призначена для візуалізації сигналів, записаних до файлу вибірки за допомогою програми `acr88_ss.exe`.

Після запуску програми візуалізації на дисплеї з'явиться запит номера початкового відліку. Слід ввести число в заданому діапазоні. Тоді на екран буде виведено робоче вікно програми, в якому сумісно зображено декілька сигналів. Програма `osc_row.exe` налаштована на відображення сигналів, що відповідають шести вхідним сигналам. Одночасно на дисплеї відображаються 160 відліків кожного із сигналів. Для циклічної “прокрутки” зображення по всьому діапазону можна використовувати курсорні стрілки “вліво” і “вправо” (відповідно для зменшення та збільшення на одиницю номера початкового відліку) та клавіші `PgUp` і `PgDn` (відповідно для збільшення та зменшення номера початкового відліку у вікні на десять). При переході в результаті прокрутки за верхню або нижню межу діапазону відбувається, відповідно, перехід до першого або останнього номера початкового відліку в заданому діапазоні. Вихід з програми здійснюється за клавішею `ESC`. При натисканні на інші клавіші видаються повторні запити номера початкового відліку.

Ще одна з допоміжних програм – `faza1234.exe`. Це спрощена та дещо модифікована версія програми `moment1.exe`, тому умови запуску та вимоги до апаратно-програмного забезпечення в неї такі ж самі. Призначення програми – обчислення усереднених значень кутів відносних зсувів фаз сигналів у другому, третьому та четвертому каналах відносно сигналу, котрий подавався на перший канал АЦП з метою додаткового контролю (окрім візуального, який

забезпечується програмами `osc_row.exe`) за відносними фазовими зсувами вхідних сигналів для забезпечення (при багаторазових підключеннях системи до різних об'єктів) однакового порядку чергування сигналів на вхідних аналогових каналах. Такий підхід дозволяє значно спростити подальший аналіз отриманої інформації та, зокрема, програмні алгоритми обробки.

Використання вищеназваних допоміжних програм не передбачає відмови в процесі аналізу та обробки результатів вимірювань та досліджень від застосування пакетів універсальних прикладних програм для здійснення математичних обчислень, відпрацювання різних алгоритмічних процедур, які базуються на стандартних бібліотеках алгоритмів. Таку обробку даних доцільно здійснювати з використанням більш сучасних ПЕОМ, з процесором 80486 або вище, при відповідному апаратно-програмному забезпеченні. Тому в середовищі Turbo C, було написано програму `hex2dec.exe` для перетворення файлу первинної вибірки оцифрованих відліків до формату в кодах ASCII. При виконанні програми `hex2dec.exe`, за умови вказання у командному рядку імені файлу первинної вибірки, який знаходиться в директорії запуску, буде сформовано файл тієї ж назви з розширенням `*.txt` У випадку успішного завершення програми `hex2dec.exe` буде видано повідомлення:

Кількість відліків у файлі < ім'я файла >.txt = < кількість відліків >

Новоутворений файл містить числові відліки дискретизованих сигналів у вигляді колонки чисел формату ASCII, в діапазоні від 0 до 255. Масив чисел, поданих у такому файловому форматі, можна, зокрема, ввести для обробки в середовище MCAD, застосовуючи стандартну функцію READ.

У випадку виникнення необхідності застосування більш сучасних ПЕОМ в поєднанні з відповідними мовами програмування розглянуті вище програми без особливих зусиль можуть бути перенесеними до іншого операційного середовища. Наприклад, програми, написані на Turbo C, можуть сприйматись та оброблятись компіляторами Borland C++ [78].

3.4. Стендова установка для проведення експериментальних досліджень

Конструктивно стенд для дослідження характеристик установок ЕВН та їх технічного стану (рис.3.5) складається з свердловини 1 глибиною 60 м, обсадженої колоною 2 з внутрішнім діаметром 147 мм, що дозволяє досліджувати установки ЕВН всіх типорозмірів, що випускаються серійно. Свердловина з'єднується каналом 3 з резервуаром-відстійником 4 об'ємом 1 м³, який разом із свердловиною заповнюється трансформаторним маслом. Його динамічний рівень його становить 2 м, що забезпечує рівномірну роботу установки.

Гідравлічна обв'язка стенду включає трубопровід 16, який під'єднує досліджувану установку ЕВН до резервуару 4 та забезпечує замкнений цикл перекачування свердловинної рідини. Трубопровід комплектується манометром 14, дебітоміром 15 та засувкою 13, регулюючи степінь закриття якої можна досліджувати напірні характеристики установок.

Досліджувана установка монтується та опускається в свердловину за допомогою електроталі. На верхньому кінці установки встановлюється перехідник 8, що забезпечує можливість під'єднання установки до гідравлічної обв'язки стенду. Вид перехідника вибирається в залежності від типу досліджуваної установки. Установка закріплюється в свердловині за допомогою елеватора 11, що опирається на торець обсадної колони. Підключення до обв'язки стенду здійснюється за допомогою швидкокороз'ємного з'єднання 12, в результаті чого здійснюється жорстке закріплення верхнього кінця установки.

Живлення стенду здійснюється від промислової мережі 380 В за допомогою підвищувального трансформатора, тип якого вибирається в залежності від типу ЗЕД, що використовується. Трансформатор забезпечує регулювання напруги живлення ЗЕД і тому дозволяє досліджувати вплив коливань напруги живлення на параметри роботи установки і, зокрема, на величину крутного моменту на валу ЗЕД. Напруга живлення подається до ЗЕД за допомогою броньованого силового кабелю 9 [79].

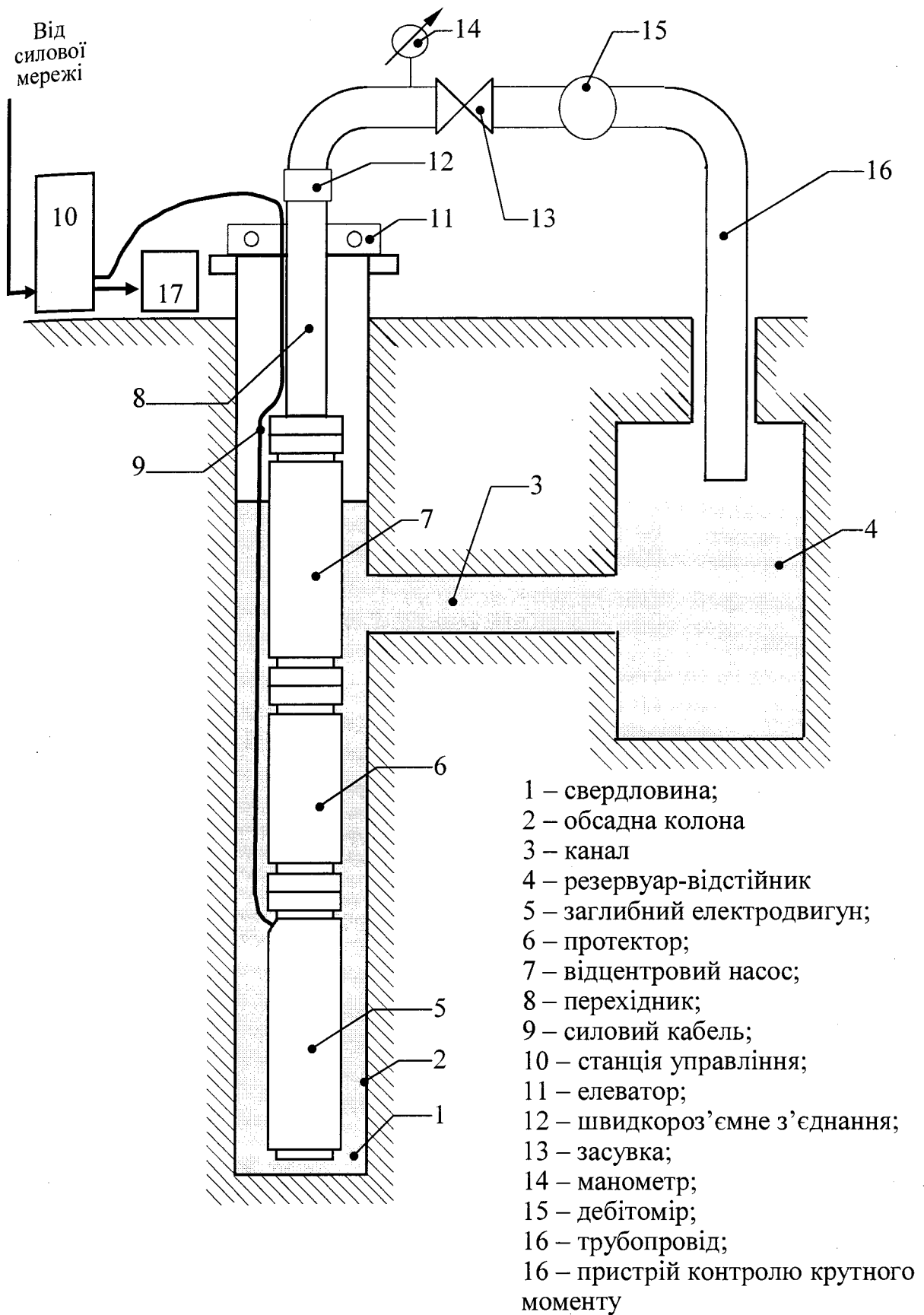


Рис.3.4. Схема стендової свердловини

Управління роботою установки здійснюється за допомогою стандартної станції управління ПГХ5802 10, яка забезпечує запуск установки, контроль напруги та струму живлення ЗЕД та його захист від перевантаження і короткого замикання.

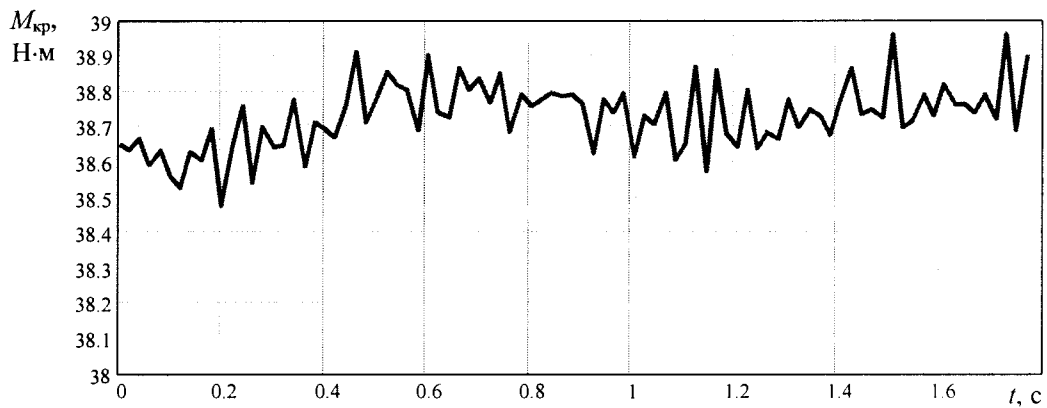
Підключення розробленої вимірювальної системи здійснюється в станції управління, первинні перетворювачі якої включаються в кожну фазу системи живлення, а модуль обробки вимірювальної інформації розміщується на спеціальній підставці біля станції управління.

Крім основного обладнання, стенд комплектується також допоміжним (електроталі, монтажний стіл, різноманітні направляючі) для забезпечення швидкого та зручного монтажу/демонтажу досліджуваних установок в стендовій свердловині.

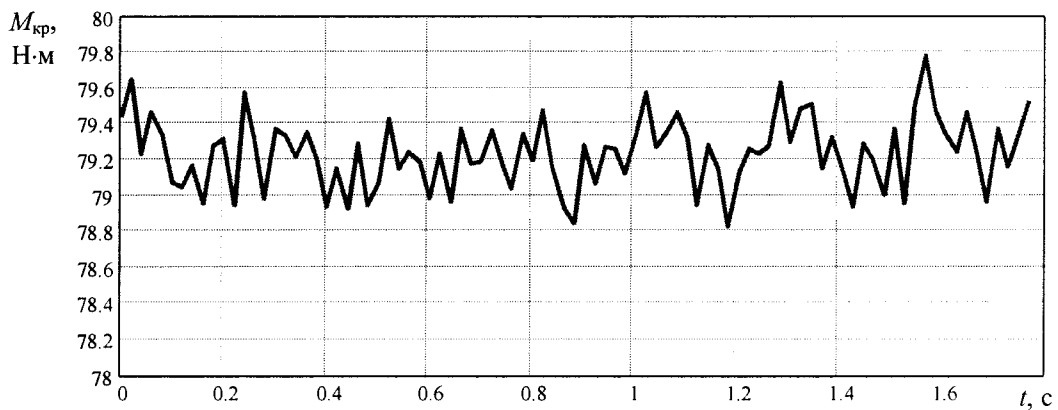
3.5. Дослідження статистичних характеристик крутного моменту на валу заглибних електродвигунів

Для дослідження статистичних характеристик крутного моменту було використано експериментальні дані, отримані при проведенні комплексу експериментальних досліджень на нафтопромислах НГВУ "Чернігівнафтогаз" та в стендових умовах за допомогою розробленої системи інформаційно-вимірювальної системи (п.3.3). На рис.3.6 представлені моментограми, що отримані в стендових умовах для нової УЕВН5-50-800 та отримані в промислових умовах для УЕВН5-50-2000. Досліджувана реалізація містить 90 відліків, що відповідає часу запису 2 сек.

Для УЕВН5-50-800 середнє значення крутного моменту змінюється в межах від 38,379 до 38,978 Н·м. На рис.3.6,а зображена гістограма статистичної щільності розподілу виміряних значень крутного моменту. Форма кривої розподілу дозволяє описати її нормальним розподілом з параметрами $T_0=38,708$ Н·м і $\sigma=0,108$ Н·м.



а)

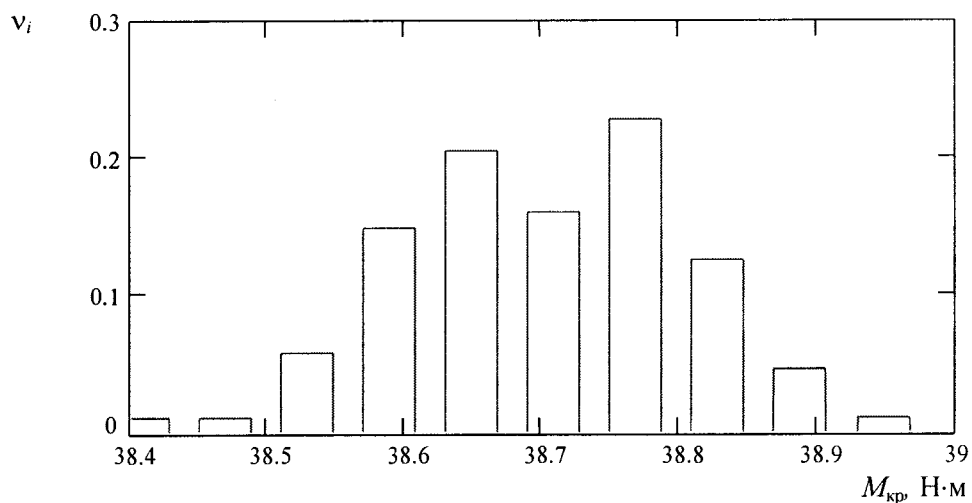


б)

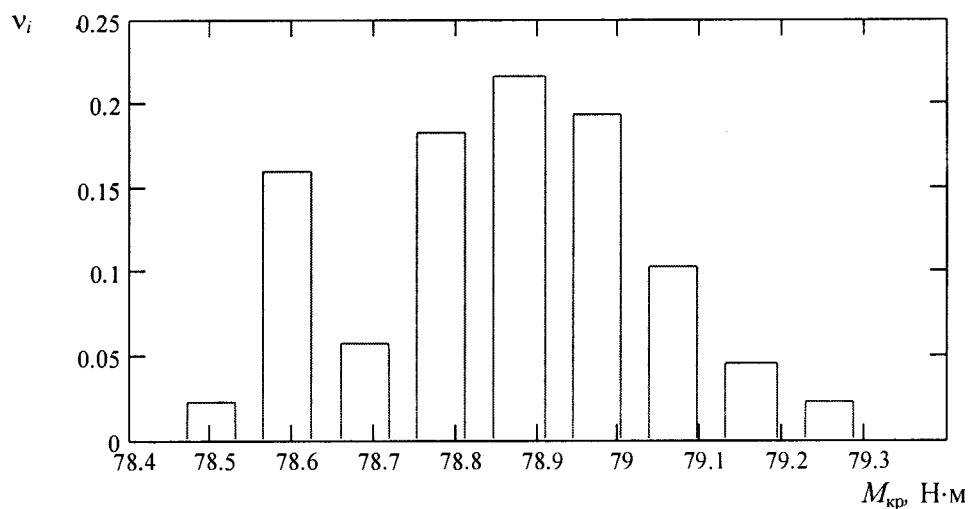
Рис.3.5. Моментограми крутного моменту на валу ЗЕД для UEVH5-50-800 (а) та UEVH5-50-2000 (б)

Аналогічно для UEVH5-50-2000 середнє значення крутного моменту змінюється в межах від 78,451 до 79,398 Н·м. На рис.3.6,б зображена гістограма статистичної щільності розподілу вимірянних значень крутного моменту. Форма кривої розподілу знову ж таки дозволяє описати її нормальним розподілом з параметрами $T_0=78,864$ Н·м і $\sigma=0,194$ Н·м.

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок про нормальний закон розподілу значень моменту на валу ЗЕД. При цьому параметри закону розподілу визначаються типорозміром та технічним станом установки.



а)



б)

Рис. 3.6. Гістограми розподілу значень крутного моменту на валу ЗЕД для УЕВН5-50-800 (а) та УЕВН5-50-2000 (б)

Висновки до розділу

1. З врахуванням конструктивних особливостей установок ЕВН розроблено методичне забезпечення, яке дозволяє здійснити весь комплекс досліджень взаємозв'язку між крутним моментом на валу ЗЕД та технічним станом робочих органів ВН.

2. Розроблена мікропроцесорна інформаційно-вимірювальна система “ІВС-УЕВН”, що призначена для збору та обробки результатів експериментів в реальному масштабі часу і забезпечує їх оперативність і вірогідність.

3. Обґрунтовано вибір свердловин для промислових досліджень, що дозволяє дослідити як вплив технічного стану установки, так і вплив експлуатаційних факторів на зміну крутного моменту на валу ЗЕД.

4. Розроблено програмне забезпечення ІВС, що забезпечує керування її роботою при зчитуванні вимірювальної інформації; запис отриманої вимірювальної інформації у файл первинної вибірки на жорсткому магнітному диску; оперативний перегляд файлу первинної вибірки з представленням даних у вигляді графіків характеристик системи живлення (фазні струми та напруги) та крутного моменту на валу ЗЕД; перетворення файлу первинної вибірки до формату ASCII.

5. Аналіз статистичних характеристик крутного моменту на валу ЗЕД показав, що форма кривої розподілу підпорядковується нормальному розподілу.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ УСТАНОВОК УЕВН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

4.1. Дослідження впливу свердловинних факторів на зміну крутного моменту на валу ЗЕД

Як показано в розділі 1, свердловинні фактори такі як густина і в'язкість свердловинної рідини, газовий фактор, відкладання парафіну, наявність шламу на вибої свердловини, значно впливають на ефективність роботи УЕВН, та спричиняють передчасний її вихід з ладу, тобто є джерелом виникнення дефектів зокрема зносу робочих органів ВН.

З метою дослідження впливу вказаних факторів на характер зміни крутного моменту були проведені експериментальні дослідження на нафтових родовищах НГВУ "Приобнафта" ВАТ "Нижневартовськнафтогаз". Експерименти проводилися в основному, на установках УЕВН5А-500-1000 із двигуном ЗЕД125-117, які знайшли найбільше застосування на нафтопромислах Західного Сибіру [80, 81, 82, 82].

Під час експериментальних досліджень проводився запис крутного моменту за допомогою розробленої інформаційно-вимірювальної системи (ІВС-УЕВН) [84].

Крутний момент на валу ЗЕД визначався за допомогою методу енергетичних діаграм через споживану ЗЕД потужність на основі алгоритму, описаного в розділі 1, який реалізовується програмним шляхом системою ІВС-УЕВН.

Для подальшого аналізу були відібрані моментограми з найбільш характерними проявами окремих свердловинних факторів, які в подальшому призводять до виникнення дефектів та відмов в роботі УЕВН [85].

На рис.4.1 наведена моментограма роботи УЕВН при блокуванні насоса газом, що мало місце в результаті зниження динамічного рівня, внаслідок чого відбувся прорив газу до прийому насосу і в ньому утворилася газова пробка. З рис.4.1 видно, що після запуску УЕВН пропрацювала в нормальному режимі при $M_{кр}=392 \text{ Н}\cdot\text{м}$ дві з

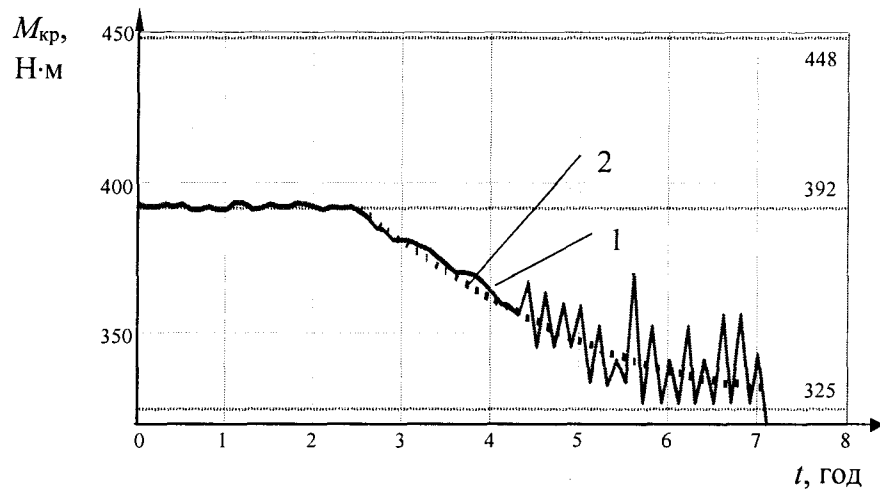


Рис. 4.1. Моментограма роботи УЕВН при зниженні динамічного рівня та утворенні газової пробки: 1 – експериментальна крива, 2 – апроксимуюча крива

половиною години. Внаслідок зниження рівня свердловинної рідини падає вибійний тиск і в стовбурі свердловини спостерігається поява газу, що проявляється на роботі ВН – крутний момент на протязі двох годин падає з 392 Н·м до 362 Н·м. Поступово кількість вільного газу зростає, що призводить до подальшого зниження середнього значення крутного моменту та зростання його коливань відносно цього значення від 15 Н·м до 28 Н·м. Результати обробки експериментальних даних показали, що характер зниження $M_{кр}$ описується залежністю $M_{кр}(t)=390,803+2,284t-0,023t^2$. При цьому дисперсія дорівнює $D_x=58,152$, тобто мають місце значні коливання крутного моменту після 4,2 годин роботи, що вказує на заповнення насоса газом.

Через 7 годин роботи насос був повністю блокований газом, в зв'язку з чим крутний момент знизився і досяг мінімального значення 325 Н·м. Останнє призвело до зупинки УЕВН.

Тривала робота УЕВН при пониженому навантаженні показана на рис. 4.2. Моментограма відображає нормальний пуск і роботу протягом півгодини при $M_{кр}=392$ Н·м. Після чого протягом однієї години відбувся характерний спад крутного моменту до 318 Н·м (80% від початкового значення) з його подальшою стабілізацією на цьому рівні. Зниження моменту в часі досить точно апроксимується виразом $M_{кр}(t)=386,27+0,79t-0,076t^2$, оскільки дисперсія при цьому складає лише $D_x=4,457$. УЕВН пропрацювала в такому неефективному режимі 14 годин і була

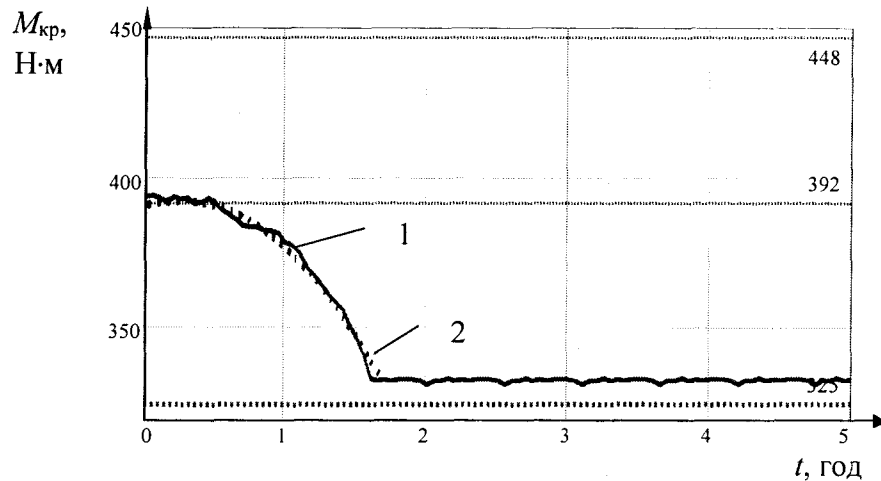


Рис. 4.2. Моментограма роботи УЕВН при пониженому навантаженні:

1 – експериментальна крива, 2 – апроксимуюча крива

піднята з свердловини внаслідок електропробою в системі “кабель-двигун”, причиною якого могло бути погане охолодження двигуна. Результати огляду УЕВН при її демонтажі в ПРЦ ЗЕУ показали часткове забиття робочих органів насосу, що послужило причиною зниження крутного моменту.

Роботу УЕВН в режимі плаваючого навантаження показано на рис.4.3. Вказана моментограма характерна для свердловин, що експлуатуються в режимі розчиненого газу. Як видно з графіка, відразу після запуску УЕВН значення крутного моменту на валу ЗЕД становило 415 Н·м, що є вищим на 6% від номінального. Після чого спостерігалось плавне коливання крутного моменту в межах 406÷448 Н·м при середньому значенні 428 Н·м (внаслідок плавної зміни в'язкості рідини, яка видобувається, що обумовлено зміною кількості розчиненого в

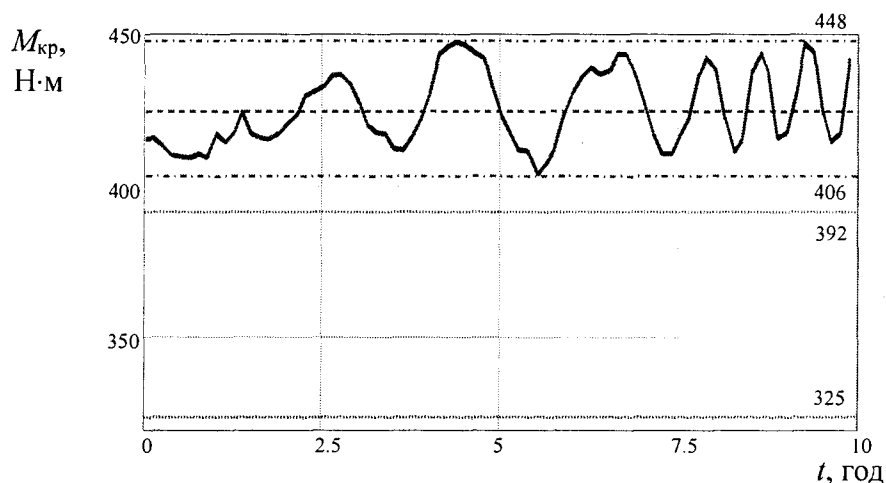


Рис. 4.3. Моментограма роботи УЕВН в режимі плаваючого навантаження

ній газу). Вигляд моментограми свідчить про те, що був неправильно вибраний режим роботи УЕВН.

Перевантаження УЕВН в процесі експлуатації представлено моментограмою на рис. 4.4. Вказана моментограма характерна для свердловин з виносом значної кількості механічних домішок з пласту і вказує на нормальний пуск та режим роботи протягом майже двох годин при номінальному значенні крутного моменту 392 Н·м. Після двох годин роботи крутний момент почав плавно зростати, що було пов'язано із збільшенням кількості механічних домішок (піску) у рідині, що видобувається, (зросла густина рідини) та забиванням робочих органів насосу. Протягом 5,5 годин роботи УЕВН значення крутного моменту досягло рівня 448 Н·м, після чого УЕВН була відключена максимальним захистом. Обробка експериментальних даних показала, що зростання крутного моменту можна описати залежністю $M_{кр}(t)=390,956+0,00489t^2+0,0013t^3$, причому дисперсія складає $D_x=6,117$.

