

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

На правах рукопису

Євчук Ольга Василівна

УДК 622.276.53:621.671(047)

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ТА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
ШТАНГОВИХ ГЛИБИННО-НАСОСНИХ УСТАНОВОК
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 – 2004

248

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ	9
1.1 Дефекти вузлів ШГНУ і причини, що їх зумовлюють.....	9
1.2 Конструктивні особливості ШГНУ з точки зору контролепридатності 14	14
1.3 Аналіз методів діагностування ШГНУ	18
1.4 Аналіз технічних засобів діагностування ШГНУ.....	22
1.5 Обґрунтування і вибір напрямку досліджень	31
2 РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ	32
2.1 Методологічні принципи діагностування ШГНУ	32
2.2 Формування еталонів.....	49
2.3 Забезпечення інваріантності динамометричного методу діагностування ШГНУ до форми сигналу переміщення полірованого штока.....	51
2.4 Розробка методу визначення коефіцієнту тертя.....	56
2.5 Перспективи використання динамометричних методів для контролю рівня рідини.....	61
2.5.1 Моделювання власних коливань КНКТ	65
2.5.2 Моделювання коливань КНКТ з врахуванням тертя, тиску рідини в затрубному просторі та періодичного навантаження під дією ваги рідини	68
2.5.3 Аналіз математичної моделі коливань КНКТ з точки зору практичного застосування.....	70
Висновки до розділу	75
3 РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ.....	77
3.1 Методика проведення експериментальних досліджень.....	77
3.2 Технічне та програмне забезпечення експериментальних досліджень.....	79
3.3 Результати промислової апробації	84

Висновки до розділу	90
4 РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ	91
4.1 Розробка функціональної схеми системи діагностування ШГНУ.....	91
4.2 Розробка конструкції вставного давача навантаження.....	94
4.3 Розробка електронної частини первинного перетворювача динамометричної системи.....	98
4.4 Розробка електронної частини контролеру збору і обробки інформації	102
4.5 Розробка програмного забезпечення системи діагностування ШГНУ	105
4.5.1 Програмне забезпечення пристрою перетворення вимірювальної інформації	105
4.5.2 Програмне забезпечення контролеру збору інформації	107
4.6 Повірочний стенд для тарування динамографів.....	108
4.7 Методика тарування накладних і вставних динамографів.....	111
4.8 Оцінка точності вимірювань.....	113
Висновки до розділу	117
5 ВИСНОВКИ.....	118
6 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	120
ДОДАТКИ.....	128

ВСТУП

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

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

Вказаний план входить у національну програму "Нафта і газ України".

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення динамометричного методу діагностування ШГНУ, що дозволить підвищити надійність їх експлуатації.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Проаналізувати типи дефектів ШГНУ і відомі методи їх діагностування, зосередивши увагу на динамометричних методах та технічних засобах їх реалізації.
2. Дослідити можливості вдосконалення динамометричних методів, зокрема за рахунок вибору оптимального способу формування вектора ознак та генерації еталонів технічних станів, а також одночасної оцінки рівня рідини в затрубному просторі свердловини, що дозволить підвищити достовірність діагностування та розширити область застосування динамометричних методів.
3. Розробити автоматизовані методи розпізнавання динамограм для обчислювальних систем нормальної та низької продуктивності.
4. Розробити технічні засоби та мікропроцесорну систему діагностування ШГНУ на основі вдосконалених динамометричних методів.
5. Провести промислову апробацію вдосконалених динамометричних методів та системи діагностування ШГНУ на нафтопромислах ВАТ "Укрнафта".

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

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

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

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено метод автоматичного розпізнавання динамограм на

основі перетворення Уолша, який при забезпеченні вірогідності діагностування, аналогічної відомим методам діагностування ШГНУ вимагає на 30-40% менших обчислювальних затрат.

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

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

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

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

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

- створенні тензорезистивного динамометричного перетворювача для діагностування ШГНУ, технічні характеристики якого відповідають кращим зарубіжним аналогам;

- розробці мікропроцесорної системи діагностування ШГНУ на основі мікроконтролера ATmega103 та персональної ЕОМ типу IBM PC, використання якої дозволяє отримати оперативну і вірогідну інформацію про технічний стан ШГНУ в реальному масштабі часу.

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

прийняті до подальшого впровадження.

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

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Проведено аналіз сучасного стану технічних засобів для реалізації динамометричного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок [57], а також методів і засобів контролю вимірювання рівня рідини в свердловинах, обладнаних ШГНУ [98]. Розроблено метод визначення коефіцієнта тертя при обрахунку плунжерних динамограм [83]. У роботах, опублікованих у співавторстві, досліджено можливість визначення рівня рідини в свердловині за характеристиками коливних процесів ШГНУ [99]; проаналізовано основні проблеми, що виникають при розробці методу контролю рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах за динамограмою [97]; використаний математичний апарат кореляційних функцій для оцінки технічного стану ШГНУ [34]; розроблено методику виділення інформативних ділянок для аналізу вібраційного процесу в штанговій колоні [72]; розроблене програмне забезпечення системи діагностування ШГНУ [101]; запропоновано спосіб побудови динамографічного давача для діагностування ШГНУ [103]; розроблено спосіб обробки динамометричної інформації, що забезпечує інваріантність результату діагностування до форми сигналу переміщення полірованого штоку ШГНУ [76]. Автор приймала безпосередню участь у проведенні промислових досліджень і обробці експериментальних даних.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XVI, XVII, XVIII та XIX міжнародних міжвузівських школах-семінарах "Методи і засоби технічної діагностики" (м. Івано-Франківськ, 2001, 2003 рр. та м. Йошкар-Ола, 2000, 2002 рр.); 3-й науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і

технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2002 р.); науково-технічній конференції "Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів Леотест-2003" (м. Славське, 2003 р.); 4-ї національній науково-технічній конференції "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (м. Київ, 2003 р.); 11-ї міжнародній конференції "Сучасні методи і засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики" (м. Ялта, 2003 р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики (2000 - 2003 рр.).

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

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

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

1.1 Дефекти вузлів ШГНУ і причини, що їх зумовлюють

Детальний опис дефектів ШГНУ та факторів, що їх зумовлюють, можна знайти у [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. У [6] серед факторів виділено конструкторські, експлуатаційні, технологічні та людський фактор і досліджено процеси виникнення і розвитку дефектів внаслідок дії експлуатаційних факторів. Наведено також класифікацію відмов структурних одиниць ШГНУ з вказанням причин, характерів і видів відмов, зокрема, виділено первинні і вторинні та повні і часткові відмови.

На рис. 1.1 наведено узагальнену схему виникнення і розвитку дефектів ШГНУ. Фактори, що зумовлюють наявність дефектів, умовно розділено на дві групи – експлуатаційні (людинно-залежні) та свердловинні (людинно-незалежні) – виходячи із причини їх появи та характеру прояву в процесі експлуатації. Фактори першої групи, як правило, наявні ще до початку експлуатації вузлів ШГНУ і зумовлені або дефектами, що виникли на стадії виготовлення, транспортування і монтажу (приховані дефекти в матеріалі, пошкодження при транспортуванні і монтажі, неякісне згвинчування), або неоптимальним вибором типорозмірів вузлів і режиму роботи установки (невідповідність степені пригонки, неправильне регулювання довжини штанг, надмірна динамічність режиму роботи, надмірне або недостатнє занурення під динамічний рівень). Останнє може бути виявлено і усунуто безпосередньо після монтажу нових вузлів, в той час як вплив прихованих дефектів проявляється лише після неявно спричиненої ними повної відмови (наприклад, обрив штанг внаслідок втомних процесів в матеріалі за умови наявності прихованого дефекту, швидкому розвитку якого вони сприяють). Основна відмінність факторів другої групи порівняно з розглянутою вище першою полягає в тому, що вони або постійно наявні в процесі роботи ШГНУ, або проявляються в непередбачувани моменти внаслідок зміни пластових умов (характеристика рідини,

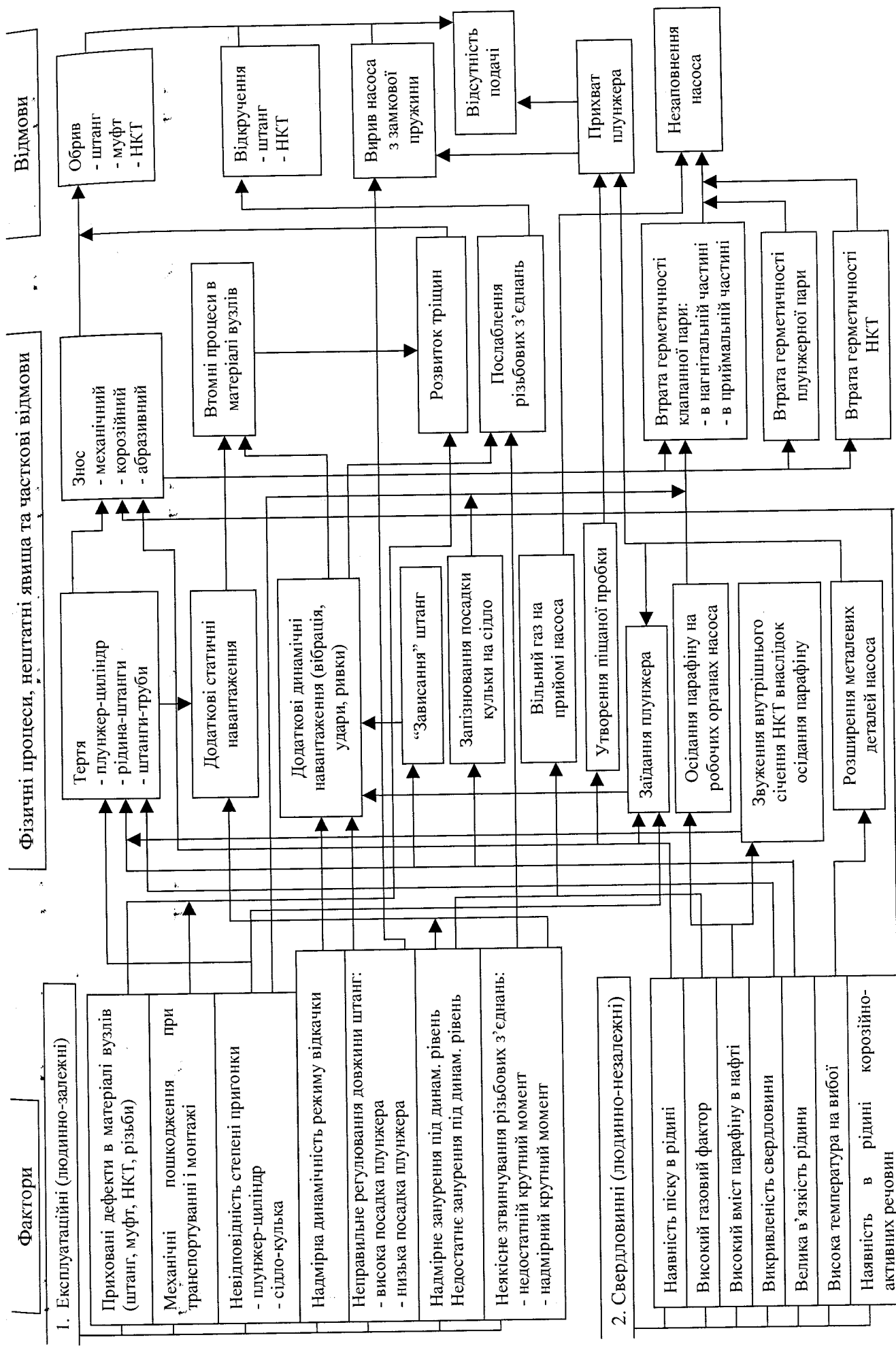


Рис. 1.1. Схема виникнення і розвитку дефектів ІШГНУ

що видобувається, температура і тиск на вибої). Вплив факторів цієї групи може спричиняти ряд нештатних явищ (осідання парафіну, утворення піщаних пробок, заїдання плунжера, запізнення посадки кульки на сідло, зависання штанг), які, в свою чергу, сприяють виникненню і розвитку дефектів шляхом інтенсифікації деградаційних процесів вузлів ШГНУ.

Серед процесів, що в будь-якому випадку супроводжують роботу ШГНУ, але одночасно мають безпосередній вплив на розвиток дефектів, виділено статичні і динамічні навантаження, тертя, знос і втомні процеси. Останні два типи процесів безпосередньо спричиняють явища типу часткових відмов: втрату герметичності плунжерної пари, клапанної пари та НКТ та розвиток тріщин, які можуть бути причиною обривів штанг, муфт або НКТ.

Аналізуючи основні типи дефектів ШГНУ [1-7], можна прийти до висновку, що роботоздатність ШГНУ однозначно визначається степінню заповнення глибинного насоса. Відповідно нероботоздатний стан означає “відсутність подачі”, а множина робітоздатних станів включає режим нормальної роботи та значну кількість режимів з незаповненням, зумовленим різноманітними причинами. Характерним є те, що незаповнення внаслідок втрати герметичності є ознакою наявності незворотнього дефекту, зумовленого в більшості випадків зносними явищами, а незаповнення внаслідок відкачки з газом в одному випадку зумовлено особливостями свердловини (високий газовий фактор) і в принципі може бути віднесено до режимів нормальної роботи, а в іншому – є наслідком опускання динамічного рівня нижче допустимого і сигналізує про необхідність зупинки установки з метою відновлення динамічного рівня (для малодобітних свердловин з періодичним режимом відкачки може бути вихідною інформацією для систем управління відкачкою). В обох випадках мова йде не про дефект, а про особливий режим роботи свердловини, хоча можна віднести їх до дефектів у сенсі причини зниження степені роботоздатності установки, якщо під степінню роботоздатності розуміти степінь заповнення глибинного насосу. Взагалі, якщо дефектом вважати будь-яке явище, що безпосередньо або непрямым чином впливає на степінь роботоздатності (тобто є причиною втрати роботоздатності), то до дефектів можна

віднести всі фактори і явища, зображені на рис.1.1. Однак при розробці систем діагностування множина дефектів визначається можливістю їх розпізнавання за допомогою методу, що використовується. Так, наприклад, при використанні динамометричного методу є можливість розпізнавання станів “висока посадка плунжера” і “низька посадка плунжера”, які самі по собі не впливають на степінь роботоздатності, але є причиною виникнення станів з повною нероботоздатністю (вирив насоса з замкової пружини) або розвитку деградаційних явищ, які призводять до таких станів (обрив або відкручення штанг внаслідок постійної дії динамічних навантажень, спричинених ударами плунжера в кінці ходу вгору або вниз), тому їх своєчасне виявлення має важливе значення для забезпечення безвідмовної роботи ШГНУ. З іншого боку, приховані дефекти в матеріалі вузлів можуть бути безпосередньою причиною розвитку деградаційних процесів з наступною повною відмовою, але динамометричний метод не надає можливості їх виявлення. Стани “обрив штанг” і “відкручення штанг” за динамограмою однозначно розпізнаються, але не розрізняються, оскільки форма динамограми для обох станів є ідентичною; з практичної ж точки зору розрізнення цих дефектів також не несе додаткової інформації.

Враховуючи все вищесказане, можна зазначити, що максимальної ефективності при вирішенні задачі діагностування технічного стану ШГНУ можна досягти за умови контролю як дефектів ШГНУ, так і причин, що їх зумовлюють, зокрема, параметрів технологічного режиму роботи свердловини – наприклад, динамічного рівня рідини в затрубному просторі та властивостей рідини, що видобувається. Важливе значення має також забезпечення правильного технологічного режиму роботи установки з врахуванням особливостей умов експлуатації, оскільки правильний підбір довжини штанг, глибини спуску насоса, довжини ходу і кількості качань та оптимальної величини занурення під динамічний рівень дозволяє уникнути явищ, що сприяють виникненню і розвитку дефектів.

Для визначення множини дефектів, які найбільш доцільно вибрати для створення алгоритму діагностування, було проаналізовано 45 динамограм, знятих на свердловинах НГВУ “Надвірнанафтогаз” та “Бориславнафтогаз”, що

характеризують відхилення від нормальної роботи ШГНУ. В табл. 1.1 приведено перелік дефектів та їх вплив на форму і абсолютні значення (масштаб) динамограми.

Таблиця 1.1. Дефекти ШГНУ

Назва дефекту	К-сть випадків	% від заг. к-сті	Зміна форми на ділянках динамограми				Зміна масштабу динамограми
			Сприйняття навантаження	Хід вгору	Зняття навантаження	Хід вниз	
Вплив газу	13	28,89			х	х	
Витік в приймальній частині	6	13,33	х		х	х	
Витік в нагнітальній частині	4	8,89	х	х	х		
Низький динамічний рівень	4	8,89			х	х	
Низька посадка плунжера	4	8,89				х	
Прихват плунжера	3	6,67					х
Вириг з замка	3	6,67					х
Витік в прийм. і нагніт. частині	2	4,44	х	х	х	х	
Обрив штанг	2	4,44					х
Витік між плунжером і циліндром	2	4,44					х
Заїдання плунжера	1	2,22		(х)		(х)	
Витік в трубах	1	2,22					х
Всього	45						

Примітки:

1. “х” означає наявність спотворення відповідної ділянки динамограми або зміни масштабу.