Нестійкий режим роботи УЕВН показано на рис. 4.5. Вказана моментограма характеризує роботу насосу при видобутку важкої газованої обводненої нафти, коли, як видно з графіка, протягом 5 годин значення крутного моменту коливалося в межах від 374 Н·м до 418 Н·м, що обумовлено зміною в'язкості рідини. Після 5 годин роботи в'язкість рідини, що видобувається, значно зросла від протитиску на гирлі свердловини і, як наслідок, різке зростання крутного моменту до величини

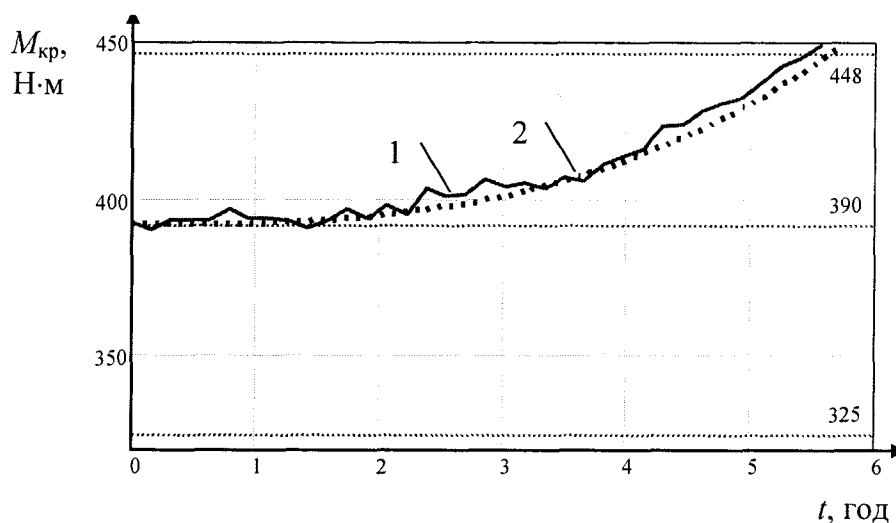


Рис. 4.4. Моментограма роботи УЕВН при перевантаженні:

1 – експериментальна крива, 2 – апроксимуюча крива

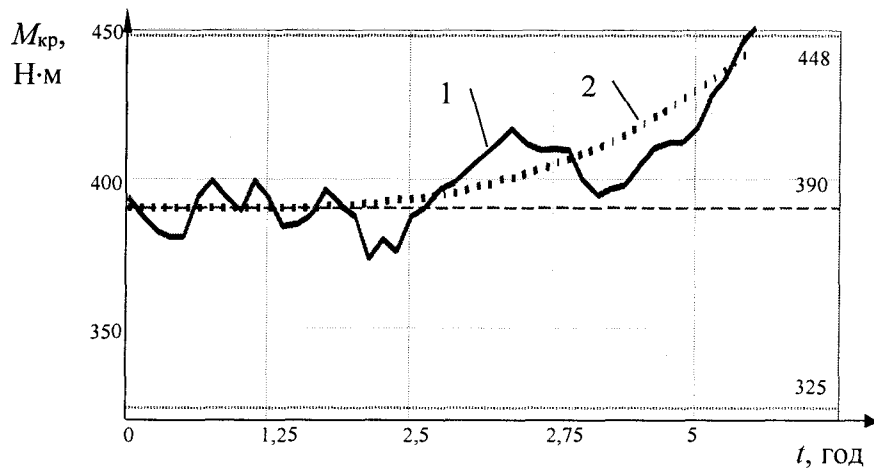


Рис.4.5. Моментограма роботи УЕВН в нестійкому режимі:

1 – експериментальна крива, 2 – апроксимуюча крива

448 Н·м на протязі 1,5 години з наступною зупинкою УЕВН максимальним захистом. Обробка отриманих результатів показала, що характер зміни моменту описується подібною залежністю, як і у випадку перевантаження УЕВН, $M_{кр}(t)=389,092-0,0084t^2+0,00077t^3$, але із значно більшою дисперсією $D_x=82,157$, що пояснюється коливаннями в'язкості рідини.

Моментограма роботи УЕВН при значному газовому факторі показана на рис. 4.6. Як видно з графіка робота УЕВН при значному вмісті газу в рідині, що видобувається, характеризується частими коливаннями крутного моменту в межах від 352 Н·м до 425 Н·м при середньому значенні 392 Н·м, що рівне номінальному. При цьому середнє значення не змінюється з напрацюванням. Робота УЕВН в

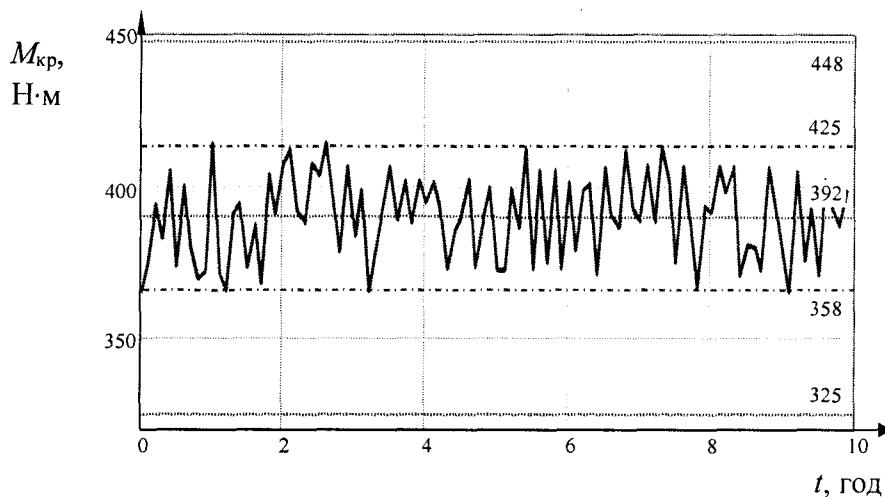


Рис. 4.6. Моментограма роботи УЕВН при наявності газового фактору

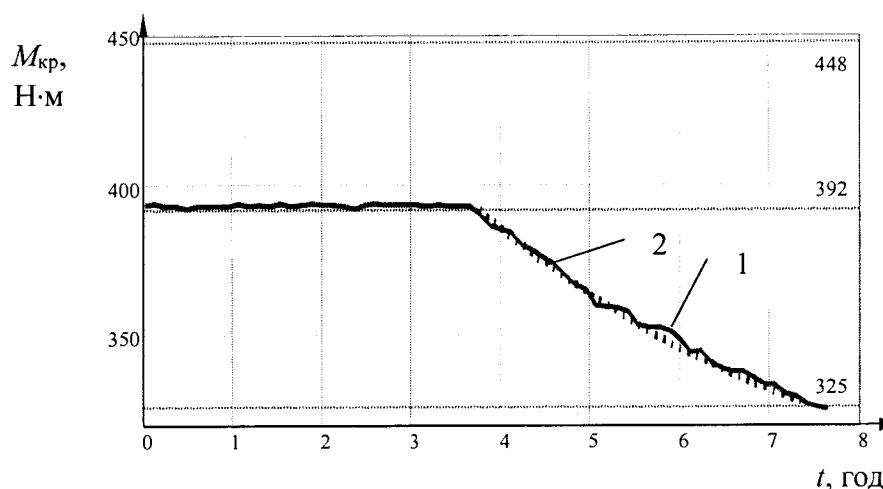


Рис.4.7. Моментограма роботи УЕВН при періодичній роботі:

1 – експериментальна крива, 2 – апроксимуюча крива

такому режимі призводить до зростання вібрації УЕВН з колоною НКТ і, як наслідок, до відмови.

Приклад періодичної роботи УЕВН показано на рис. 4.7. Графік вказує на нормальний пуск та роботу УЕВН на протязі 3,8 години при номінальному значенні крутного моменту 392 Н·м. Протягом наступних 4 годин спостерігалось плавне спадання крутного моменту до величини 325 Н·м, що обумовлено поступовим зниженням динамічного рівня свердловинної рідини до прийому насосу. При значенні $M_{кр}=325$ Н·м УЕВН була зупинена мінімальним захистом. Обробка експериментальних даних $M_{кр}$ після 3,8 год. роботи УЕВН показала, що зміна крутного моменту при зниженні динамічного рівня описується залежністю $M_{кр}(t)=389,005-2,655t+0,021t^2$. Вона подібна зміні $M_{кр}$ в часі для випадку блокування насосу газом (рис. 4.1), однак значення дисперсії при цьому є значно меншим ($D_x=4,242$). Вказана моментограма відображає неправильний вибір періодичності роботи УЕВН. В даному випадку час роботи УЕВН між накопиченнями свердловинної рідини слід вибрати в межах 4 годин.

При освоєнні свердловини після ремонту в ній може накопичитися шлам (бруд, осколки породи, тощо), винос якого позначається на роботі УЕВН (рис.4.8). З графіка видно, що після запуску УЕВН при $M_{кр}=392$ Н·м на протязі 3 годин спостерігаються значні коливання крутного моменту (максимальне значення

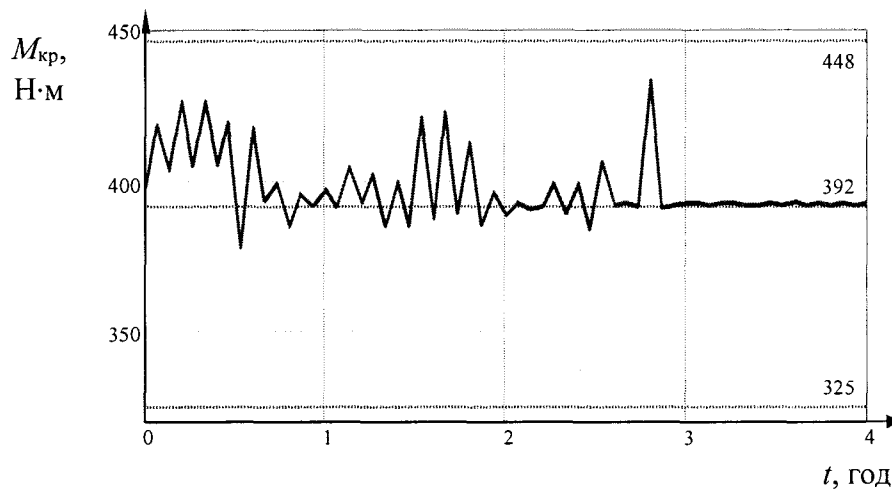


Рис. 4.8. Моментограма роботи УЕВН при наявності шламу на вибої свердловини

435 Н·м), що обумовлено процесом очистки вибою свердловини від шламу. Після очищення вибою величина крутного моменту стабілізувалася на номінальному значенні 392 Н·м. При цьому, на відміну від впливу газового фактору, зміна частоти коливань крутного моменту проходить в напрямку його зростання, тобто, в верх від номінального значення.

Наведені результати експериментальних досліджень показують, що свердловинні фактори (наявність газу, шламу та ін.) здійснюють суттєвий вплив на зміну значення крутного моменту на валу ЗЕД. Тому вибрана діагностична ознака – середнє значення крутного момент на валу ЗЕД, може бути використана для контролю режимів роботи УЕВН, зміна яких в подальшому може призвести до появи відмов. Крім того, отримані залежності зміни крутного моменту від впливу свердловинних факторів дозволять більш точно визначити фактичний стан УЕВН і здійснити його прогнозування на визначений період часу.

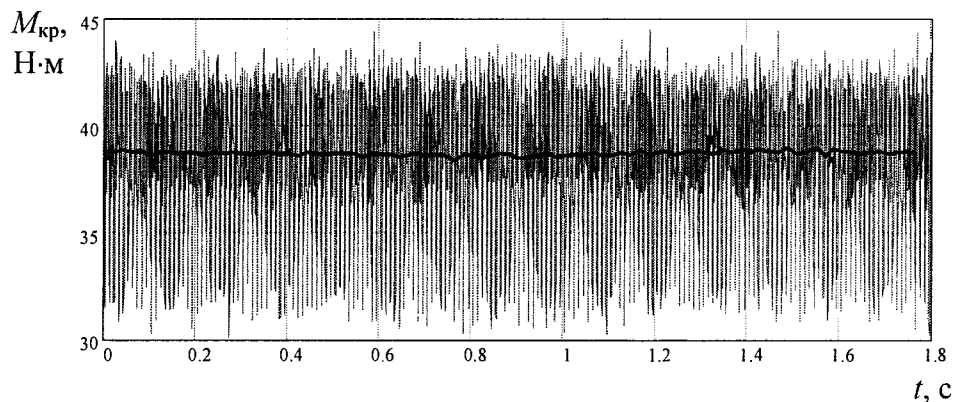
4.2. Дослідження впливу стану робочих органів відцентрового насоса на зміну крутного моменту на валу заглибного електродвигуна

З метою встановлення закономірностей зміни крутного моменту на валу ЗЕД, обумовлених впливом стану робочих органів ВН, були проведені стендові дослідження на базі ПРЦ ЗЕУ АТ “Укрнафта” (м.Варва). Стендові дослідження

проводилися на стендовій свердловині (див. п.3.4), згідно розробленої методики (п.3.1).

Як видно з отриманих результатів (рис.4.9) навіть для нового насосу (ЕВН5-50-800) миттєве значення крутного моменту на валу ЗЕД змінюється в межах до $\pm 18\%$ відносно середнього значення. Для насосу із зношеними робочими органами крім миттєвого (змінюється $\pm 34\%$) також змінюється і середнє за період значення крутного моменту (насос з повністю зношеними органами).

При цьому середнє значення крутного моменту на валу ЗЕД для насосу із зношеними робочими органами становить лише 56% від цієї ж величини для нового насосу. Зміна значення крутного моменту в межах до 35% відповідає ВН із частково зношеними робочими органами. Зменшення значення крутного моменту для ремонтної УЕВН в порівнянні з новою можна пояснити початковим припрацюванням елементів ремонтного насосу, оскільки при дрібному ремонті



а)

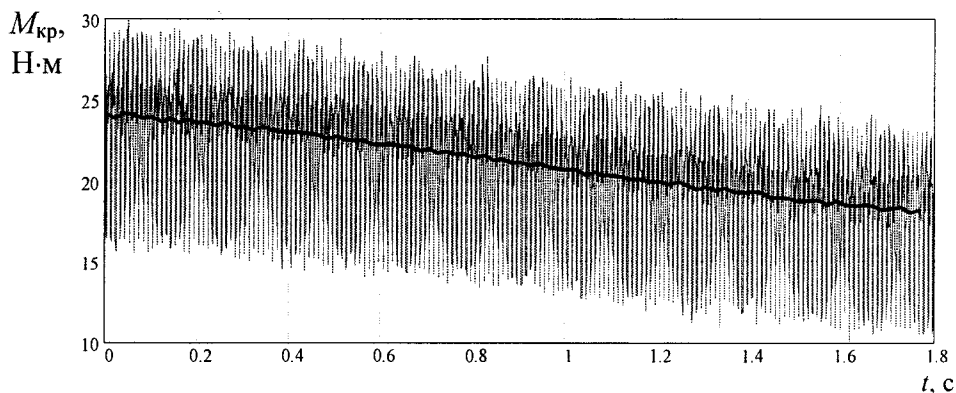


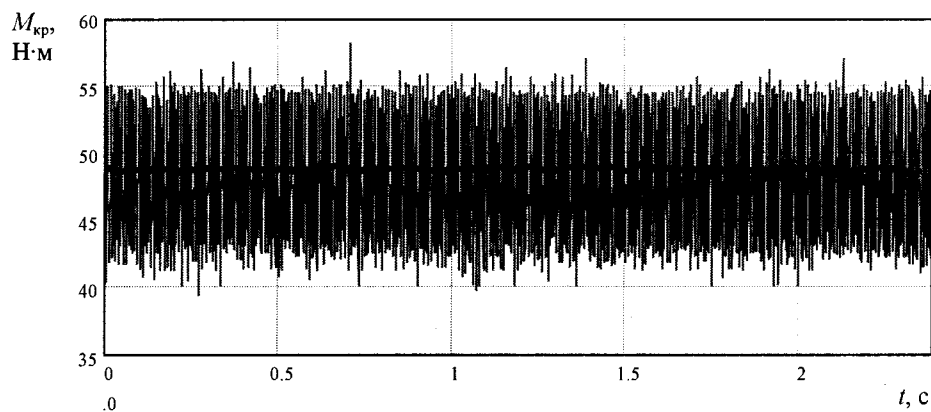
Рис. 4.9. Моментограми роботи насосу типу ЕВН5-50-1000: а) новий ВН; б) дефектний ВН (100% зносу)

замінюються лише найбільш зношені робочі органи або замінюються лише підшипники.

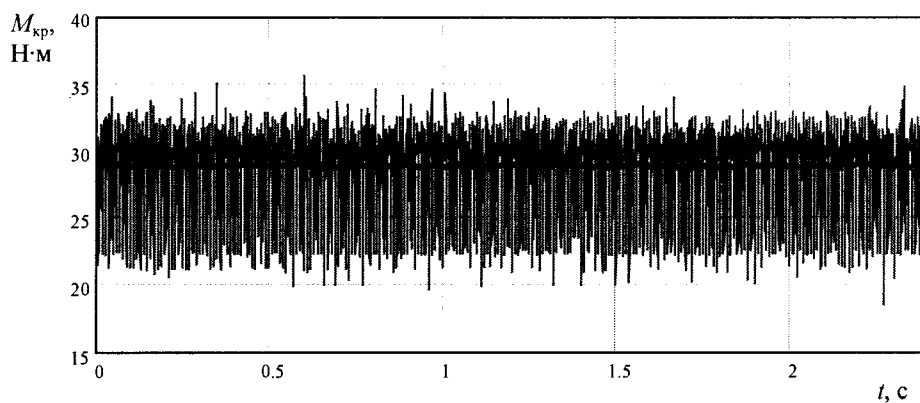
Аналогічна ситуація спостерігається також для насосу ЕВН5-5-1000 (рис.4.10). Зниження моменту в межах 38% відповідає насосу з частково зношеними робочими органами.

Аналізуючи отримані результати слід відмітити, що, оцінюючи лише середнє значення крутного моменту, важко зробити однозначний висновок про величину зносу робочих органів ВН (оцінити поточний стан ВН), так як для різних установок ця залежність буде різною.

Як видно з рис.4.9, 4.10 миттєве значення моменту на валу ЗЕД є неперервною функцією часу, для якої можна застосувати апарат спектрального аналізу з метою



а)

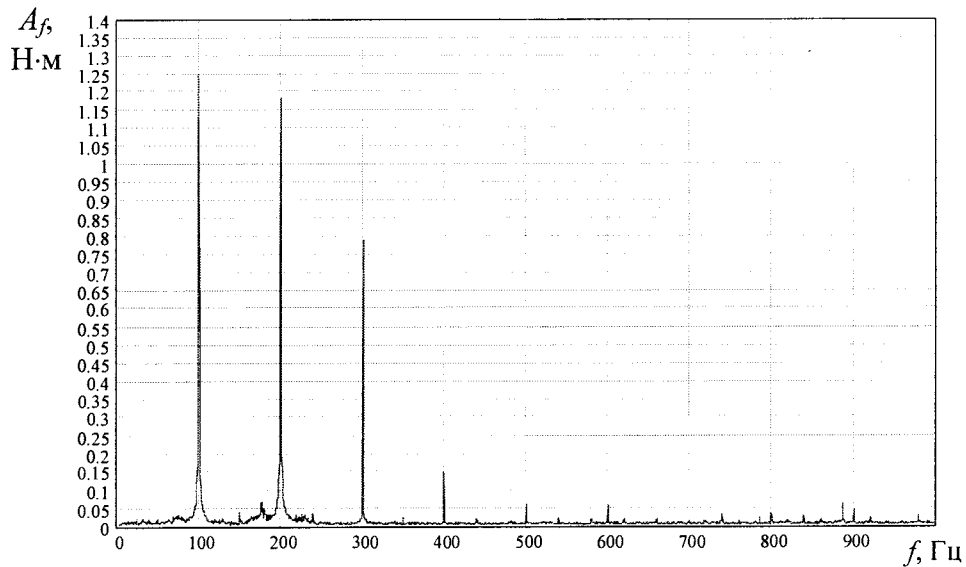


б)

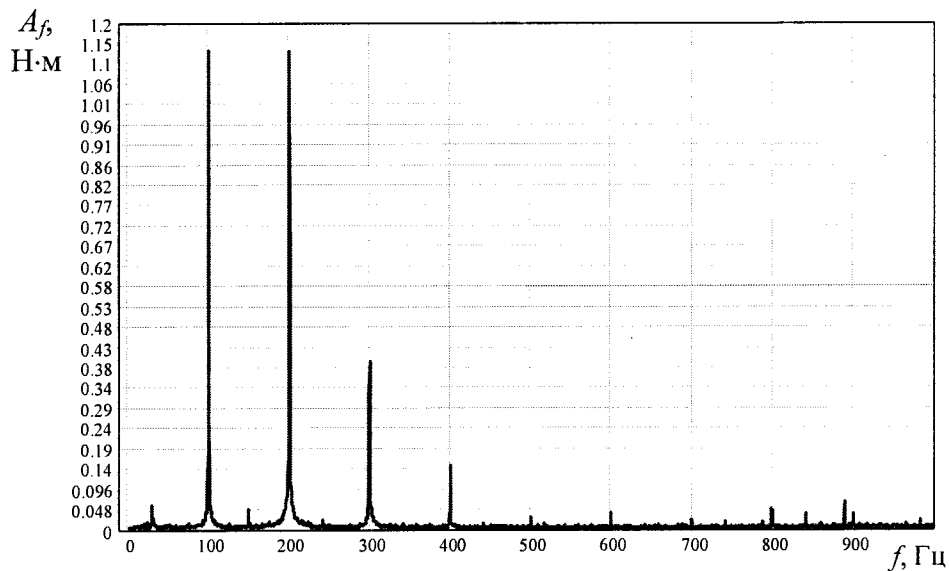
Рис. 4.10. Моментограми роботи насосу типу ЕВН5-50-1000: а) новий ВН; б) ВН насоса із зношеними робочими органами (30% зносу)

подальшого детального вивчення впливу дефектів вузлів УЕВН на зміну крутного моменту.

На рис.4.11 та в табл.4.1 представлені результати визначення спектральних складових спектру крутного моменту для нового та дефектного насосів ЕВН5-50-800.

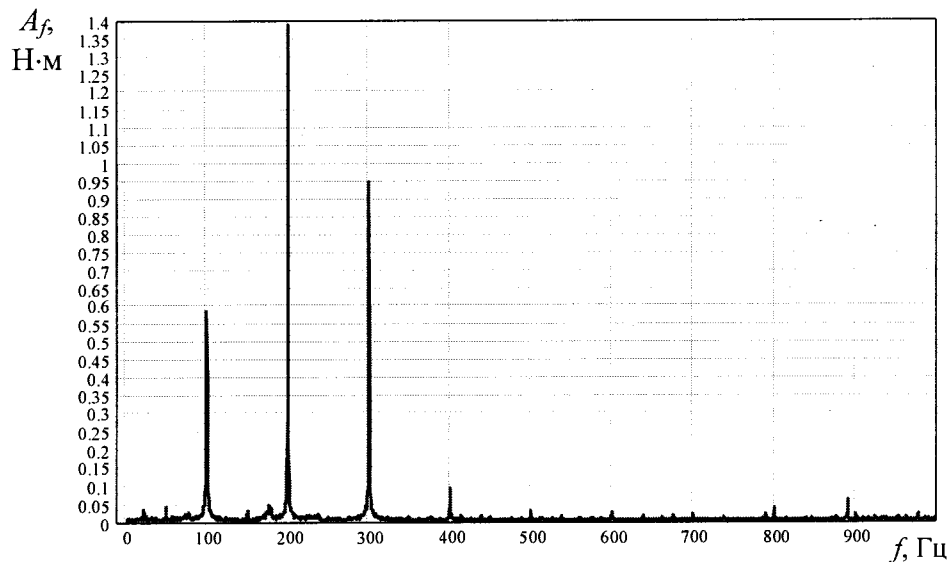


а)

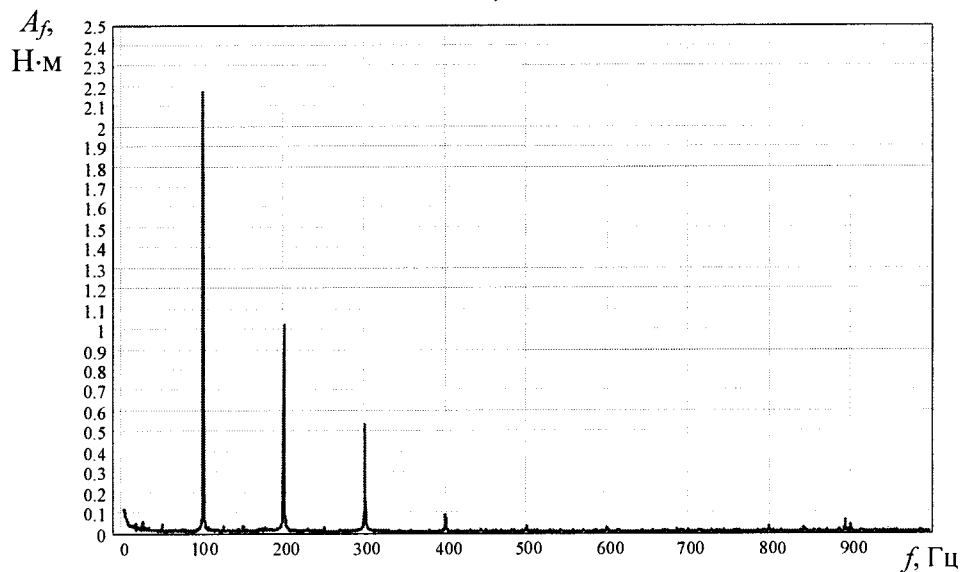


б)

Рис.4.11. Спектрограми крутного моменту насосів ЕВН5-50-800 з різним терміном напрацювання установок: а) новий ВН; б) ВН після відновлення



в)



г)

Рис. 4.11 (продовження). Спектрограми крутного моменту насосів ЕВН5-50-800 з різним терміном напрацювання установок: в) ВН з частково спрацьованими робочими органами (50% зносу); г) дефектний насос (100% зносу)

Основною гармонікою спектру крутного моменту є гармоніка частотою $f_0 = 100$ Гц [86] та кратні їй гармоніки $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$, $5f_0$, а також субгармонічні складові дробової кратності $\frac{1}{2}f_0$, $\frac{1}{4}f_0$. Основна енергія спектру зосереджена в смузі 0-600 Гц. Три цьому найбільшу амплітуду мають складові f_0 , $2f_0$, $3f_0$. Незначне зростання рівня складових в діапазоні 800–900 Гц, в тому числі субгармонічних складових, обумовлюється проявами електромагнітної вібрації в двигунах [1, 87, 88].

Таблиця 4.1

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

Технічний стан насосу	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

Порівнюючи отримані спектри (рис.4.11, табл.4.1) можна зробити висновок про вплив зносових процесів в робочих органах ВН на спектральний склад крутного моменту. Так, процес зношування робочих органів насосу викликає поступове зниження амплітуди основної гармоніки (до 52% – при частково зношених робочих органах) при зростанні рівня другої гармоніки. Проте при досягненні установкою граничного стану відбувається зворотній процес: рівень першої гармоніки зростає, а другої знижується. Зміну рівнів інших складових досить важко систематизувати. Також погіршення технічного стану УЕВН призводить до зростання рівня субгармонічних складових $\frac{1}{2}f_0$, $\frac{1}{4}f_0$.

Дана тенденція з незначними відхиленнями спостерігається і в спектрах крутного моменту на валу ЗЕД для насосу ЕВН5-50-1000 (табл.4.2 та рис.Е.1 в додатку Е).

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що знос робочих органів ВН викликає зниження крутного моменту на валу ЗЕД. Причому пониження значення крутного моменту більше ніж на 60% може говорити про недоцільність подальшої експлуатації УЕВН. Крім того, додаткову інформацію можна отримати, розглядаючи спектр крутного моменту. Знос УЕВН спричиняє зниження основної гармоніки та появу субгармонічних складових дробової кратності.

Таблиця 4.2

Залежність рівня спектральних складових у спектрі крутного моменту та його середнього значення від стану ВН типу ЕВН5-50-1000

Технічний стан насосу	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	47,826	1,9	0,72	0,61	0,175	0,044	0,04	0,028	0,095	0,2
- ремонтний	42,224	1,44	0,64	0,51	0,11	0,06	0,047	0,02	0,073	0,15
- з промислу (30% знос робочих органів)	28,42	1,64	0,8	0,28	0,11	0,05	0,046	0,02	0,035	0,039

З метою перевірки можливості перенесення отриманих в стендових умовах результатів на реальні умови була проведена промислова апробація на свердловинах Скороходівського родовища НГВУ „Чернігівнафтогаз”. Результати досліджень наведено в табл.4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3

Залежність рівня спектральних складових у спектрі крутного моменту та його середнього значення для установок ЕВН5-5-2000 з різним терміном напрацювання

№ св.	$T_{\text{напр}}$, діб	Обво дн., %	$M_{\text{кр}}$, Н·м	Спектральні складові									Примітка
				f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$	$8f_0$	$9f_0$	
90	4	60	82,683	1,46	0,68	0,66	0,06	0,16	0,065	0,04	0,02	0,105	
50	12	45	72,855	3,1	0,42	0,84	0,07	0,16	0,03	0,05	0,04	0,7	
204	19	50	78,398	2,2	0,8	0,24	0,08	0,12	0,16	0,03	-	0,04	
208	57	80	77,426	2,36	0,53	0,63	0,093	0,081	0,026	0,036	0,028	0,68	Підвищений рівень субгармонічних складових в діапазоні 800-900 Гц
54	413	30	72,424	3,19	0,3	0,7	0,08	0,06	0,035	0,03	0,11	0,96	Аналогічно

Таблиця 4.4

Залежність рівня спектральних складових у спектрі крутного моменту та його середнього значення для установок ЕВН5-5-1800 з різним терміном напрацювання

№ св.	$T_{\text{напр}}$, діб	Обво дн. %	$M_{\text{кр}}$, Н·м	Спектральні складові									Примітка
				f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$	$8f_0$	$9f_0$	
92	4	10	72,607	1,04	0,49	0,2	0,032	0,086	0,085	0,028	0,048	0,024	
80	7	99	69,521	1,01	1,27	0,78	0,16	0,06	0,05	0,052	0,072	0,13	$\frac{1}{4} f_0 = 0.39$
66	93	87	77,568	2,4	0,18	2,4	0,1	0,1	0,3	0,12	0,11	0,3	

Порівнюючи зміну крутного моменту на валу ЗЕД в залежності від напрацювання (табл.4.3, 4.4) можна зробити висновок, що в промислових умовах на середнє значення крутного моменту накладається також вплив експлуатаційних факторів, таких як обводеність, наявність механічних домішок, газовий фактор. (п.4.1). Слід відмітити, що виявлена в стендових умовах тенденція до зростання рівня першої гармоніки спектру при зростанні напрацювання підтверджується отриманими результатами. Проте, як видно з табл.4.1-4.4, контролюючи лише рівень якоїсь окремої складової важко оцінити реальний стан УЕВН.

4.3. Вибір і обґрунтування діагностичної ознаки стану відцентрового насосу

Правильний вибір діагностичної ознаки є важливою задачею при розробці будь-якої системи діагностування, оскільки від цього залежить ефективність та складність майбутньої системи. Зміна вибраної діагностичної ознаки повинна адекватно відображати зміни, що відбуваються в ОД.

Як відмічено в п.4.2, контролюючи лише середнє значення крутного моменту на валу ЗЕД важко оцінити стан УЕВН, оскільки на його значення накладається також вплив експлуатаційних факторів, в той же час контроль рівня лише окремої складової спектру крутного моменту на валу ЗЕД також не дозволяє якісно оцінити стан УЕВН.

Проведений детальний аналіз багаточисельних даних стендових та промислових досліджень, частина яких відображена в табл.4.1 – 4.4, показує, що не існує закономірності конкретних гармонічних, субгармонічних чи спектральних складових у спектрі крутного моменту, які б однозначно характеризували величину зносу робочих органів ВН. В той же час встановлено, що розподіл потужностей гармонічних складових однозначно відображає зміну технічного стану робочих органів ВН. Тому за ДО можна було прийняти суму гармонік, які мають найбільшу амплітудну складову (потужність). Такими гармоніками є перші п'ять. З метою отримання безрозмірної величини ДО і оперування невеликими її числовими

значеннями за ДО прийняли відношення суми рівнів першої, другої та третьої гармонік до суми рівнів четвертої та п'ятої гармонік.

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

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

Обчислені значення та відповідні вихідні дані наведено в табл. 4.5.

Аналізуючи таблицю 4.5 можна зробити висновок, що значення ДО знаходиться в межах 14–32 відносних одиниць. Відмінному технічному стану УЕВН (початкове значення ДО) відповідає значення ДО, що рівне $\Xi=14$, при досягненні ДО рівня $\Xi=32$ стан УЕВН відповідає незадовільному та вимагає негайного проведення ремонтних робіт.

Таблиця 4.5

Значення діагностичної ознаки

Технічний стан насосу	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

Правильність вибору ДО підтверджується також і промисловими даними (табл.4.6).

Таблиця 4.6

Значення діагностичної ознаки

Тип УЕВН	№ св.	$T_{\text{напр, дїб}}$	Спектральні складові					ДО
			f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	
ВН5-50-1800	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

Як видно з табл. 4.6 значення ДО в основному визначається технічним станом робочих органів ВН і не залежить від типорозміру та впливу експлуатаційних факторів. Наближення значення ДО до критичного рівня для УЕВН, що експлуатується в свердловині №54, свідчить про близьке настання відмови (на момент контролю УЕВН вже відпрацювала 413 дїб).

4.4. Розробка алгоритму процесу діагностування відцентрового насосу

Алгоритм процесу діагностування розробляється на основі алгоритму діагностування, який отримується при аналізі ОД з врахуванням вимог, що формуються при вирішенні задач організації СД. При побудові алгоритму можна використовувати базові алгоритми вирішення задач діагностування [89, 90]. Базові алгоритми – узагальнена послідовність дій (операторів дій і логічних умов), характерних для вирішення конкретної задачі діагностування.

Оператори дії вказують на виконання певної операції при проведенні діагностування.

Оператори логічних умов вказують на необхідність виконання чи відміни якої-небудь дії. Оператори логічних умов можуть приймати значення “1” або “0”, що відповідає відповідям “Так” і “Ні” в логічній умові і визначають структуру алгоритму.

Алгоритм процесу діагностування представляється граф-схемою $(A \cup \Omega, V)$, де $A \cup \Omega$ – об'єднана множина вершин, V – множина віток.

При контролі працездатності множина операторів дії включає 21 оператор $A=(a_i)$, $i=1,20$ та 11 операторів логічних умов $\Omega=(\omega_j)$, $j=1,11$ [90]. Алгоритм контролю працездатності для конкретного ОД отримується із базового алгоритму в залежності від особливостей ОД, умов його використання, особливостей обробки інформації.

При контролі працездатності УЕВН в робочому режимі за узагальненою ДО з цифровою обробкою інформації алгоритм включатиме тільки 11 операторів дії і одну логічну умову (рис.4.12):

$$A=(a_0, a_2, a_3, a_8, a_{10}, a_{11}, a_{13}, a_{16}, a_{18}, a_{19}, a_{20})$$

$$\Omega=(\omega_{10})$$

де a_0 – початок алгоритму;

a_2 – підключення ТЗД до ОД;

a_3 – вибір послідовності перевірок;

a_8 – передача з ОД інформації про ДО;

a_{10} – нормування вхідних сигналів;

a_{11} – аналогово-цифрове перетворення;

a_{13} – обробка інформації;

a_{16} – контроль ДО;

a_{18} – запам'ятовування значень ДО;

a_{19} – відображення чи реєстрація діагнозу;

a_{20} – кінець алгоритму;

ω_{10} – чи закінчені операції по контролю, перетворенню і обробці інформації?

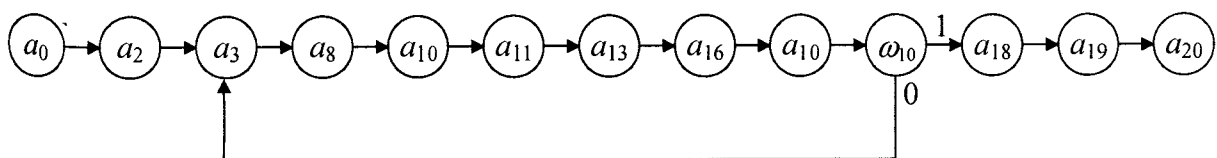


Рис.4.12. Алгоритм визначення роботоздатності по узагальненому параметру

4.5. Результати перевірки адекватності діагностичної моделі відцентрового насосу

На основі отриманих промислових даних була здійснена перевірка адекватності розробленої в п.2.1 діагностичної моделі ВН. З цією метою на її основі для установок типорозмірів ЕВН5-50-1800 та ЕВН5-50-2000 було розраховано сімейство її напірних характеристик, що відповідають різному технічному стану робочих органів ВН (рис. 4.13). На основі режимних параметрів свердловин Скороходівського родовища НГВУ “Чернігівнафтогаз” (табл.4.7) знайдено умовні характеристики кожної з розглядуваних свердловин. Згідно дебіту свердловини було визначено робочі точки ВН на умовній характеристиці свердловини, згідно яких було встановлено стан ВН (по сімейству напірних характеристик ВН) та обчислене значення крутного моменту на валу ЗЕД для кожної УЕВН.

Таблиця 4.7

Режимні параметри свердловин Скороходівського родовища

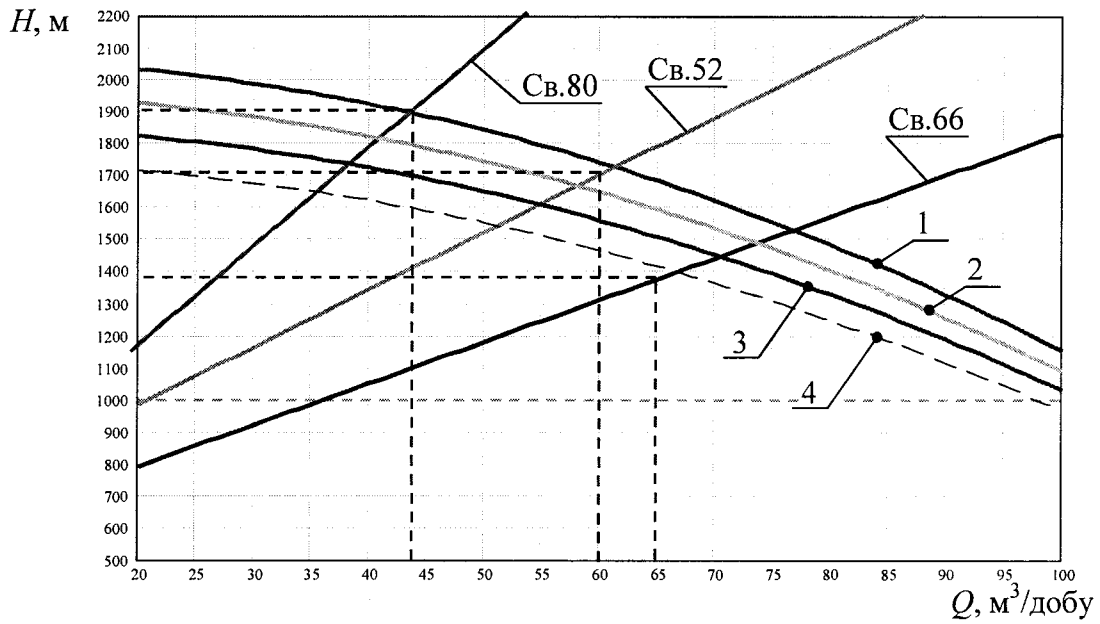
Параметри	№ свердловини				
	52	54	66	80	204
Коефіцієнт продуктивності свердловини, кг/Па·с;	$0,65 \cdot 10^{-6}$	$0,65 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Глибина спуску насосу, м;	2000	2000	2000	2000	2150
Густина рідини, кг/м ³	950	850	1000	1000	900
Внутрішній діаметр насосних труб, мм	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3
Необхідний тиск на гирлі свердловини, Мпа	2,7	3,0	3,2	3,0	3,1
Динамічний рівень, м	965	877	848	1130	994

Результати порівняння отриманих результатів моделювання значення крутного моменту з вимірними значеннями наведено в табл.4.8.

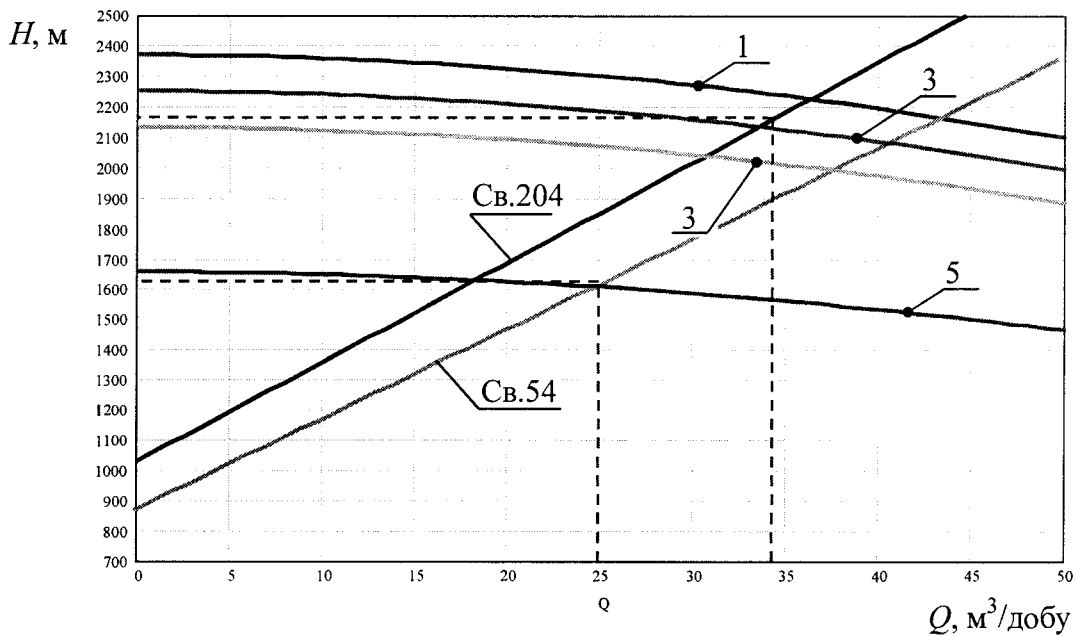
З рис. 4.13 видно, що зносіві явища в робочих органах призводять до зниження напірної характеристики ВН, що в свою чергу призводить до зниження крутного моменту на валу ЗЕД. Так, для УЕВН з свердловини Ск.66 5% знос

робочих органів призводить до зниження крутного моменту на 8,4%, 20% знос – 16,6% зниження крутного моменту, 45% знос – 25% зниження крутного моменту.

Як видно з табл.4.8 значення крутного моменту на валу ЗЕД, що отримані на основі моделі, для різних свердловинних умов добре корелюються з реальними



а)



б)

Рис.4.13. Напірні характеристики установок EBH5-50-1800 (а) та EBH5-50-2000 (б), що відповідають різному технічному стану ВН: 1 – номінальний стан; 2 – 5% знос робочих органів; 3 – 20% знос; 4 – 45% знос; 5 – 95% знос

значеннями крутного моменту, похибка моделі не перевищує 5%. Крім того отримані діагнози про технічний стан ВН згідно моделювання відповідають реальному технічному стану ВН. Так, наприклад, згідно результатів моделювання для УЕВН5-50-1800, яка експлуатувалася в свердловині Скороходи 66 на протязі 93 діб, встановлено, що знос її робочих органів становить більше 45%. Обчислене значення ДО, що рівне 25,9, підтверджує даний висновок. Для УЕВН з свердловини Скороходи 52 згідно проведеного моделювання, встановлено 5% знос робочих органів, що було підтверджено при ревізії УЕВН на базі ПРЦ ЕЗУ (дана УЕВН пропрацювала після перевірки два дні і була піднята через пробій електричного кабелю), та підтверджується значенням ДО, що рівне 15,4. Аналогічні результати отримано і для установок ЕВН5-50-2000. Так, для УЕВН з свердловини Скороходи 54 з терміном напрацювання 413 діб встановлено зношення робочих органів більше ніж на 80%, що підтверджується реальними даними. Отримані результати моделювання значення крутного моменту в залежності від зносу робочих органів ВН також добре співвідносяться із значенням вибраної в п.4.4 діагностичної ознаки.

Таблиця 4.8

Порівняння результатів моделювання залежності крутного моменту від технічного стану ВН типу ЕВН5-50-1800 та ЕВН5-50-2000 з промисловими даними

Тип УЕВН та номер свердловини	Дебіт, м ³ /добу	Розрахункове значення $M_{кр.роз}$, Н·м	Вимірне значення $M_{кр.вим}$, Н·м	Похибка, %	Значення ДО Ξ
ЕВН-5-50-1800:					
- Скороходи 80	44	71,2	69,5	2,5	14,9
- Скороходи 66	65	78,1	77,2	1,1	25,9
- Скороходи 52	60	84,2	83,4	0,9	15,4
ЕВН-5-50-2000:					
- Скороходи 54	25	68,9	72,425	4,8	30,9
- Скороходи 204	34	77,149	78,398	1,59	17,2

Отже, на основі отриманих результатів можна зробити висновок, що розроблена модель ВН адекватно описує процес зміни крутного моменту на валу ЗЕД в залежності від зносу робочих органів ВН.

4.6. Визначення умов працездатності установок ЕВН

В розділі 2 в загальному виді отримано умови працездатності ВН, у вигляді накладання обмежень на переміщення коренів характеристичного рівняння в комплексній площині [91]. Знайдемо числове значення отриманої нерівності (2.32). Для цього розглянемо, як приклад, установку ЕВН5-50-1800 з двигуном ЗЕД32-103.

Для визначення динамічних параметрів ЗЕД будемо його механічну характеристику на основі формули (2.15) і криву залежності зміни моменту опору від кутової швидкості, яка для ВН має вигляд $M_n = A \cdot \rho \cdot \omega^2$, де A – коефіцієнт, що залежить від типу ВН (геометричних параметрів його робочих органів), ρ – густина рідини, що видобувається.

На основі характеристик ЗЕД та ВН визначаємо їх жорсткості, що рівні тангенсам кутів α_d і α_n , які утворюються дотичними, проведеними до точки пересічення двох характеристик із віссю ординат (рис.4.14). З рис.4.14 $\beta_d = \text{tg } \alpha_d = \text{tg } 189^\circ = 0,158$ і $\beta_n = \text{tg } \alpha_n = \text{tg } 45^\circ = 1$.

Виходячи з конструкції та геометричних розмірів ЗЕД приймаємо момент інерції двигуна $J = 0,35 \text{ м}^4$. Враховуючи залежність зміни крутного моменту на робочій ділянці характеристики від швидкості обертання приймаємо $k_m = 1,33$.

Отже динамічні параметри двигуна згідно (2.13) будуть рівні $k_1 = 1,58$ та $T_m = 0,416$.

На основі конструктивних параметрів ВН згідно (2.23), $k_2 = 1,672$.

Підставивши отримані значення динамічних параметрів у (2.21) знаходимо, що значення кореня характеристичного рівняння рівне

$$p_{01} = -8,754.$$

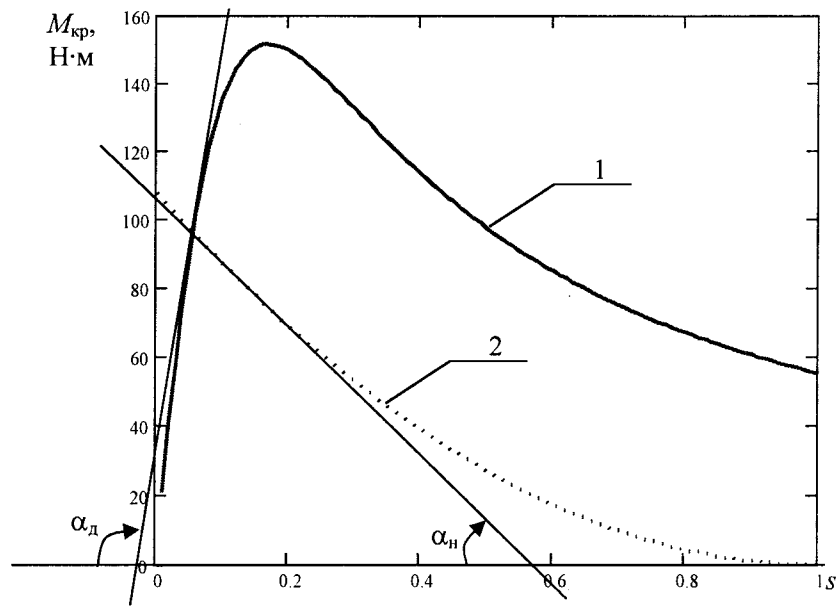


Рис.4.14. Механічні характеристики двигуна ЗЕД32-103 (1)
та насосу ЕВН5-50-1800 (2)

Виходячи з умови, що значення кореня характеристичного рівняння, не повинно змінюватися більше ніж на 50%, задамо допустиме переміщення кореня, рівним $\delta=4$. На основі (2.31) визначаємо допустиму зміну контрольованого параметру Δk в області динамічних параметрів, що рівна 1,664.

Враховуючи, що $k=k_1k_2$, отримаємо $\Delta k_2=1,053$. Остаточну умову працездатності ВН можна записати у вигляді

$$0,619 < k_2 < 1,672 \quad (4.2)$$

Нерівність (4.2) задає умови працездатності ВН в області контрольованого параметру k_2 , що визначається через конструктивні розміри ВН, а отже безпосередньо пов'язана з його технічним станом.

Висновки до розділу

1. Встановлені закономірності зміни крутного моменту на валу ЗЕД, що обумовлені впливом свердловинних факторів (утворення газової пробки, значний газовий фактор, наявність шламу, різке збільшення механічних домішок і ін.), які дозволяють проводити їх ідентифікацію на основі вимірювання середнього значення крутного моменту в процесі експлуатації установок ЕВН.

2. Встановлено, що не існує закономірності конкретних гармонічних, субгармонічних чи спектральних складових у спектрі крутного моменту, які б однозначно характеризували величину зносу робочих органів ВН, що вимагає обґрунтованого вибору ДО стану ВН.

3. Вибрана і експериментально обґрунтована ДО – відношення суми рівнів першої, другої та третьої гармонік до суми рівнів четвертої та п'ятої гармонік спектру крутного моменту та встановлено межі її зміни, на основі чого розроблено алгоритм і метод діагностування ВН в процесі експлуатації.

4. Порівняння результатів моделювання крутного моменту на валу ЗЕД по конкретних свердловинах і установках ЕВН, проведених з використанням розробленої діагностичної моделі з реальними промисловими даними, вказує на адекватність діагностичної моделі (похибка не перевищує 8,0%).

5. Базуючись на умовах працездатності установок ЕВН отриманих в 2.3 в загальному вигляді, та виходячи з характеристик ЗЕД і ВН та їх конструктивних і геометричних розмірів отримано умови працездатності для конкретного ВН в області контрольованого параметру, що безпосередньо зв'язаний з його технічним станом.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ УСТАНОВОК ЕВН

5.1. Обґрунтування конфігурації системи діагностування установок ЕВН та вибір її основних складових

Вибір конфігурації системи діагностування. Аналіз процесу взаємодії ОД, технічних засобів діагностування (ТЗД) і людини-оператора (ЛО) в процесі діагностування показують, що організацію СД визначає велике число різноманітних факторів. Найбільш важливими факторами, які підлягають вивченню, є організація використання ОД і організація процесу діагностування [92]. Організація використання ОД характеризується співвідношенням між тривалостями використань та перерв між послідовними використаннями. Ці співвідношення для нафтогазового обладнання залежать від його цільового призначення і часто визначаються умовами експлуатації обладнання в цілому. З точки зору організації використання установку ЕВН можна розглядати як обладнання, що використовується безперервно (ОД неперервного використання).

Другим фактором, що суттєво впливає на організацію СД, є організація процесу діагностування. Правильна організація процесу діагностування дозволяє організувати взаємодію елементів системи діагностування в часі оптимальним чином. Діагностування установок ЕВН в залежності від вибраного методу може проводитися або в робочому, або в спеціальному режимі, в який вона спеціально переводиться з метою діагностування. У відповідності з цим процес діагностування установки ЕВН може бути неперервним або періодичним. В першому випадку має місце неперервне діагностування (НД), а в другому – періодичне (ПД). Організацію періодичного діагностування ОД характеризує період діагностування. Періодичне діагностування може бути регулярно-періодичним – РПД (період діагностування постійний) і випадково-періодичним – (період діагностування змінюється випадковим чином).

Організація непервного діагностування вимагає стаціонарного встановлення засобів діагностування на об'єкті діагностування, що вимагає необхідності обладнання кожної установки ЕВН власним комплектом технічних засобів діагностування, але забезпечує постійний контроль за технічним станом установки. В той же час періодичне діагностування дозволяє використати один комплект технічних засобів для багатьох установок, що знижує затрати на технічні засоби, але не дозволяє контролювати стан установки в перерві між черговими перевірками. Оскільки проєктована система діагностування призначена, в основному, для оцінки технічного стану установки ЕВН пов'язаного із зносними явищами, що є повільно плинними процесами, організацію процесу діагностування доцільно вибрати періодичною з регулярним періодом діагностування.

Наступним фактором, що визначає організацію СД є спосіб отримання інформації від ОД та спосіб обробки вимірювальної інформації.

Як зазначено в розділі 3, для вимірювання крутного моменту методом енергетичних діаграм необхідно мати інформацію про споживану системою потужність, яку можна обчислити через миттєві значення напруги та струму відповідно у фазах А, В, С.

Отже, реалізація вказаного методу вимагає наявності 6 вимірювальних каналів. Крім того, застосування мікропроцесорної техніки для обробки вимірювальної інформації вимагає представлення її в цифровому вигляді. Поставлену задачу можна вирішити за допомогою АЦП [93]. Оцифровувати інформацію з 6 вимірювальних каналів можна одночасно, фіксуючи в кожний момент часу значення сигналів по всіх вимірювальних каналах або послідовно, по чергово опитуючи кожен з каналів, в результаті чого між миттєві значення сигналів будуть дещо зміщені в часі на величину часу здійснення одного аналогово-цифрового перетворення.

Реалізація першого методу вимагає наявності в кожному каналі окремого АЦП чи відповідних схем зберігання вибірки, в той час як другий метод дозволяє обійтися лише одним АЦП, тобто вимагає значно менших затрат на обладнання, але

вносить додаткову систематичну похибку в отримане миттєве значення крутного моменту. Величина цієї похибки буде повністю залежати від обраної частоти дискретизації сигналів (швидкості здійснення одного перетворення).

При послідовному опитуванні вимірювальних каналів важливим є також вибір вірної послідовності опитування каналів. При цьому можливі два методи опитування каналів:

1-й метод – по чергово вимірюється сила струму та напруга в кожній з фаз ($i_a, i_b, i_c, u_a, u_b, u_c$);

2-й метод – спочатку вимірюють значення сили струму в кожній з фаз, потім напруги ($i_a, i_b, i_c, u_a, u_b, u_c$).

Величину похибки при послідовному опитуванні каналів можна оцінити шляхом моделювання визначення потужності в трифазному колі, з врахування зміщення вхідних сигналів на час затримки в кожному вимірювальному каналі (Додаток 3). Величина зміщення сигналів обернено пропорційна частоті дискретизації АЦП. Залежність величини похибки визначення значення крутного моменту від порядку опиту каналів та частоти дискретизації наведена на рис. 5.1.

Як видно з рис. 5.1 перший метод опитування каналів забезпечує в 2 рази менше значення похибки ніж другий, при цьому із збільшенням частоти дискретизації значення похибки різко спадає і при частоті дискретизації $f_d=48$ кГц

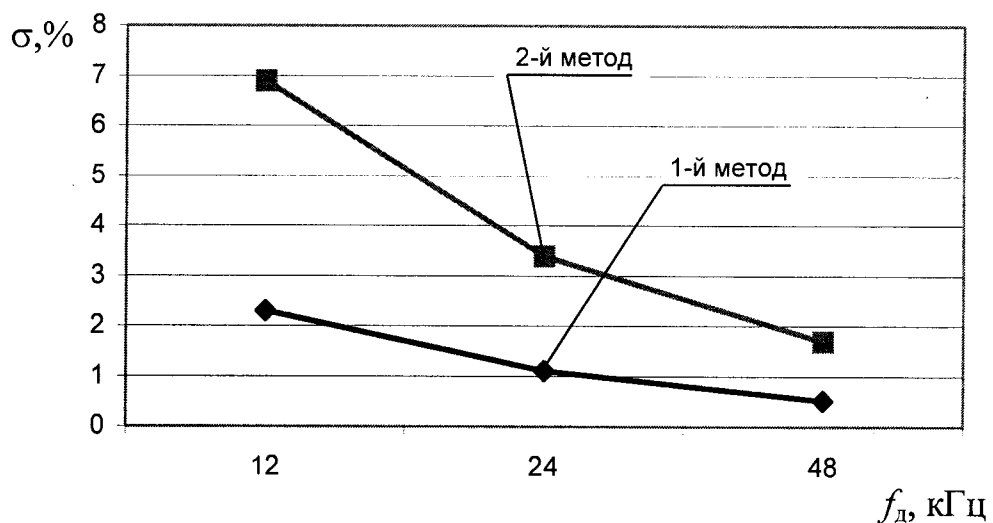


Рис.5.1. Залежність похибки вимірювання $\sigma, \%$ крутного моменту від частоти дискретизації $f_d, \text{кГц}$ та методу опитування каналів

становить лише 0,5%.

Оскільки при частоті дискретизації більше $f_d=24$ кГц (сучасні АЦП забезпечують значно вищі частоти дискретизації) похибка є незначною, то при розробці СД було обрано варіант послідовного опитування вимірювальних каналів, при якому використовується один АЦП та відповідна схема комутації каналів.

Загалом в структурі СД можна виділити два функціонально завершених блоки: блок первинних перетворювачів та блок обробки діагностичної інформації. В останньому можна виділити комутуючий пристрій та, власне, блок обробки інформації (рис.5.2). В якості блоку обробки доцільно вибрати ПЕОМ типу "NoteBook", застосування якого дозволить не лише оперативно проводити обробку вимірювальної інформації, але і вести базу даних про поточний стан установок ЕВН та на їх основі проводити прогнозування залишкового ресурсу установки.

Крім того, застосування ПЕОМ типу "NoteBook" дозволяє відмовитися від розробки зовнішнього АЦП, оскільки ввід аналогової інформації достатньо легко можна організувати через лінійний вхід звукової карти. Можливості сучасних звукових карт дозволяють паралельно оцифровувати два сигнали з максимальною частотою дискретизації $f_d=48$ кГц кожний (з можливістю програмного керування в діапазоні $f_d=8-48$ кГц), що забезпечує відсутність вищевказаної похибки

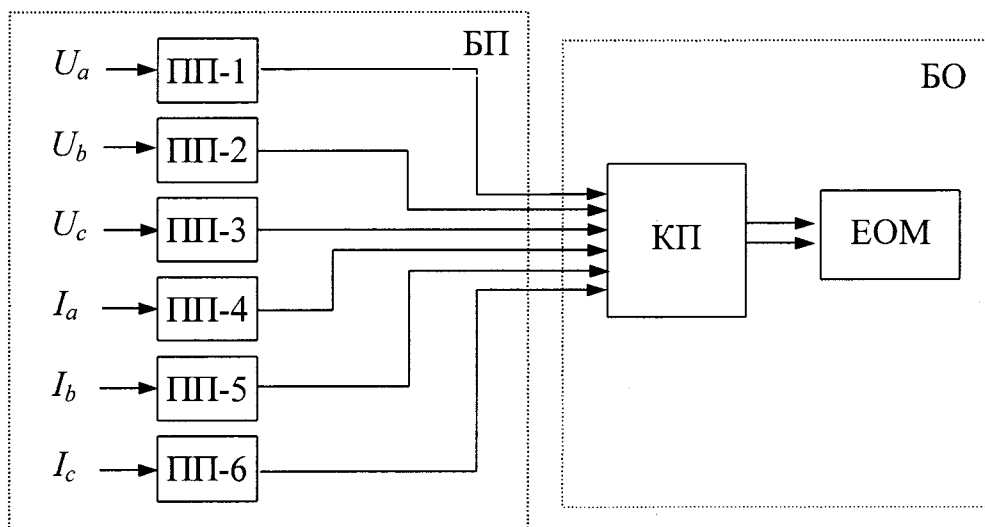


Рис.5.2. Структурна схема СД

(пов'язаної з послідовним опитуванням вимірювальних каналів) при вимірюванні потужності в кожній окремо взятій фазі.

Узгоджуючий пристрій призначений для комутації вимірювальних каналів, тобто для послідовного підключення одночасно двох вимірювальних каналів до АЦП.

Управління роботою СД (зчитування, вибір частоти дискретизації, обробка інформації згідно розробленого алгоритму, видача заключення про стан ОД) здійснюється програмним шляхом за допомогою розробленої програми "САД-ЕП". Копії екранів роботи програми наведено в додатку К.

Оскільки монтаж первинних перетворювачів необхідно проводити в силовій частині шафи керування установкою ЕВН, що вимагає відключення установки, необхідно кожен із досліджуваних свердловин обладнати комплектом первинних перетворювачів. Первинні перетворювачі повинні бути стаціонарно змонтовані в силовому відділенні, а їх вимірювальні виходи виведені на передню панель шафи управління. Така конструкція дозволить оперативно під'єднувати блок обробки інформації без відключення самої установки.

Вибір основних складових системи діагностування елементів. Вибір типу первинних перетворювачів пов'язаний як з технічними, так і економічними характеристиками, що вимагає прийняти до уваги всіх аспекти їх застосування. Основним фактором, що служить критерієм вибору типу давача, є можливість роботи в заданому діапазоні вимірювальної величини та забезпечення необхідного виду вихідного сигналу. Серед інших факторів, що впливають на технічні характеристики давачів, особливу увагу потрібно приділити наступним:

- електричним впливам;
- механічним впливам;
- температурним впливам;
- умовам експлуатації.

На практиці часто виникає комбінація декількох факторів, що повинні бути оцінені у своїй сукупності для вибору найбільш раціонального варіанту давачів.