2. “(х)” означає можливість наявності спотворення при ході вгору або вниз в залежності від локалізації заїдання плунжера в циліндрі глибинного насоса.

З приведених дефектів доцільно розпізнавати принаймні перших сім, причому стани “вирив з замка” і “обрив штанг”, динамограми яких відрізняються лише постійним зміщенням, можна об’єднати під назвою “відсутність подачі”.

1.2 Конструктивні особливості ШГНУ з точки зору контролепридатності

Значна протяжність підземної частини ШГНУ (до кількох кілометрів) в поєднанні з відносно невеликими діаметрами підземних вузлів (штангова колона – 16...25 мм, колона НКТ – 60...114 мм) обумовлює ускладненість доступу до тих її структурних одиниць, дефекти яких головним чином обумовлюють експлуатаційну надійність ШГНУ. Такими структурними одиницями, як впливає із аналізу дефектів ШГНУ, є штангова колона, глибинний насос та колона НКТ.

З точки зору виявлення основних дефектів максимально точну інформацію про стан глибинного обладнання можна отримати шляхом вимірювання зусилля в точці з’єднання насоса з штанговою колоною (так звана “плунжерна динамограма”, що найбільш повно характеризує особливості роботи глибинного насоса) та контролю напружень (для виявлення недопустимих динамічних навантажень) або геометричних розмірів (для виявлення зносівих явищ) по всій довжині штангової колони та колони НКТ. Зокрема, контроль стану колони НКТ може бути здійснений шляхом опускання товщиномірів (дефектоскопів) в затрубний простір свердловини [8], однак такий метод забезпечує лише періодичний контроль технічного стану і не може бути застосований до штангової колони, на долю якої припадає більша частина дефектів, обумовлених зносом. Стационарне встановлення відповідних давачів безпосередньо на глибинному насосі або розподілено по довжині колони штанг чи НКТ, безумовно, дозволило б отримати найбільш інформативні характеристики для обчислення діагностичних ознак технічного стану ШГНУ, проте не є виправданим з огляду на складність встановлення і обслуговування. Це обумовлено двома основними причинами: по-перше, конструкція вузлів ШГНУ не передбачає спеціально виділених місць для встановлення давачів (тобто неконтролепридатність фактично закладена ще на стадії проектування об’єкту); по-

друге, доступ до давачів, розміщених в підземній частині ШГНУ, можливий лише за допомогою тривалих і трудомістких спуско-підймальних операцій підземного обладнання, що ускладнює як встановлення давачів, так і їх обслуговування та отримання вимірювальної інформації.

Натомість інформацію про стан підземного обладнання можна отримувати головним чином на основі спостереження процесів, що протікають у наземних вузлах, з наступною їх інтерпретацією на підставі деяких математичних моделей або емпіричних правил, що пов'язують процеси у підземній і наземній частинах ШГНУ. На рис. 1.2 приведено структурну схему ШГНУ з вказанням типу зв'язків між її структурними одиницями.

Зрозуміло, що для створення максимально адекватної даній системі математичної моделі необхідно врахувати не тільки рух колони штанг, колони НКТ, рідини у просторі між обсадними трубами та НКТ і рідини всередині НКТ та особливості роботи глибинного насоса, але також закономірності руху наземної частини установки, що обумовлюють закон переміщення верхньої точки колони штанг і залежать від механічних характеристик верстата-качалки і роботи привідного електродвигуна, на яку, в свою чергу, здійснює вплив робота підземного обладнання, на чому і ґрунтується відомий метод діагностування ШГНУ за ватметрографічною інформацією (тобто за кривою потужності електродвигуна). На практиці обмежуються спрощеними моделями, які в принципі дозволяють отримати результати з цілком задовільною степінню точності з точки зору практичного застосування. Іншим варіантом розв'язання даної задачі є встановлення емпіричних залежностей між характеристиками процесів, що вимірюються в наземній частині установки, і технічним станом ШГНУ, головним чином її підземної частини, як правило із застосуванням різного роду алгоритмів розпізнавання.

Розглядаючи структуру наземної частини ШГНУ, можна виділити наступні параметри, на основі яких можна отримати інформацію про стан підземного обладнання:

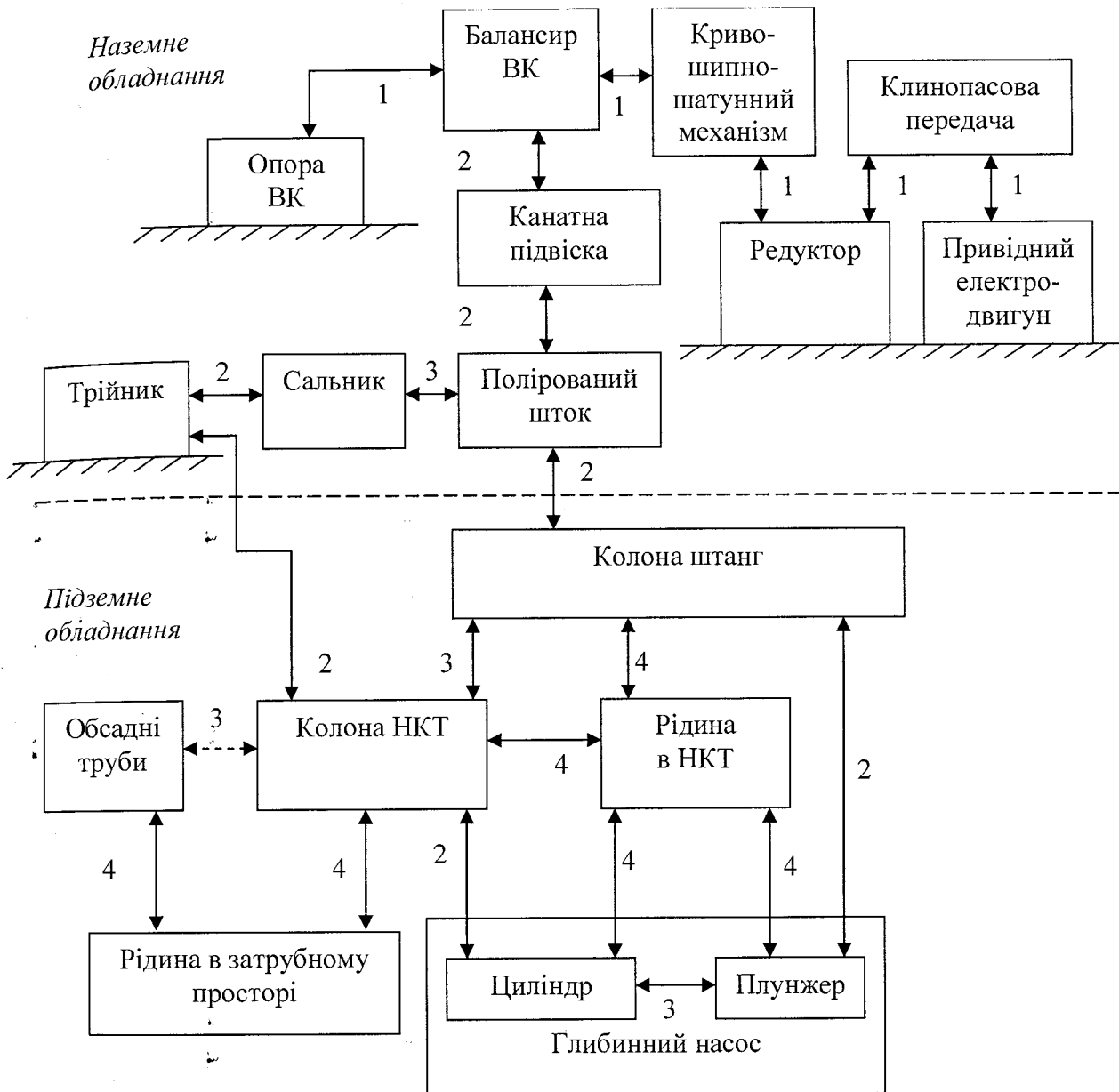


Рис. 1.2. Структурна схема ШГНУ:

- 1 - жорсткий кінематичний зв'язок;
- 2 - пружне з'єднання;
- 3 – сухе і напівсухе тертя;
- 4 – гідродинамічне тертя.

- зусилля на полірованому штоці, що відображає процес зміни навантаження на штангову колону за цикл качання під дією ваги стовпа рідини в колоні НКТ. Цей параметр є основним при динамометруванні – найбільш поширеному методі діагностування ШГНУ;

- зусилля на тросі канатної підвіски, зміна якого відображає зміну зусилля на полірованому штоці, однак з можливими спотвореннями за рахунок нелінійних

властивостей троса та інших особливостей будови підвіски;

- зусилля на балансірі, що також відображає зміну зусилля на полірованому штоці, але також і коливання всієї конструкції наземної частини ШГНУ (які ослаблюються по мірі передачі по тракту балансір-трос-полірований шток, так само як коливання полірованого штока дещо спотворюються при передачі в зворотньому напрямку);

- крутний момент на кривошипі – фактично не використовується в якості інформативного параметра внаслідок незручностей, пов'язаних з його вимірюванням, та меншої інформативності порівняно з вищеназваними параметрами внаслідок додаткових спотворень;

- крутний момент на валу привідного електродвигуна – не використовується з тієї ж причини, додатковим джерелом спотворень є редуктор і клиноремінна передача;

- споживана потужність привідного електродвигуна, що однозначно пов'язана з крутним моментом на валу двигуна; використовується в якості інформативного параметра у ватметрографічному методі діагностування ШГНУ; перевагою використання порівняно з іншими параметрами є, зокрема, простота вимірювання, однак врахування спотворюючого впливу всіх вищерозглянутих ланок потребує додаткових досліджень в цьому напрямі;

- вібрація штангової колони, виміряна на полірованому штоці – в області низьких частот відображає динамічні навантаження, рівень яких опосередковано впливає на зміну степені роботоздатності ШГНУ, в області середніх і високих частот може відображати тертя у підземних (штангова колона – колона НКТ) та наземних (полірований шток - сальник) вузлах ШГНУ, а також наявність дефектів на стадії зародження і раннього розвитку – останнє лише за умови мінімального затухання і спотворення інформативного сигналу в цій області частот, що, імовірно, можливо для вузлів, розміщених достатньо близько від гирла свердловини, однак малоймовірно для більшої частини штангової колони та глибинного насоса, розташованого від гирла на відстані порядку 1 – 2 кілометрів;

- ~~вібрація~~ колони НКТ, виміряна на трійнику – міркування про

248

інформативність цього параметру аналогічні наведеним вище щодо вібрації штангової колони; до складових вібросигналу, обумовлених тертям, додаються складові, обумовлені тертям колона НКТ – рідина в затрубному просторі та колона НКТ - обсадні труби (останнє може мати місце при значній викривленості свердловини);

- витрата рідини у викидній лінії (куди рідина надходить з бокового отвору трійника), що дозволяє визначити фактичну подачу установки, але не причини її відхилення від розрахункової.

1.3 Аналіз методів діагностування ШГНУ

Із розглянутих в 1.2 інформативних параметрів найбільш придатним для отримання діагностичної інформації є зусилля на полірованому штоці, що пояснює широку розповсюдженість традиційного динамометричного методу діагностування ШГНУ.

На сьогоднішній день процес діагностування ШГНУ за динамограмою на нафтовидобувних підприємствах України, як правило, включає наступні етапи: зняття динамограми за допомогою гідравлічного динамографа, ручна обробка (розшифровка) динамограми, прийняття рішення про технічний стан свердловини та необхідні заходи по усуненню дефектів, і, нарешті, реалізація прийнятих рішень, причому всі етапи виконуються різними людьми. Таким чином, між моментом отримання діагностичної інформації та моментом вживання заходів, спрямованих на усунення дефектів, чи принаймні зупинки свердловини до приїзду ремонтної бригади проходить досить багато часу, що негативно позначається на показниках ефективності експлуатації нафтовидобувних свердловин. В зв'язку з цим існує необхідність розробки і впровадження автоматизованих систем діагностування ШГНУ, які повинні забезпечувати видачу оператору рекомендації про зупинку свердловини у випадку наявності небезпечного дефекту або повної втрати роботоздатності, а також спростити оцінку технічного стану і виявлення дефектів та причин, що їх зумовлюють.

Проведений аналіз поточної інформації щодо сучасних систем збору і обробки даних для свердловин, обладнаних ШГНУ, показав, що такі системи орієнтовані або суто на збір даних з метою їх візуальної оцінки на місці та подальшої детальної обробки з використанням комп'ютерної техніки [9, 10, 11, 12], або на вирішення однієї конкретної задачі – контролю періодичного режиму відкачки малодебітних свердловин, як правило, в автоматичному режимі [13, 14, 15, 16], або на всебічний аналіз вимірювальної інформації від значної кількості стаціонарно розміщених датчиків (навантаження, рівня рідини в затрубному просторі, потужності привідного електродвигуна, дебіту свердловини) з метою оптимізації режимів роботи ШГНУ [17, 18]. При цьому відсутні відомості про наявність достатньо простих і недорогих засобів динамометрування з можливістю автоматичного діагностування технічного стану ШГНУ.

Розробка методів автоматизованого визначення технічного стану ШГНУ проводилася ще в 60-х – 80-х рр. ХХ ст. Серед них слід окремо виділити методи автоматичного визначення стану відкачки (опускання динамічного рівня нижче допустимого):

1) за значенням навантаження при певному значенні переміщення, що відповідає початку ходу вниз (“метод контрольної точки”) [19, 20];

2) за площею динамограми [21, 22], з різними модифікаціями, наприклад, за площею між нульовою лінією та частиною динамограми, що відповідає ходу вниз [23];

3) на основі прямого вимірювання рівня рідини в затрубному просторі [24, 25];

4) за часом ходу вниз порівняно з часом, що витрачається при нормальній роботі установки [26] – ґрунтується на залежності між навантаженням привідного електродвигуна і швидкістю його обертання;

5) за різницею фаз між струмом і напругою привідного електродвигуна на початку ходу вниз [27] – ґрунтується на залежності між зсувом фаз і моментом на валу двигуна;

6) за рівнем вібрації верстата-качалки [28] – ґрунтується на виявленні явища

удара плунжера об рідину при відкачці динамічного рівня, що спричиняє значні вібраційні навантаження.

Серед методів, що забезпечують власне діагностування (віднесення технічного стану ШГНУ до одного із відомих класів) можна вказати наступні.

1. Метод напівавтоматичного розпізнавання несправностей [21] передбачає визначення координат семи характерних точок з наступним обрахунком ряду теоретичних і фактичних параметрів динамограми, за співвідношеннями між якими відбувається визначення технічного стану ШГНУ. Метод вимагає знання близько 120 параметрів свердловини і може бути безпосередньо застосований лише для тихохідних режимів роботи. Застосування цього методу до динамограм із значною динамікою викликає певні складності, оскільки поняття “положення характерної точки” в застосуванні до таких динамограм не є чітко визначеним, що не сприяє розробці достатньо стійких алгоритмів пошуку цих точок.

2. Детерміновано-статистичний метод [29] в якості вихідної інформативної ознаки використовує довжини нормалей між точками, розташованими на бокових сторонах квадрата, в який вписується динамограма, і відповідними точками на лініях сприйняття і зняття навантаження на динамограмі. Отримана послідовність розкладається в ряд по заданій системі функцій, причому ці функції задаються на основі деякого оптимального критерію якості, що визначається за статистичними властивостями навчальної вибірки. На основі отриманих коефіцієнтів розкладу відбувається визначення технічного стану на основі розпізнавання образів. Метод дозволяє розрізнити лише 4 класи технічного стану ШГНУ (нормальна робота, витік в нагнітальній частині, витік в приймальній частині, незаповнення насоса). Як і описаний вище метод, він передбачає попереднє виділення на динамограмі ділянок сприйняття і зняття навантаження.

3. Метод автоматичного розпізнавання несправностей [21] полягає в обчисленні 12 ознак на основі проекцій векторів, що з'єднують характерні точки досліджуваної і еталонної динамограм. Еталонна динамограма, виміряна за умов нормальної роботи ШГНУ, згладжується, апроксимується чотирма параболічними кривими і зберігається в пам'яті у вигляді 12 коефіцієнтів цих кривих. Аналогічні дії

проводяться над досліджуваною динамограмою. Достовірність цього методу значною мірою залежить від точності визначення характерних точок, що особливо складно для динамограм із значною динамікою, тобто для розширення області застосування методу необхідний попередній перерахунок наземної динамограми в плунжерну.

4. Метод різницевої кривої [30] базується на властивості симетрії ділянок ходу вгору і вниз для динамограми нормальної роботи ШГНУ. Діагностичною ознакою є кількість і довжина інтервалів знакопостійності різницевої кривої, яка отримується шляхом віднімання ділянки динамограми при ході вгору від інвертованої ділянки ходу вниз, причому за нульові рівні прийняті рівні початкових точок відповідних ділянок. Метод дозволяє певною мірою компенсувати спотворюючий вплив динамічних навантажень і забезпечує розпізнавання основних класів несправностей насосного обладнання (хоча, наприклад, стани “обрив штанг” і “прихват плунжера” не ідентифікуються) та приблизну оцінку коефіцієнта наповнення глибинного насоса. Однак, згідно результатів випробувань методу, наведених в [21], імовірність правильного розпізнавання стану складає 68%, що недостатньо для практичного застосування.