Наприклад, вимірюваний струм не є номінальним, здійснюються магнітний, температурний і механічний впливи, відбуваються тимчасові перевантаження і т.д. Таким чином, уся сукупність параметрів може впливати на точність перетворення давача.

Розглянемо основні вимоги до первинних перетворювачів СД, що обумовлюються особливостями ОД:

- діапазон зміни струму установки становить 15-50 А в залежності від типорозміру установки та її технічного стану (в момент пуску можливі пікові значення до 70 А);

- діапазон зміни фазної напруги живлення від 580 до 1000 В, визначається типом застосованого ЗЕД;

- амплітудний рівень вихідного сигналу давача не повинен перевищувати ± 5 В, що обумовлюється технічними характеристиками лінійного входу звукової карти;

- частота вимірюваних сигналів становить 50 Гц;

- температура навколишнього середовища може коливатися від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$, що обумовлюється розміщенням шафи управління УЕВН на відкритому просторі.

Виходячи з наведених вимог в якості первинних перетворювачів можна використати вимірювальні трансформатори струму та напруги або давачі струму та напруги на основі ефекту Холла.

Застосування вимірювальних трансформаторів струму та напруги вимагає розробки схем узгодження вихідних сигналів (прецизійних резисторів для перетворення вихідного сигналу трансформатора струму в пропорційний сигнал напруги та застосування дільників напруги для нормування вимірювального сигналу), крім того такі давачі мають значні габарити.

На противагу вимірювальним трансформаторам напруги та струму давачі на основі ефекту Холла мають невеликі габарити, не вимагають додаткових схем узгодження вихідного сигналу при забезпеченні достатньої точності вимірювань.

Таким параметрам відповідають датчі фірми “Твелем”, типу HAS для вимірювання струму та типу CV3 для вимірювання напруги [94]. Типовий ряд датчів забезпечує вибір датча для необхідного діапазону вимірювань, що визначається типорозміром установки ЕВН. Технічні характеристики первинних перетворювачів наведено в додатку Л.

Застосування вибраних первинних датчів забезпечує нормований вихідний сигнал в діапазоні до ± 5 В, що забезпечує безпосереднє підключення датчів до комутуючого пристрою.

Застосування для перетворення вхідних аналогових сигналів в цифрову форму звукової карти ПЕОМ дозволяє одночасне перетворення двох сигналів, тому схема комутації каналів повинна забезпечити одночасне попарне перемикання між каналами.

Схема керування каналами зібрана на базі мультиплексора DA1 (ADG409) та забезпечує одночасне підключення до входів звукової карти однієї пари каналів (рис.5.3). Вибір пари каналів здійснюється за допомогою керуючої програми через LPT порт (через буферні інвентори DD1) згідно наступної таблиці істинності перемикання каналів (табл.5.1).

Таблиця 5.1

Сигнали управління комутацією каналів

D0	D1	S
1	1	S1
1	0	S2
0	1	S3
0	0	S4

З виходу мультиплексора сигнали подаються на вхід звукової карти через вихідні буфери DA2, що зібрані на операційних підсилювачах з регульованим коефіцієнтом підсилення (типу 140УД20).

Основою вказаної СД може служити будь-яка ПЕОМ типу “NoteBook” класом не нижче, ніж Pentium 133.

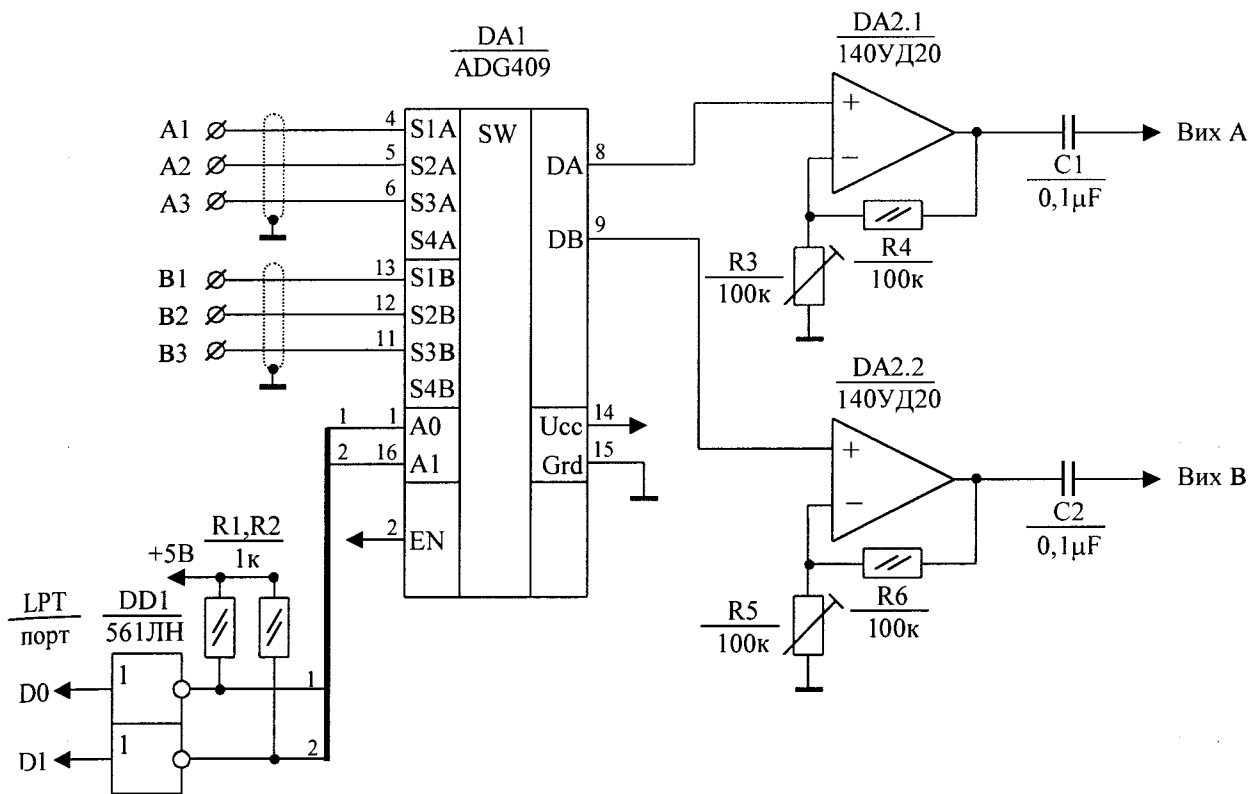


Рис.5.3. Схема електрична принципова пристрою комутації каналів

5.2. Оцінка критерію організації системи діагностування

При проектуванні системи УЕВН на основі розробленого алгоритму діагностування (розділ 4) важливою задачею є організація всіх елементів системи, що беруть участь в процесі діагностування і від яких залежить її якість.

Оскільки в процесі діагностування, як було відмічено вище, беруть участь три елементи: ОД, ТЗД і ЛО, які утворюють систему діагностування, то для вирішення задачі організації СД необхідно вибрати критерій, що враховує показники всіх цих складових.

За критерій організації СД установок ЕВН використаємо показник готовності P_r , який визначає ймовірність того, що об'єкт є працездатним в довільний момент часу. Розглянемо задачу оцінки P_r проектованої СД для установок ЕВН, яка є об'єктом неперервного використання. Як обґрунтовано в пункті 5.1, діагностування передбачається проводити періодично через постійні

проміжки часу, тобто $T_d=1/n=\text{const}$. В результаті відновлення установка повністю відновлює свої функції [95].

Для визначення Π_r скористаємося методикою запропонованою в [66]:

1. Із всієї сукупності станів, в яких може знаходитися СД виділяємо початкові:

- 1 – ОД і ТЗД працездатні;
- 2 – ОД працездатний, ТЗД непрацездатні;
- 3 – ОД непрацездатний, ТЗД працездатні;
- 4 – ОД і ТЗД непрацездатні.

2. Для розглянутих початкових станів будуюмо часові діаграми: $\tau_{к.з}$ – час самоперевірки ТЗД до і після діагностування; $\tau_{к.о}$ – час контролю ОД; $\tau_{в.з}$ – час відновлення ТЗД; $\tau_{в.о}$ – час відновлення ОД (рис.5.4).

3. Об'єднуємо всі початкові стани в один узагальнений стан – ОД і ТЗД в робочому режимі, але можлива їх відмова з ймовірностями $Q_0(t)$ і $Q_3(t)$ (стан I). Стани 5, 6 і 7 – працездатний ОД діагностується (стан II); 8, 9, 10, 11 – працездатний ОД діагностується, причому відбулося відновлення ТЗД (стан III); 12, 13, 14, 15 – непрацездатний ОД діагностується і відновлюється (стан IV); 16, 17, 18, 19, 20 – непрацездатний ОД діагностується і відновлюється, причому ТЗД відновлюються (стан V).

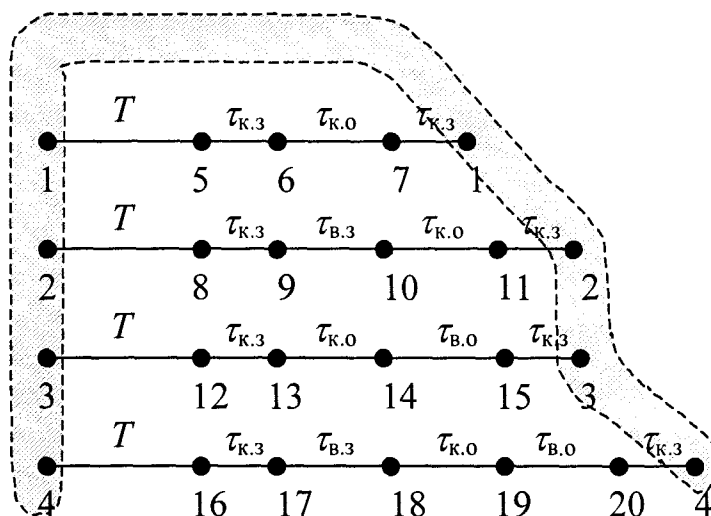


Рис.5.4. Часові циклограми взаємодії ОД і ТЗД

4. Будуємо граф переходів вважаючи процес переходів напівмарківським випадковим процесом (оскільки враховуються крім ймовірностей переходу з стану в стан також тривалості знаходження в кожному з станів [66]) (рис.5.5). Кожна вітка графу характеризується ймовірністю переходу і тривалістю перебування ОД в попередньому стані:

$P_0(T)$ – ймовірність безвідмовної роботи ОД протягом $[0, T]$;

$P_3(T)$ – аналогічно, ймовірність безвідмовної роботи ТЗД;

$\tau'_{к.о}$ – середній час контролю ОД ($\tau'_{к.о} = 2\tau_{к.з} + \tau_{к.о}$);

$\tau'_{в.о}$ – середній час відновлення ОД ($\tau'_{в.о} = 2\tau_{к.з} + \tau_{к.о} + \tau_{в.о}$).

5. На основі побудованого графа записуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5, \\ \pi_2 &= P_0(T) \cdot P_T(T) \cdot \pi_1, \\ \pi_3 &= P_0(T) \cdot [1 - P_T(T)] \cdot \pi_1, \\ \pi_4 &= [1 - P_0(T)] \cdot P_T(T) \cdot \pi_1, \\ \pi_5 &= [1 - P_0(T)] \cdot [1 - P_T(T)] \cdot \pi_1, \end{aligned} \quad (5.1)$$

де π_i – стаціонарна ймовірність перебування СД в i -му стані без врахування середньої тривалості перебування в цьому стані.

Оскільки нас цікавлять лише працездатні стани (1-й стан), то розв'язуємо систему рівнянь (5.1) відносно π_1 . Після чого приводимо всі інші ймовірності до базової шляхом введення коефіцієнтів $A_i = \pi_i / \pi_1$.

6. Показник готовності шукаємо у вигляді

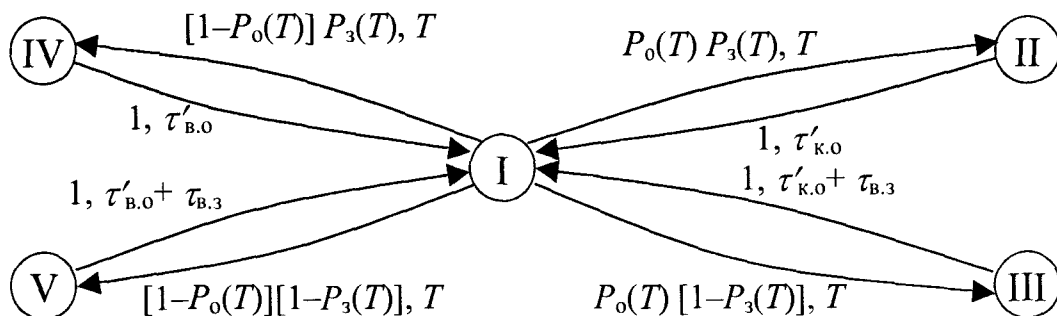


Рис. 5.5. Граф переходів

$$\Pi_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i T_{oi}}{\sum_{i=1}^n A_i T_i},$$

де T_i – безумовна тривалість знаходження СД в i -му стані;

T_{oi} – середній час відсутності дефектів на протязі часу T_i .

Провівши всі необхідні перетворення отримаємо аналітичний вираз для Π_{Γ} :

$$\Pi_{\Gamma} = \frac{T_{oi}}{T + P_o(T) \cdot P_{\Gamma}(T) \cdot \tau'_{к.о} + P_o(T) \cdot [1 - P_{\Gamma}(T)] \cdot (\tau'_{к.о} + \tau_{в.з}) + [1 - P_o(T)] \cdot P_{\Gamma}(T) \cdot \tau'_{в.о} + [1 - P_o(T)] \cdot [1 - P_{\Gamma}(T)] \cdot (\tau'_{в.о} + \tau_{в.з})}. \quad (5.2)$$

Приймаючи, що напрацювання на відмову ОД (див п.1.3) і ТЗД описується показниковим законом розподілу, отримаємо

$$P_o(t) = \exp(-\lambda_o t),$$

$$P_{\Gamma}(t) = \exp(-\lambda_{\Gamma} t),$$

$$T_{oi} = \int_0^T P(t) \cdot P(t) dt = \frac{1}{\lambda_o + \lambda_{\Gamma}} \cdot [1 - \exp(-(\lambda_o + \lambda_{\Gamma})T)],$$

де $\lambda_o, \lambda_{\Gamma}$ – інтенсивність відмов відповідно ОД і ТЗД.

На основі статистичних даних по відмовах елементів і вузлів УЕВН, які експлуатувалися на нафтопромислах України (п.1.2) та результатів апробації розробленої СД встановлено, що $\lambda_o = 2,232 \cdot 10^{-4}$ 1/год, $\lambda_{\Gamma} = 10^{-5}$ 1/год; $\tau_{к.з} = 0,1$ год, $\tau_{к.о} = 0,5$ год; $\tau_{в.з} = 24$ год; $\tau_{в.о} = 96$ год.

Підставивши дані в (5.2) отримаємо залежність показника готовності Π_{Γ} від періоду діагностування (рис.5.6).

Як видно з рис.5.5 критерій організації СД має максимум при періоді діагностування $T = 86$ год, $\Pi_{\Gamma max} = 0,9769$.

Отже, можна зробити висновок, що застосування розробленої СД є доцільним, оскільки забезпечується висока ймовірність перебування установки ЕВН в працездатному стані в довільний момент часу. При цьому максимальний

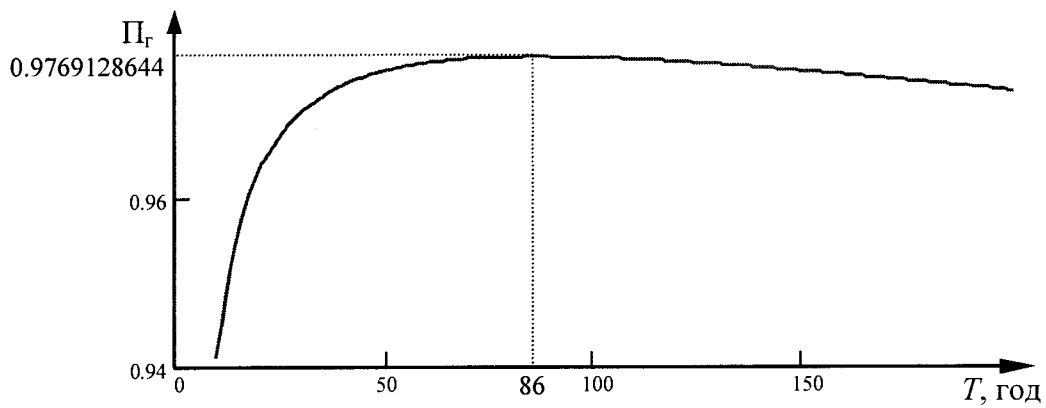


Рис.5.6. Залежність Π_r від періоду діагностування T

ефект від застосування СД буде при періоді між діагностуваннями рівним 86 год (3,5 доби). Отже, можна прийняти період діагностування, що рівний $T_d=4$ доби.

5.3. Оцінка ефективності розробленої системи діагностування

Мета визначення ефективності системи діагностування – оптимізувати систему в процесі розробки чи вибрати варіант її реалізації, що найбільш близький до оптимального за вибраним показником ефективності.

Особливістю складних систем є необхідність їх оцінки за багатьма частковими показниками якості: надійністю, вартістю, вірогідністю, і т.д. У відповідності з принципом однозначності [96] показник ефективності СД в цілому як критерій оптимальності повинен бути представлений у вигляді одного загального показника, що включає в себе інші часткові показники якості.

Оцінити ефективність СД можна за величиною ймовірності правильної оцінки стану ОД за допомогою СД або по мірі підвищення ефективності ОД, обумовленої використанням СД, з врахуванням витрат чи втрат при її використанні.

Процедура формування показника ефективності в даному випадку базується на побудові ієрархічного дерева показників. Показники, що знаходяться на різних рівнях дерева (рис.5.7), кількісно характеризують процес функціонування СД. Показник нульового рівня і є критерієм ефективності, оскільки характеризує

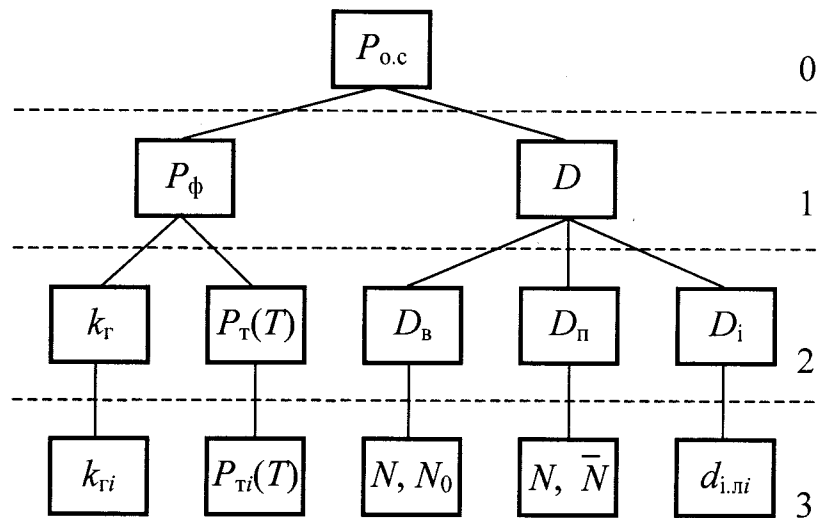


Рис.5.7. Дерево показників ефективності

ймовірність вірної оцінки стану об'єкту $P_{о.с.}$. На першому рівні знаходяться показники, що характеризують надійність ТЗД (ймовірність вірного функціонування P_{ϕ} і вірогідність діагностування D). На другому рівні – часткові показники надійності ТЗД (коефіцієнт готовності k_r , ймовірність безвідмовної роботи $P_T(T)$ на інтервалі часу T) і складові вірогідності діагностування D (відповідність діагностичної моделі об'єкту D_c , повнота діагностування $D_{п}$, інструментальна достовірність D_i), на третьому рівні – показники надійності структурних одиниць, параметри сукупності діагностичних показників, параметри процесу діагностування.

Ймовірність вірного діагностування P_{ϕ} ТЗД при робочому діагностуванні означається, як коефіцієнт готовності $P_{\phi}=k_r$ [97, 98]. Через відомі напрацювання на відмову ТЗД T_o та середній час відновлення ТЗД T_b , коефіцієнт готовності можна обчислити, як

$$k_r = \frac{T_o}{T_o + T_b}. \quad (5.3)$$

Вірогідність діагностування визначається як повна ймовірність того, що СД оцінює саме той стан, в якому дійсно знаходиться об'єкт діагностування.

Слід враховувати, що при діагностуванні можуть бути два випадки вірного діагностування: позитивний D – об'єкт працездатний (в об'єкті відсутній дефект) та негативний \bar{D} – об'єкт непрацездатний (в об'єкті є дефект).

Ймовірності D і \bar{D} є апостеріорними ймовірностями працездатного та непрацездатного станів ОД.

Причинами невірної оцінки стану ОД можуть бути:

- неповне охоплення об'єкту діагностуванням;
- неідеальність технічних засобів в частині їх безвідмовності з врахуванням збоїв в їх елементах;
- невірно вибрані співвідношення між допусками на діагностичні показники Δ та похибками вимірювання ε .

Повноту діагностування можна виявити через ймовірності виявлення $q_{\text{вв}}$ і невиявлення $q_{\text{нв}}$ відмов, пов'язаних співвідношенням:

$$q_{\text{вв}} + q_{\text{нв}} = Q_0, \quad (5.4)$$

де Q_0 – ймовірність відмови об'єкту.

Згідно статистичних даних по відмовах установок ЕВН на нафтових родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз” інтенсивність відмов установок ЕВН в середньому становить $\lambda_0 = 2,232 \cdot 10^{-3}$ 1/год (п.1.3). Тоді ймовірність відмови установки протягом періоду діагностування буде рівна $Q_0 = 0,021$.

Враховуючи, що даний метод призначений для виявлення поступових відмов, пов'язаних, в основному, із зносними явищами як в ВН, так і ЗЕД, що становить в сумі близько 60% всіх відмов установок ЕВН, можна прийняти, що ймовірність виявлення відмови становитиме відповідно 60% від ймовірності відмови. Отже, ймовірність виявлення відмов становитиме $q_{\text{вв}} = 0,013$, а ймовірність невиявлення відмови – відповідно $q_{\text{нв}} = 0,008$ (згідно (5.4)).

Внаслідок різної фізичної природи та сильної залежності причин зниження вірогідності від реальної структури ТЗД доцільно виділяти помилки, що виникають внаслідок кінцевої безвідмовності складових елементів ТЗД та помилки, що обумовлені похибками ТЗД. Причому, якщо в першому випадку помилки виникають внаслідок збоїв та відмов елементів ТЗД, то в другому

випадку визначаються законами розподілу, і прийнятими допусками оцінюваних діагностичних ознак.

Наведені фактори мають стохастичну природу, тому кількісно оцінюються ймовірнісними характеристиками.

Збої в системі діагностування призводять до невірнього функціонування ТЗД, при цьому їх працездатність відновлюється без зовнішнього впливу.

Збої, що виникають в елементах СД, можна охарактеризувати:

– ймовірністю збою, що призводить до помилки типу “хибна відмова” (працездатний об’єкт вважається непрацездатним) (подія h_1):

$$q_{зб}^x = \frac{N^x}{N}, \quad (5.5)$$

де N^x – кількість збоїв дослідного зразку СД, що призводять до помилки типу “хибна відмова” (працездатний ОД вважається непрацездатним);

N – загальна кількість досліджень працездатного ОД при значному збільшенні допусків на параметри, що перевіряються;

– ймовірністю збою, що призводить до помилки типу “невиявлена відмова” (непрацездатний об’єкт вважається працездатним) (подія h_2):

$$q_{зб}^h = \frac{N^h}{N}, \quad (5.6)$$

де N^h – кількість збоїв дослідного зразку СД, що призводять до помилки типу “невиявлена відмова”.

При апробації СД було проведено близько 100 випробувань системи, в результаті чого була зафіксована лише одна помилка типу “хибна відмова” та жодної помилки типу “невиявлена відмова”. Отже, ймовірність події h_1 буде рівна $q_{зб}^x = 0,01$, а події h_2 рівна $q_{зб}^h = 0$.

Відмови елементів системи можуть призводити або до повної втрати працездатності ТЗД, або вони можуть продовжувати функціонування, але видавати результати не пов’язані з поточним станом об’єкту.

Відмови можна охарактеризувати:

– ймовірністю того, що внаслідок відмов СД оцінює об'єкт як працездатний (подія h_3):

$$q_n = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (5.7)$$

де n – число елементів, що призводять до такої події;

N – загальна кількість елементів СД;

λ_i – інтенсивність відмов i -го елементу.

– ймовірністю того, що внаслідок відмов СД оцінюють об'єкт як непрацездатний (подія h_4):

$$q_n = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (5.8)$$

де k – число елементів, що призводять до відміченої події.

Інтенсивність відмови СД в цілому рівна 10^{-5} 1/год. Появу подій h_3 та h_4 , як правило, може викликати лише відмова в функціонуванні блоку обробки інформації. Інтенсивність відмови блоку обробки становить $0,25 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Підставивши отримані дані в (5.7)-(5.8) отримаємо, що $q_n = q_n = 0,025$.

Діагностування передбачає виконання ряду вимірювальних операцій, в результаті чого можуть з'являтися помилки першого та другого роду, що визначаються відповідно ймовірностями α та β .

Ймовірності α та β є функціями похибок вимірювання σ_b , порівняння σ_n та законів розподілу $f(\xi)$ значень діагностичних ознак ξ .

При оцінці стану ОД за узагальненою діагностичною ознакою ймовірність α (подія h_5) можна визначити як

$$\alpha = \int_0^{\infty} \left[\int_{\max(b-\varepsilon, a)}^b f_1(\xi) d\xi \right] f_2(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{-\infty}^0 \left[\int_a^{\min(a-\varepsilon, b)} f_1(\xi) d\xi \right] f_2(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (5.9)$$

де a і b – відповідно нижня та верхня границя допуску на діагностичну ознаку ξ ;

ε – похибка вимірювання діагностичної ознаки;

$f_1(\xi)$ – щільність розподілу значень діагностичної ознаки ξ ;

$f_2(\varepsilon)$ – щільність розподілу значень похибки ε .

Ймовірність β (подія h_6) визначається формулою:

$$\beta = \int_0^{\infty} \left[\int_a^{\min(a, b-\varepsilon)} f_1(\xi) d\xi \right] f_2(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{-\infty}^0 \left[\int_{\max(b, a-\varepsilon)}^b f_1(\xi) d\xi \right] f_2(\varepsilon) d\varepsilon \quad (5.10)$$

Згідно п.3.5. значення крутного моменту на валу ЗЕД розподілені за нормальним законом розподілу, при чому параметри закону розподілу визначаються типорозміром установки ЕВН. Так, наприклад, для установки типу ЕВН5-50-2000 параметрами закону розподілу будуть рівні $T_{01}=78,864$ Н·м (номінальне значення крутного моменту) та $\sigma_1=0,194$ Н·м. Оскільки похибка вимірювань СД визначається, в основному, похибкою первинних давачів, то приймаємо її рівною 1%. Похибка давачів розподілена за нормальним законом розподілу з нульовим середнім значенням та дисперсією $\sigma_2=0.577\%$ [94].

Підставляючи отримані значення в формули (5.5)-(5.6) отримаємо $\alpha=0,00106$, а $\beta=0,00102$.

Розглянемо моделі формування правильного діагнозу з врахуванням можливих відмов, збоїв та похибок.

В процесі діагностування ОД може знаходитися в працездатному (подія А) і непрацездатному (подія \bar{A}) станах відповідно з ймовірностями P_0 і Q_0 . Стан ОД оцінюють технічні засоби, які перед застосуванням чи в процесі діагностування можуть бути працездатними (подія В) або перед застосуванням чи в процесі діагностування в ТЗД може виникнути відмова (збій), що призводить до хибної оцінки стану ОД (подія \bar{B}). Подія \bar{B} може наступити разом з будь-якою подією h_i , $i = \overline{1,6}$.

Позначимо через C і \bar{C} події, що полягають в визнанні ОД за результатами діагностування відповідно працездатним та непрацездатним. Тоді ймовірності D і \bar{D} можна визначити за відомими в теорії ймовірності формулами Байєса [96]:

$$D = \frac{P(A)P(C/A)}{P(A)P(C/A) + P(\bar{A})P(C/\bar{A})}, \quad (5.11)$$

$$\bar{D} = \frac{P(\bar{A})P(\bar{C}/\bar{A})}{P(\bar{A})P(\bar{C}/\bar{A}) + P(A)P(\bar{C}/A)}, \quad (5.12)$$

де $P(A)$ і $P(\bar{A})$ – безумовні ймовірності подій A і \bar{A} відповідно;

$P(C/A)$, $P(\bar{C}/A)$, $P(C/\bar{A})$, $P(\bar{C}/\bar{A})$ – умовні ймовірності відповідних подій.

Для обчислення умовних ймовірностей розглянемо модель формування діагнозу в вигляді орієнтованого графу при умові, що частина відмов ТЗД самоконтролем не виявляється. Вершини графу відповідають станам ОД, ТЗД і системи в цілому, а вітки характеризують ймовірності знаходження елементів у вказаних станах (рис.5.8).