5. Спектральний метод розпізнавання, що використовує для формування вектора ознак коефіцієнти розкладу сигналу навантаження в спектр Фур'є, був вперше запропонований в [31]. В роботі [32] пропонується вдосконалення цього методу, причому інваріантність до паралельного переносу і зміни масштабів осей координат забезпечується шляхом ділення коефіцієнтів амплітудного спектру на амплітуду першої гармоніки сигналу і зсуву коефіцієнтів фазового спектру відносно фази першої гармоніки у відповідне число разів. В якості міри подібності використовується евклідова відстань між досліджуваним і еталонними векторами ознак. Наведені розрахунки виконані лише для трьох основних класів динамограм, крім того, не описано, яким чином формуються еталонні класи та не висвітлено вплив залежності форми динамограми від експлуатаційних параметрів ШГНУ на достовірність розпізнавання.

6. Метод визначення стану ШГНУ на основі експертної діагностики [33] в

якості діагностичних ознак використовує два коефіцієнти, що обраховуються як співвідношення дійсних та номінальних максимальних навантажень і часу напрацювання. Стан установки визначається як “добрий” або “задовільний” в залежності від положення точки у двомірному просторі цих ознак, причому дискримінантна функція алгоритму розпізнавання обчислюється за адаптивним алгоритмом методу потенціальних функцій у площині ознак. Очевидним недоліком методу є неможливість визначення конкретних дефектів, хоча в принципі він може бути застосований для вирішення іншої задачі – прогнозування технічного стану ШГНУ.

7. Те саме можна зауважити відносно вібраційного методу діагностування ШГНУ [34], що використовує відношення логарифмічних декрементів затухання автокореляційної функції вібраційного сигналу на інтервалах сприйняття і зняття навантаження в якості показника запасу роботоздатності ШГНУ. Метод ґрунтується на залежності характеру автокореляційної функції від шумових властивостей сигналу, які, в свою чергу, певним чином залежать від степені зносу обладнання, на підставі чого діагностична ознака служить числовою характеристикою степені зносу.

Всі перераховані методи мають обмеження або по кількості станів, що розпізнаються, або по допустимій степені динамічності режиму експлуатації ШГНУ, що забезпечує необхідну достовірність розпізнавання.

1.4 Аналіз технічних засобів діагностування ШГНУ

За час розвитку динамометричного методу діагностування ШГНУ, тобто від 40-х років ХХст.і по сьогоднішній день, технічні засоби його реалізації поступово вдосконалювались як стосовно точності, так і щодо зручності у використанні та можливостей автоматизації. Незважаючи на розробку нових конструкцій давачів навантаження, сьогодні переважна більшість українських НГВУ використовують з метою оцінки технічного стану ШГНУ гідравлічний динамограф конструкції Мінінзона, розроблений ще в 50-х роках. Конструкція гідравлічного динамографа

орієнтована на відтворення динамограми на паперовій стрічці. Сучасні тенденції автоматизації в нафтовидобувній галузі призвели до необхідності розробки пристроїв динамометрування, які, з одного боку, можуть входити до складу систем управління роботою ШГНУ, з іншого – забезпечувати запис і зберігання інформації в цифровій електронній формі з можливістю її переносу до персонального комп'ютера для подальшої обробки і зберігання в базах даних. Використання з цією метою гідравлічних динамографів потребує ускладнення їх конструкції шляхом введення додаткових первинних і вторинних перетворювачів для перетворення вихідного сигналу (тиску) в електричний. Тому сучасні засоби динамометрування переважно побудовані за принципом вимірювання деформацій чутливого елемента за допомогою тензорезистивних давачів. На даний час існують різноманітні конструкції пристроїв динамометрування, які використовуються як автономно для оперативної діагностики ШГНУ, так і стаціонарно встановлюються на свердловині і входять до складу автоматизованих систем управління процесом нафтовидобутку. Досить часто в одному пристрої конструктивно об'єднані давачі навантаження і переміщення.

Існуючі конструкції давачів навантаження відповідно до місця їх встановлення можна виділити в наступні групи:

- 1) вставні між траверсами канатної підвіски;
- 2) накладні на полірований шток;
- 3) накладні на балансир ВК;
- 4) накладні на канатну підвіску.

Давачі першого типу (load cells) є найбільш близькими до традиційних гідравлічних динамографів і мають спільну з ними перевагу порівняно з давачами всіх інших типів – можливість вимірювання навантаження в абсолютних значеннях. Для гідравлічних динамографів це досягається за рахунок трудомістких операцій встановлення пристрою між траверсами канатної підвіски. Значна кількість сучасних вставних динамографів мають вбудовані засоби монтажу на зразок гідравлічних підйомників чи клинових домкратів. Чутливим елементом динамографа є металева вставка у вигляді кільця або підкови, яка розміщується в

підвісці колони штанг. Деформація цього елемента, пропорційна навантаженню на колону штанг (що включає і вагу колони штанг), вимірюється, як правило, з використанням тензорезисторів. Кількість тензорезисторів – не менше двох, із розміщенням їх на протилежних сторонах чутливого елемента для компенсації нерівномірності навантаження. Вихідний сигнал напруги передається для подальших перетворень до різноманітних контролерів і блоків реєстрації.

Для прикладу на Рис. 1.3 приведена конструкція вставного динамографа фірми Echometer Co [35] (вперше подібна конструкція була запропонована в [36]). Вставний елемент 4 стаціонарно встановлюється в канатній підвісці. При динамометруванні в нього вставляється пристрій, який в проекції має форму підкови і включає чутливий елемент 1 і гідравлічний підйомник 2. Між чутливим елементом і вставкою 4 існує невеликий проміжок. За допомогою гідравлічного підйомника чутливий елемент притискається до верхньої частини вставки 4, після чого вставляється пластина 3, і підйомник опускається. В результаті вся вага штангової колони прикладається до чутливого елемента. Приведена похибка пристрою складає до 0.5% при діапазоні вимірюваних навантажень 0...12т. В якості первинного перетворювача використовуються 12 тензорезисторів, схема розміщення яких дозволяє зменшити похибку від неточностей монтажу. Пристрій включає акселерометр для вимірювання переміщення полірованого штока, яке отримується шляхом подвійного інтегрування сигналу акселерометра за допомогою програмного забезпечення. Програмне забезпечення дозволяє також отримувати глибинну динамограму за наземною, здійснювати тест клапанів, обраховувати за динамограмою навантаження на валу привідного електродвигуна.

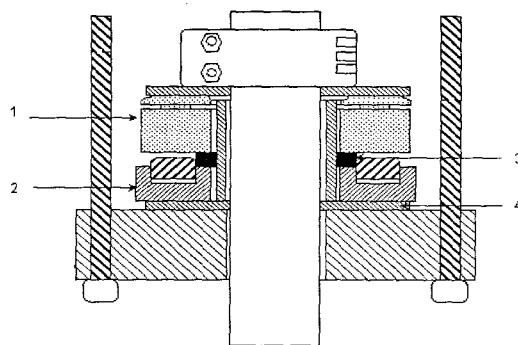


Рис. 1.3. Конструкція вставного динамографа

Давач навантаження Model 1923 Series Loadrol [37], який використовується в системі контролю відкачки Diamond Series, забезпечує вимірювання навантажень в діапазоні 0...25т з похибкою 0.5%. Переміщення вимірюється за допомогою інклінометра. Контролер відкачки стаціонарно встановлюється на свердловині і має можливість виводу динамограм на рідкокристалічний дисплей та передачі даних до комп'ютера.

Фірмою SAC Inc. (США), яка відома розробкою контролерів для управління роботою ШГНУ (Model 2000 RPC, Model 8800 RPC, EXS-1000 POC, CS7X) [38], виготовляються як міжтраверсні давачі навантаження [39], так і накладні на полірований шток [40]. Міжтраверсні давачі відзначаються високою точністю (до 0.5%) і стійкістю до впливу зовнішніх умов (температура, вологість, електричні розряди, агресивні середовища). Для накладного давача приведена похибка складає 0.5...1% в діапазоні температур $-50...+100^{\circ}\text{C}$. По замовленню він може постачатись як в комплекті з давачем переміщення на базі акселерометра, так і без нього. Для комунікації з контролером використовується протокол MODBUS або власний протокол SAC 8500 чи SAC 8800 в залежності від типу контролера.

Серед російських фірм – виробників динамографів слід назвати НПВО “Сіам”, ВАТ “Мікон”, “Інтек”, “Квантор” та деякі інші [41]. Розглянемо характеристики деяких вставних динамографів.

Стаціонарний динамограф Мікон-802 [42] встановлюється між траверсами канатної підвіски і конструктивно об'єднаний в одному корпусі з давачем положення. Робота в неперервному режимі в комплексі з АСУ дозволяє оперативно контролювати роботу ШГНУ. Діапазон вимірюваних навантажень складає 0...10т, похибка вимірювання навантаження – 1%, діапазон вимірюваних переміщень – 0...4,5м. Зв'язок з контролером здійснюється по уніфікованому каналу RS-485. Програмне забезпечення, яке призначене для роботи як із розглянутим динамографом, так і з іншими засобами контролю ШГНУ виробництва цієї ж фірми, забезпечує зчитування даних з блоку реєстрації, редагування параметрів заміру, формування звітів і експорт даних в різні формати та діагностування несправностей у роботі ШГНУ.

Динамографи серії СІДДОС виробництва ТНПВО “Сіам” [9] забезпечують автоматизацію контролю динамограм в робочому стані і при виводі ШГНУ на режим, контроль витоків в насосному обладнанні за допомогою тесту клапанів. Результати вимірювань можуть бути виведені на індикацію, роздруковані на мікропринтері, який входить в комплект пристрою, або передані в базу даних на персональному комп’ютері. Давач навантаження має дві модифікації: ДПНЗ з межами вимірювань 0...10т, монтаж якого виконується за допомогою власного клинового домкрата без розвантаження підвіски колони штанг, та ДПН-П з межами вимірювань 0...20т, монтаж якого вимагає попереднього розвантаження колони штанг. Динамографи забезпечують роздільну здатність по навантаженню 100Н [43]. До складу обох пристроїв входить давач переміщення.

Мобільний апаратно-програмний комплекс діагностики свердловин “Квантор-3” [18] забезпечує виконання повного циклу досліджень нафтових свердловин (динамометрування, ехометрування, контроль збалансованості та ін.) і складається із блоку прийому і обробки на базі мобільного комп’ютера та вимірювальних давачів. Система включає три модифікації вставних динамографів – з електронно-механічним давачем положення, з акселерометром та зйомний (без давача переміщення). Встановлення давачів потребує попереднього розвантаження колони штанг.

Принцип дії давача, накладного на полірований шток, полягає у вимірюванні поперечної деформації полірованого штока під дією динамічних навантажень. Огляд патентів свідчить, що накладні давачі розроблялися ще у 70-х рр. ХХ ст., однак були орієнтовані на вимірювання поздовжньої деформації штока [44, 45] і не набули широкого розповсюдження. Основна проблема при такому способі вимірювання полягає в тому, що кріплення давача повинно забезпечувати неможливість просковзування при поздовжній деформації колони штанг, чого практично досягти досить складно.

Поперечна деформація пов’язана з поздовжньою, яка є наслідком навантаження на колону штанг, через коефіцієнт Пуассона, який для сталі складає $\mu \approx 0.3$, тому чутливість накладних давачів лише втричі менша за чутливість

вставних, при тому, що їх установка на об'єкті є більш простою і безпечною. Однак для вимірювання навантажень в абсолютних значеннях за допомогою такого давача так само необхідна операція розвантаження колони штанг для визначення ваги штанг. В принципі вага штанг може бути розрахована і теоретично, якщо відомий динамічний рівень рідини в затрубному просторі і конструкція колони штанг, однак точне її врахування при побудові динамограми ускладнюється наявністю тертя та можливих дефектів насосного обладнання. Однак для діагностування найбільш поширених дефектів має значення, як правило, лише форма динамограми, відтворення якої при використанні накладних на полірований шток давачів є так само гарантованим, як і для вставних динамографів. Типова конструкція давача накладного типу приведена на Рис. 1.4. Деформація чутливого П-подібного елемента вимірюється за допомогою наклеєних на нього тензорезисторів. Використання тензорезисторів зменшує габаритні розміри механічних вузлів давача і в більшості випадків спрощує його конструкцію, але разом з тим породжує і ряд відомих проблем, серед яких значна залежність від теплових ударів, низька стійкість до дії парів та рідин, руйнування клеєвих з'єднань (повзучість), тощо[46]. Для забезпечення точності вимірювань близько 0.5% за кордоном використовують напівпровідникові тензомостові структури, виконані за інтегральною технологією в умовах серійного виробництва.

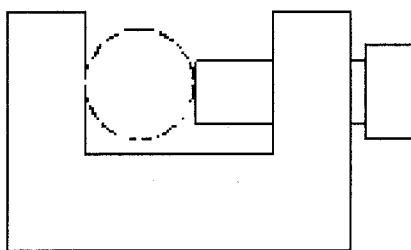


Рис. 1.4. Конструкція давача, накладного на полірований шток

Характеристики деяких накладних давачів навантаження приведені в табл. 1.2. Всі ці пристрої призначені для оперативного контролю технічного стану ШГНУ і мають приблизно однакові функціональні можливості: вимірювання і запис динамограм в пам'ять пристрою, вивід динамограми на рідкокристалічний індикатор

та передачу даних до комп'ютера. Пристрої ДН-9 [47], Микон-101 [48] та УДС-25ДЭ [49] містять, крім динамографа, ехолот для вимірювання рівня рідини в затрубному просторі.

Таблиця 1.2 – Характеристики накладних давачів навантаження

Давач	Виробник	Діапазон вимірюваних навантажень	Точність	Маса (габарити)
ДН-9	Интек	50 т	допустима межа приведеної похибки 5% (роздільна здатність 10кг)	500×300×140
Микон 101-00		12 т	допустима межа приведеної похибки 5%	7.6 кг
УДС-25-1	В-1336	10т	допустима межа приведеної похибки 1.5%	8 кг
СИДДОС	ТНПВО “Сіам”	10 т	роздільна здатність 10 кг	2.8 кг
(Beam Sensor)	САС	не вказ.	приведена похибка 0.5...1.0%	не вказ.

Для обох розглянутих типів динамографів вимірювані деформації є досить незначними (наприклад, для давача накладного типу при діаметрі полірованого штока 22мм деформація від навантаження в 1 тону складатиме біля 1 мкм), в зв'язку з чим їх роздільна здатність по навантаженню обмежується похибками, які вносяться вимірювальною частиною, насамперед температурними.

Принцип дії давачів, які кріпляться на балансир верстата-качалки, полягає у вимірюванні деформації згину балансира, зумовленої прикладеним до нього навантаженням. Аналітичну залежність між деформацією балансира і навантаженням на полірований шток розглянуто, наприклад, в [50]. При вимірюванні деформації балансира довжина чутливого елемента може бути вибрана

досить значною порівняно з давачами перших двох розглянутих типів, для яких розмір чутливого елемента обмежується конструктивними особливостями ШГНУ (наприклад, установка вставного динамографа призводить до піднімання плунжера в циліндрі насоса на величину, рівну висоті чутливого елемента, що, взагалі кажучи, зумовлює роботу ШГНУ в процесі вимірювання в режимі, дещо відмінному від робочого, тому розмір чутливого елемента повинен бути мінімальним). В зв'язку з цим вимірювані деформації є значно більшими, що дозволяє використати інші типи перетворювачів переміщення, більш стійкі до експлуатаційних умов, та досягти більшої роздільної здатності по навантаженню, хоча результуюча деформація балансира включає не тільки складову, зумовлену навантаженням на полірований шток, але й складову, що виникає внаслідок коливань верстата-качалки. Балансирні давачі, як правило, використовуються у складі стаціонарних систем динамометрування [51, 52], що пов'язано з відносною складністю їх установки і регулювання порівняно з давачами всіх інших типів.

Зокрема, давач навантаження, який закріплюється на балансири, застосовується в контролері System 60 [20] фірми Delta-X (що входить до складу Lufkin Automation, як і корпорація Nabla, також відома розробкою і впровадженням засобів контролю ШГНУ). Давач має функцію автоматичного коректування нуля для компенсації температурних змін. Для вимірювання переміщення полірованого штока використовується інклінометр, давач кутового положення або безконтактний перемикач, який вимірює початкову позицію кривошипа. Контролер відключає установку при виявленні стану відкачки на заданий період часу, який розраховується на основі інформації про час відкачки і простою за останні 24 години. Динамометрична інформація виводиться на графічний дисплей та зберігається в пам'яті контролера.

Існують повідомлення про розробку динамографів, накладних на канатну підвіску, наприклад, виробництва D-Jax Corp. (США) [53]. Такий динамограф забезпечує відтворення форми динамограми з точністю, достатньою для якісної оцінки роботи ШГНУ, хоча і недостатньою для детального кількісного аналізу, що зумовлено різними факторами, наприклад, крутильними деформаціями канату, що

вносять додаткову похибку.

Ще одним варіантом отримання динамограми є перерахунок її із ватметрограми - кривої потужності на валу привідного електродвигуна. Із ватметрограми, крім інформації про навантаження на полірований шток, можна також отримати інформацію про стан наземного обладнання, тому деякі системи контролю ШГНУ включають можливість вимірювання потужності або принаймні струму електродвигуна [20,54], а, наприклад, контролер ТК-166 ("Промавтоматика", Росія) в якості основної діагностичної ознаки для визначення технічного стану ШГНУ використовує саме ватметрограму [55]. Однак з цієї ж причини (вплив наземного обладнання), тобто внаслідок дії значної кількості додаткових факторів, які впливають на форму ватметрограми, метод перерахунку ватметрограми в динамограму забезпечує меншу точність, ніж безпосереднє вимірювання навантажень у вузлах ШГНУ, тому такий метод на даному етапі можна розглядати скоріше як допоміжний. Зокрема, у стаціонарній системі автоматичного управління ШГНУ – РСМ (Pump Card Monitor) [56] ватметрування використовується для реалізації альтернативного методу діагностування при виході з ладу давача навантаження.

Підсумовуючи викладену інформацію, можна зробити наступні висновки [57]:

1) кожна із розглянутих конструкцій давачів навантаження має певні переваги і недоліки, які визначають переважну область їх застосування: для оперативного контролю – накладні на полірований шток або канатну підвіску (останні менш поширені), а також міжтраверсні та традиційні гідравлічні; для стаціонарних систем контролю технічного стану та управління процесом нафтовидобутку – накладні на балансир або міжтраверсні;

2) найвищу точність при вимірюваннях навантаження забезпечують зараз міжтраверсні динамографи, які також дозволяють отримати динамограму в абсолютних значеннях, на відміну від давачів всіх інших типів;

3) апаратно-програмне забезпечення сучасних пристроїв динамометрування включає: а) сукупність давачів і первинних перетворювачів; б) мікропроцесорний модуль для організації процедури вимірювання, зберігання та індикації результатів

та передачі даних до ПК; в) програмне забезпечення ПК для прийому і обробки вимірювальної інформації та інтегрування результатів обробки в глобальні АСУ нафтопромислів;

4) існує тенденція до створення комплексних систем і пристроїв, що забезпечують одночасне вимірювання кількох величин (динамограма+рівень, динамограма+ватметрограма і т.д.).

1.5 Обґрунтування і вибір напрямку досліджень

Для подальших досліджень було вибрано динамометричний метод діагностування як такий, що використовує найменш спотворені дані про стан підземного обладнання порівняно з іншими способами отримання діагностичної інформації. Незважаючи на численні дослідження та тривалий досвід експлуатації цього методу, можна виділити наступні задачі, розв'язання яких дозволить покращити якість діагностування.

1. Дослідити можливість підвищення достовірності діагностування за рахунок оптимального вибору способу формування вектору ознак та методології розпізнавання технічного стану.
2. Дослідити інформативність сигналу переміщення полірованого штоку з точки зору впливу на якість діагностування ШГНУ.
3. Розробити метод визначення коефіцієнту тертя, що забезпечував би прийнятну степінь точності в поєднанні з мінімальною технологічною складністю в реалізації.
4. Розробити конструкцію первинного перетворювача динамометричного давача та систему оперативного діагностування на його основі.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ

2.1 Методологічні принципи діагностування ШГНУ

На підставі проведеного в 1.3 аналізу можна стверджувати, що недосконалість існуючих методів діагностування ШГНУ пояснюється деякою односторонністю кожного з використаних підходів. З одного боку, методи, що використовують логічні ознаки опису форми динамограми, значною мірою залежать від точності визначення положення так званих “характерних точок” і виявляються нестійкими до наявності шумів та динамічних навантажень. З іншого боку, методи, що базуються на загальних підходах теорії розпізнавання образів, не враховують особливостей розміщення класів технічних станів у просторі ознак в залежності від технологічних параметрів і режимів роботи свердловини, а також степені розвитку дефектів; не обґрунтовано способи формування векторів ознак та еталонних класів.

Для створення роботоздатного алгоритму діагностування технічного стану ШГНУ необхідно забезпечити:

- інваріантність до параметрів обладнання, режимів роботи та особливостей свердловини;
- спосіб формування і мінімальну розмірність вектора ознак, що забезпечує збереження достатньої для постановки діагнозу інформації про характерні особливості форми динамограми;
- простий спосіб формування еталонних векторів ознак;
- максимально ефективний класифікатор (правило розпізнавання);
- у випадку дефектів з різною степенню заповнення насоса – достовірність віднесення технічного стану до відповідного класу незалежно від степені заповнення, але з можливістю її обрахунку.

Розглянемо динамограму нормальної роботи ШГНУ (Рис. 2.1) з метою виявлення параметрів, щодо яких слід забезпечити інваріантність.

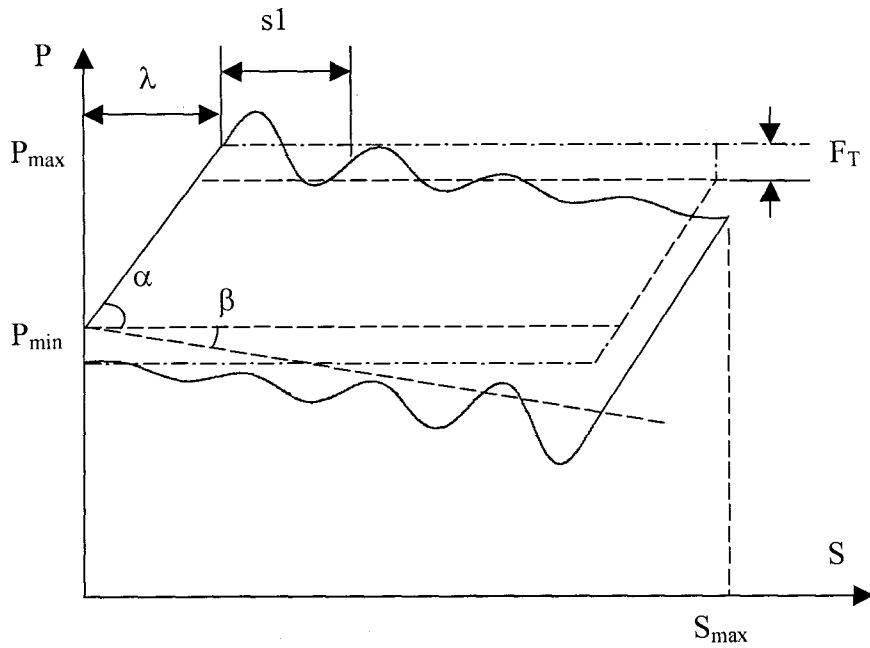


Рис. 2.1. Динамограма нормальної роботи ШГНУ

Для ідеалізованої паралелограмної динамограми такими параметрами є мінімальне і максимальне навантаження P_{min} і P_{max} , довжина ходу S_{max} та сумарна деформація штангової колони і колони НКТ λ .

У відомому методі діагностування [21, 32] на основі розкладу динамограми в ряд Фур'є інваріантність отриманих діагностичних ознак до зміщення нульової лінії та масштабу навантаження забезпечується шляхом ділення коефіцієнтів амплітудного спектру на амплітуду першої гармоніки сигналу і зсуву коефіцієнтів фазового спектру відносно фази першої гармоніки у відповідне число разів. Слід зауважити, що той самий результат можна отримати за допомогою нормалізації вихідної динамограми шляхом віднімання середнього значення та ділення на середньоквадратичне відхилення. В цьому випадку інваріантною до абсолютних значень навантаження буде як часова форма представлення динамограми, так і спектральна, причому останнє впливає із властивості лінійності перетворення Фур'є.

Взагалі інформація про абсолютні значення навантаження необхідна для визначення наявності лише таких дефектів, як обрив(відкручення) штанг, витік в трубах та витік між плунжером і циліндром. Ознакою наявності цих дефектів буде значення максимального навантаження, менше за теоретичну вагу штанг (для

обриву) або значення різниці між максимальним і мінімальним навантаженням, менше за теоретичну вагу рідини (для витоків) за умови попереднього згладжування власних коливань або обрахунку плунжерної динамограми. Таким чином, процес діагностування можна розбити на два етапи, на першому з яких перевіряти наявність вказаних дефектів, а на другому застосовувати методи розпізнавання, чутливі лише до форми аналізованого сигналу.

Для ідеалізованої паралелограмної динамограми (штрихова лінія на Рис. 2.1) при фіксованих мініальному і максимальному навантаженнях P_{min} , P_{max} її форма цілком визначається одним параметром – кутом нахилу ліній сприйняття і зняття навантаження α . Він залежить від співвідношення між вагою рідини в колоні НКТ та деформацією штангової колони і колони НКТ під дією цієї ваги, тобто визначається головним чином конструкцією (довжинами і діаметрами ступенів) штангової колони і колони НКТ, які залежать від глибини спуску насоса. Вага рідини, крім того, залежить від рівня і густини рідини в затрубному просторі свердловини та густини рідини всередині колони НКТ. Кут α є важливим діагностичним параметром, оскільки його зміна відносно теоретичного найчастіше свідчить про наявність дефектів.

Величина сил тертя, що визначає віддаль F_T ліній постійного навантаження при ході вгору і вниз від теоретичних, залежить від характеристик рідини, що видобувається, та конфігурації (викривленості) стовбура свердловини. Врахування цього параметра є важливим при визначенні кількісної характеристики роботи свердловини – коефіцієнту наповнення глибинного насоса. При реалізації алгоритму діагностування за формою плунжерної динамограми коефіцієнт тертя також повинен бути відомим, оскільки в протилежному випадку форма плунжерної динамограми виявляється дещо спотвореною.

Співвідношення між довжиною динамограми S_{max} і періодом власних коливань штангової колони s/l визначається в сукупності глибиною спуску насоса, довжиною ходу і кількістю качань за хвилину. Характеристики власних коливань штангової колони (їх амплітуда, характер затухання при ході вгору і вниз) в принципі можуть відображати наявність дефектів глибинного обладнання, але більш

доцільним представляється їх згладжування чи фільтрація з метою чіткішого виявлення більш характерних ознак дефектів, які характеризують форму динамограми в цілому.

Кут інерційного повороту динамограми β залежить від маси та прискорення рухомих частин підземного обладнання і тому визначається всією сукупністю свердловинних і технологічних параметрів, включаючи, крім згаданих вище, також кінематичні параметри верстата-качалки, від яких залежить закон зміни прискорення точки підвісу штангової колони [2, 58]. При розгляді плоскої кривої $P(S)$ інерційний поворот не змінює форми динамограми, однак, якщо для формування вектора ознак використовувати сигнал навантаження, дискретизований в часі, цей ефект виявляється в появі додаткової низькочастотної складової, що може дещо спотворити інформативні низькочастотні складові, які описують форму динамограми.

Серед розглянутих параметрів динамограми нормальної роботи найважливішим є кут нахилу ліній сприйняття і зняття навантаження, або відношення λ/S (що однозначно визначає кут нахилу за умови нормалізації динамограми). Для забезпечення інваріантності еталону відносно цього параметра можна або формувати окремий еталон для кожної свердловини з врахуванням її параметрів, або використовувати такий спосіб формування вектора ознак, що гарантуватиме незалежність елементів цього вектора від параметрів свердловини і ШГНУ.

Що стосується вектора ознак, можна вказати наступні способи його формування:

- 1) дискретизована в часі динамограма;
- 2) дискретизована в часі різницева крива;
- 3) коефіцієнти розкладу по деякій системі функцій.

Основна перевага використання дискретизованої в часі динамограми полягає у відсутності додаткових обчислень для формування вектора ознак. В якості еталонної динамограми нормальної роботи може бути використана реальна динамограма, знята відразу після ремонту свердловини. В цьому випадку еталони технічних станів

при наявності дефектів повинні будуватися на основі цієї динамограми шляхом внесення деформацій, характерних для цих дефектів, або шляхом розв'язку диференціальних рівнянь коливного руху ШК ШГНУ при крайових умовах, що описують закономірності прикладення сил до нижнього кінця колони при наявності дефектів.

При так званих динамічних режимах роботи ШГНУ, що характеризуються таким поєднанням глибини спуску насоса, довжини ходу і кількості качань, що сприяють виникненню значних динамічних навантажень (вібрацій, власних і вимушених коливань) на протязі циклу качання ШГНУ, динамограма, знята в точці підвісу штанг, є у значній мірі спотвореною. З метою розширення області застосування динамометричного методу для динамічних режимів ще в 50-х роках були розроблені методи перерахунку наземної динамограми в плунжерну на основі наступного хвильового рівняння руху колони штанг ШГНУ [59, 60, 78]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - b \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (2.1)$$

де $u(x,t)$ – переміщення точки, розташованої на відстані x від гирла свердловини, в момент часу t ; a – швидкість звуку в матеріалі штанг, b – коефіцієнт тертя. Вихідними даними для розрахунку плунжерної динамограми є інформація про конструкцію штангової колони та колони насосно-компресорних труб (довжини і діаметри ступенів колони) та динамограма (синхронно виміряні значення навантаження і переміщення за цикл качання), знята в точці підвісу штанг. Навантаження на нижньому кінці штангової колони визначаються за відомими формулами Вірновського [78]:

$$u(x,t) = \frac{1}{2} \left[u_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + u_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right] - \frac{1}{2} \frac{c}{Ef} \int_{-\frac{x}{c}}^{\frac{x}{c}} P_1(t+\tau) e^{a\tau} d\tau,$$

$$P(x,t) = \frac{1}{2} \left[P_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + P_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right] - \frac{1}{2} \frac{Ef}{c} \left[v_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + v_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right] - \frac{1}{2} \frac{Ef}{c} a \left[u_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + u_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right], \quad (2.2)$$

$$v(x,t) = \frac{1}{2} \left[v_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + v_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right] - \frac{1}{2} \frac{c}{Ef} \left[P_1 \left(t + \frac{x}{c} \right) e^{v_1 x} + P_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-v_1 x} \right] + \frac{1}{2} a \frac{c}{Ef} \int_{\frac{x}{c}}^{\frac{x}{c}} P_1(t + \tau) e^{a\tau} d\tau.$$

За умови вимірювання переміщення полірованого штока швидкість отримується як результат чисельного диференціювання переміщення. Оскільки процедура чисельного диференціювання з математичної точки зору є некоректною, то наявність шумів у сигналі переміщення призводить до спотворення результату диференціювання та остаточного результату обрахунків за формулами (2.2), в зв'язку з чим необхідне додаткове згладжування сигналу швидкості. Іншою умовою отримання коректних результатів є правильність абсолютних значень навантаження. Так, наявність мультиплікативної похибки (зумовленої, наприклад, зміною чутливості давача навантаження внаслідок впливу температури чи нерівномірності прикладення навантаження) призводить до спотворення плунжерної динамограми, що візуально виглядає як поворот на деякий кут. Наявність адитивної похибки (якої неможливо уникнути при використанні давача навантаження накладного типу) призводить до аналогічного зміщення по осі навантаження результуючої плунжерної динамограми, що не впливатиме на результат діагностування при врахуванні лише форми динамограми.

Для якісного аналізу при заданні параметрів a і b в принципі допустима деяка довільність, оскільки задачею такого аналізу є лише виявлення характерних дефектів ШГНУ і приблизна оцінка їх кількісних характеристик. Однак для проведення кількісного аналізу (наприклад, обрахунку коефіцієнтів наповнення і подачі) важливого значення набуває точність визначення параметрів моделі, яка використовується при обрахунку плунжерної динамограми. Питання визначення швидкості поширення деформацій в штангах

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2.3)$$

де E – модуль Юнга, ρ – густина матеріалу штанг, розглядається, зокрема, в [61], де вказані поправочні коефіцієнти для штанг різних типорозмірів, що враховують зміну жорсткості і маси штанг внаслідок наявності висадок і муфт

порівняно із розрахованою за (2.3) для однорідного стержня. Проблема визначення коефіцієнта тертя b розглядатиметься у розділі 2.4.

На відміну від методу, запропонованого в [30], де в якості класифікаційних ознак використовуються деякі характеристики різницевої кривої, в якості вектора ознак можна використовувати і саму різницеву криву, дискретизовану в часі. Слід, однак, вказати, що тривалість ходу вгору і вниз, строго кажучи, різна внаслідок залежності між швидкістю і навантаженням на валу привідного електродвигуна ШГНУ, тому для коректності алгоритму обрахунку різницевої кривої необхідно враховувати цю обставину, наприклад, додатковим нормуванням по осі часу.

В зв'язку з цим можна запропонувати в якості діагностичної ознаки “модифіковану” різницеву криву – результат віднімання реальної динамограми від еталонної. В якості еталонної динамограми в такому випадку слід використовувати лише реальну динамограму нормальної роботи. Тоді, навіть якщо вихідними даними для розрахунку еталонів будуть ідеалізовані паралелограмні динамограми (тобто еталонами будуть різницеві криві між еталоном дефекту і еталоном нормальної роботи), за рахунок деякої компенсації власних коливань отримана модифікована різницева крива буде більш подібною до еталонної модифікованої різницевої кривої, ніж первинна динамограма до еталонної паралелограмної. Ілюстрація наведених міркувань приведена на Рис. 2.2, де для прикладу розглянуто еталонні та реальні динамограми для свердловини №8 Бориславського родовища НГВУ “Бориславнафтогаз”. При цьому коефіцієнт кореляції між різницевими кривими складає 0,867, в той час як між вимірною та еталонною динамограмами – 0,819 для динамограми нормальної роботи та 0,812 для динамограми, що характеризує витік в приймальній частині. Це свідчить про потенційне підвищення достовірності діагностування при використанні модифікованої таким чином різницевої кривої замість динамограми.