За ймовірнісним графом визначаємо умовні ймовірності:

$$P(C/A) = P_o P_3 + P_o (q_{\text{п}} + q_{36}^{\text{H}}),$$

$$P(C/\bar{A}) = P_3 q_{\text{нв}} + Q_o (q_{\text{п}} + q_{36}^{\text{H}} + \beta),$$

$$P(\bar{C}/A) = P_o (q_{\text{н}} + q_{36}^{\text{X}} + \alpha),$$

$$P(\bar{C}/\bar{A}) = P_3 q_{\text{вв}} + Q_o (q_{\text{н}} + q_{36}^{\text{X}}).$$

Підставляючи отримані значення умовних ймовірностей в (5.11)-(5.12), отримаємо:

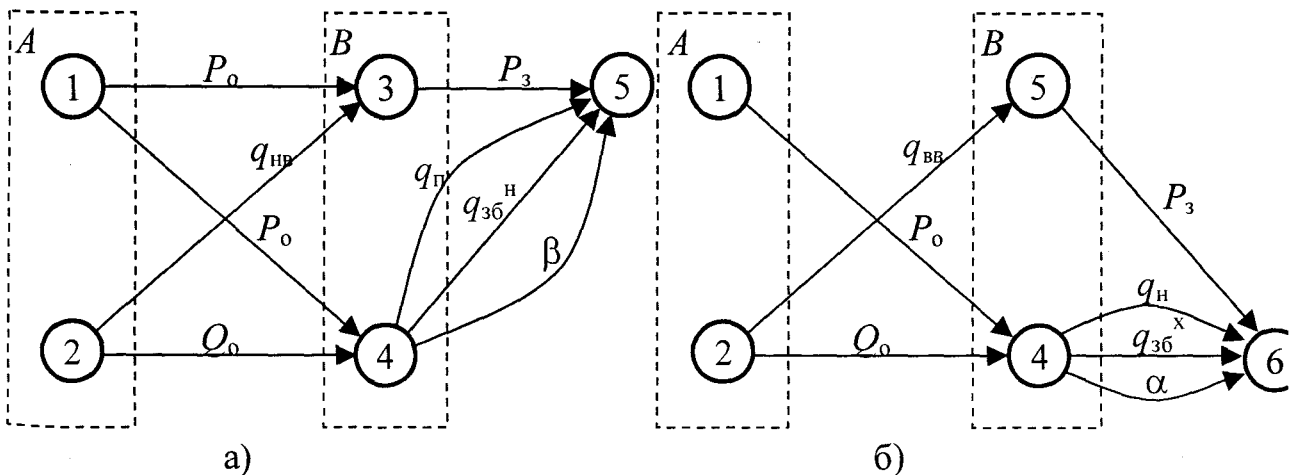


Рис. 5.8. Модель формування правильного діагнозу: а) при позитивному результаті, б) при негативному результаті

$$D = \frac{P_o^2(P_3 + q_{п} + q_{36}^H)}{P_o^2(P_3 + q_{п} + q_{36}^H) + Q_o[P_3q_{нв} + Q_o(q_{п} + q_{36}^H + \beta)]}, \quad (5.13)$$

$$\bar{D} = \frac{Q_o[P_3q_{вв} + Q_o(q_{н} + q_{36}^X)]}{Q_o[P_3q_{вв} + Q_o(q_{н} + q_{36}^X)] + P_o^2(q_{н} + q_{36}^X + \alpha)}. \quad (5.14)$$

Із виразів (5.9) та (5.10) видно, що вірогідність діагностування залежить не лише від показників інструментальної вірогідності (α , β) і надійнісних характеристик об'єкту та технічних засобів, а й від повноти діагностування ($q_{в.в}$, $q_{н.в}$).

Підставляючи в вирази (5.13) та (5.14) значення окремих складових, отримуємо значення достовірності діагностування $D=0,99$, що підтверджує високу ефективність спроектованої СД.

4.7. Результати апробації розробленого методу діагностування

З метою оцінки ефективності розроблених методу та системи діагностування стану ВН була проведена їх промислова апробація. Апробація проходила на свердловинах Скороходівського родовища (№204, 90, 80, 78) протягом чотирьох місяців на яких раз в місяць проводилося вимірювання ДО. Початкове напрацювання та значення ДО на момент першого контролю становило для свердловини Скороходи 78 відповідно $T_{напр}=176$ діб та $\Xi=27,9$; для свердловини Скороходи 90 – $T_{напр}=4$ доби та $\Xi=13,7$; для свердловини Скороходи 80 – $T_{напр}=7$ діб та $\Xi=14,9$; для свердловини Скороходи 204 – $T_{напр}=19$ діб та $\Xi=17,2$. Результати спостережень за зміною значень ДО в залежності від напрацювання ВН наведені на рис.5.9. Під час проведення апробації при напрацюванні 243 доби відбулася відмова установки на свердловині Скороходи 78, при цьому останнє виміряне значення ДО становило 31,7. Наступна дефектація установки в ПРЦ виявила 100% зношення робочих органів, що відповідає раніше зробленим висновкам про граничне значення ДО.

Як видно з рис.5.9 значення ДО із збільшенням періоду напрацювання зростає незалежно від типорозміру установки ЕВН та характеристик нафтового

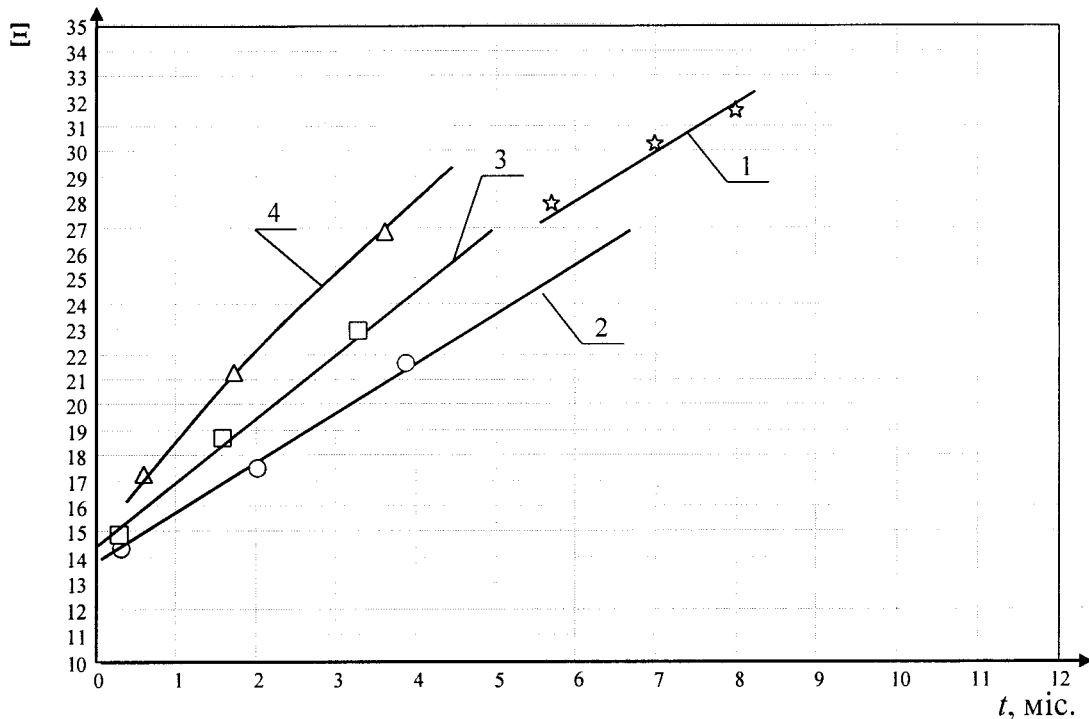


Рис. 5.9. Графік зміни ДО стану ВН з часом напрацювання:

- 1 – Св. Скороходи 78 (насос ЕВН5-80-1800, двигун ЗЕД45-103);
- 2 – Св. Скороходи 90 (насос ЕВН5-50-1800, двигун ЗЕД45-103);
- 3 – Св. Скороходи 80 (насос ЕВН5-50-1800, двигун ЗЕД45-103);
- 4 – Св. Скороходи 204 (насос ЕВН5-50-2000, двигун ЗЕД45-103);

пласту. При цьому темпи росту ДО визначаються швидкістю протікання зносних процесів в ВН, на які, в першу чергу, має вплив характеристика рідини, що видобувається. Так, для свердловини Скороходи 204, що характеризується високим вмістом механічних домішок (більше 157 мг/л, при обводеності 50%), степінь наростання значення ДО з ростом напрацювання є найвищою, в той же час для свердловини Скороходи 90 (низький вміст домішок, обводеність 60%) швидкість зміни ДО є найнижчою. На момент останнього контролю було зафіксовано наступні значення ДО: для свердловини Скороходи 294 – $\Xi=26,9$, що відповідає задовільному стану ВН (знос 71%); для Скороходи 80 – $\Xi=23,1$ (знос 50% – задовільний стан) та Скороходи 90 – $\Xi=21,6$, що відповідає зносу 42,3% (добрий стан). Отримані результати підтверджуються наступними оглядами вказаних установок в ПРЦ після наступних їх відмов.

Таким чином, проведена апробація розробленого методу діагностування ВН на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” показала його високу ефективність,

що дозволило прийняти його для подальшого впровадження на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” (Додаток М).

Результати роботи, зокрема метод діагностування стану ВН, визначення умов працездатності установки ЕВН, математична діагностична модель ВН, система діагностування установок ЕВН впроваджені в навчальному процесі – в робочих програмах дисциплін “Основи надійності та технічної діагностики систем”, “Проектування систем діагностування”, “Методи і засоби діагностування обладнання нафтогазового комплексу”, що читаються для студентів спеціальності 7.091401 – “Системи управління та автоматики” (Додаток М).

Висновки до розділу

1. На основі аналізу результатів експлуатації установок ЕВН обґрунтовано організацію процесу їх діагностування, у вигляді регулярно-періодичного діагностування.

2. Виходячи з задач, поставлених перед системою діагностування, обґрунтовано вибір конфігурації системи та основних складових її елементів.

3. Встановлено, що для умов НГВУ “Чернігівнафтогаз” максимальний ефект від застосування системи діагностування забезпечуватиметься при періоді діагностування, що рівний $T_d=4$ доби.

4. Проведена оцінка ефективності розробленої системи – вірогідності діагностування, яка становить $D=0,99$, що вказує на її високу ефективність при визначенні степені зносу робочих органів ВН.

5. Проведена промислова апробація розробленого методу та системи діагностування ВН на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз”, результати якої підтвердили їх високу ефективність.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Вперше встановлені закономірності напрацювання установок ЕВН по типорозмірах і нафтових родовищах НВГУ “Чернігівнафтогаз” та визначено закон розподілу відмов і його параметри, що дозволило обґрунтувати необхідність розробки методу діагностування конкретного вузла установки – ВН.

2. На основі аналізу сучасного стану діагностування установок ЕВН встановлено, що існуючі методи не дозволяють діагностувати стан окремих вузлів, а дають інтегральну оцінку стану по установці ЕВН в цілому та обґрунтована необхідність в розробці методу діагностування ВН в процесі експлуатації.

3. Базуючись на використанні методу електрогідравлічних аналогій створено діагностичну модель ВН, яка дозволяє описати зміну крутного моменту на валу ЗЕД обумовленого впливом зносу робочих органів ВН (робочих коліс, направляючих апаратів, захисних втулок та опорних шайб).

4. Розроблено діагностичну модель установки ЕВН у вигляді передавальної функції, на основі якої було визначено умови працездатності установки в області динамічних параметрів, шляхом обмеження переміщення коренів характеристичного рівняння.

5. З метою оперативного і ефективного проведення комплексу експериментальних досліджень закономірностей зміни крутного моменту на валу ЗЕД, обумовленого впливом зносу робочих органів ВН, розроблено:

- методичне забезпечення, яке дозволяє здійснити весь комплекс стендових і промислових досліджень;
- технічне забезпечення – мікропроцесорну інформаційно-вимірювальну систему, яка дозволяє проводити збір і обробку результатів експериментів в реальному масштабі часу і забезпечує їх вірогідність;
- програмне забезпечення – з використанням пакетів прикладних програм на базі пакетів TurboС, які забезпечують роботу системи, оперативну обробку і представлення даних експериментів у вигляді графіків.

6. Встановлені закономірності зміни крутного моменту на валу ЗЕД, обумовлені впливом свердловинних факторів (утворення газової пробки, значний газовий фактор, наявність шламу, різке збільшення механічних домішок і ін.), що дозволяє проводити їх ідентифікацію на основі вимірювання середнього значення крутного моменту в процесі експлуатації установок ЕВН.

7. Встановлено, що не існує закономірності зміни конкретних гармонічних, субгармонічних чи спектральних складових у спектрі крутного моменту, які б однозначно характеризували величину зносу робочих органів ВН. Останнє вимагає обґрунтованого вибору ДО стану ВН.

8. Вибрана і експериментально обґрунтована ДО – відношення суми рівнів першої, другої та третьої гармонік до суми рівнів четвертої та п'ятої гармонік спектру крутного моменту та встановлено межі її зміни, на основі чого розроблено алгоритм і метод діагностування ВН в процесі експлуатації.

9. Порівняння результатів моделювання крутного моменту на валу ЗЕД по конкретних свердловинах і установках ЕВН, проведених з використанням розробленої діагностичної моделі, з реальними промисловими даними вказує на адекватність діагностичної моделі (похибка не перевищує 8,0%).

10. Обґрунтовано конфігурацію системи діагностування ВН, визначено показник її готовності та проведена оцінка ефективності розробленої СД – вірогідність контролю становить $D=0,99$.

11. Проведена промислова апробація розробленого методу та системи діагностування ВН на нафтопромислах НГВУ "Чернігівнафтогаз", результати якої підтвердили їх високу ефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Замиховский Л.М. Повышение эксплуатационной надежности электроустановок для добычи нефти. Автореф. дис. докт. техн. наук. – Ивано–Франковск, 1995.– 26 с.
2. Замиховский Л.М. Современное состояние оперативного контроля технического состояния системы "УЭЦН–КНКТ" в процессе эксплуатации/ Ивано–Франк. ин–т нефти и газа.– Ивано–Франковск, 1993.– С.27.– Деп. в ГНТБ Украины №2275–Ук93.
3. Каплан Л.С. Особенности эксплуатации обводненных скважин погружными центробежными насосами.– М.: ВНИИОЭНГ, 1980.– 37 с.– (Обз. инф./ВНИИОЭНГ; Сер. Нефтепромысловое дело).
4. Филиппов В.Н. Обоснование технологических режимов работы нефтяных скважин с погружными центробежными насосами на базе использования адаптивных моделей / Автореф. дис. канд. техн. наук.– М.: ВНИИнефть, 1986.– 20 с.
5. Чичеров Л.Г. Нефтепромысловые машины и механизмы.– М.: Недра, 1976.– 99 с.
6. Гоник А.А. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры ее предупреждения.– М: Недра, 1976.– 192 с.
7. Максимов В.П. Эксплуатация нефтяных месторождений в осложненных условиях.– М.: Недра, 1976.– 189 с.
8. Эксплуатационная надежность электрооборудования установок ЕЦН / Новоселов Ю.Б., Лобова А.П., Комисаров Г.С. и др. // Эксплуатационная надежность электрооборуд. нефт. промыслов Зап. Сибири.– М., 1977.– С.39-46.– (Обз. инф. /ВНИИОЭНГ; Сер. Машины и нефт. оборуд.).
9. Замиховский Л.М., Зикратый С.В., Савюк Л.О. Исследование вибросостояния системы "УЭЦН-КНКТ" в промысловых условиях // Ивано–Франк. ин–т нефти и газа.– Ивано–Франковск, 1993.– С.10.– Деп. в ГНТБ Украины 01.06.95 №1370-Ук95.

10. Замиховский Л.М., Грынив П.П., Савюк Л.О. Условие возникновения и развития неисправностей УЭЦН //Методы и средства технической диагностики /Фирма «Контакт».– Ивано-Франковск, 1992.– С.19-32.
11. Замиховський Л.М., Зікратий С.В. Розробка напрямку зменшення вібрацій електроустановок для видобутку нафти //Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу ІФДТУНГ.– Івано-Франківськ, 1995.– С.104.
12. Замиховский Л.М. Анализ отказов системы «УЭЦН-КНКТ» / Ивано-Франк. ин-т нефти и газа.– Ивано-Франковск, 1993.– 27 с.– Рук. деп. в ГНТБ Украины, №2273–Ук93.
13. Nolen K.B. How to match submersible pumps toward performance // World oil.– 1985.– Vol. 200.– №2.– P.41-45.
14. Жидецька О.Л., Зікратий С.В. Умови виникнення і аналіз поступових відмов установок ЕВН //Міжвід.наук.техн.збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики м.Івано-Франк., 2001.– Вип.38 (т.8).– С.201-209.
15. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами.– М.: Мир, 1973.– 960 с.
16. Технічне діагностування та контроль технічного стану. ДСТУ 2389-94. Держстандарт України, Київ.– 1994.
17. Кричке В.О. Анализатор подачи погружного центробежного электронасоса// Автоматиз. и телемеханиз. в нефт. пром–ти. Отечественный опыт, ЭИ.– ВНИИОЭНГ.– 1987.– №12. – С.5–9.
18. Centrilift–Hughes, Ins., one of Hughes Tool Co.–Handbook for oilfield subsurface electrically driven pumps, 1981, section 6, p.16–44; section 7, p.1–7.
19. Brown Ker E. The Technology of Artificial Lift Methods.–Penn Well Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, Box 1260, 1980, v.26, p.596.
20. Совершенствование контроля и защиты погружных электроцентробежных насосов/Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности, вып.4, 1983.– с.4-5.

21. Хохлов В.К. Горутько Н.М. Вопросы совершенствования контроля и защиты погружных электронасосов.–М.: ВНИИОЭНГ, 1980.–60 с. – (Обзорная информ. Сер. Машины и нефтяное оборудование).

22. Салащенко Г.С. Аналитическое выражение КПД центробежного насоса как функции расхода.– Транспорт и хран. нефтепрод. и углеводород. сырья. 1970, №9.

23. Нефтепромысловое оборудование: Справочник /Под ред. Е.И.Бухаленко.– М.: Недра, 1990.– 559 с.

24. Маскутов Р.А., Алиев И.М., Богданов А.А. Экспериментальное исследование вибраций погружных центробежных насосов// Нефтепромысловое дело и транспорт нефти: РНТС ВНИИОЭНГ. –1984. –Вып.11. –С.36–38.

25. Маскутов Р.Д., Алиев И.М. Диагностика состояния УЭЦН.– Нефтяное х-во, 1984.– №10.

26. Бочарников В.Ф., Петрухин В.В. Вибродиагностика погружных двигателей серии ПЭД при стендовых испытаниях// Проблемы освоения нефтегаз. ресурсов Зап. Сибири: Сб. Тюмен. гос. ун-т. –Тюмень, 1990. –С.106–111.

27. Галяммов И.И., Крылова Г.И., Козлов Р.И. Вибродиагностика погружных электрических двигателей в ходе приемо–сдаточных испытаний //Тез. докл. Всес. науч.–практич. конф. "Методы и средства виброакустической диагностики машин".–Ивано–Франковск, 1988.– С.121–122.

28. Подшивалов Н.Ф., Маковец М.И. Диагностика режима работы УЭЦН по потребляемой мощности //Результаты и направления науч. исследов. в области добычи нефти на месторождениях Зап. Сибири.– Тюмень: СибНИИИП, 1991.– С.26–29.

29. Сухолуцкий Б.М., Агагусейнов Н.Т., Бедный О.Е. Методы и средства контроля состояния УЭЦН// Автоматиз. и телемеханиз. нефт. пром–ти. Науч. произв. достиж. нефт. пром–сти в новых условиях хозяйствов: РНТС.– М.: ВНИИОЭНГ.– 1989.– №8.– С.1–4.

30. Применение погружных центробежных агрегатов для добычи нефти/ Управление процессом добычи нефти.– 4(98), 1982.

31. Апанович Л.И., Замиховский Л.М., Кугук И.С. Техническое и программное обеспечение анализа виброакустических процессов на базе анализатора спектра IN-110// Методы и средства виброакуст. диагностики. Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф.– Ивано–Франковск, 1988.– С.58–59.

32. Савюк Л.О. Прогнозування технічного стану установок електровідцентрових насосів для видобутку нафти.– Автореф. дис. канд. техн. наук.– Ивано–Франківськ, 1999.– 18 с.

33. Гидзяк И.П., Дженджеруха В.Н., Замиховский Л.М., и др. Автономная ИИС контроля технического состояния колонны НКТ в процессе эксплуатации //Методы и средства виброакустической диагностики /Облполиграфиздат.– Ивано-Франковск, 1990.– С.37–43.

34. Дженджеруха В.Н., Замиховский Л.М. Система контроля вибросостояния УЭЦН в процессе эксплуатации: Информационный листок Ивано–Франков. ЦНТИ №92–40, сер.53.– Ивано–Франковск, 1992.–4 с.

35. Аппаратура для косвенных методов контроля момента и мощности механизмов при бурении и добычи.– М., ВНИИОЭНГ, 1976.– 52 с.– (ВНИИОЭНГ, Сер. Автоматиз. и телемеханиз. нефт. пром. Темат. науч. –техн. обзоры).

36. Айзуппе Э.А., Любарский А.П., Мишунин Д.А. Наземное устройство для определения глубинных параметров при электробурении. Авторское свидетельство №271458.– Бюллетень изобретений №18, 1970.

37. Айзуппе Э.А., Бражников В.А. Устройство УКМ–3 для контроля момента на валу электробура //РНТС: Машины и нефтяное оборудование.– М.: ВНИИОЭНГ, 1975.– №9.

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

39. Замиховський Л.М., Гринів П.П., Панчук В.Г. Сучасний стан методів і технічних засобів контролю крутного моменту на валу занурювальних двигунів/Івано–Франк. ін–т нафти і газу.–Івано–Франківськ, 1993.–17 с.– Рук. деп. в ДНТБ України №2274–Ук93.

40. Савельев Н.Н., Симкин В.Я. Измеритель крутящего момента ОМ-40 //РНТС: Машины и нефтяное оборудование.– М.: ВНИИОЭНГ, 1973.– №2.
41. Семенцова А.А., Бестелесный А.Г., Семенцов Г.Н. Автоматический контроль крутящего момента на долоте.– Известия ВУЗов "Нефть и газ", 1975.– №6.
42. Семенцова А.А. Средства контроля момента на долоте, осевой нагрузки и частоты вращения долота при бурении наклонно-направленных скважин электробурами/ РНТС: Автоматиз. и телемеханиз. нефтяной пром-ти.–М.: ВНИИОЭНГ, 1982.–№3.
43. Семенцова А.А. Устройство контроля мощности и момента на валу погружного электродвигателя. ЭИ. ВНИИОЭНГ сер. Бурение. Отечественный опыт.–М.: ВНИИОЭНГ, 1987.– №1.– С.11–13.
44. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования / Под ред. И.М.Сендеева. Учеб. пособ. для вузов гражд. авиации.– М.: Транспорт, 1984.– 190 с.
45. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика: Непрерывные объекты.– М.: Высшая школа, 1975.– 207 с.
46. Замиховский Л.М., Калявин В.П. Диагностирование погружных электроустановок для добычи нефти.– Снятин: Прут-принт, 1999.– 234 с.
47. Замиховский Л.М. Математическая диагностическая модель системы "УЭЦН-КНКТ" //Вопросы оборонной техники, ДСП. Сер.3, вып.6(256).– М.: НТЦ "Информтехника", 1994.– С.16-24.
48. Замиховский Л.М. Моделирование колебаний системы "УЭЦН-КНКТ" // Вопросы оборонной техники, ДСП. Сер.3, вып.6(256).– М.: НТЦ "Информтехника", 1994.– С.25-33.
49. Замиховский Л.М., Савюк Л.А. Анализ математических моделей тержневых систем применительно к системе "УЭЦН-КНКТ" / Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. Ивано-Франковск, 1993.– 15 с.– Деп. в ГНТБ Украины №309-Ук94.
50. Аронзон Н.З., Козлов В.А., Козобков А.А. Применение электрического моделирования для расчета компрессорных станций.– М.: Недра, 1969.– 178 с.

51. Дитман А.О. Электромагнитное моделирование трехмерного течения в рабочем колесе центробежного компрессора// Энергомашиностроение.– 1976.– №9, с.7-9.
52. Владиславлев А.П. Электрическое моделирование динамических систем с распределенными параметрами.– М.: Энергия, 1969.– 178 с.
53. Локотош Б.Н., Зевелев А.Я. Об аналогии активных параметров пневматических и электрических цепей // Элементы и системы автоматики в нефт. и газов. промышленности.– К.: Техника, 1979.– С.3-6.
54. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії.– Івано-Франківськ, 2000.– 163 с.
55. Зікратий С.В. Математичне моделювання технічного стану установки ЕВН //Міжвід.наук.техн.збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики м.Івано-Франк., 2000.– Вип.37 (т.8).– С.133-142.
56. Справочник по эксплуатации нефтяных месторождений.– М.: Недра, 1964.
57. Ибатулов К.А. Гидравлические машины и механизмы в нефтяной промышленности.– М.: Недра, 1972.– 288 с.
58. Замиховський Л.М., Зікратий С.В. Математичне моделювання крутильних та поздовжніх коливань системи "УЕВН-КНКТ" //В зб.: Методи і засоби технічної діагностики.– Івано-Франківськ, 1997.– С.25-31.
59. Зікратий С.В. Вдосконалення діагностичної моделі системи "УЕВН-КНКТ" //Методи та прилади контролю якості.– №2.– Івано-Франківськ, 1998.– С.53-55.
60. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин.– М.: Машиностроение, 1969.–296с.
61. Справоник по сопротивлению материалов /Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Отв. ред. Писаренко Г.С.– Киев: Наукова думка, 1988.– 736 с.
62. Хайрер Э., Нерсетт. С, Ваннер.Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи.– М.: Мир, 1990.– 512 с.

63. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы.– М.: Наука, 1989.–432 с.
64. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики.– М.: Наука, 1977.– 735 с.
65. Владимиров В.С. Уравнения математической физики.– М.: Наука, 1988.– 512 с.
66. Калявин В.П., Мозгалеvский А.В., Галка В.Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики: Учебник.– СПб.: Элмор, 1996.– 296 с.
67. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. – М.: Наука, 1971.– 744 с.
68. Захіовський 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.– С.253-254.
69. Методы и средства измерения технологических параметров в нефтяной промышленности /Межвузовский научно-тематический сборник.– Уфимск. нефт. ин-т: Уфа, 1982.– 205 с.
70. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи).– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1983.– 320 с.
71. Зыкин Ф.А., Каханович В.С. Измерение и учет электрической энергии.– М.: Энергоиздат, 1982.– 105 с.
72. Суетин В. Я. Цифровые измерительные приборы / Массовая радиобиблиотека. Вып.1073.– М.: Радио и связь, 1984.– 80 с.
73. Шило В. Л. Популярные цифровые микросхемы /Массовая радиобиблиотека. Вып. 1111: Справочник.– М.: Металлургия, 1988.– 352 с.
74. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов.– М.: Радио и связь, 1991.– 376 с.
75. Федорков Б. Г., Телец В. А., Дегтяренко В. П. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи /Массовая б-ка инженера. Вып.41.– М.: Радио и связь,1984.–120 с.

76. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера.– М.: Мир, 1992.– 592 с.
77. Кузнецов С.Д. Турбо Си.– М.: Малип, 1991.– 70 с.
78. Кернатан Б., Ратуп Д. Язык программирования Си.– Пер. с англ.– М.: Финансы и статистика, 1992.– 271 с.
79. Богданов А.А. Погружные центробежные насосы для добычи нефти.– М.: Недра, 1968.– 272 с.
80. Замиховский Л.М., Кирид В.Р. Исследование влияния изменения напряжения питания на вибросостояние ПЭД/ Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 1990.– Деп. в ВНИИОЭНГ №1889 – НГ90.
81. Анализ состояния и повышение эффективности использования добываемого фонда скважин Самотлорского месторождения/ Захаренок Н.П., Иванов В.Н., Кудрин В.М. и др. //Вопросы интенсификации добычи и подготовки нефтей Западной Сибири / Тр. СибНИИНП.– Тюмень, 1982.– С.14-13.
82. Горохов Н.С., Воробьев О.А., Полугодкова М.Г. О показателях надежности нефтепромыслового оборудования в добыче нефти //Сб. науч. тр. Подъем жидкости из скважины.– М.: ВНИИ, 1983.– Вып. 84.– С.108-104.
83. Замиховский Л.М., Гидзяк И.П., Иванов В.Н. Вибродиагностика технического состояния УЭЦН в условиях Западной Сибири // Тез. докл. науч.-техн. конф. «Вибрация и диагностика машин и механизмов».– Челябинск, 1990.– С.44-46.
84. Замиховський Л.М., Зікратий С.В. Мікропроцесорна система діагностування електроустановок для видобутку нафти //В зб.: Методи і засоби технічної діагностики.– Івано-Франківськ, 1995.– С.72-75.
85. Замиховський Л.М., Зікратий С.В. Дослідження впливу свердловинних факторів на ефективність експлуатації установки ЕВН та зміну крутного моменту на валу ЗЕД //Мідвід.наук.техн.збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу м.Івано-Франк., 2001. вип.37 (т.6).– С.194-200.

86. Зікратий С.В. Дослідження впливу технічного стану установок ЕВН на величину крутного моменту на валу ЗЕД //Міжвід.наук.техн.збірка: Розвідка і озробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики м.Івано-Франк., 1999.– Вип.36 (т.8).– С.295-301.

87. Вибрация и шум электрических машин малой мощности/ Волков Л.К., Ковалев Р.Н., Никифоров Г.Н. и др.– Л.: Энергия, 1974.– 202 с.

88. Вибрация электрических машин/ Науч. ред. В.А.Безрученко.– М.– 1990.– 140 с.– (Обз.инф. ВИНТИ: Итоги науки и техники. Сер. Электрические машины и транспорт. т.8).

89., Мозгалевский А.В. Технические средства диагностирования. – Л.: Судостроение, 1987.– 196 с.

90. Мозгалевский А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования. Учеб. пособие.– Л.: Судостроение, 1987.– 224 с.

91. Замиховский Л.М., Зикратый С.В. Определение условий работоспособности установки ЭЦН //В сб.: Методы и средства технической диагностики.– Йошкар-Ола, 1998.

92. Калявин В.П., Малышев А.М., Мозгалевский А.В. Организация системдиагностирования судового оборудования. – Л.: Судостроение, 1991.– 168 с.

93. Бабак В.П., Хандецький В.С.,Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник.– К.:Либідь, 1996.– 392 с.

94. Каталог продукции фирмы «Твелем».– <http://web.tvcom.ru/tvelem/html/introducti1.htm>.

95. Зікратий С.В. Оцінка ефективності системи діагностування установок ЕВН для видобутку нафти за енергетичними параметрами //Нафта і газ України. Збірник наукових праць: Матеріали 6-тої Міжнародної наук.-практ. конф. “Нафта і газ України – 2000”. Івано-Фр., 31 жовтня – 3 листопада 2000 року.: У 3-х томах.– Івано-Фр.: Факел, 2000. – т.3.– С.298-301.

96. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – Сов. Радио, 1973.– 440 с.

97. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учеб. пособие для вузов.– М.: Энергоатомиздат, 1989.– 264 с.