Розмірність вектора ознак як для динамограми, так і для модифікованої різницевої кривої дорівнюватиме кількості відліків сигналу навантаження на періоді качання ШГНУ.

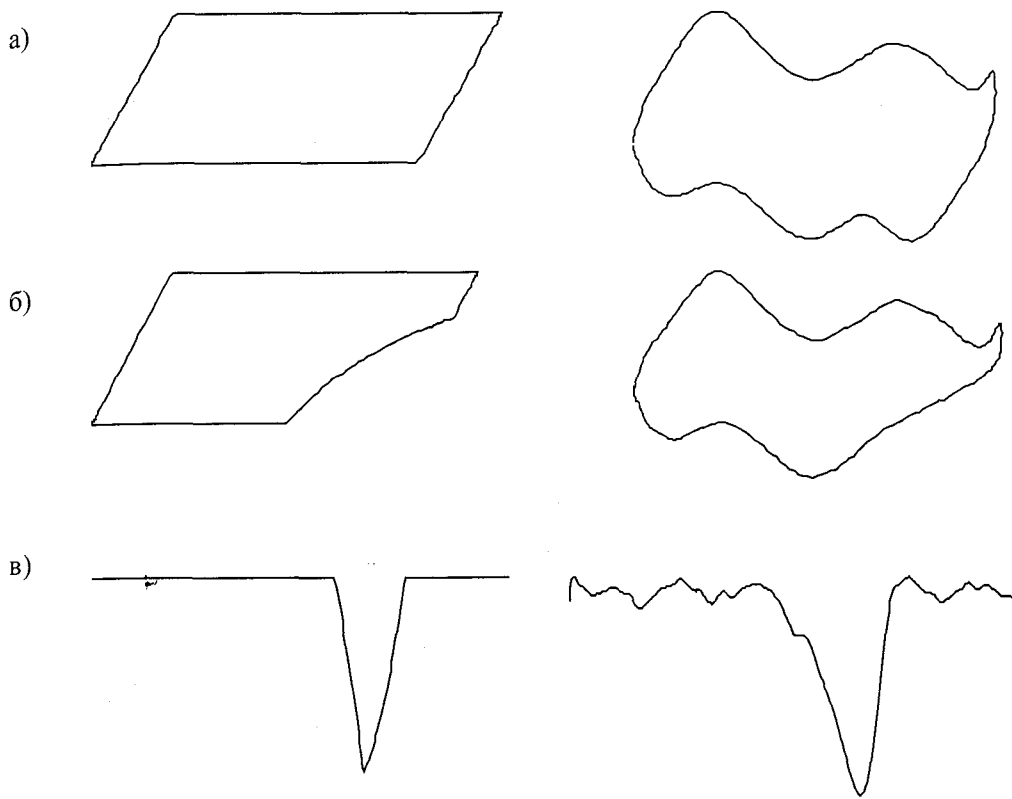


Рис. 2.2. Модифіковані різницеві криві еталонних та реальних динамограм: а – динамограма нормальної роботи, б – динамограма при наявності впливу газу, в – різницева крива

Використання замість сигналу коефіцієнтів його розкладу в деякому базисі, зокрема найбільш розповсюдженому – Фур'є – дозволяє насамперед зменшити розмірність вектора ознак, оскільки основна енергія сигналу навантаження зосереджена в області низьких частот. Так, при дискретизації динамограми з частотою 256 точок на період качання 95...99% енергії сигналу (при виключенні постійної складової) припадає на перші 8 комплексних коефіцієнтів дискретного перетворення Фур'є та 67...92% - на перші три (розрахунки виконувались для 20 динамограм, знятих на різних свердловинах НГВУ "Надвірнанафтогаз" та "Бориславнафтогаз"). Крім того, фільтрація високочастотних складових внаслідок відкидання неінформативних коефіцієнтів призводить до згладжування динамограми.

Аналогічні міркування справедливі, очевидно, і для інших ортогональних перетворень. Розглянемо можливість використання в цілях діагностування

перетворення Уолша та вейвлет-перетворення.

Якщо деяка функція $f(x)$ інтегрована з квадратом на відрізку $[0, T]$, то її розклад в ряд Уолша [62]

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n W_n(x),$$

де $W_n(x)$ - базисні функції Уолша, C_n - коефіцієнти розкладу:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) W_n(x) dx.$$

Спосіб нумерації в системі базисних функцій називається впорядкуванням. На практиці застосовуються впорядкування за Уолшем, Пелі та Адамаром.

Базисні функції Уолша з впорядкуванням за Пелі визначаються як

$$W_0(x) \equiv 1, W_{2^k}(x) = R_k(x), W_n(x) = R_{n_1}(x) R_{n_2}(x) \dots R_{n_p}(x),$$

де $n = 2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_p}$ - двійкове представлення числа n , $R_k(x) = \text{sign} \sin 2^{k+1} \pi x$ - базисні функції Радемахера.

Функція Уолша з номером k , впорядкована за Адамаром, являє собою послідовність прямокутних імпульсів тривалістю $1/N$ з одиничними амплітудами та полярностями, що відповідають знакам елементів k -ї строки матриці Адамара.

Матрицею Адамара H_N порядку $N=2^n$ називається квадратна матриця розміру $N \times N$ з елементами $+1$, -1 така, що

$$H_N \times H_N^T = N \times E,$$

де H_N^T - транспонована матриця, E - одинична матриця; при цьому $H_1 = I$.

Матрицю Адамара легко побудувати рекурсивно, оскільки

$$H_N = \begin{bmatrix} \frac{H_N}{2} & \frac{H_N}{2} \\ \frac{H_N}{2} & -\frac{H_N}{2} \end{bmatrix}.$$

Для цифрового аналізу сигналів використовуються дискретні функції Уолша, що є відліками відповідних неперервних функцій. Кожен відлік розташований в середині пов'язаного з ним елемента неперервної функції тривалістю $1/N$. У випадку впорядкування за Адамаром номери стовпців матриці Адамара відповідають номерам дискретних відліків функцій Уолша, а номери строк - номерам функцій

Уолша. Відповідно коефіцієнти дискретного перетворення Уолша послідовності $X = \{x_i\}$ з періодом N визначаються як [63]

$$C_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot W_{k,i},$$

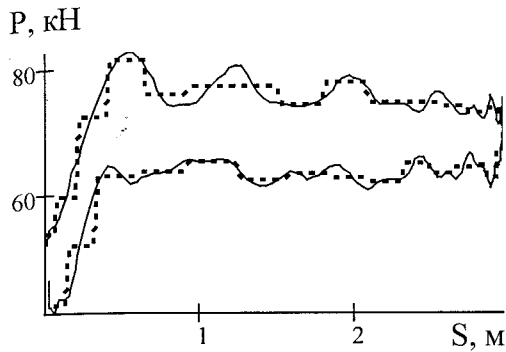
де $W_{k,i}$ - k -й відлік i -ї функції Уолша, або в матричній формі

$$C = H_N \cdot X.$$

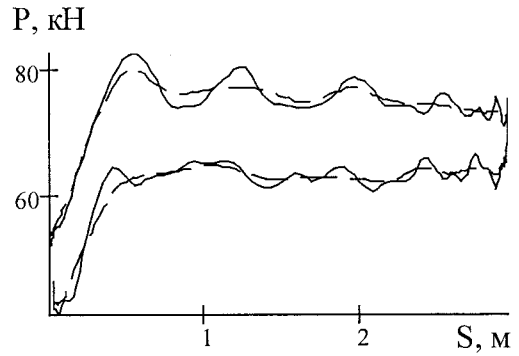
Перетворення Уолша часто застосовується в задачах, пов'язаних з обробкою цифрових даних [64, 65, 66]. Перевага перетворення Уолша порівняно з перетворенням Фур'є полягає у меншій кількості обчислень: перетворення Уолша вимагає лише операцій додавання та віднімання, оскільки базисні функції Уолша приймають лише значення $+1$ або -1 , а перетворення Фур'є – додавання, множення та обчислення тригонометричних функцій. Це може мати значення при розробці мобільної системи оперативного діагностування ШГНУ на основі мікроконтролерів, обчислювальні можливості яких обмежені порівняно з універсальними ЕОМ. Для перетворення Уолша, як і для перетворення Фур'є, існує швидкий алгоритм обчислення. Крім того, коефіцієнти перетворення Уолша є дійсними числами, на відміну від комплексних коефіцієнтів перетворення Фур'є. Слід зазначити, що для Фур'є-перетворення в принципі можливі два варіанти формування вектора ознак: із дійсних та уявних частин комплексних коефіцієнтів та із їх амплітуд і фаз. В першому випадку отриманий вектор виявляється неінваріантним до зсувів по осі часу, а в другому, імовірно, необхідне додаткове нормування для вирівнювання дисперсій фазових та амплітудних складових (значення фаз лежать в межах $0 \dots 2\pi$, амплітуд – в довільних межах або ± 1 за умови попереднього нормування динамометричного сигналу).

Як показали проведені обрахунки, динамограма, відновлена із 16 коефіцієнтів перетворення Уолша (аналог 8 комплексних коефіцієнтів перетворення Фур'є), з достатньою степінню деталізації представляє первинну динамограму. Відновлена динамограма має ступінчастий характер, що зумовлено особливістю базисних функцій Уолша, однак після згладжування достатньо точно відтворює первинну динамограму (див. Рис. 2.3). В табл.2.1 наведено характеристики відновленого

сигналу при різній кількості коефіцієнтів.



а)



б)

Рис. 2.3. Динамограма для свердловини 196, відновлена з 16 коефіцієнтів перетворення Уолша (а – незгладжена, б – згладжена)

Таблиця 2.1. Характеристики динамограм, відновлених із коефіцієнтів перетворення Уолша, для свердловин 196, 774, 1715

Кількість коефіцієнтів	Середньоквадратична похибка відновлення сигналу, %			Енергія відновленого сигналу, % від енергії вихідного сигналу			Наявність суттєвих спотворень форми сигналу		
	196	774	1715	196	774	1715	196	774	1715
4	15.944	12.628	12.068	52.3	73.6	83.6	+	+	+
8	12.518	7.794	9.615	70.1	90.0	89.5	+	+	+
12	10.348	7.081	7.814	85.3	91.7	94.1	+	+	-
16	6.595	5.006	5.095	91.7	95.8	96.3	-	-	-
20	5.964	4.459	4.483	93.4	97.0	97.9	-	-	-
24	5.114	3.291	4.143	95.3	98.2	98.2	-	-	-
28	4.786	3.107	3.798	95.6	98.4	98.4	-	-	-
32	4.203	2.891	3.614	96.6	98.6	98.5	-	-	-

Середньоквадратична похибка обчислювалась в процентах від амплітуди сигналу за формулою

$$\sigma = \frac{100\%}{P_{\max} - P_{\min}} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (P_i - P_{v_i})^2,$$

де P_{max} , P_{min} – максимальне та мінімальне значення навантаження, P_i – відлік первинної динамограми, P_{v_i} – відлік відновленої динамограми, N – кількість відліків динамограми.

В якості другого критерію оцінки якості відновлення вибрано енергетичний, що ґрунтується на рівнянні Парсевалля

$$\int_0^T x^2(t) dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k^2,$$

яке показує ідентичність представлення енергії сигналу в часовій області та у просторі коефіцієнтів C_k при взаємно ортогональних функціях. Звідси похибка відновлення динамограми, представленої в часовій області N відліками, за допомогою K коефіцієнтів довільного ортогонального перетворення C_k , оцінюється за співвідношенням

$$\delta = \frac{\sum_{i=0}^K C_k^2}{\sum_{i=0}^N C_k^2} \cdot 100\%.$$

Як видно з табл. 2.1, саме починаючи із 16 коефіцієнтів відсутні суттєві спотворення форми динамограми (див. Рис. 2.4), при цьому похибка відновлення за обома критеріями складає близько 5%. Враховуючи, що ці 5% припадають на енергію високочастотних складових, що не несуть діагностичної інформації, таку точність можна вважати достатньою.

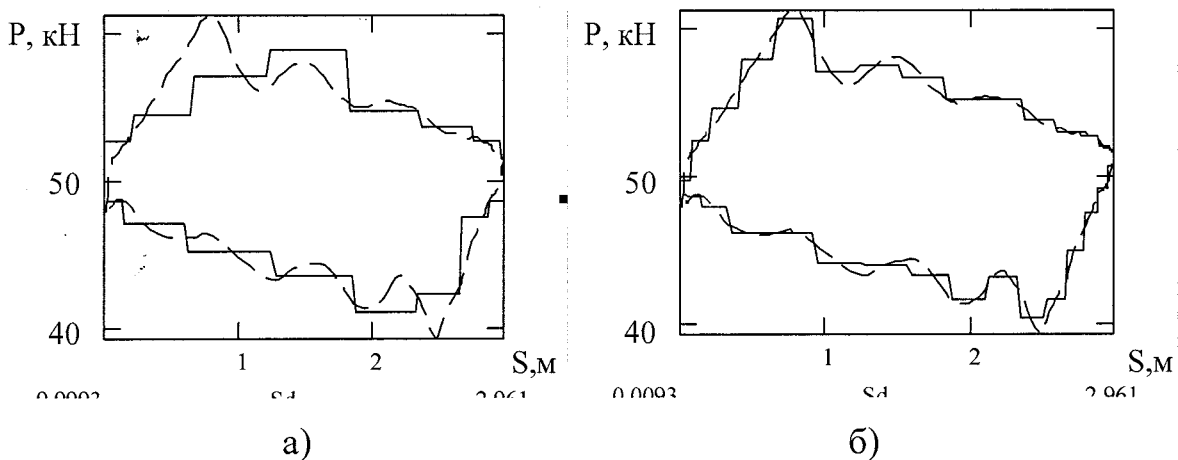


Рис. 2.4. Динамограма для свердловини 774, відновлена із коефіцієнтів перетворення Уолша (а – для 12 коефіцієнтів, б – для 16 коефіцієнтів)

Переваги застосування вейвлет-перетворення для задач діагностування [67, 68] пояснюються тим, що базисні функції вейвлет-перетворення носять локалізований в часі характер, що обумовлює їх високі апроксимаційні можливості [69] та дозволяє досліджувати не лише розподіл енергії сигналу по частотах, але і зміну цього розподілу в часі. Набір базисних функцій вейвлет-перетворення утворюється шляхом масштабування і зсувів по осі часу єдиної функції $\psi(t)$ - породжуючого, або "материнського" вейвлета:

$$\psi_{ab}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R, \quad \psi \in L^2(R),$$

де t - час, a - масштабний коефіцієнт, b - параметр зсуву.

Вейвлет $\psi(t)$ задовільняє умовам $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$ та $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty$ та пов'язаний із функцією $\varphi(t)$ - масштабуючою, або скейлінг-функцією, що задовільняє умовам

нормованості $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1$ та ортогональності

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \varphi(t-m) dt = 0, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) \varphi(t-m) dt = \delta_{0m}.$$

В принципі умова ортонормальності вейвлет-базису не є обов'язковою і не виконується, наприклад, для біортогональних та напівортогональних вейвлетів [70].

При значенні масштабного коефіцієнту $a=2$ та цілому параметрі зсуву k виконуються співвідношення

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2M-1} g_k \varphi(2t-k),$$

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2M-1} h_k \varphi(2t-k),$$

$$g_k = (-1)^k h_{2M-k-1},$$

та існує швидкий алгоритм дискретного вейвлет-перетворення з використанням коефіцієнтів g_k та h_k , що являють собою коефіцієнти цифрових фільтрів відповідно високих та низьких частот (квадратурно-дзеркальних фільтрів):

$$s_{j-1,k} = \sum h_m s_{j,2k-m},$$

$$d_{j-1,k} = \sum_m g_m s_{j,2k-m}$$

При цьому кількість коефіцієнтів цифрових фільтрів M складає 2 для найпростішого вейвлету Хаара, 4 для вейвлету Добеші другого порядку та 4...10 для інших вейвлетів, що застосовуються при цифровій обробці сигналів.

На кожному етапі швидкого вейвлет-перетворення для вектора розмірністю N відбувається пропускання сигналу, отриманого в результаті попередньої ітерації (на першій ітерації – вихідного сигналу), через фільтри низьких і високих частот. Результат фільтрування ФВЧ ($N/2^r$ коефіцієнтів d - “деталі”, де r – номер ітерації) зберігається в результуючому векторі вейвлет-перетворення, а результат фільтрування ФНЧ ($N/2^r$ коефіцієнтів s - “апроксимація”) використовується в наступній ітерації після децимації (видалення половини відліків).

Відомий цілий ряд функцій $\psi(t)$, що задовольняють вищеописані умови (вейвлет Морле, “мексиканський капелюх”, вейвлети Добеші різних порядків, койфлети та ін.). Вибір базисного вейвлета таким чином, щоб він найкраще відображав особливості сигналу, що досліджується, забезпечує максимальну інформативність коефіцієнтів вейвлет-перетворення, а, отже, зменшення розмірності вектора ознак та підвищення достовірності діагностування. Існують різні підходи до синтезу оптимального за деяким критерієм вейвлет-базису, наприклад, у [69] вейвлет-базиси формуються на основі рекурсивних фільтрів, що забезпечують мінімізацію середньоквадратичної помилки відновлення сигналу при відомій кореляційній функції сигналу та заданій тривалості (компактності) вейвлет-функції. У [71] пропонується алгоритм, що базується на аналізі спектральних особливостей досліджуваного сигналу (степені кореляції низько- і високочастотних складових спектру). Таким чином, для коректного застосування цих методів повинна бути відома або кореляційна функція, або спектральна характеристика досліджуваного сигналу. В нашому випадку проблема полягає в тому, що спектрально-кореляційні залежності є досить різними для свердловин з різними режимами роботи, технологічними параметрами та при наявності/відсутності дефектів, а обсяг експериментальних даних є недостатнім для формування узагальнених образів цих

характеристик, тому на даному етапі розробки алгоритму можна лише орієнтовно припустити доцільність застосування того чи іншого вейвлет-базису. На Рис. 2.5 наведено графіки вейвлета Добеші 2-го порядку (для обчислення дискретного вейвлет-перетворення використовуються цифрові фільтри з лише 4 коефіцієнтами), та розгорнута в часі динамограма, знята на свердловині №774 НГВУ “Бориславнафтогаз”. Помітною є подібність між елементами цих кривих принаймні на великих масштабах (високочастотні складові можуть бути відфільтровані шляхом простого відкидання найстарших коефіцієнтів вейвлет-перетворення, як і у випадку перетворення Фур’є).

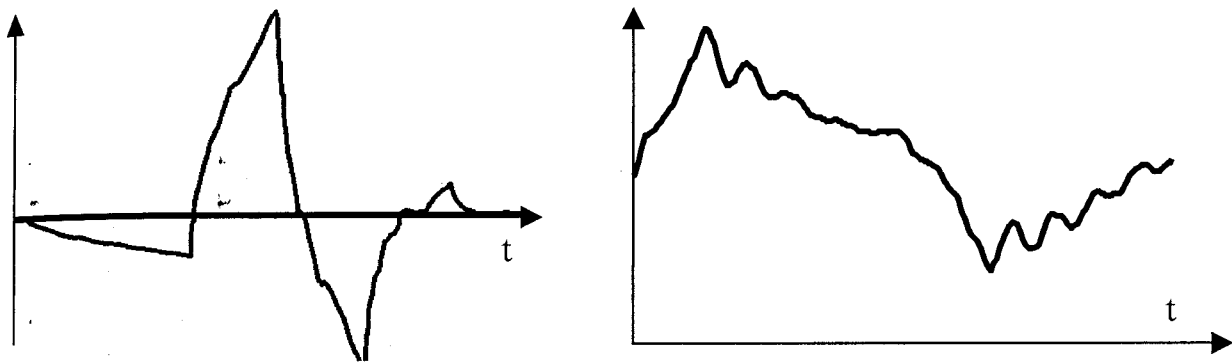


Рис. 2.5. Вейвлет D2 та динамограма, розгорнута в часі

На Рис. 2.6 приведена динамограма, знята на свердловині №1715 НГВУ “Бориславнафтогаз” та динамограма, відновлена шляхом оберненого вейвлет-перетворення з 16 коефіцієнтів розкладу у вейвлет-базисі Добеші 2-го порядку (D2).

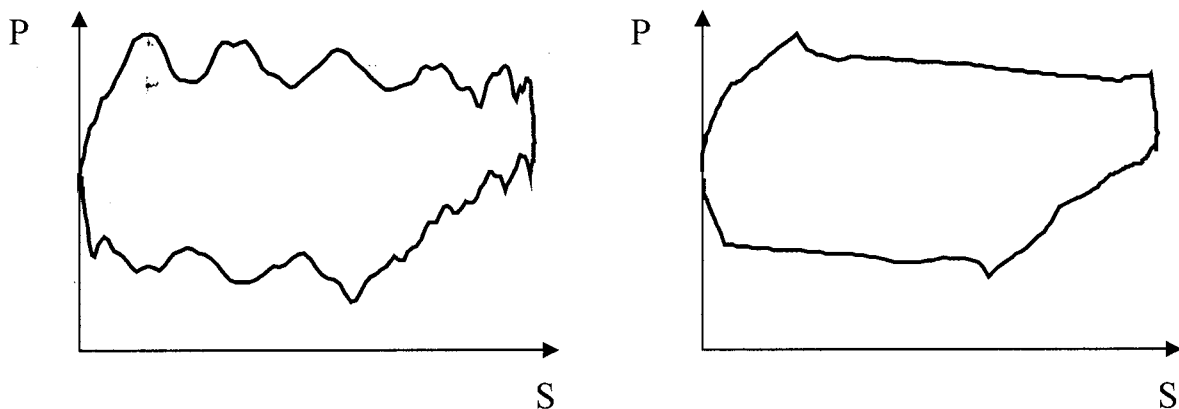


Рис. 2.6. Динамограма для свердловини 1715 та результат її відновлення за 16 коефіцієнтами вейвлет-перетворення

Крім майже повного згладжування високочастотних складових, у відновленій

динамограмі чітко виявляються так звані “характерні точки”, про які йшла мова при аналізі методів діагностування ШГНУ за логічними ознаками, які характеризують властивості окремих ділянок динамограми. Вигляд отриманої динамограми наближається до ідеалізованої паралелограмної динамограми, тобто вектор ознак, сформований із коефіцієнтів вейвлет-перетворення, характеризує, так би мовити, “ідеальний образ реальної динамограми”, що надає можливість використання спрощених паралелограмних еталонів.

Аналогічно як для перетворення Уолша було проведено розрахунок характеристик відновленого сигналу для різної кількості коефіцієнтів (табл.2.2). Похибка порядку 5% досягається вже для 12 коефіцієнтів, проте в окремих випадках наявні спотворення відновленої динамограми, що можуть призвести до невірної оцінки технічного стану ШГНУ. Таким чином, як для перетворення Уолша, так і для вейвлет-перетворення оптимальною кількістю коефіцієнтів є 16. Для прикладу на Рис. 2.7 наведено результати відновлення динамограм із 16 коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Таблиця 2.2. Характеристики динамограм, відновлених із коефіцієнтів вейвлет-перетворення, для свердловин 196, 774, 1715

Кількість коефіцієнтів	Середньоквадратична похибка відновлення сигналу, %			Енергія відновленого сигналу, % від енергії вихідного сигналу			Наявність суттєвих спотворень форми сигналу		
	196	774	1715	196	774	1715	196	774	1715
4	11.395	7.260	11.134	77.9	94.1	91.3	+	+	+
8	6.838	5.783	6.161	93.1	95.1	95.8	+	+	+
12	5.720	5.053	5.452	94.6	96.2	96.7	-	+	-
16	5.270	3.876	4.583	94.7	97.5	97.6	-	-	-
20	4.973	2.898	3.850	95.5	98.6	98.4	-	-	-
24	4.822	2.861	3.659	95.6	98.6	98.6	-	-	-
28	4.696	2.102	3.459	95.8	99.3	98.8	-	-	-
32	2.645	1.881	2.970	98.8	99.5	99.0	-	-	-

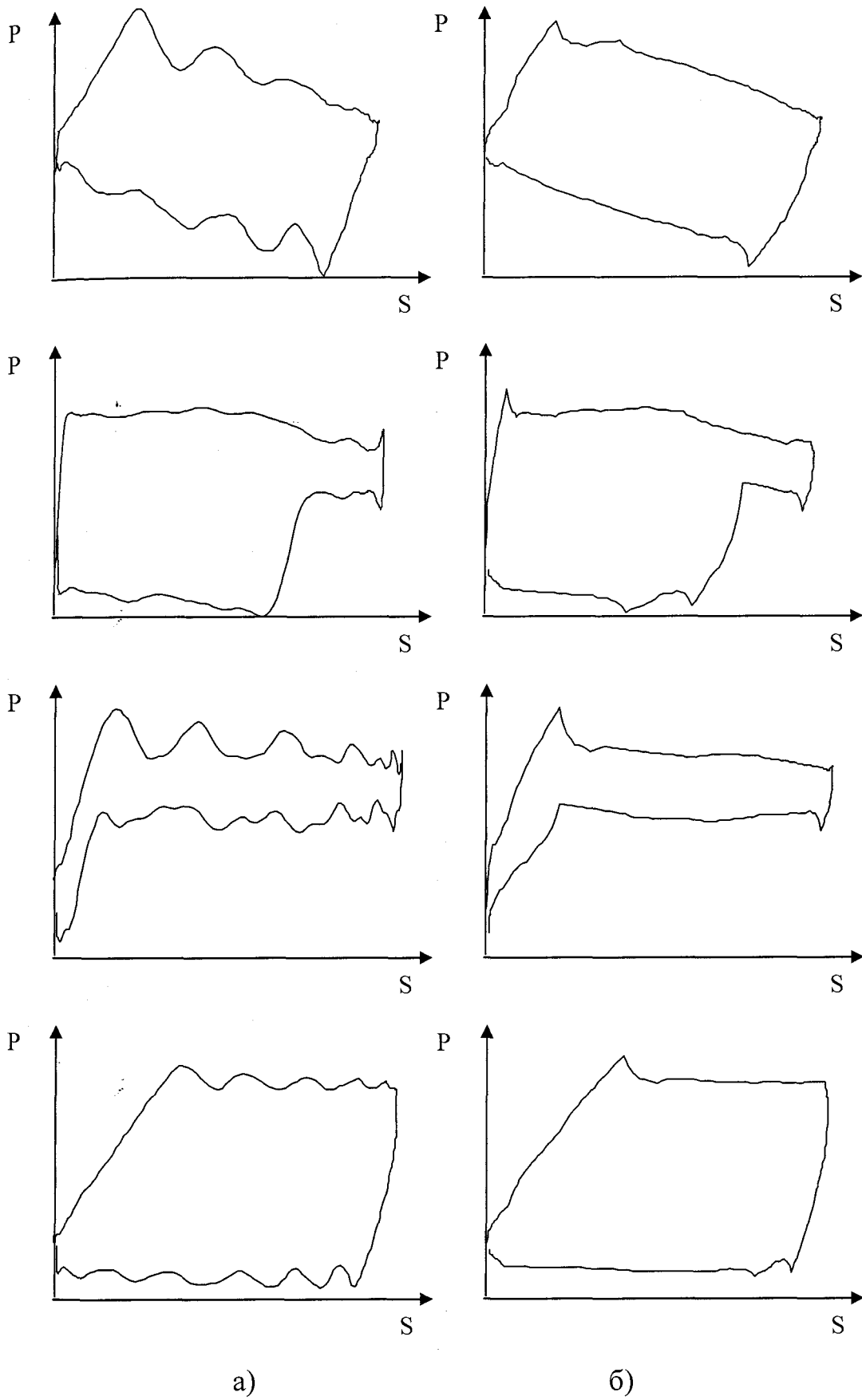


Рис. 2.7. Виміряні (а) та відновлені з коефіцієнтів вейвлет-перетворення (б) динамограми для свердловин 774, 158, 196, 950

2.2 Формування еталонів

Як уже вказувалося в 2.1, існує два підходи до формування еталонів:

- на основі математичної моделі, що з достатньою степінню адекватності відображає характер функціонування ОД як при нормальній роботі, так і при наявності різного роду дефектів;

- на основі достатньо великого обсягу експериментальних даних шляхом статистичного усереднення компонентів вектора ознак для кожного із дефектів.

Реалізація другого підходу фактично означає неможливість формування індивідуальних еталонів для кожної свердловини в зв'язку з малою імовірністю отримання для них динамограм всіх станів з дефектами. Крім того, роботоздатність алгоритму значною мірою буде залежати від обсягу і характеру експериментальних даних та способу їх обробки. Обчислення ж еталонних динамограм на основі математичної моделі, наприклад, (2.1), виправдовує себе лише при використанні ПЕОМ в якості елемента системи збору даних (що з ряду причин незручно), а для простого пристрою оперативного діагностування вимагає або попереднього розрахунку еталонних динамограм для всіх свердловин і зберігання їх у пам'яті пристрою, або їх оперативного розрахунку в процесі обробки даних, що збільшує витрати часу на діагностування та потребує зберігання у пам'яті пристрою всіх параметрів свердловин, необхідних для розрахунку.

За умови реалізації алгоритму діагностування тільки по формі динамограми для розрахунку індивідуальних еталонів технічних станів для кожної свердловини повинен бути відомим лише один параметр $\frac{\lambda}{S_{\max}}$. З метою спрощення алгоритму діагностування можна використовувати і спільні еталони для всіх свердловин, однак розрахунки показують, що при різних значеннях $\frac{\lambda}{S_{\max}}$ середньоквадратичне відхилення окремих компонентів вектора ознак складає до 30...50% від їх середнього значення, що призводить до неправильних результатів діагностування (див. табл. А.1 додатку А, де для прикладу розглянуто вектор ознак для стану "нормальна робота", сформований із амплітудних і фазових складових 8 комплексних

коефіцієнтів перетворення Фур'є динамометричного сигналу).

В додатку А наведено також вектори ознак еталонів технічних станів, що характеризуються різним коефіцієнтом наповнення глибинного насоса – “вплив газу” та “витік в нагнітальній частині”. Варіація компонентів вектора ознак в залежності від коефіцієнта наповнення свідчить про необхідність формування для кожного із таких станів (крім названих – також “витік в приймальній частині” та “низький динамічний рівень”) кількох еталонів для різних значень цього коефіцієнта.

В [72] описано спосіб формування паралелограмних еталонів для станів “нормальна робота”, “вплив газу”, “витік в нагнітальній частині” та “витік в приймальній частині”. Слід зауважити, що в табл. 1.1 вказано стани “вплив газу” та “низький динамічний рівень”, які фактично характеризують одну і ту ж несправність – відкачку рідини з газом, однак динамограми цих станів відрізняються ступінню кривизни лінії зняття навантаження (див. Рис. 2.8), яка визначається тиском газу на прийомі насоса. В [73] показано, що ця крива описується залежністю вигляду $\frac{1}{p} = A - B \cdot S$, де p - тиск на прийомі насоса, S - поточне переміщення плунжера, A, B - деякі константи.

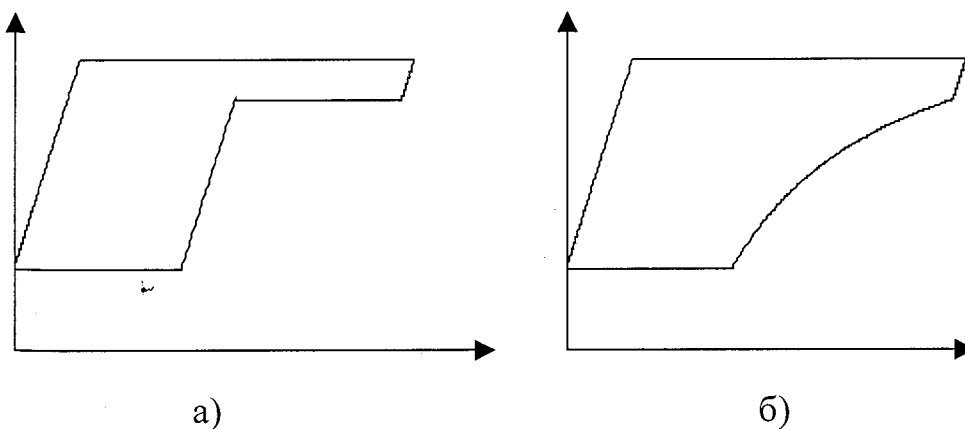


Рис. 2.8. Еталонні динамограми для станів “низький динамічний рівень” (а) та “вплив газу” (б)

Розрахунки показують (див. табл. А.4 додатку А), що вектори ознак для станів “вплив газу” та “низький динамічний рівень” досить відрізняються для того, щоб

вважати їх різними станами з метою реалізації більш якісного алгоритму розпізнавання.

Крім вказаних вище, доцільним є формування також еталонних динамограм для станів “прихват плунжера” та “низька посадка плунжера”.

Із параметрів динамограми нормальної роботи, розглянутих в 2.1, такий спосіб формування еталонних паралелограмних динамограм не враховує власні коливання та інерційний поворот динамограми.

2.3 Забезпечення інваріантності динамометричного методу діагностування ШГНУ до форми сигналу переміщення полірованого штока

При виборі способу формування вектора ознак для діагностування ШГНУ на основі динамометричної інформації необхідно враховувати, що динамограма являє собою не одномірний сигнал, а плоску замкнуту криву, що описує цикл качання ШГНУ в координатах навантаження на полірований шток – переміщення полірованого штока. На перший погляд, сигнал переміщення взагалі не несе діагностичної інформації, оскільки цілком визначається кінематичними параметрами верстата-качалки, що не змінюються в процесі експлуатації, в зв'язку з чим для формування вектора ознак достатньо лише сигналу навантаження. Так, в роботі [74] пропонується взагалі відмовитись від давачів переміщення, оскільки похибка визначення переміщення за теоретичними формулами, складеними на основі кінематичної схеми станка-качалки, є незначною. Однак такий підхід вимагає знання точних значень розмірів елементів станка-качалки для кожної свердловини та використання досить громіздких формул для обрахунку теоретичного переміщення полірованого штока. Використання спрощеної синусоїдальної залежності, як показано в [75], зумовлює похибку, що може досягати 5-12% від довжини ходу. Окрім того, залежність швидкості обертання привідного асинхронного двигуна ШГНУ від навантаження вносить додаткову похибку, що виявляється, зокрема, у різній тривалості фаз ходу вгору і ходу вниз циклу качання

ШГНУ.