98. Глазунов А.П. Основы теории надежности автоматических систем управления.– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984.– 207 с.

ДОДАТКИ

**Результати розрахунку по визначенню виду та параметрів закону розподілу
напрацювань до відмови установок ЕВН на нафтопромислах НГВУ**

“Чернігівнафтогаз”

Межі інтервалів, t , доби	Число реалізацій m_i в i -му інтервалі	Обчислені значення		
		v_i	v_i^*	$\frac{(v_i^* - v_i)^2}{v_i}$
50	82	0,248	0,235	7,749e-4
100	58	0,176	0,180	8,955e-5
150	47	0,142	0,138	1,745e-4
200	32	0,097	0,105	6,452e-4
250	28	0,085	0,080	2,365e-4
300	15	0,045	0,062	4,219e-3
350	13	0,039	0,047	1,262e-3
400	13	0,039	0,036	3,132e-4
450	13	0,039	0,028	5,074e-3
500	9	0,027	0,021	1,813e-3
550	3	9,091e-3	0,016	3,074e-3
600	3	9,091e-3	0,012	8,564e-4
650	3	9,091e-3	9,442e-3	1,304e-5
700	4	0,012	7,223e-3	3,322e-3
750	1	3,030e-3	5,526e-3	1,127e-3
800	0	0,000	4,227e-3	4,227e-3
850	1	3,030e-3	3,234e-3	1,281e-5
900	0	0,000	2,474e-3	2,474e-3
950	1	3,030e-3	1,893e-3	6,839e-4
1000	0	0,000	1,448e-3	1,448e-3
1050	0	0,000	1,108e-3	1,108e-3
1100	1	3,030e-3	8,473e-4	5,624e-3
	327	1,00	1,00	0,039

Значення критерію Пірсона

$$x^2 = m \sum_{i=1}^k \frac{(v_i^* - v_i)^2}{v_i} = 12,753$$

Визначення взаємозв'язку між крутильними та поздовжніми коливаннями установки ЕВН та величиною крутного моменту на валу ЗЕД

Математичне моделювання системи "УЕВН-КНКТ" з метою оцінки параметрів коливання системи можна звести до задачі оцінки параметрів коливань стержнів з'єднаних між собою за допомогою зв'язків, що характеризуються деякими жорсткостями на кручення та видовження. Для цього використовуються положення теоретичної механіки та механіки деформованого твердого тіла. Враховуючи особливості геометричної конфігурації системи, інформацію про відкази (обриви відбуваються в місцях з'єднання елементів системи), можна прийти до висновку про те, що деформації елементів системи спостерігаються рідко, вони малі за величиною і не впливають на її роботу. Тому в подальшому використовується модель в рамках теоретичної механіки, при цьому елементи системи вважаються недеформованими, з'єднання ж можуть видовжуватись та зазнавати кручення [60, 61].

Система подається у вигляді наступної схеми: лінійні розміри стержнів та з'єднань вважаються відомими, для стержнів та з'єднань задаються маси та механічні характеристики: жорсткості на видовження k_i , та кручення c_i (рис. Б.1).

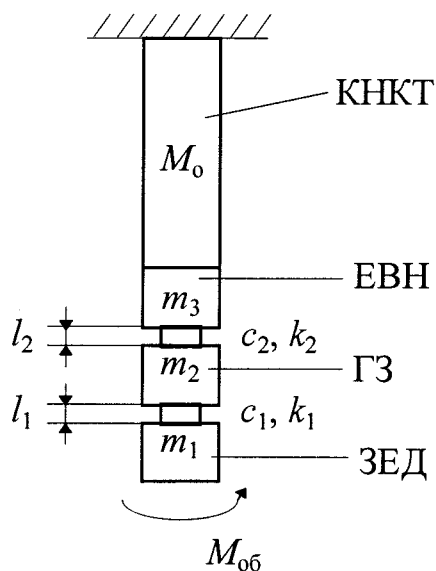


Рис. Б.1

В якості координат, що характеризують коливання тіла, вводяться поздовжні переміщення x_i , та кутові φ_i . До тіла з масою m_1 прикладено обертовий момент M_{06} , який вважається змінним в часі $M_{06} = M_{06}(t)$. При цьому обертові коливання та поздовжні коливання тіла вважаються взаємозв'язаними.

При обертанні системи з'єднувальні елементи зазнають поздовжніх переміщень не тільки за рахунок зміни

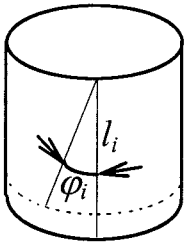


Рис. Б.2

координати x_i , але й за рахунок зміни кута φ_i (рис. Б.2). Їх величина може бути виражена за формулою

$$\Delta l_i = l_i - l_i \cos \varphi_i, \quad (\text{Б.1})$$

яка з урахуванням малих переміщень та з використанням формули Тейлора для функції $\cos \varphi$ подається у вигляді:

$$\Delta l_i = l_i \varphi_i^2 / 2, \quad (\text{Б.2})$$

де l_i – довжина з'єднувального елемента.

Тоді кінематична енергія системи подається у вигляді:

$$T = \frac{m_1}{2} (\dot{x}_1 + l_1 \dot{\varphi}_1)^2 + \frac{J_1 \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{m_2}{2} (\dot{x}_2 + l_2 \dot{\varphi}_2)^2 + \frac{J_2 \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{m_3 + M_0}{2} \dot{x}_3^2 + \frac{J_3 \dot{\varphi}_3^2}{2}, \quad (\text{Б.3})$$

де J_i – моменти інерції стержнів відносно осі обертання.

Для потенціальної енергії справедливий вираз:

$$n = \frac{k_1}{2} \left(x_1 + \frac{l_1 \varphi_1^2}{2} - x_2 + \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} \right)^2 + \frac{k_2}{2} \left(x_2 + \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} - x_3 \right)^2 + \frac{c_1}{2} (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + \frac{c_2}{2} (\varphi_2 - \varphi_1)^2 + M \varphi_1. \quad (\text{Б.4})$$

Нелінійні рівняння руху даного тіла з використанням рівнянь Лагранжа 2-го роду записуються у вигляді (без врахування масових сил) [62]

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + m_1 l_1 \dot{\varphi}_1^2 + m_1 l_1 \ddot{\varphi}_1 \varphi_1 - k_1 \left(x_1 + \frac{l_1 \varphi_1^2}{2} - x_2 - \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} \right) &= 0; \\ m_1 (\ddot{x}_1 + l_1 \dot{\varphi}_1 \ddot{\varphi}_1) l_1 \varphi_1 + m_1 l_1^2 \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_1 \ddot{\varphi}_1 - k_1 \left(x_1 + \frac{l_1 \varphi_1^2}{2} - x_2 - \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} \right) l_1 \varphi_1 - c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + m_2 l_2 \dot{\varphi}_2^2 + m_2 l_2 \ddot{\varphi}_2 \varphi_2 + k_1 \left(x_1 + \frac{l_1 \varphi_1^2}{2} - x_2 - \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} \right) - k_2 \left(x_2 + \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} - x_3 \right) &= 0; \\ m_2 (\ddot{x}_2 + l_2 \dot{\varphi}_2 \ddot{\varphi}_2) l_2 \varphi_2 + m_2 l_2^2 \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_2 \ddot{\varphi}_2 - k_1 \left(x_1 + \frac{l_1 \varphi_1^2}{2} - x_2 - \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} \right) l_2 \varphi_2 - \\ - k_2 \left(x_2 + \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} - x_3 \right) l_2 \varphi_2 + c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) - c_2 (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0; \end{aligned} \quad (\text{Б.5})$$

$$(m_3 + M_0)\ddot{x}_3 + k_2 \left(x_2 + \frac{l_2 \varphi_2^2}{2} - x_3 \right) = 0;$$

$$J_3 \ddot{\varphi}_3 + c_2 (\varphi_2 - \varphi_3) = 0.$$

З урахуванням малості переміщень (нехтуючи членами вище першого порядку) вказана система подається у вигляді системи малих коливань (вібрацій):

$$\dot{x}_1 = u_1 = f_1(t, u_1);$$

$$\dot{\varphi}_1 = v_1 = f_2(t, v_1);$$

$$\dot{x}_2 = u_2 = f_3(t, u_2);$$

$$\dot{\varphi}_2 = v_2 = f_4(t, v_2);$$

$$\dot{x}_3 = u_3 = f_5(t, u_3);$$

$$\dot{\varphi}_3 = v_3 = f_6(t, v_3);$$

$$\dot{u}_1 = \frac{k_1}{m_1} (x_1 - x_2) - \frac{l_1 M_{об}(t)}{J_1} \varphi_1 = f_7(t, x_1, x_2, \varphi_1);$$

$$\dot{v}_1 = \frac{c_1}{J_1} (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{M_{об}(t)}{J_1} = f_8(t, \varphi_1, \varphi_2); \quad (Б.6)$$

$$\dot{u}_2 = -\frac{k_1}{m_1} (x_1 - x_2) + \frac{k_1}{m_1} (x_2 - x_3);$$

$$\dot{v}_2 = -\frac{(c_1 + c_2)}{J_2} \varphi_2 + \frac{c_1}{J_2} \varphi_1 + \frac{c_2}{J_2} \varphi_3;$$

$$\dot{u}_3 = \frac{k_2}{(m_3 + M_0)} (x_2 - x_3);$$

$$\dot{v}_3 = \frac{c_2}{J_3} (\varphi_2 - \varphi_3).$$

Початкові умови для всіх функцій вважаються нульовими:

$$x_1(0) = x_2(0) = x_3(0) = 0;$$

$$\varphi_1(0) = \varphi_2(0) = \varphi_3(0) = 0;$$

$$u_1(0) = u_2(0) = u_3(0) = 0;$$

$$v_1(0) = v_2(0) = v_3(0) = 0.$$

(Б.7)

Функція $M_{об}(t)$, яка входить в коефіцієнти обох систем, повинна характеризувати розподіл моменту, що діє на вал, в часі. Оскільки момент, що діє на вказану систему, не може бути постійним (в такому випадку швидкість

обертання валів зростала б в часі необмежено), доцільно апроксимувати $M_{об}(t)$ функцією, яка б спадала в часі. З точки зору моделювання процесу запуску системи доцільно подати $M_{об}(t)$ у вигляді:

$$M_{об}(t) = M_{об}^*(t) \exp\left(-\frac{(t-t^*)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (\text{Б.8})$$

де t^* – час від запуску ($f=0$) до моменту набору планової швидкості ;
 $\sigma, M_{об}^*$ – емпіричні коефіцієнти ($M_{об}^* > 0$).

Це дозволяє одержати таке значення моменту, яке забезпечує постійну швидкість обертання валу.

Визначення моментів інерції

Іншим параметром, який впливає на розв'язок системи, є величина моментів інерції тіл, що обертаються. В процесі експлуатації УЕВН змінюється форма поперечного січення циліндрів системи (проявляється еліптичність або порушується умова співвісності елементів системи). При цьому зміна моментів інерції враховується на підставі наступних співвідношень.

Моменти інерції J_z просторової області V , заповненої масою з густиною ρ відносно осі z обчислюється за формулою (рис.Б.3):

$$J_z = \iiint_V (x^2 + y^2) \rho dV, \quad (\text{Б.9})$$

$$\text{де } \begin{cases} x = x(\xi_1; \xi_2; \xi_3) \\ y = y(\xi_1; \xi_2; \xi_3) \\ z = z(\xi_1; \xi_2; \xi_3) \end{cases} \quad (\text{Б.10})$$

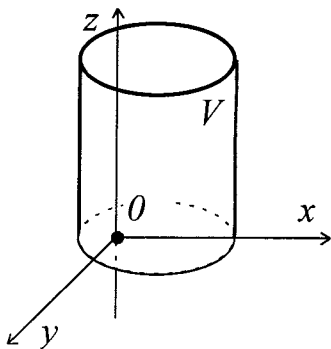


Рис.Б.3

функції, що параметризують область V , яку займає тіло. Тому для подальших обчислень доцільно визначити аналітичну структуру вказаних функцій.

Випадок А: Циліндр із зміщеною віссю обертання (рис.Б.4). Розглянемо січення циліндра площиною $z=\text{const}$. Точка O_z – точка на осі обертання, O_1 – центр

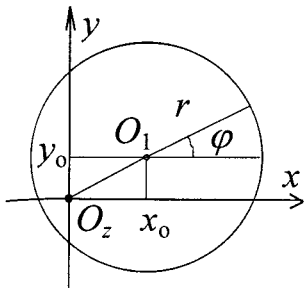


Рис.Б.4

січення. Радіус r , висота H циліндра вважаються відомими. Якщо осі O_x та O_y перетинаються в точці O_z ($x_0; y_0$), то для довільної точки A січення координати записуються у вигляді, який враховує зміщення точки, розміщеної на осі обертання. При цьому система координат буде квазіциліндричною:

$$\begin{cases} x = x_0 + r \cos \varphi \\ y = y_0 + r \sin \varphi \\ r = h \end{cases} \quad 0 \leq r \leq R; 0 \leq \varphi \leq 2\pi; 0 \leq h \leq H \quad (\text{Б.11})$$

Отже

$$J_z = \iiint_V (x^2 + y^2) \rho dV = \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^R [(x_0 + r \cos \varphi)^2 + (y_0 + r \sin \varphi)^2] \rho j dr d\varphi dz, \quad (\text{Б.12})$$

де j - якобіан переходу від однієї системи координат до іншої:

$$j = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} & \frac{\partial x}{\partial h} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} & \frac{\partial y}{\partial h} \\ \frac{\partial z}{\partial r} & \frac{\partial z}{\partial \varphi} & \frac{\partial z}{\partial h} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi & -r \sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & r \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = r, \quad (\text{Б.13})$$

$$\begin{aligned} J_z &= \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho r [x_0^2 + 2x_0 r \cos \varphi + r^2 \cos^2 \varphi + y_0^2 + 2y_0 r \sin \varphi + \\ &+ r^2 \sin^2 \varphi] d\varphi dh dr = \rho \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^R r (\delta^2 + r^2 + 2x_0 r \cos \varphi + \\ &+ 2y_0 r \sin \varphi) dr d\varphi dh = 2\pi H \rho \int_0^R (r\delta^2 + r^3) dr = \pi H \rho R^2 \left(\delta^2 + \frac{R^2}{2} \right). \end{aligned} \quad (\text{Б.14})$$

Згідно з одержаною формулою результат обчислення I_z залежить лише від відстані δ між центром кола січення та новою віссю обертання (оскільки $\delta^2 = x_0^2 + y_0^2$). Одержану формулу можна записати у вигляді

$$I_z = I_{z_0} + \Delta I_z, \quad (\text{Б.15})$$

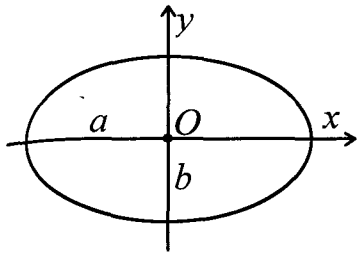


Рис. Б.5

де $I_{z_0} = \pi \rho H R^4 / 2$ – момент інерції циліндра відносно вертикальної осі симетрії,

$\Delta I_z = \pi \rho H R^2 \delta^2$ – додатковий момент інерції, одержаний за рахунок зміни осі обертання.

Слід зазначити, що дана величина може бути

досить значною при великих значеннях δ , важливим є також висновок про те, що із зміною осі обертання момент інерції I_z зростає.

Випадок Б. Циліндр з еліптичною формою січення (рис.Б.5). Вводиться квазіциліндрична (або еліптична циліндрична) система координат, в якій координати точок циліндра подаються у вигляді:

$$\begin{cases} x = ar \cos \varphi \\ y = br \sin \varphi \\ z = h \end{cases} \quad 0 \leq r \leq 1; \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \quad 0 \leq h \leq H \quad (\text{Б.16})$$

Обчислюємо якобіан:

$$j = \begin{vmatrix} a \cos \varphi & b \sin \varphi & 0 \\ -ar \sin \varphi & br \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = abr. \quad (\text{Б.17})$$

Момент інерції:

$$\begin{aligned} I_z &= \rho \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^1 abr(a^2 r^2 \cos^2 \varphi + b^2 r^2 \sin^2 \varphi) dr d\varphi dh = \\ &= ab \rho H \int_0^1 \int_0^{2\pi} [a^2 r^3 + (b^2 - a^2) r^3 \sin^2 \varphi] d\varphi dr = \\ &= ab \rho H \int_0^1 \int_0^{2\pi} \left[\frac{a^2 + b^2}{2} r^3 - \frac{b^2 - a^2}{2} r^3 \cos^2 \varphi \right] d\varphi dr = \\ &= ab \rho H \int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{a^2 + b^2}{2} r^3 dr = 2\pi ab \rho H \frac{a^2 + b^2}{8} = \pi ab \rho H \frac{a^2 + b^2}{4}. \end{aligned} \quad (\text{Б.18})$$

Тут враховується, що

$$\int_0^{2\pi} \sin \varphi d\varphi = \int_0^{2\pi} \cos \varphi d\varphi = \int_0^{2\pi} \cos 2\varphi d\varphi = 0. \quad (\text{Б.19})$$

Якщо $a=b=R$ (циліндр), то

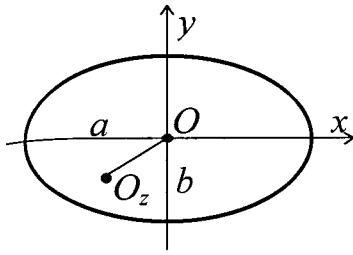


Рис. Б.6

$$I_z = \pi \rho H R^4 / 2,$$

що співпадає з одержаними для випадку кругового циліндра результатом.

Випадок В: Еліптичний циліндр із зміщеною віссю обертання навколо осі, що проходить через точку O_z (рис.Б.6). Тоді, по аналогії з випадком Б:

$$\begin{cases} x = x_o + ar \cos \varphi \\ y = y_o + br \sin \varphi \\ z = h \end{cases} \quad 0 \leq r \leq 1; \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \quad 0 \leq h \leq H \quad (\text{Б.21})$$

Обчислюємо якобіан:

$$j = \begin{vmatrix} a \cos \varphi & b \sin \varphi & 0 \\ -ar \sin \varphi & br \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = abr. \quad (\text{Б.22})$$

Момент інерції:

$$\begin{aligned} I_z &= \rho ab \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^1 r(x_o^2 + y_o^2 + 2x_o ar \cos \varphi + a^2 r^2 \cos^2 \varphi + 2y_o br \sin \varphi + \\ &+ b^2 r^2 \sin^2 \varphi) dr d\varphi dh = \pi \rho H \frac{ab(a^2 + b^2)}{4} + 2\pi \rho H ab \delta^2 \frac{R^2}{2} = \\ &= \pi \rho H \frac{ab(a^2 + b^2)}{4} + \pi \rho H ab \delta^2 R^2 = I_{z_{\text{цел}}} + \Delta I_z, \end{aligned} \quad (\text{Б.23})$$

тобто момент інерції відносно зміщеної осі завжди більший, ніж момент інерції відносно вертикальної центральної осі еліптичного циліндра.

Випадок Г. Циліндр, який має викривлену вісь (момент інерції обчислюється відносно вертикальної осі O_z) (рис.Б.7).

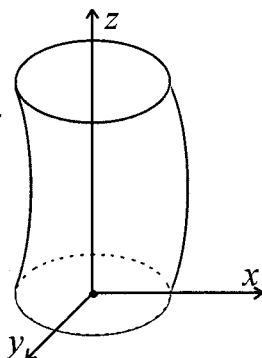


Рис. Б.7.

Викривлення осі задається у вигляді додаткової

функції, що входить в параметричне подання області:

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi + f_1(h) \\ y = r \sin \varphi + f_2(h) \\ z = h \end{cases} \quad 0 \leq r \leq R; \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \quad 0 \leq h \leq H \quad (\text{Б.24})$$

$$j = \begin{vmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -r \sin \varphi & r \cos \varphi & 0 \\ f_1'(h) & f_2'(h) & 1 \end{vmatrix} = r \quad (\text{Б.25})$$

Момент інерції:

$$\begin{aligned} I_z &= \rho \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^R [r(r^2 \cos^2 \varphi + 2rf_1(h) \cos \varphi + f_1^2(h) + r^2 \sin^2 \varphi + 2rf_2(h) \times \\ &\times \cos \varphi + f_2^2(h))] dr d\varphi dh = \rho \int_0^H \int_0^{2\pi} \int_0^R [r^3 + rf_1^2(h) + rf_2^2(h)] dr d\varphi dh = \\ &= \pi \rho H \frac{R^2}{2} + \pi \rho R^2 \int_0^H [f_1^2(h) + f_2^2(h)] dh = I_{\text{цил}} + \Delta I_z \end{aligned} \quad (\text{Б.26})$$

Тобто момент інерції циліндра з викривленою віссю дорівнює моменту інерції циліндра з прямолінійною вертикальною віссю плюс деякий додатковий додатний момент інерції, який визначається формою викривлення осі.

Моделювання колони насосно-компресорних труб (НКТ)

Диференціальні рівняння повздожніх коливань колони НКТ при наявності тертя пропорційного швидкості, записується у формі [64, 65] :

$$\rho S \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = ES \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \gamma \frac{\partial u}{\partial t} + F(x, t), \quad (\text{Б.27})$$

де $F(x, t)$ – зовнішня сила, що діє на колону;

ρ – густина матеріалу;

S – площа поперечного січення;

E – модуль Юнга;

γ – коефіцієнт тертя колони.

Для рівняння (Б.27) встановлюються граничні умови для закріплення верхнього кінця колони ($x=0$):

$$u(0, t) = 0, \quad (\text{Б.28})$$

а також закон переміщення нижнього кінця колони ($x=l$):

$$u(l, t) = x_3(t), \quad (\text{Б.29})$$

де $x_3(t)$ – закон руху, одержаний при розв'язуванні системи (Б.1)–(Б.8).

Початкові умови приймаються однорідними:

$$\begin{aligned} u(x, 0) &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) &= 0. \end{aligned} \quad (\text{Б.30})$$

Слід зазначити, що підстановкою:

$$\bar{u} = u(x, t) \exp\left(-\frac{\gamma}{2\rho S} t\right) \quad (\text{Б.31})$$

рівняння (Б.27) зводиться до рівняння:

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = \frac{E}{S} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\gamma^2}{4\rho^2 S^2} \bar{u} + \frac{F(x, t)}{\rho S} \exp\left(\frac{\gamma}{2\rho S} t\right) \quad (\text{Б.32})$$

з умовами:

$$\begin{aligned} \bar{u}(0, t) &= 0, \\ \bar{u}(l, t) &= x_3(t) \exp\left(-\frac{\gamma}{2\rho S} t\right), \\ \bar{u}(x, 0) &= 0, \\ \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}(x, 0) &= \frac{\partial u}{\partial t} \exp\left(-\frac{\gamma}{2\rho S} t\right) + u \left(-\frac{\gamma}{2\rho S}\right) \exp\left(-\frac{\gamma}{2\rho S} t\right) \Big|_{t=0} = 0, \end{aligned} \quad (\text{Б.33})$$

методи розв'язання якого базуються на знаходженні власних функцій відповідних диференціальних операторів та використанні метода Фур'є розділених змінних [62, 63].

При необхідності врахування впливу малих крутильних коливань рівняння цього процесу подається у вигляді:

$$A \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = B \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + C \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \Phi(x, t), \quad (\text{Б.34})$$

$$\text{де } B/A = \sqrt{\frac{GI}{k}};$$

G – модуль зсуву;

I – полярний момент інерції поперечного січення;

k – момент інерції одиниці довжини стержня.

Початкові та граничні умови в цьому випадку матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi(0, t) &= 0, \\ \varphi(L, t) &= \varphi_3(t), \\ \varphi(x, 0) &= 0, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t}(x, 0) &= 0. \end{aligned} \tag{Б.35}$$

Метод розв'язку рівняння (Б.33) аналогічний до методу розв'язку (Б.27) з умовами (Б.28)–(Б.29). Одержаний чисельний розв'язок дозволяє врахувати малі крутильні коливання нижньої частини колони ($x=L$) у формі відомої функції $\varphi_3(t)$, визначеної при розв'язанні системи (Б.1)–(Б.8).

У випадку дослідження УЕВН з КНКТ приймаємо $\gamma=0$ (умова відсутності тертя). Тоді необхідно розв'язати задачу

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + F(x, t) \tag{Б.36}$$

з умовами:

$$\begin{aligned} u(0, t) &= 0, \\ u(l, t) &= x_3(t), \\ u(x, 0) &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) &= 0. \end{aligned} \tag{Б.37}$$

Введемо нову функцію $v(x, t)$:

$$u(x, t) = U(x, t) + v(x, t), \tag{Б.38}$$

$$\text{де } U(x, t) = \frac{x}{L} x_3(t). \tag{Б.39}$$

Це дозволить одержати рівняння відносно функції $v(x, t)$ у вигляді

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \bar{F}(x, t), \tag{Б.40}$$

$$\text{де } a^2 = \frac{E}{\rho}; \quad \bar{F}(x, t) = \frac{x}{L} \ddot{x}_3(t), \tag{Б.41}$$

а величина $\ddot{x}_3(t)$ визначається внаслідок розв'язання системи (Б.1)–(Б.8).

Початкові умови для функції $v(x, t)$ подаються у вигляді:

$$\begin{aligned}
v(0,t) &= 0, \\
v(l,t) &= 0, \\
v(x,0) &= 0, \\
\frac{\partial v}{\partial t}(x,0) &= 0.
\end{aligned}
\tag{Б.42}$$

Дана задача розв'язується за методом Фур'є:

$$v_k(x,t) = T_k(t)X_k(x), \tag{Б.43}$$

звідки підставляючи (Б.43) в однорідне рівняння (Б.40), одержуємо:

$$\begin{aligned}
\ddot{X}_k(x) + \lambda X_k(x) &= 0 & X_k(x) &\neq 0 \\
\ddot{T}_k(t) + a^2 \lambda T_k(t) &= 0 & T_k(t) &\neq 0
\end{aligned}
\tag{Б.44}$$

Звідки

$$X_k(x) = D_1 \cos \sqrt{\lambda} x + D_2 \sin \sqrt{\lambda} x, \tag{Б.45}$$

а з урахуванням шумових умов (Б.42) та умов (Б.44), одержуємо:

$$\sin \sqrt{\lambda} L = 0, \tag{Б.46}$$

$$\text{або } \sqrt{\lambda} = \frac{n\pi}{L}, \tag{Б.47}$$

де n – будь-яке ціле число.

Отже,

$$X_k(x) = \sin \frac{n\pi}{L} x, \tag{Б.48}$$

а для $T_k(t)$ справедливі співвідношення:

$$T_k(t) = a_k \cos a \sqrt{\lambda_k} t + b_k \sin a \sqrt{\lambda_k} t, \tag{Б.49}$$

$$\text{де } a_k = \frac{2}{l} \int_0^l v(x,0) \sin \frac{\pi n x}{L} dx = 0, \tag{Б.50}$$

$$b_k = \frac{2}{l} \int_0^l \frac{\partial v}{\partial t}(x,0) \sin \frac{\pi n x}{L} dx = 0, \tag{Б.51}$$

а для однорідного рівняння (з урахуванням знайдених функцій $X_k(x)$) загальний розв'язок запишеться у вигляді:

$$v(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi n a} \int_0^t \sin \frac{\pi n a}{L} (t - \tau) \sin \frac{\pi n x}{L} f_n(\tau) d\tau, \tag{Б.52}$$

коли початкові умови (Б.42) нульові, та

$$v(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi n a} \int_0^t \sin \frac{\pi n a}{L} (t - \tau) \sin \frac{\pi a x}{L} f_n(\tau) d\tau +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \left(\varphi_n \cos \frac{\pi n a}{L} t + \frac{L}{\pi n a} \phi_n \sin \frac{\pi n a}{l} t \sin \frac{\pi n x}{L} \right), \quad (\text{Б.53})$$

$$\text{де } f_n(\tau) = \frac{2}{L} \int_0^L (F(x, \tau) - \frac{x}{l} \ddot{x}_3(\tau)) \sin \frac{\pi n}{l} \xi d\xi, \quad (\text{Б.54})$$

$$\varphi_n = \frac{2}{L} \int_0^L \varphi(\xi) \sin \frac{\pi n}{L} \xi d\xi, \quad (\text{Б.55})$$

$$\phi_n = \frac{2}{L} \int_0^L \phi(\xi) \sin \frac{\pi n}{L} \xi d\xi, \quad (\text{Б.56})$$

$$v(x, 0) = \varphi(x), \quad (\text{Б.57})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = \phi(x). \quad (\text{Б.58})$$

Аналогічні результати можуть бути отримані при вирішенні задачі (Б.34) з умовами (Б.35).

В формулах (Б.52), (Б.54) невідомі функції $F(x, t)$ та $x_3(t)$ визначаються наступним чином: $F(x, t)$ – експериментально, як функція технічного стану установки ЕВН та зовнішніх умов системи, $x_3(t)$ – як розв'язок системи (Б.1)-(Б.8).

Узгоджено

Проректор з наукової
роботи ІФДТУНГ

Д.Т.Н., професор

Р.Кондрат

1998 р.



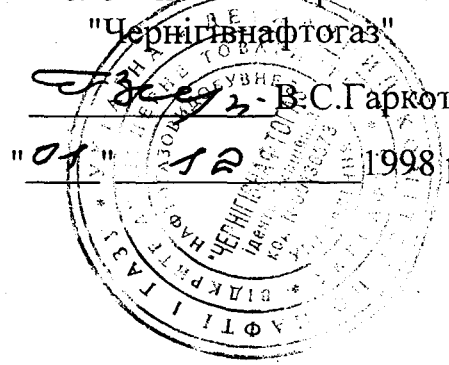
Затверджено

Головний інженер НГВУ

"Чернігівнафтогаз"

В.С.Гаркот

1998 р.



ПРОГРАМА

проведення експериментів по дослідженню впливу дефектів елементів
заглибних електродвигунів і відцентрових насосів на зміну загального вібростану
і крутного моменту на валу установок ЕВН в процесі їх
стендових випробувань в цеху по ремонту УЕВН НГВУ "Чернігівнафтогаз"
(м.Варва)

Узгоджено

Проректор з наукової
роботи ІФДТУНГ

д.т.н., професор

Р.Кондрат

1999 р.

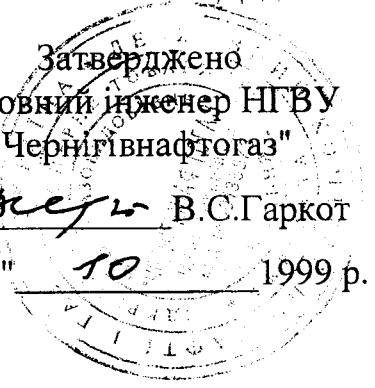


Затверджено

Головний інженер НГВУ
"Чернігівнафтогаз"

В.С.Гаркот

"25" 10 1999 р.



ПРОГРАМА

проведення експериментальних досліджень впливу технічного стану установок
ЕВН та характеристик видобуваної рідини на величину крутного моменту на
валу ЗЕД в умовах нафтопромислу №4
НГВУ "Чернігівнафтогаз"

м.Івано-Франківськ
1999 р.

Розробка схеми електричної принципової восьмиканального АЦП

Незважаючи на те, що для ІВС є 6 нормованих аналогових сигналів в діапазоні напруг ± 5 В, при розробці принципової електричної схеми (рис.Д1.1) було передбачено можливість нарощування числа каналів до восьми (згідно з числом каналів аналогового мультиплектора, який було використано в даній схемі – DD4, K561КП2). Проте в розробці використовуються 6 вхідних канали, позначених на схемі (рис.Д1.1) як U_{VH0} , U_{VH1} – U_{VH5} . RC-ланки на кожному із входів призначені для запобігання впливу високочастотних завад на точність процесу аналого-цифрового перетворення.

Виставлення адреси аналогового каналу ініціюється програмно, командою $out\ 300h$ (на момент виконання цієї команди адреса аналогового каналу знаходиться в молодшій тетраді регістру AL). Поточна адреса каналу надходить з системної шини ISA на виводи D1, D2 і D3 DD13 (555АП6 – шинний формувач). Виконання команди $OUT\ 300h$ супроводжується виставленням адреси $300h$ на адресних виводах шини (при цьому на входах A0, A1, ... , A7 знаходиться “логічний нуль”, а на входах A8 і A9 – логічна “1”), сигнал \overline{IOW} (I/O Write) встановлюється в нульовий, активний стан (сигнал \overline{IOR} – I/O Read – при цьому в стані логічної “1”), загалом, сигнали \overline{IOR} та \overline{IOW} ніколи не встановлюються одночасно в нульовий, активний стан). При такій комбінації сигналів, на вході TF DD13 буде логічний “0”, що визначить напрямок проходження сигналів через мікросхему зліва направо (за схемою), тобто, адреса аналогового каналу надійде на входи D1, D2 і D3 DD9 (тригер K561ТМ3), перепад сигналу з “1” в “0” на виході DD10.1 обумовить фіксацію адреси аналогового каналу в тригері DD9 і подачу цієї адреси на входи A0, A1 і A2 DD4 (мультиплексор), що спричинить комутацію відповідного каналу на вхід “IN A “ DD9 (АЦП).

Окрім сигналів адрес звертання до пристроїв A0, A1, ... , A9 та сигналів \overline{IOR} й \overline{IOW} , дешифратором обробляється і стан AEN. Останній сигнал виставляється в “1”

контролером ПДП (прямого доступу до пам'яті), блокуючи тим самим можливість спрацювання логіки дешифратора при здійсненні циклу прямого доступу до пам'яті. Це є необхідною пересторогою, щоб уникнути конфліктів з іншими пристроями, які можуть використовувати прямий доступ до пам'яті. У ПЕОМ із запланованою для використання даного АЦП конфігурацією цикли прямого доступу до пам'яті (безпосередньо під час здійснення вибірки оцифрованих відліків) виконуватись не будуть.

Незважаючи на те, що системна шина ISA працює із ТТЛ-рівнями сигналів, логічна схема дешифратора побудована на КМОП-елементах. Це було здійснено з метою зменшення навантаження на виходи системної шини (рекомендоване навантаження на кожен з таких виходів – не більше ніж два ТТЛ-входи). При передачі сигналів з елементів серії КМОП на ТТЛ в якості буферів було використано інвертори К561ЛН2, кожен з виходів яких може бути навантаженим на два ТТЛ-входи.

Після виставлення адреси аналогового каналу програмно ініціюється запуск процесу аналого-цифрового перетворення. Це здійснюється командою OUT 301h. При цьому на виході DD10.2 сформується фронт спаду, який запустить одновібратор DD5.1. На виході DD5.1 утвориться одиничний імпульс з тривалістю близько двох мкс, який, інвертуючись елементом DD6.2, надійде на вхід запуску АЦП К1113ПВ1 (DD8).

Після завершення процесу аналого-цифрового перетворення на інформаційних входах регістрів DD1.1, DD1.2 (555ІР16), які призначені для зчитування коду з АЦП, виставляється результат перетворення в додатковому двійковому коді. Сигнал готовності результату RDY запускає одновібратор DD5.2, який формує одиничний імпульс з тривалістю порядку 1 мкс, котрим тактується занесення даних до регістрів DD1.1 та DD1.2. Таке використання одновібратора DD5.2 обумовлене конструктивним недоліком К1113ПВ1, який полягає в тому, що при формуванні фронту спаду сигналу готовності RDY на виходах даних DD8 виникає імпульсний одиничний “викид” напруги сигналів. Тому, якщо протактувати регістри DD1.1 і

DD1.2 безпосередньо сигналом RDY, то результат перетворення буде спотворено і до всіх розрядів регістрів будуть занесені одиничні значення. Цей недолік усувається зсувом у часі фронту спаду сигналу RDY за допомогою одновібратора DD5.2.

Після виставлення адреси аналогового каналу та запуску АЦП програмним шляхом реалізується затримка на час t_3 , дещо більший від часу, необхідного АЦП для формування результату перетворення ($t_{\phi} \geq 35,5$ мкс – з врахуванням тривалостей імпульсів, які формуються одновібраторами DD5.1 і DD5.2) та занесення цього результату до регістрів для зчитування коду з АЦП (DD1.1, DD1.2; 555ИР16).

Після завершення стадії очікування готовності результату аналого-цифрового перетворення, коли результат цього перетворення практично гарантовано є зафіксованим в регістрах DD1.1 і DD1.2, мікропроцесором здійснюється зчитування даного оцифрованого відліку до акумулятора (AL) – в процесі виконання команд IN 300h (старша тетрада) та IN 301h (молодша тетрада). При цьому нульовим рівнем сигналу \overline{IOR} , що передається через DD6.5 і DD6.6 на вхід TF (DD13), визначається напрямок проходження сигналів через шинний формувач DD13 справа наліво (за схемою) – від пристрою до системної шини. DD13 в цей момент, під впливом сигналів A0, A1, ... , A9, AEN та \overline{IOR} , перебуватиме у “відкритому” стані, тобто, двійковий код оцифрованого відліку потрапить на виводи даних D0, D1, ... , D7 системної шини, звідки цей код буде зчитаний мікропроцесором до акумулятора (AL), а потім – занесений до ОЗП.

Описані вище процедури інфообміну та очікування готовності будуть циклічно повторюватись до накопичення в ОЗП усієї вибірки оцифрованих відліків аналогових сигналів.

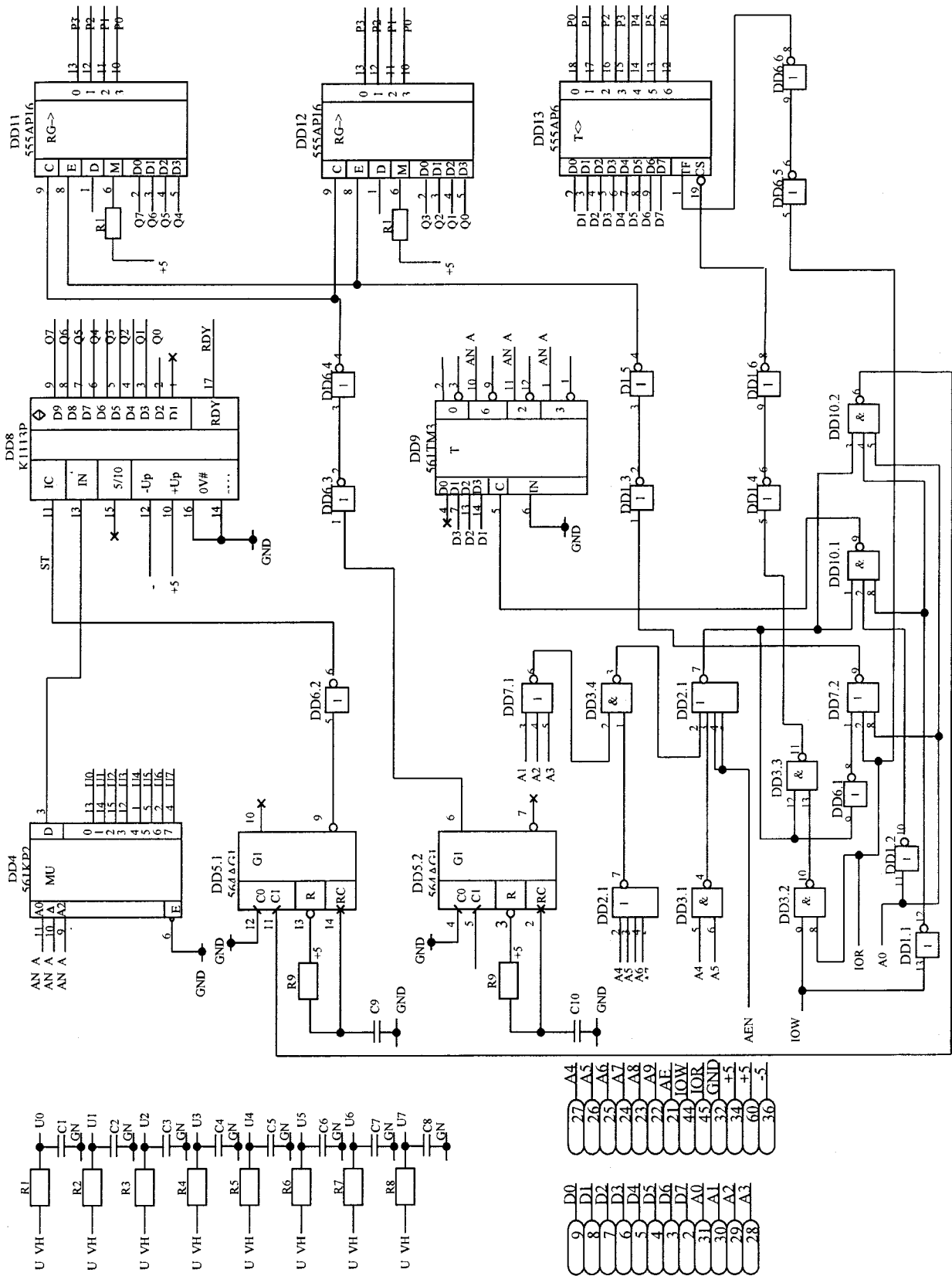


Рис.Д1.1. Принципова електрична схема АПД

Асемблер-програма зчитування даних з АЦП

```

        model small
        stack 100h
        dataseg
mem_size DW ?
mem_err1 DB 'Not enough main memory.$'
filename DB 'shu5',0
descript DW ?
;beg_offset DB 20
cy_count1 DB 9
        codeseg
mov word ptr bx,ds:[0002h]
        mov ax,@data
        mov ds,ax
        mov ax,bx
        sub ax,20h
        mov word ptr ds:[mem_size],ax
        mov ax,ds
        sub word ptr ds:[mem_size],ax
        cmp word ptr ds:[mem_size],4e20h
        jb mem_err
        mov ah,3Ch
        mov cx,0h
        mov dx,offset filename
        int 21h
        jc end_save
        mov ds:[descript],ax

        xor bx,bx
mov ax,ds
        add ax,0020h
        mov es,ax
        mov dx,300h
        cli

        mov si,0030h
        inc dx
cycle4: out dx,al
        mov cx,001ch
k2      :jcxz k1      ;18/6
        dec cx      ;2
        jmp short k2 ;15
k1:     dec si

```

```

jne cycle4
dec dx

mov cx,00fah
or di,0ffffh
mov si,0fa00h
jmp short cycle2
mem_err: mov ah,9h
mov dx,offset mem_err1
int 21h
end_save: jmp end_proc
cycle1 : xor bx,bx
mov ax,es
add ax,0fa0h
mov es,ax
mov si,0fa00h
cycle2 : xor di,0ffffh
mov ax,di ;3
loop set_addr ;17/5
mov cx,00fah ;4
mov al,02h ;4
xor di,0ffffh
set_addr : out dx,al
inc dx
out dx,al
dec dx

mov ax,cx
mov cx,001eh
m2 : jcxz m1 ;18/6
dec cx ;2
jmp short m2 ;15
m1 : mov cx,ax

in al,dx
rcl ax,1h
rcl ax,1h
rcl ax,1h
rcl ax,1h

inc dx
in al,dx
rcl ax,1h

```

```
    rcl ax,1h
    rcl ax,1h
    rcl ax,1h
    dec dx

    mov es:[bx],ah
    inc bx
    dec si
    jne cycle2
    dec ds:[cy_count1]
    jne cycle1

    push ds
    push es
    pop ds
    pop es

    mov es:[cy_count1],9h

    mov ax,ds
    sub ax,7D00h;fa0h*4=3e80h,FA0*8=7D00h
    mov ds,ax

    jmp short m3
cycle3 : mov ax,ds
        add ax,0fa0h
        mov ds,ax
m3     : xor dx,dx
        mov cx,0fa00h
        mov bx,es:[descript]
        mov ah,40h
        int 21h

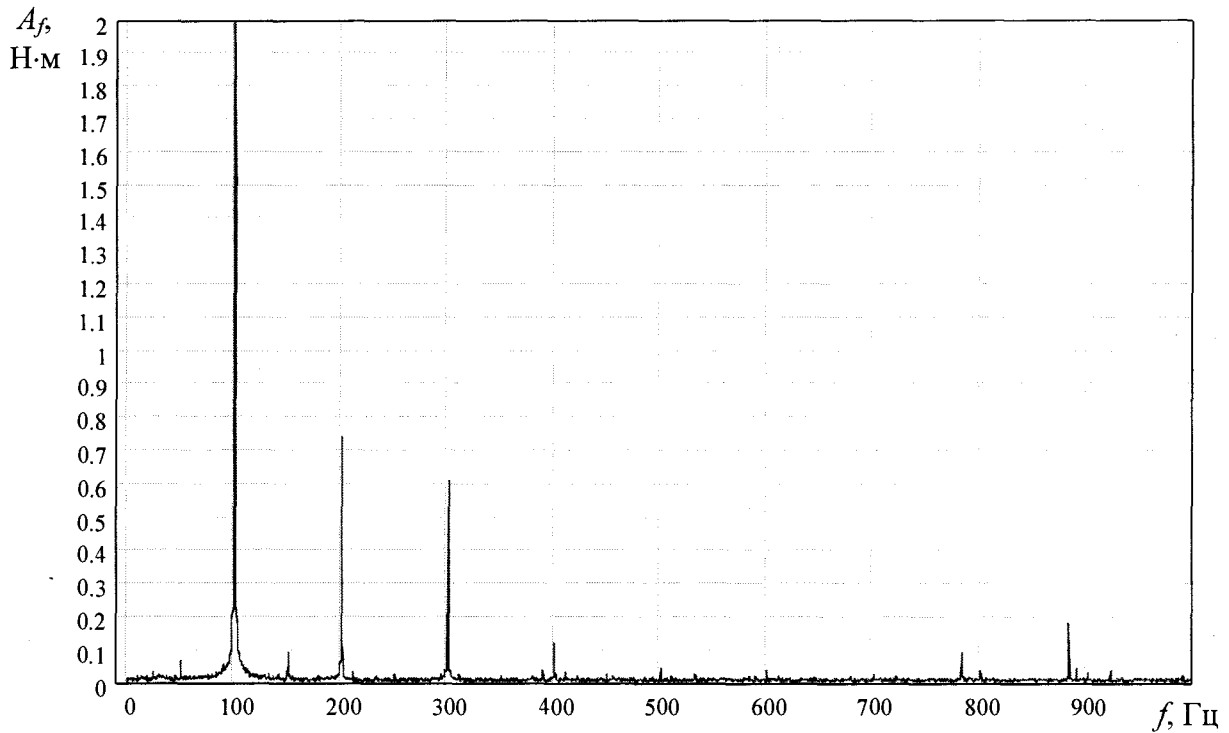
        dec es:[cy_count1]
        jne cycle3

    sti
    mov bx,es:[descript]
    mov ah,3eh
    int 21h

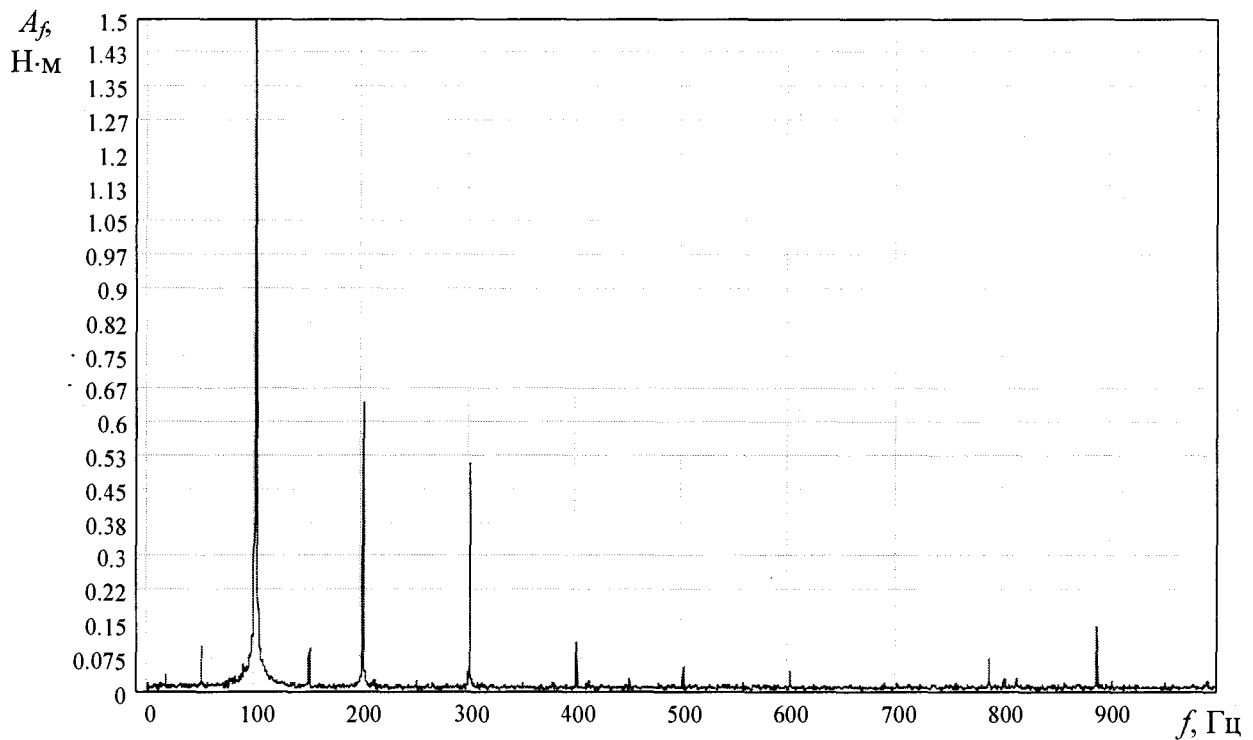
end_proc : mov ah,4ch
          int 21h
end
```

Зміна спектральних складових спектру крутного моменту установок

ЕВН5-50-1000



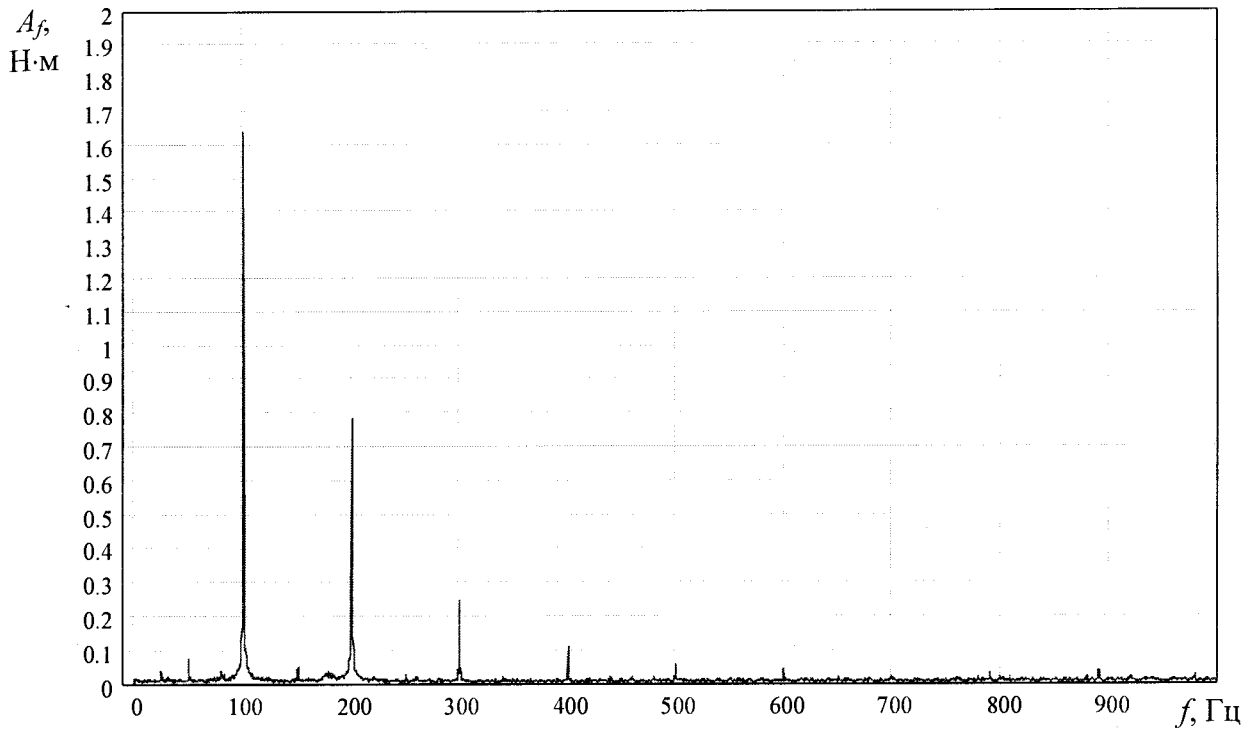
а)



б)

Рис.Е.1. Спектрограми крутного моменту установок ЕВН5-50-1000:

а) новий ВН; б) ВН після ремонту



в)

Рис.Е.1 (продовження). Спектрограми крутного моменту установок ЕВН5-50-1000:
в) ВН з частково спрацьованими робочими органами (знос 30%)

Реалізація моделі установки ЕВН на основі електрогідравлічної аналогії в середовищі MathCad

Вихідні дані для розрахунку

$$\begin{aligned}
 D1 &:= 0.0218 & D2 &:= 0.070 & K1 &:= 7 & L &:= 384 \\
 n &:= 2814 & g &:= 9.807 & & & & \\
 H_{dnom} &:= 1800 & Q_{dnom} &:= 5.787 \cdot 10^{-4} & & & & \\
 \rho &:= 1000 & \eta_{nom} &:= 0.43 & & & & \\
 \delta l &:= 0.0015 & & & & & & \\
 \beta_{21} &:= \frac{\pi \cdot 25}{180} & \beta_{11} &:= \frac{\pi \cdot 12}{180} & \sigma &:= \frac{\pi \cdot 4}{180} & &
 \end{aligned}$$

Розрахунок параметрів моделі

$$\begin{aligned}
 D1e &:= D1 \cdot \sqrt{L} & D1e &= 0.427 \\
 D2e &:= D2 \cdot \sqrt{L} & D2e &= 1.372 \\
 D1ep &:= \frac{D1e}{\left(\log\left(\frac{D1e}{D2e} \right) + 1.3 \right)^2} & D1ep &= 0.679 \\
 mDp &:= \frac{D2e}{D1ep} & mDp &= 2.021 \\
 kDp &:= \frac{mDp^2 - 1}{mDp^2} & kDp &= 0.755 \\
 H00 &:= kDp \cdot \left(\frac{\pi \cdot D2e \cdot n}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g \cdot H_{dnom}} & H00 &= 1.747 \\
 ns &:= 3.65 \cdot n \cdot \left[Q_{dnom}^2 \cdot \left(\frac{L}{H_{dnom}} \right)^3 \right]^{\frac{1}{4}} & ns &= 77.56 \\
 N_{cnom} &:= \frac{\rho \cdot g \cdot H_{dnom} \cdot Q_{dnom}}{1000 \cdot \eta_{nom}} & N_{cnom} &= 23.757 \\
 \eta_{onom} &:= \frac{1}{1 + 0.68 \cdot ns^{-0.66}} & \eta_{onom} &= 0.963 \\
 \eta_{gnom} &:= 1 - \frac{0.42}{\left[\log \left[4500 \cdot \left(\frac{Q_{dnom}}{n \cdot \eta_{onom}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] - 0.172 \right]^2} & \eta_{gnom} &= 0.734 \\
 \eta_{mexnom} &:= \frac{\eta_{nom}}{\eta_{onom} \cdot \eta_{gnom}} & \eta_{mexnom} &= 0.608 \\
 \eta_{mbnom} &:= \frac{1}{1 + \frac{820}{ns^2}} & \eta_{mbnom} &= 0.88
 \end{aligned}$$

Продовження додатку Ж

$$\mu_Q := 1 - \frac{0.73 \cdot K1 \cdot \delta l \cdot mDp}{D2e \cdot (mDp - 1)}$$

$$\mu_Q = 0.989$$

$$\mu_H := \frac{1}{1 + H00 \cdot \eta_{gnom} \cdot \frac{\pi}{K1} \cdot \sin(\beta 2l - \sigma)}$$

$$\mu_H = 0.829$$

$$R0t := \left(H00 - \frac{1}{\eta_{gnom} \cdot \mu_H} \right) \cdot \eta_{onom} \cdot \mu_Q$$

$$R0t = 0.1$$

$$R0mex := \frac{H00^2 \cdot \eta_{nom}}{1 - \eta_{mbnom}}$$

$$R0mex = 10.946$$

$$\gamma_{pnom} := \pi \cdot \left(1 - \frac{kDp}{H00 \cdot \mu_H \cdot \eta_{gnom}} \right) \cdot \mu_Q \cdot \eta_{onom}$$

$$\gamma_{pnom} = 0.868$$

$$H0dxx := \frac{\gamma_{pnom}}{\sin(\gamma_{pnom})}$$

$$H0dxx = 1.138$$

$$Q0dobr := \sqrt{\frac{H0dxx}{H0dxx - 1}}$$

$$Q0dobr = 2.875$$

$$\Delta H0gxx := H00 \cdot \mu_H - H0dxx$$

$$\Delta H0gxx = 0.311$$

$$\Delta H0gnom := \frac{1}{\eta_{gnom}} - 1$$

$$\Delta H0gnom = 0.361$$

$$\Delta H0gobr := \left(H00 - \frac{Q0dobr \cdot R0t}{\mu_Q} \right) \cdot \mu_H$$

$$\Delta H0gobr = 1.208$$

$$C1 := \frac{2 \cdot \Delta H0gxx \cdot \eta_{onom} \cdot Q0dobr \cdot (\eta_{onom} \cdot Q0dobr - 1)}{(\eta_{onom} \cdot Q0dobr)^2 \cdot (\Delta H0gxx - \Delta H0gnom) - (\Delta H0gxx - \Delta H0gobr)}$$

$$C1 = 5.985$$

$$C2 := \left(\frac{\eta_{onom}}{C1} \right)^2 \cdot \Delta H0gxx$$

$$C2 = 8.048436093 \times 10^{-3}$$

$$C0 := (\eta_{onom})^2 \cdot \Delta H0gnom - C2 \cdot (1 - C1)^2$$

$$C0 = 0.135$$

$$A1 := \frac{\mu_H}{(1 - \mu_H) \cdot (1 - \mu_Q)}$$

$$A1 = 437.966$$

$$A2 := \frac{\eta_{onom}}{1 - \eta_{onom}}$$

$$A2 = 25.981$$

$$A3 := C1 \cdot \frac{1}{\eta_{onom}}$$

$$A3 = 6.2150632793$$

$$H0ct := \frac{Hct}{Hdnom}$$

$$H0ct = 0.789$$

Вирішення системи рівнянь

$$a := \begin{bmatrix} R0t \\ H00 \\ R0t \cdot (1 - \mu H) \\ H00 \cdot (1 - \mu H) \\ A1 \\ A2 \\ 2A3 \cdot C2 \\ -C2 + C0 \\ C2 \cdot A3^2 \end{bmatrix} \quad x0 := \begin{pmatrix} 1.0504817382700256438 \\ 1.1549271517795340320 \cdot 10^{-2} \\ 1.0389324667522303034 \\ 3.8932466752230303449 \cdot 10^{-2} \\ .27129492579655192458 \\ 117.85187224065113880 \\ .32529745019473678630 \\ 26.279896301976979147 \\ 1.0231411890287788433 \end{pmatrix}$$

Q := 0, 0.1..3

$$f(v, Q, Hc) := \begin{bmatrix} v_0 - v_1 - v_2 \\ v_2 - v_3 - Q \\ -v_3 \cdot v_7 + v_8 - Hc \\ v_0 \cdot (a_0 + v_4) + v_1 \cdot v_5 - a_1 \\ -v_1 \cdot v_5 + v_2 \cdot v_6 + v_3 \cdot v_7 \\ v_4 \cdot v_0 + v_0 \cdot a_2 - a_3 \\ v_5 - a_4 \cdot v_4 \\ (v_7)^2 - (a_5)^2 \cdot v_8 \\ -v_6 \cdot v_2 - a_6 \cdot v_2 + a_7 \cdot (v_2)^2 + a_8 \end{bmatrix} \quad G(v) := \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -v_7 & 0 & 0 & 0 & -v_3 & 1 \\ a_0 + v_4 & v_5 & 0 & 0 & v_0 & v_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -v_5 & v_6 & v_7 & 0 & -v_1 & v_2 & v_3 & 0 \\ v_4 + a_2 & 0 & 0 & 0 & v_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -a_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \cdot v_7 - (a_5)^2 \\ 0 & 0 & -v_6 - a_6 + 2 \cdot a_7 \cdot v_2 & 0 & 0 & 0 & -v_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

```
result(nit, Q, Hc) :=
  xold ← x0
  for i ∈ 1..nit
    H ← G(xold)
    F ← f(xold, Q, Hc)
    xnew ← xold - H-1 · F
    xold ← xnew
  xnew
```

x := result(300, 0, 0)