На Рис. 2.9 наведено динамограми, побудовані з використанням реальної та теоретичної залежності переміщення від часу. Якщо реальна динамограма має вигляд типової динамограми нормальної роботи, то динамограма із теоретичним переміщенням має різні кути нахилу ліній сприйняття і зняття навантаження, що є характерною ознакою дефекту “витік в приймальній частині” або “вплив газу”. Саме такі результати було отримано для наведеної динамограми при діагностуванні методом розпізнавання образів. При цьому в якості вектора ознак використовувались дискретизований в часі сигнал навантаження та його трансформації: перетворення Фур’є, перетворення Уолша та вейвлет-перетворення. Еталони формувалися на основі теоретичної паралелограмної динамограми для свердловини Б-420. Для перетворення Фур’є було отримано діагноз “вплив газу”, для всіх інших методів формування вектора ознак - “витік в приймальній частині” (див. табл. 2.3).

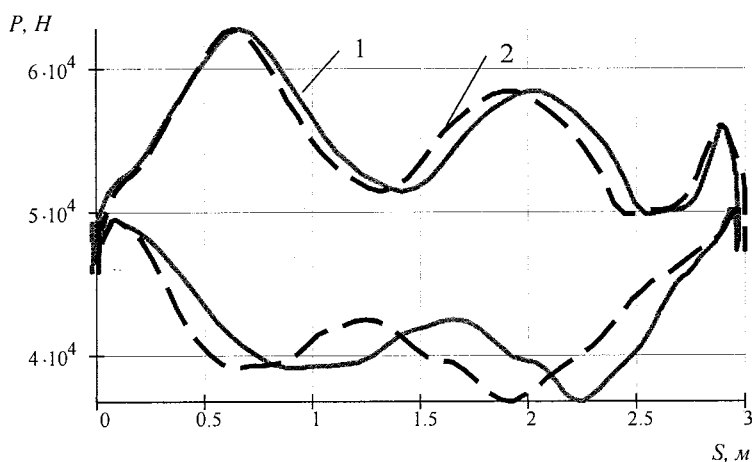


Рис. 2.9. Динамограми, побудовані з використанням реальної (1) та теоретичної (2) залежності переміщення від часу для свердловини Б-420 Битківського родовища НГВУ “Надвірнанафтогаз” (глибина спуску насоса 1800м, довжина ходу 3м, кількість качань за хвилину – 6.5)

Таким чином, розробка методів автоматизованого діагностування ШГНУ потребує врахування форми сигналу переміщення полірованого штока. Це, зокрема, можна здійснити наступними методами:

Таблиця 2.3 Значення мір подібності з еталонами технічних станів при різних способах формування вектора ознак

Тех. стан	Спосіб формування вектора ознак та міра подібності											
	Часова форма			Перетворення Фур'є			Перетворення Уолша			Вейвлет-перетворення		
	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy
НР	0.422	0.555	0.789	0.023	0.125	0.954	821.6	18.83	0.810	9.86	2.838	0.829
ВГ, КН=0.7	0.840	0.770	0.580	0.012	0.084	0.950	1676.1	25.84	0.605	23.72	3.738	0.595
ВГ, КН=0.5	0.661	0.693	0.669	0.012	0.077	0.978	1310.0	22.70	0.694	17.22	3.218	0.706
ВГ, КН=0.3	0.522	0.623	0.739	0.012	0.093	0.984	1031.0	20.14	0.761	13.40	3.133	0.773
НДР, КН=0.7	1.056	0.866	0.472	0.014	0.097	0.947	2115.3	29.72	0.495	30.27	4.140	0.471
НДР, КН=0.5	0.901	0.781	0.549	0.015	0.098	0.940	1784.0	26.38	0.575	24.49	3.605	0.577
НДР, КН=0.3	0.674	0.684	0.663	0.009	0.078	0.958	1333.0	24.36	0.686	16.53	3.264	0.715
ВНЧ, КН=0.7	0.909	0.814	0.546	0.034	0.145	0.895	1792.0	28.95	0.558	23.32	3.885	0.605
ВНЧ, КН=0.5	0.763	0.751	0.618	0.022	0.110	0.959	1514.8	24.79	0.629	19.08	3.970	0.670
ВНЧ, КН=0.3	0.577	0.665	0.711	0.015	0.105	0.904	1130.6	24.61	0.728	14.51	3.634	0.759
ВПЧ, КН=0.7	0.487	0.609	0.756	0.034	0.145	0.946	944.4	21.74	0.771	8.98	2.018	0.851
ВПЧ, КН=0.5	0.469	0.592	0.766	0.022	0.110	0.939	901.5	20.66	0.784	6.33	2.101	0.891
ВПЧ, КН=0.3	0.372	0.500	0.814	0.014	0.103	0.923	716.4	19.68	0.832	4.04	1.677	0.935
ПП	1.820	1.195	0.090	0.026	0.139	0.930	3675.5	33.33	0.093	53.07	5.015	0.105
НПП	0.463	0.574	0.768	0.020	0.120	0.910	892.7	19.12	0.790	11.10	2.984	0.808
Діагноз	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВГ	ВГ	ВГ	ВПЧ	НР	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ

Примітка. НР – нормальна робота, ВГ – вплив газу, НДР – низький динамічний рівень, ВНЧ – витік в нагнітальній частині, ВПЧ – витік в приймальній частині, КН – коефіцієнт наповнення глибинного насоса, ПП – прихват плунжера, НПП – низька посадка плунжера, dE – евклідова відстань, dH – відстань по Хеммінгу, Rxy – коефіцієнт кореляції

1) рівномірна дискретизація по осі переміщення. Суть методу полягає в тому, що після отримання дискретизованого в часі з кроком Δt навантаження і переміщення шукаються значення моментів часу t_{1j} , у які значення переміщення становлять $j \cdot \Delta S$ (де ΔS – крок по осі переміщення), і результуючий вектор ознак являє собою значення навантаження у ці моменти часу;

2) приведення до теоретичного переміщення. В цьому випадку для кожного значення вимірюваного переміщення шукаються значення моментів часу t_j , у які воно співпадає з теоретичним переміщенням, і результуючий вектор ознак являє собою значення навантаження у ці моменти часу.

3) представлення плоскої кривої одномірним вектором за допомогою ланцюжкових кодів [76] або параметричних координат [77]. Ланцюжковий код являє собою послідовність кутових коефіцієнтів відрізків прямих, якими апроксимується контур кривої, параметричні координати – послідовність пар $x(l), y(l)$, де l - довжина кривої. Дискретизація при цьому здійснюється рівномірно по l , що створює певні незручності при розробці алгоритму.

В результаті застосування перших двох методів динамограма, побудована в координатах навантаження – теоретичне переміщення, повністю співпадає з реальною динамограмою (крива 1 на Рис. 2.9).

Характер відхилення моментів часу t_j від вузлів рівномірної по часу дискретизації приведено на Рис. 2.10.

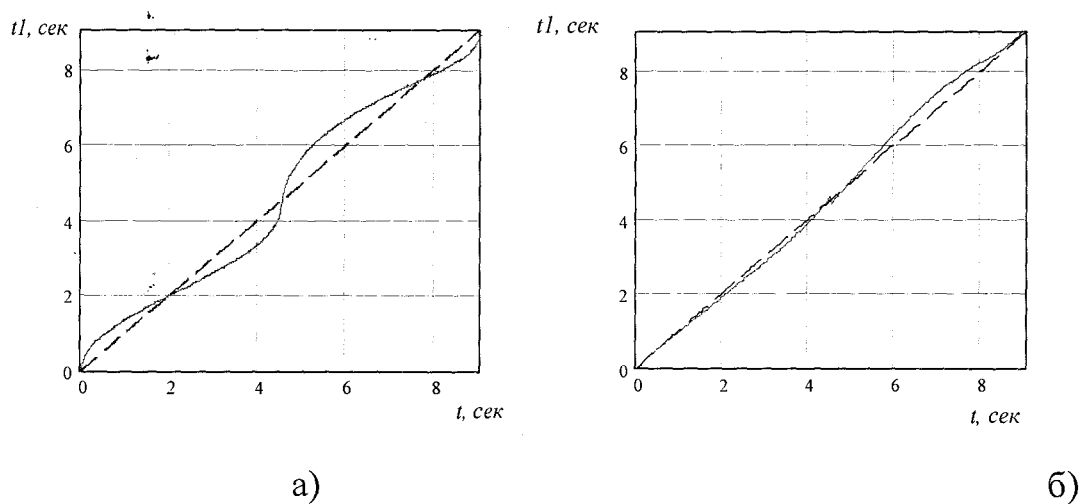


Рис. 2.10. Відхилення вузлів дискретизації при використанні рівномірної дискретизації по переміщенню (а) та приведення до теоретичного переміщення (б) від вузлів рівномірної по часу дискретизації (штрихова лінія)

Слід зауважити, що використання другого методу не тільки вносить менші спотворення у розгорнутий в часі сигнал навантаження порівняно з первинним сигналом, але і вимагає для кожного вузла лише однієї операції інтерполяції (при

визначенні навантаження), в той час як перший метод – двох (при визначенні часу та навантаження), оскільки в другому методі моменти часу t_{1j} визначаються за теоретичною залежністю переміщення від часу.

Після перерахунку динамограми методом приведення до теоретичного переміщення було виконано повторне діагностування методом розпізнавання образів. Результати (див. табл. 2.4) свідчать про ефективність запропонованого методу врахування сигналу переміщення полірованого штока при автоматизованому діагностуванні ШГНУ.

Таблиця 2.4. Значення мір подібності з еталонами технічних станів після приведення динамограми до теоретичного переміщення

Тех. стан	Спосіб формування вектора ознак та міра подібності											
	Часова форма			Перетворення Фур'є			Перетворення Уолша			Вейвлет-перетворення		
	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy
НР	0.442	0.576	0.779	0.012	0.108	0.903	861.83	18.26	0.796	6.456	2.092	0.794
ВГ, КН=0.7	0.942	0.849	0.529	0.011	0.075	0.851	1881.1	27.42	0.548	14.43	2.525	0.537
ВГ, КН=0.5	0.744	0.736	0.628	0.003	0.057	0.991	1479.3	23.25	0.647	11.23	2.333	0.640
ВГ, КН=0.3	0.615	0.676	0.692	0.000	0.005	0.993	1213.4	21.15	0.711	9.181	2.325	0.706
НДР, КН=0.7	1.185	0.946	0.407	0.032	0.121	0.881	2365.9	31.60	0.425	18.25	2.873	0.412
НДР, КН=0.5	0.961	0.827	0.520	0.020	0.131	0.860	1917.7	26.62	0.536	14.67	2.450	0.529
НДР, КН=0.3	0.800	0.743	0.600	0.005	0.077	0.992	1576.9	25.94	0.620	12.10	2.509	0.612
ВНЧ, КН=0.7	0.866	0.808	0.567	0.083	0.220	0.652	1701.5	28.04	0.579	12.77	2.851	0.590
ВНЧ, КН=0.5	0.751	0.751	0.625	0.052	0.151	0.861	1487.0	24.17	0.634	11.33	2.943	0.638
ВНЧ, КН=0.3	0.557	0.657	0.722	0.016	0.115	0.695	1093.8	24.07	0.734	8.247	2.576	0.743
ВПЧ, КН=0.7	0.673	0.675	0.664	0.083	0.219	0.981	1311.9	24.68	0.681	10.01	2.407	0.684
ВПЧ, КН=0.5	0.622	0.659	0.689	0.052	0.151	0.991	1210.3	23.29	0.709	9.093	2.499	0.709
ВПЧ, КН=0.3	0.482	0.578	0.759	0.027	0.150	0.906	938.02	22.12	0.779	6.605	2.233	0.787
ПП	1.955	1.240	0.022	0.020	0.139	0.950	3948.6	33.04	0.019	30.58	3.487	0.024
НПП	0.478	0.597	0.761	0.009	0.093	0.848	923.35	18.96	0.779	6.889	2.108	0.779
Діагноз	НР	НР	НР	ВГ	ВГ	ВГ	НР	НР	НР	НР	НР	НР

2.4 Розробка методу визначення коефіцієнту тертя

В контексті розвитку динамометричних методів діагностування ШГНУ визначення коефіцієнту тертя є необхідним для вирішення наступних задач:

- формування еталонів технічних станів;
- розрахунок плунжерної динамограми;
- визначення рівня рідини в затрубному просторі свердловини.

Коефіцієнт тертя визначається властивостями рідини, що видобувається – густиною і в'язкістю, наявністю в рідині абразивних частинок, а також конфігурацією (викривленістю) свердловини. Існує дві принципово різних групи методів визначення характеристики тертя:

1) теоретичні методи, на підставі різних математичних моделей руху вузлів ШГНУ [78, 79; 80];

2) експериментальні методи, на підставі спеціально проведених експериментів з насосним обладнанням [2, 61, 78].

При використанні методів першої групи точність обчислення коефіцієнта тертя визначається в першу чергу точністю визначення характеристик рідини, що видобувається - густини та в'язкості, а також систематичною похибкою математичної моделі, яка в будь-якому випадку є дещо ідеалізованою в порівнянні з реальними умовами: наприклад, враховується лише в'язке (гідродинамічне) тертя [79], або сухе тертя [78]; не враховується можлива нерівномірність розподілу сил тертя по довжині колони тощо. В роботі [81], однак, вказується, що гідродинамічне тертя в більшості випадків складає біля 75% величини усіх сил тертя, в зв'язку з чим напіврідким та сухим тертям при розрахунках можна знехтувати. Також відомо, що густина і в'язкість рідини залежать від тиску і температури на вибої та складу рідини, які можуть змінюватись в процесі експлуатації.

Серед експериментальних методів відомі [78, 61]:

1) дослід з вільною штангою (тобто при відсутності глибинного насоса, коли вважається, що вся робота в точці підвісу витрачається на тертя, рівномірно розподілене по її довжині);

2) на основі одночасної реєстрації наземної і глибинної динамограм, а також

переміщення точки підвісу (метод ґрунтується на тому, що площі наземної і глибинної динамограм пропорційні роботам відповідно у точці підвісу і на плунжері);

3) на основі реєстрації динамограми при умові незаповнення глибинного насоса (товщина "хвоста" динамограми при незаповненні дорівнює подвійній величині сил тертя).

Всі названі методи вимагають суттєвого втручання в нормальний режим роботи ШГНУ: дослід з вільною штангою – демонтажу глибинного насоса, реєстрація глибинної динамограми – зупинки свердловини та проведення спуско-підіймальних операцій вимірювального обладнання, а останній метод – примусового переведення свердловини в режим з незаповненням шляхом відкачки динамічного рівня нижче допустимого.

Розглянемо метод визначення коефіцієнту тертя [82], що дозволяє уникнути недоліків, притаманних усім вищеназваним методам. Як вихідна інформація використовується наземна динамограма, отримана обов'язково за умови нормальної роботи ШГНУ, тобто у випадку, коли плунжерна динамограма теоретично повинна наближатись до паралелограмної (при незаякорених НКТ) або прямокутної (при заякорених НКТ). Метод ґрунтується на тому, що при невірно заданому коефіцієнті тертя форма розрахованої плунжерної динамограми дещо спотворюється, причому степінь спотворення залежить від похибки заданого коефіцієнта тертя відносно дійсного, що і дозволяє визначити дійсне значення коефіцієнта тертя.

На **Рис. 2.11** приведено наземну динамограму нормальної роботи свердловини Б-420 Надвірнянського НГВУ, а на **Рис. 2.12** - результати розрахунку плунжерних динамограм із наземної при заданих коефіцієнтах тертя 0; 0.2 та 0.5. Такий діапазон вибраний виходячи із того, що дослідження, проведені А.Н. Адоніним [2] та А.С. Вірновським [83], показують, що для більшості нафтовидобувних свердловин коефіцієнт тертя знаходиться у межах 0,1...0,5.

Розрахунки проводились у середовищі MathCad за відомими формулами Вірновського [78] для навантаження на нижньому кінці штангової колони, які приведені в розділі 2.1. В даному випадку чітко видно, що найближчим до дійсного

є значення $b=0.2$, а форма динамограми змінюється з прямокутної на опуклу при менших за дійсний значеннях коефіцієнта тертя та на ввігнуту - при більших.