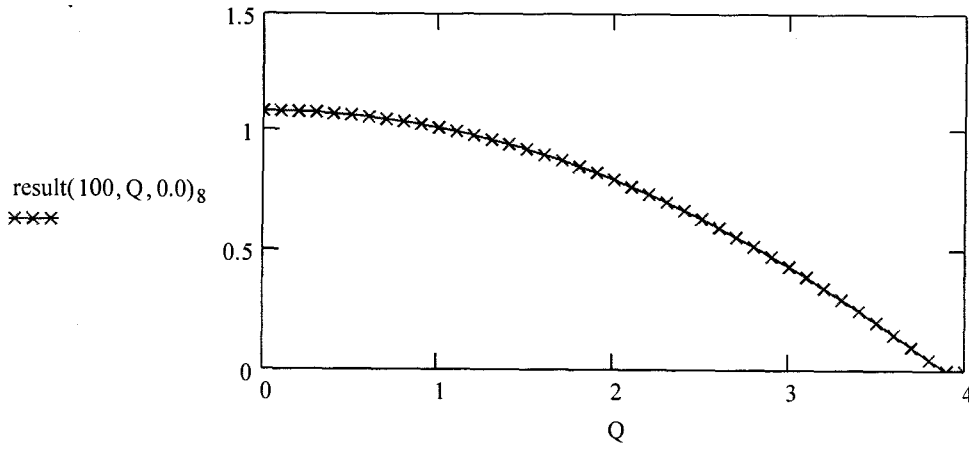
j := 0..8

x_j := |x_j|

Продовження додатку Ж

Q := 0, 0.1.. 4

Hc := 0, 0.1.. 0.8



maxQ := 4

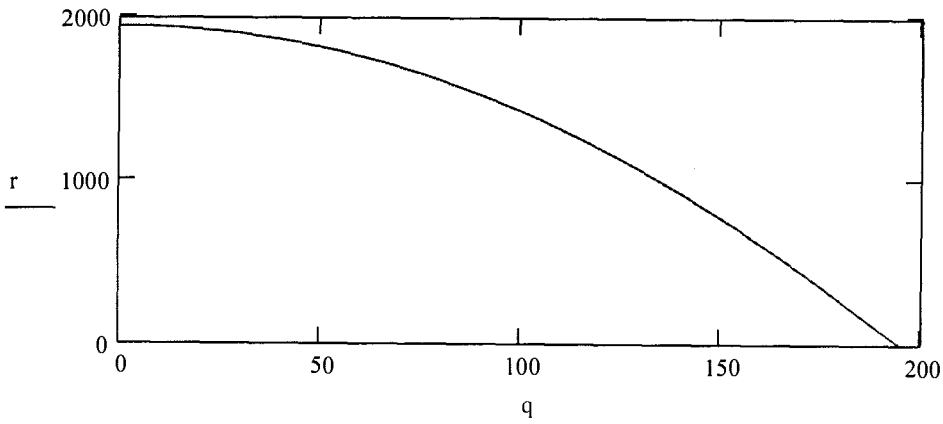
dq := 0.1

$$N := \frac{\text{maxQ}}{\text{dq}}$$

i := 0..N

q_i := i · dq · 50

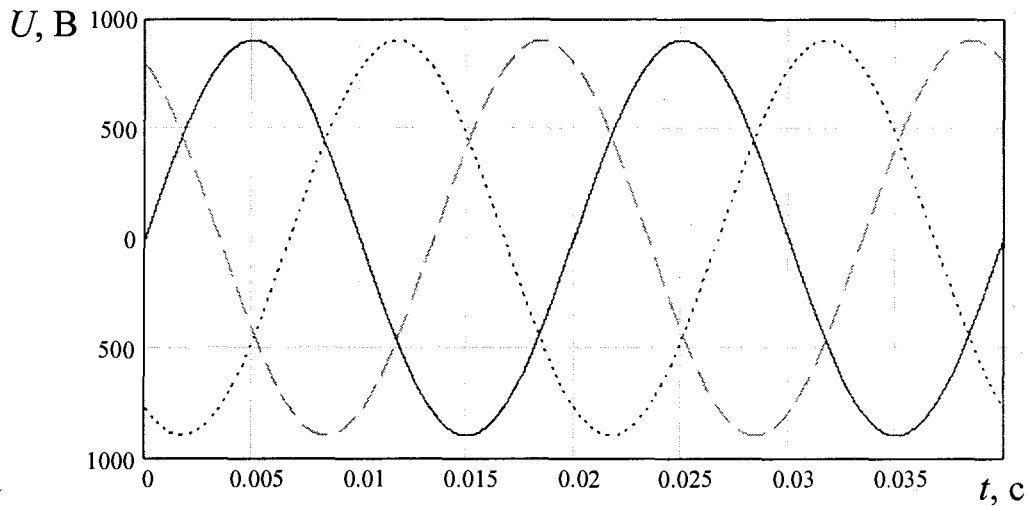
$$r_i := \frac{\text{Hdnom}}{1} \cdot \text{result}\left(100, \frac{q_i}{50}, 0\right)$$



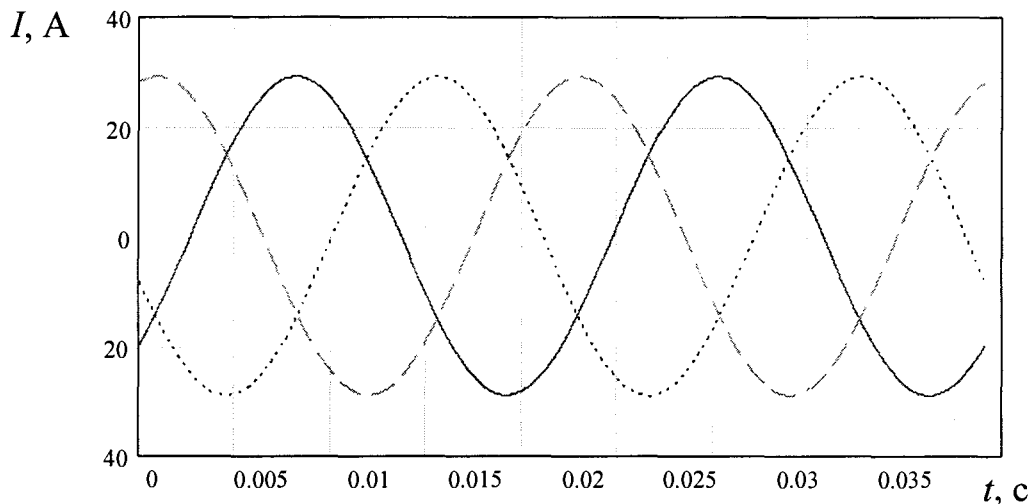
Дослідження впливу послідовності опитування каналів на величину крутного моменту на валу ЗЕД

Так як оцінка споживаної потужності в трифазному колі вимагає одночасного вимірювання величин струму та напруги в усіх трьох фазах, визначимо вплив послідовності опитування каналів на отримане значення потужності. З цією метою моделюємо трифазну систему живлення у вигляді 6-ти синусоїдальних сигналів виду (3.1) з відповідними початковими фазами (рис.3.1):

$$A_i(t) = A_m \sin(\omega t + \varphi_i). \quad (3.1)$$



а)



б)

Рис.3.1. Графіки зміни напруги (а) та струму (б)

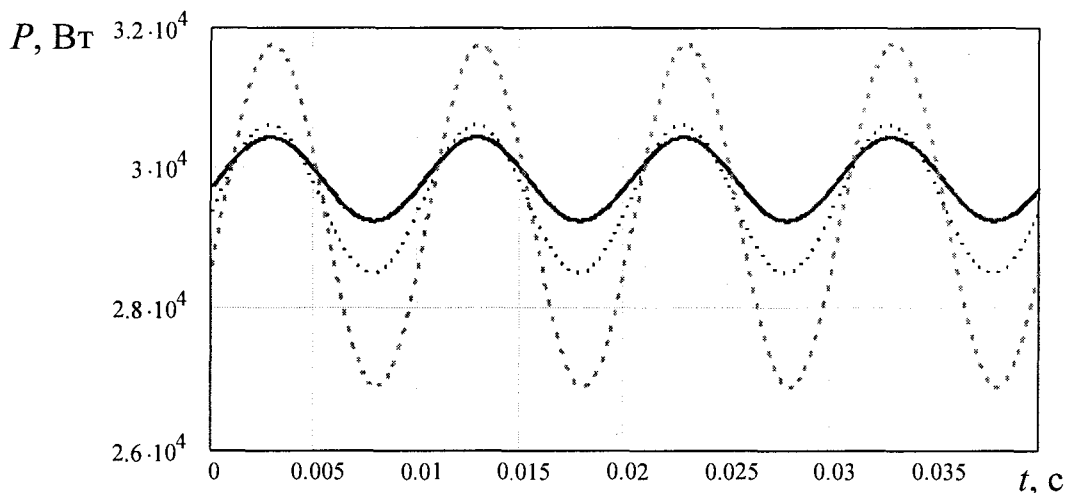
Моделювання послідовності опитування каналів будемо здійснювати шляхом введення відповідної затримки в кожен із сигналів. Величина затримки залежить від порядку опитування каналів і визначається через величину, що кратна одному такту аналогово-цифрового перетворення (визначається через загальну частоту дискретизації АЦП, оскільки при послідовному опитуванні каналів загальна частота дискретизації ділиться між усіма каналами). Отже, при послідовному опитуванні каналів зміщення між першим та шостим сигналом становитиме 5 тактів.

При послідовному опитуванні вимірювальних каналів важливим є також вибір вірної послідовності опитування каналів. При цьому можливі два методи опитування каналів:

1-й метод – по чергово вимірюються сила струму та напруга в кожній з фаз ($i_a, i_b, i_c, u_a, u_b, u_c$);

2-й метод – спочатку вимірюються значення сили струму в кожній з фаз, потім напруги ($i_a, i_b, i_c, u_a, u_b, u_c$).

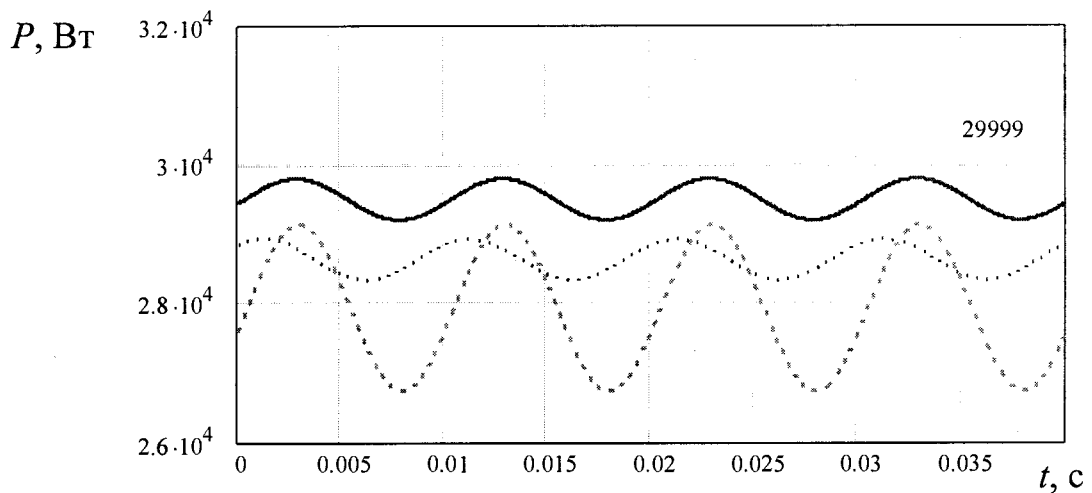
На рис.3.2 зображена залежність обчисленого миттєвого значення споживаної потужності в залежності від вибраного методу опитування каналів та загальної частоти дискретизації АЦП.



а)

Рис.3.2. Залежність обчисленого значення миттєвої потужності від частоти дискретизації та вибраної послідовності каналів:

а) перший метод опитування каналів



б)

Рис.3.2 (продовження). Залежність обчисленого значення миттєвої потужності від частоти дискретизації та вибраної послідовності каналів:

б) другий метод опитування каналів.

Як видно з рис.3.2 перший метод опитування каналів забезпечує значно меншу похибку при обчисленні середнього значення споживаної потужності. Значення похибки при зміні частоти дискретизації від 12 до 48 кГц зменшується від 2,3% до 0,5%. В той же час, для другого методу опитування каналів похибка змінюється від 6,9% до 1,7%.

Екранні форми програми діагностування установок ЕВН

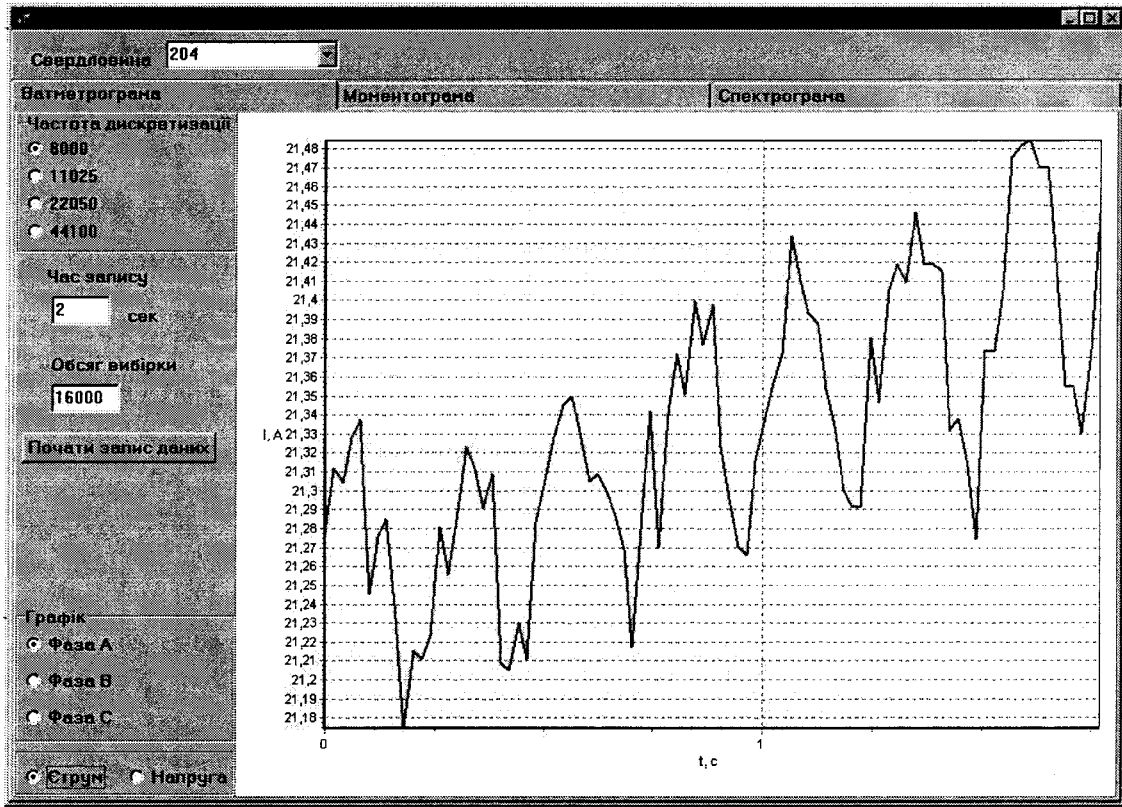


Рис.К.1. Основне вікно програми

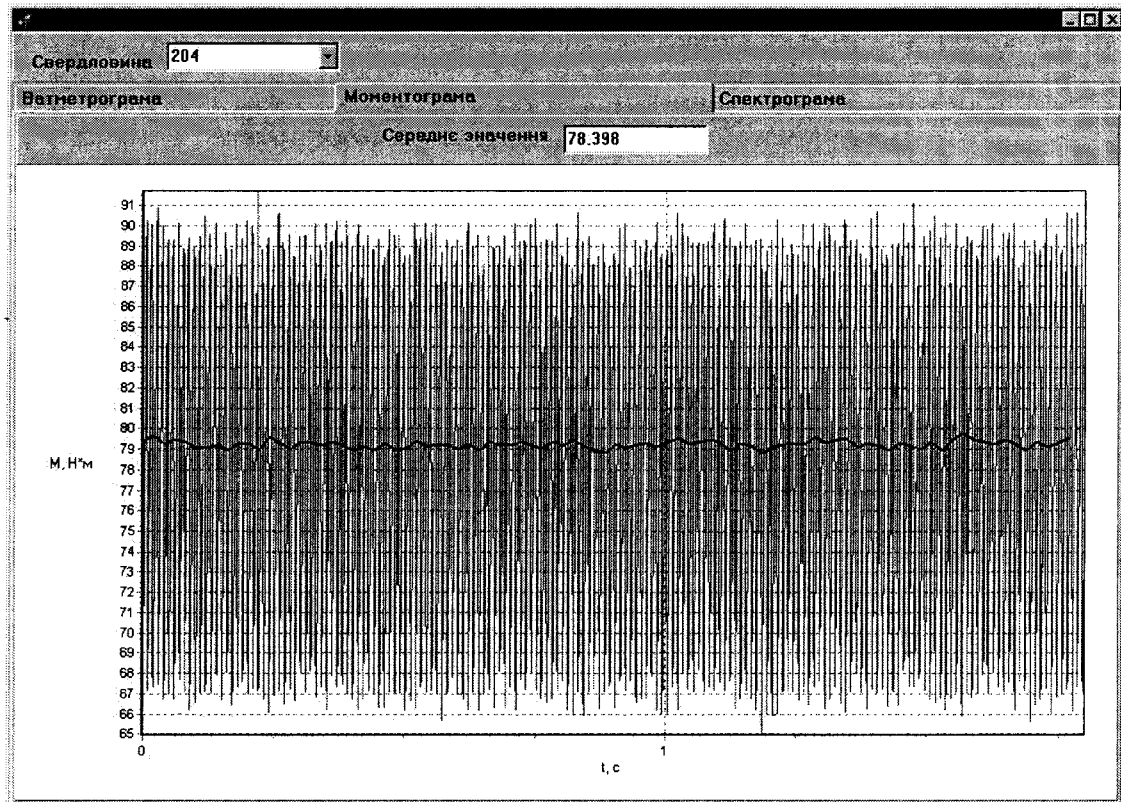


Рис.К.2. Вікно контролю крутного моменту на валу ЗЕД

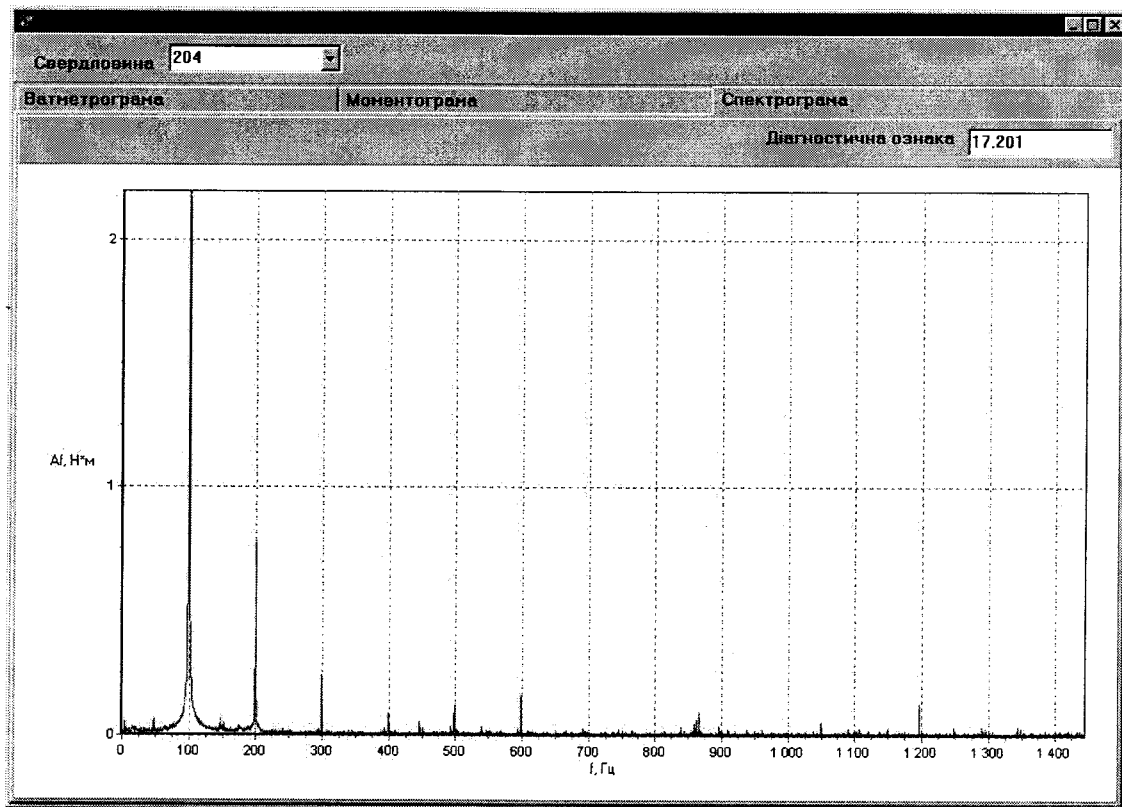


Рис.К.3. Вікно аналізу спектру крутного моменту
та обчислення діагностичної ознаки

Технічні характеристики давачів струму типу HAS-50

Давач компенсаційного типу з гальванічною розв'язкою між силовим та вимірювальним ланцюгом

Електричні параметри

Номінальний вхідний струм, ефективне значення, I_p	50 А
Діапазон перетворення еф. знач.	0 .. ± 100 А
Напруга живлення ($\pm 5\%$)	± 15 В
Вихідна аналогова напруга	4 В
Вихідний струм	± 15 мА
Коефіцієнт трансформації	1 : 2000
Електрична міцність ізоляції, 50 Гц, 1 хв	3 кВ

Точнісно-динамічні характеристики

Точність перетворення при	I_{pmax} $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0,5\%$
Нелінійність		$< \pm 1$ мВ
	$- 40^\circ\text{C} .. + 85^\circ\text{C}$	$\pm 13,0$ мВ
Час затримки	при 90 % от I_{pmax}	1 мкс
Швидкість зростання струму		> 50 А/мкс
Частотний діапазон (- 3 dB)		DS... 50 кГц

Довідкові дані

Робоча температура	$- 40 .. + 85$ °C
Температура зберігання	$- 45 .. + 90$ °C
Вага	60 г

Технічні характеристики давачів напруги типу CV3-1000

Давач компенсаційного типу з гальванічною розв'язкою між силовим та вимірювальним ланцюгом

Електричні параметри

Номинальна вхідна напруга, ефективне значення, V_p .	1000 В
Діапазон перетворення	0 .. ± 2000 В
Вихідна аналогова напруга при V_s	max 10 В
Коефіцієнт перетворення	1000 В / 10 В
Навантажувальний резистор, R_L	1 кОм
Ємність навантаження	5 нФ
Напруга живлення	(± 5 %) ± 15 В
Струм споживання	32 + V_s / R_L мА
Електрична міцність ізоляції, 50 Гц, 1 хв	6 кВ

Точнісно-динамічні характеристики

Точність перетворення при	V_{pmax} $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0,2 %
	- 40°C .. + 85°C	± 0,6 %
Поч. вихідна напруга при	$V_p = 0$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 5,0 мВ
	- 40°C .. + 85°C	± 13,0 мВ
Час затримки	при 90 % от V_{pmax}	0,4 мкс
Швидкість зростання вихідної напруги		900 В/мкс
Частотний діапазон (- 1 dB)	при 50 % of V_{pN}	0... 300 кГц

Довідкові дані

Робоча температура	- 40 .. + 85 °C
Температура зберігання	- 45 .. + 90 °C
Споживання первинного ланцюга,	не більше 3,1 В
Опір первинного ланцюга	640 кОм
Вага	560 г

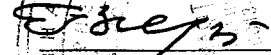
РЕЗУЛЬТАТИ
апробації методу діагностування установок ЕВН
для видобутку нафти

Продовження додатку М

Затверджую

в.о.начальника НГВУ

"Чернігівнафтогаз"





 В.С.Гаркот

"10" 05 2000р.

АКТ

Ми, що нижче підписалися, головний механік Прозур В.П., начальник ВТВ Назарук С.В., замісник начальника цеха №4 Лукачин Д.Г. від НГВУ "Чернігівнафтогаз" і від Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу зав.кафедри автоматизованого управління д.т.н., проф. Заміховський Л.М., к.т.н., асистент кафедри АУ Зікратий С.В. з другого боку, склали цей акт в тому, що розроблена на кафедрі автоматизованого управління "Методика контролю технічного стану УЕВН в процесі експлуатації", пройшла промислову апробацію на свердловинах №№78, 80, 90, 52, 204 Скороходівського родовища в період з січня по квітень 2000 р. і передана для впровадження на нафтопромислах НГВУ "Чернігівнафтогаз".

Підпис:

 Прозур В.П. Назарук С.В. Лукачин Д.Г. Заміховський Л.М. Зікратий С.В.

Продовження додатку М

Затверджую

в.о. начальника НГВУ

"Чернігівнафтогаз"

В.С.Гаркот

2000р.

АКТ


Ми, що нижче підписалися, головний механік Прозур В.П., начальник ВТВ Назарук С.В., замісник начальника цеха №4 Лукачин Д.Г. від НГВУ "Чернігівнафтогаз" і від Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу зав.кафедри автоматизованого управління д.т.н., проф. Заміховський Л.М., асистент кафедри АУ Зікратий С.В. з другого боку, склали цей акт в тому, що розроблена на кафедрі автоматизованого управління "Методика контролю технічного стану УЕВН в процесі експлуатації", передана для промислової апробації на свердловинах Скороходівського родовища НГВУ "Чернігівнафтогаз".

Підпис:


 Прозур В.П.


 Назарук С.В.


 Лукачин Д.Г.


 Заміховський Л.М.


 Зікратий С.В.

Продовження додатку М
Затверджую

Проректор з навчальної роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
д.т.н., професор



В.І. Векерик

" 30" січня 2002 р.

ДОВІДКА

про використання в навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи Зікратого. С.В. "Розробка методу діагностування заглиблених електроустановок для видобутку нафти", представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин

1. Дані про використання наукових результатів дисертаційної роботи Зікратого С.В. в навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу приведені в таблиці 1.

2. Як додаткова література використані такі роботи Зікратого С.В.:

2.1. Замиховський Л.М., Зікратий С.В. Математичне моделювання крутильних та поздовжніх коливань системи "УЕВН-КНКТ" //В зб.: Методи і засоби технічної діагностики.– Івано-Франківськ, 1997.– С.25-30.

2.2. Замиховский Л.М., Зикратый С.В. Определение условий работоспособности установки ЭЦН //В сб.: Методы средства технической диагностики.– Йошкар-Ола, 1998.

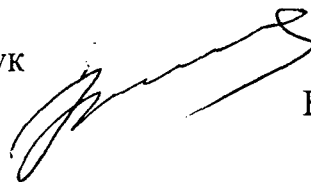
2.3. Зікратий С.В. Математичне моделювання технічного стану установки ЕВН //Мідвід.наук.техн.збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики м.Івано-Франк., 2000. вип.37 (т.8).– С.133-140.

3. Наукові результати роботи Зікратого С.В. використовуються в дипломному проектуванні та в студентських наукових семінарах і конференціях.

Таким чином, використання в навчальному процесі ІФНТУНГ основних результатів дисертаційної роботи Зікратого С.В. дозволяє познайомити майбутніх інженерів (спеціалістів) з найсучаснішими досягненнями в галузі технічної діагностики, що підвищує рівень професійної підготовки студентів спеціальності 7.091401 – Системи управління і автоматики.

Дисципліна	Розділ в робочій програмі	Основні результати, які використовуються в навчальному процесі
1. Основи надійності і технічної діагностики	– умови роботоздатності – контроль працездатності (запасу працездатності)	1. Визначення умов працездатності установки ЕВН 2. Метод контролю технічного стану установки ЕВН
2. Проектування систем діагностування	– побудова і аналіз діагностичних моделей; – діагностичні моделі нафтогазового обладнання, механізмів і систем управління; – завдання умов працездатності автоматичних систем; – приклади аналізу діагностичних моделей.	2. Математична діагностична модель ВН. 3. Визначення умов працездатності установки ЕВН
3. Методи і засоби діагностування обладнання нафтогазового комплексу	– методи та засоби діагностування нафтовидобувного обладнання	1. Метод контролю технічного стану установки ВН за крутним моментом на валу ЗЕД. 2. Система діагностування установок ЕВН.

Декан факультету
автоматизації та комп'ютерних наук
к.т.н, доцент



В.М.Юрчишин

Продовження додатку М

Затверджую

Проректор з наукової роботи

Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

Д.Т.Н., проф.

О.М.Карпаш

16 січня 2002 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи Зікратого С.В.
"Розробка методу діагностування заглибних електроустановок для видобутку
нафти"

Довідка видана про те, що основні результати дисертаційної роботи
Зікратого. С.В. "Розробка методу діагностування заглибних електроустановок
для видобутку нафти ":

– математична діагностична модель установки ЕВН;

– метод діагностування установок ЕВН за величиною крутного моменту
на валу ЗЕД;

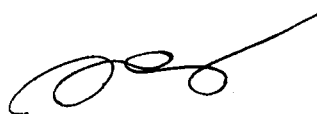
знайшли відображення в наступних держбюджетних тематиках:

– "Розробка теоретичних та методологічних принципів діагностики
обладнання нафтогазового комплексу України", частина науково-дослідної
тематики Д-45/1, номер державної реєстрації в УкрНІНТІ №0196U014525;

– "Діагностування стану технічних об'єктів на основі обмеженої
інформації про переміщення точок їх поверхні", частина науково-дослідної
теми Д6-Ф, номер державної реєстрації в УкрНІНТІ №0198U005799;

Держбюджетні роботи виконувалися в рамках координаційного плану,
що входить в координаційний план міністерства освіти України "Наукові
основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового
обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання
високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і
нафтохімічної сировини", згідно національної програми "Нафта і газ України до
2010 року".

Директор НДІНГТ
Д.Т.Н.



В.М.Івасів