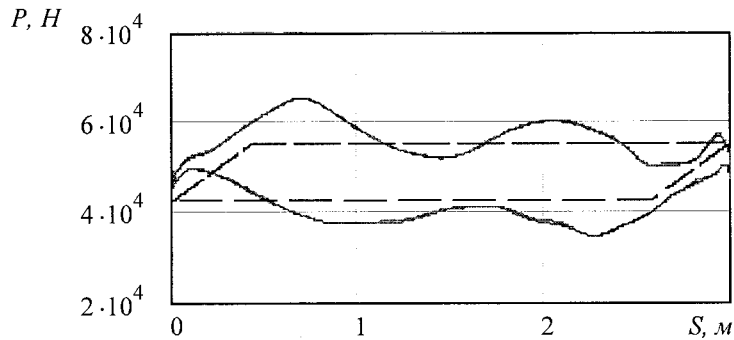


Рис. 2.11. Динамограма нормальної роботи для свердловини Б-420 Битківського родовища НГВУ "Надвірнанафтогаз"

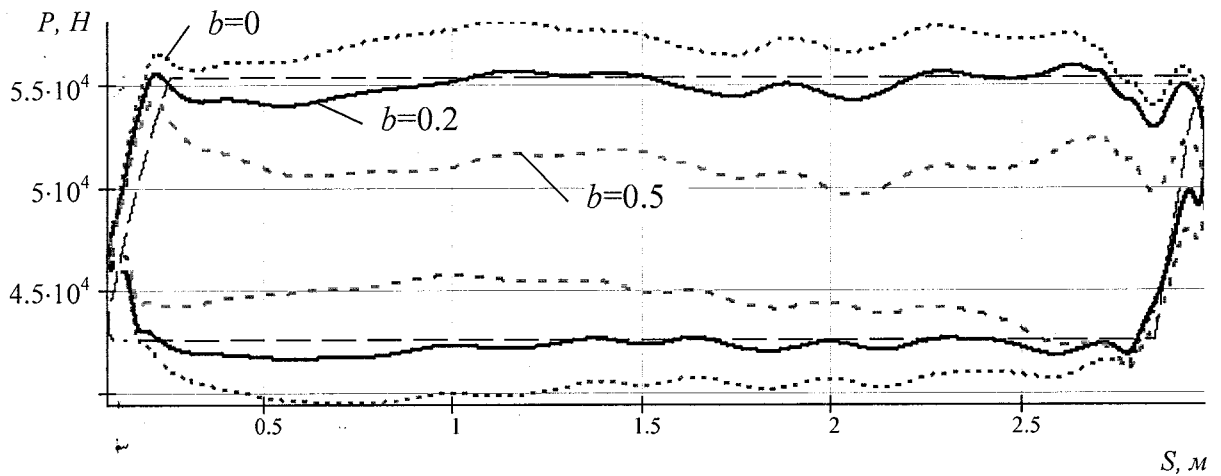


Рис. 2.12. Плунжерні динамограми для свердловини Б-420, розраховані при різних значеннях коефіцієнта тертя (- - - - теоретична плунжерна динамограма)

На

Рис. 2.13 показано часові залежності відхилення розрахованих плунжерних динамограм від теоретичної. На ділянках сприйняття навантаження колоною штанг $0-t_1$ та зняття навантаження t_2-t_3 , коли сили тертя є мінімальними, криві майже співпадають для всіх значень коефіцієнта тертя. На ділянці t_1-t_2 , яка відповідає руху колони штанг вгору, відхилення є додатнім при більшому за дійсний коефіцієнті тертя та від'ємним - при меншому; при русі колони штанг вниз (ділянка t_3-t_4) - навпаки.

На Рис. 2.14,а приведено розраховані середні значення відхилення

плунжерних динамограм від теоретичної на інтервалах руху штангової колони вниз та, вгору при зміні коефіцієнта тертя b від 0 до 0.5 з кроком 0.05. Обидві криві перетинають вісь абсцис при значенні $b = 0.166$, що і можна вважати дійсним значенням коефіцієнта тертя.

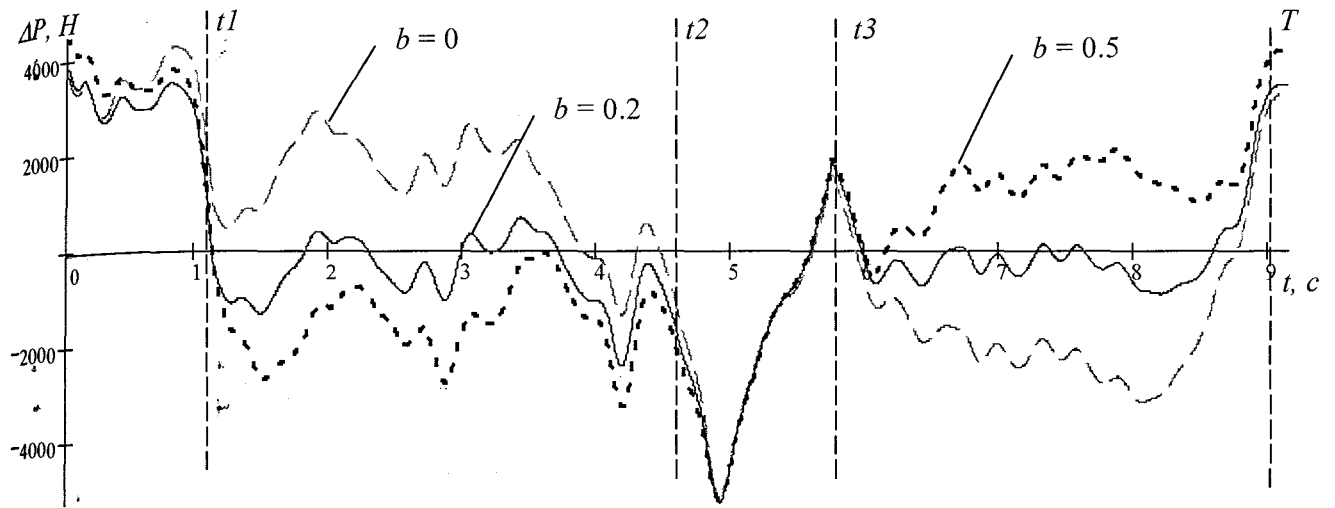


Рис. 2.13. Відхилення розрахованих плунжерних динамограм від теоретичної при різних значеннях коефіцієнта тертя b

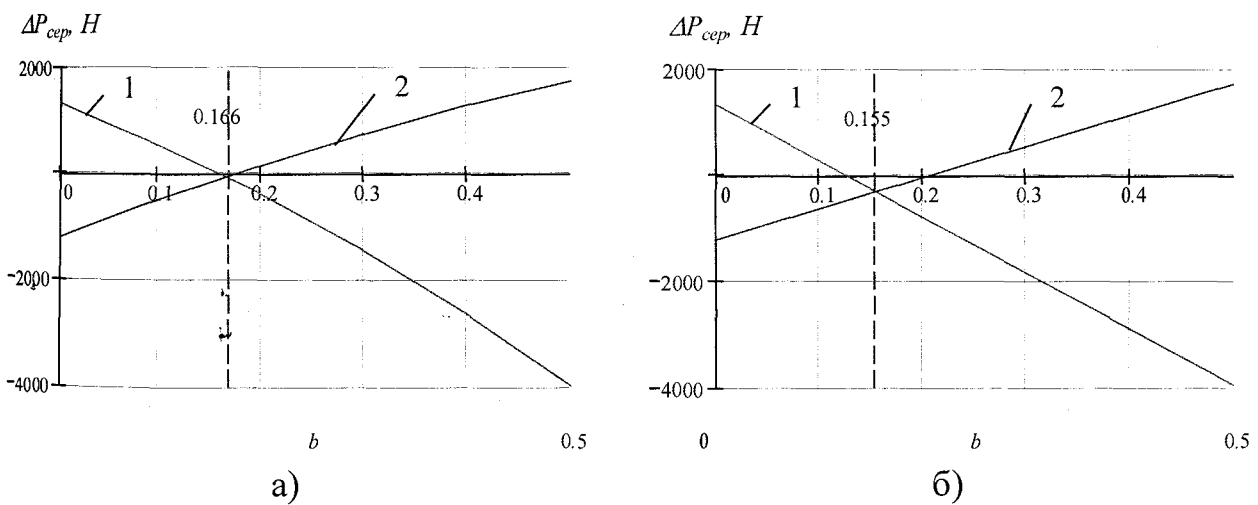


Рис. 2.14. Залежність середнього відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної при русі штангової колони вгору (1) і вниз (2): а) при зміні коефіцієнта тертя з кроком 0.05; б) лінійно апроксимована по двох точках

Приведена на **Рис. 2.14,а** залежність є досить близькою до лінійної. Враховуючи наявність похибки вимірювання динамограми, систематичної похибки моделювання при розрахунку плунжерної динамограми, а також можливість деякої

зміни реального коефіцієнта тертя в процесі експлуатації ШГНУ, можна, з метою спрощення обрахунків, запропонувати лінійну апроксимацію цієї залежності по двох точках, розрахованих для двох вибраних значень коефіцієнта тертя, наприклад, 0 та 0.5, як на **Рис. 2.14,б**. Дійсним значенням коефіцієнта тертя в цьому випадку, очевидно, слід вважати абсцису точки перетину кривих 1 і 2.

Порівняння результатів, приведених на **Рис. 2.14**, свідчить, що похибка визначення коефіцієнта тертя при такому спрощенні є незначною. Принаймні, плунжерні динамограми, розраховані для отриманих значень коефіцієнта тертя 0.166 та 0.155, візуально фактично не відрізняються, а різниця між ними менша, ніж між двома динамограмами, знятими за два послідовні цикли качання ШГНУ (**Рис. 2.15**).

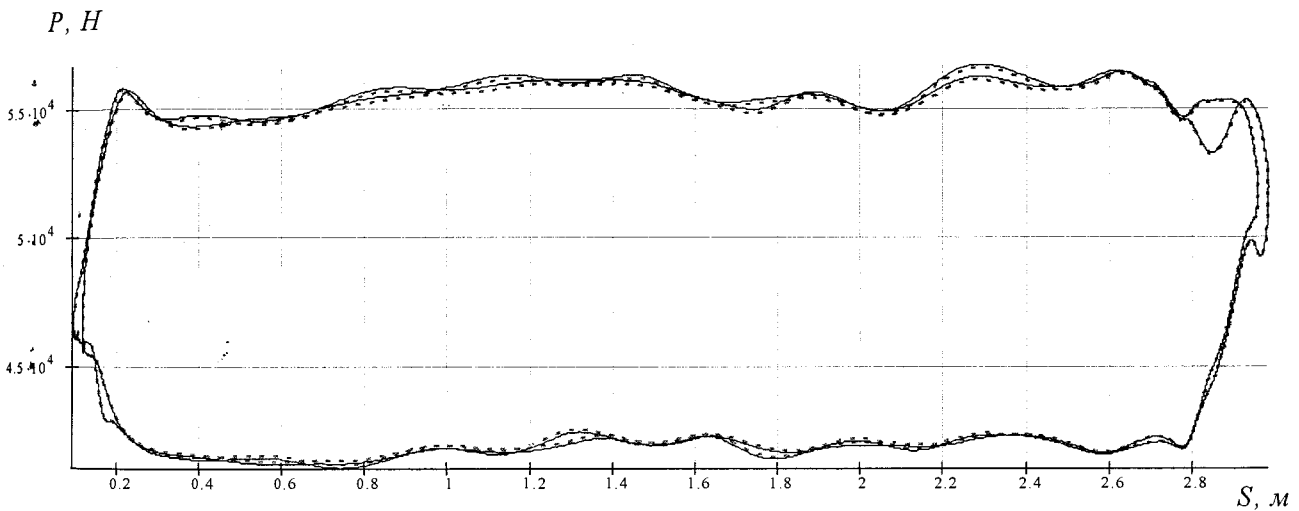


Рис. 2.15. Плунжерні динамограми за два послідовні цикли качання, обраховані для $b=0.166$ (—) та $b=0.155$ (---)

Аналогічні розрахунки були проведені для динамограм, знятих на інших свердловинах НГВУ “Надвірнанафтогаз” та “Бориславнафтогаз” (див. додаток Б). В усіх випадках характер результатів був таким же, як для розглянутої динамограми. Слід лише зазначити, що для деяких свердловин внаслідок наявності незначних витоків у приймальній або нагнітальній частині, непомітних на наземній динамограмі, форма плунжерної динамограми була дещо спотвореною на ділянках, що прилягають до інтервалів сприйняття і зняття навантаження (як у розглянутому

випадку в кінці ділянки $t_3 - T$), в зв'язку з чим для практичних застосувань доцільно дещо звужити інтервал, на якому обраховується середнє значення відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної. В результаті аналізу результатів розрахунків було встановлено, що оптимальним для визначення середнього відхилення є інтервали $(t_1 + \tau, t_2 - \tau)$ та $(t_3 + \tau, T - \tau)$, де $\tau = 0,1 \cdot (t_2 - t_1)$.

Таким чином, описана методика дозволяє визначити коефіцієнт тертя для свердловини при наявності динамограми нормальної роботи ШГНУ. Така динамограма може бути знята, наприклад, після установки нового глибинного насоса. В подальшому розраховане значення може використовуватись для розрахунку плунжерних динамограм для даної свердловини, а також уточнюватись на основі інших динамограм при умові, що режим роботи не характеризується наявністю явно виражених дефектів насосного обладнання.

2.5 Перспективи використання динамометричних методів для контролю рівня рідини

Інформація про рівень рідини в затрубному просторі нафтовидобувних свердловин необхідна при контролі періодичної відкачки, а також при оцінці ефективності експлуатації свердловини, яку проводять за відношенням динамічного і статичного вибієних тисків, що обраховуються за відомими рівнем рідини та затрубним тиском [17]. Крім того, на основі інформації про рівень рідини в свердловині можуть бути обчислені інші характеристики пласта (проникність, пластовий тиск, скін-ефект та ін.) [25]. Сьогодні існує практично один достатньо точний прямий метод вимірювання рівня свердловинної рідини у нафтових свердловинах — акустичний (ехометричний) [84, 85, 86], який ґрунтується на вимірюванні часу проходження акустичного імпульсу від гирла свердловини до рівня рідини і назад. Крім того, був розроблений ряд інших методів, що знайшли відносно обмежене застосування внаслідок недостатньої точності або складності використання порівняно з акустичним (поплавковий [87], з використанням давачів наявності рідини на стінках обсадної колони або колони НКТ [88, 89], на основі

вимірювання ваги колони НКТ [90]). Сучасні акустичні рівнеміри [91, 92, 93, 94] забезпечують значно швидше отримання результатів вимірювання рівня, ніж для поплавкових рівнемірів, які досить широко застосовувались з цією метою у колишньому СРСР, але з точки зору витрат на виготовлення і експлуатацію системи розробка систем автоматичного контролю рівня на їх основі поки що не виправдовує себе в зв'язку з відносно високою вартістю акустичних засобів контролю рівня та обмежених можливостей їх автоматизації. Останнє не дозволяє їх стаціонарне встановлення на кожній свердловині. Щоправда, останнім часом з'являються повідомлення про розробку стаціонарних рівнемірів [25, 95], але відомості про їх широке застосування в нафтовій промисловості поки що відсутні.

З огляду на вищесказане представляється доцільним дослідження альтернативних методів оцінки рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах. Зокрема, в [28] розглянуто метод визначення рівня за динамограмою. Суть методу полягає у визначенні різниці між теоретично обчисленою вагою стовпа рідини в насосних трубах P_{pp} при умові, що рівень рідини знаходиться біля прийому насоса, та фактичною вагою стовпа рідини $P_{pф}$, визначеного з динамограми, звідки динамічний рівень

$$H = L - \frac{(P_{pp} - P_{pф})}{\rho_p F_{nl}}, \quad (2.4)$$

де L – глибина спуску насоса, F_{nl} – площа перерізу плунжера, ρ_p – густина рідини,

$$P_{pp} = L\rho_p F_{nl} + (p_2 - p_3)F_{nl},$$

де p_2, p_3 – гирловий та затрубний тиски.

Очевидною перевагою такого методу є поєднання в одному пристрої – динамографі – функціональних можливостей як традиційного діагностування технічного стану ШГНУ, так і, додатково, контролю рівня рідини в затрубному просторі. Органічність такого поєднання підтверджується наявністю на російському ринку приладів типу “рівнемір-динамограф” для комплексних досліджень ШГНУ виробництва різних фірм [47,48,49].

Проте розробка методу використання динамографа в якості рівнеміра

зустрічає суттєві проблеми, які можна виділити в наступні групи [96]:

1) необхідність ретельного врахування всіх факторів, які впливають на форму і абсолютні значення кривої навантаження в точці підвісу штанг, в першу чергу тертя, а також сил інерції та власних коливань штангової колони;

2) необхідність використання високоточних вимірювальних засобів для отримання задовільної роздільної здатності по рівню рідини;

3) розробка алгоритму оцінки рівня, інваріантного до наявності дефектів насосного обладнання, які спотворюють форму динамограми.

Перша проблема тісно пов'язана з питаннями математичного моделювання руху штангової колони. Зрозуміло, що вага штанг в рідині може бути визначена безпосередньо з динамограми лише за умови відсутності або близькості до нуля тертя, власних коливань та інерційних ефектів, що може мати місце лише для дуже неглибоких свердловин з невеликим числом качань. Розробка методів перерахунку наземної динамограми в плунжерну дозволяє виключити вплив перших двох факторів, оскільки результуюча плунжерна динамограма має форму, близьку до паралелограмної, за умови відсутності дефектів насосного обладнання, проте точне врахування складової тертя в математичній моделі коливань залишається складною задачею. Оскільки зміна навантаження внаслідок дії сил тертя за величиною може бути значно більшою, ніж ефекти зміни навантаження внаслідок зміни рівня рідини, то саме неточність у визначенні цієї складової буде вносити суттєву похибку в обраховане значення рівня. При відсутності задовільного методу компенсації цієї похибки навіть використання надвисокоточних динамографів не дозволить забезпечити достатню точність при розв'язанні поставленої задачі.

Сформулюємо вимоги до точності вимірювальних засобів у припущенні, що впливом сил тертя можна знехтувати або певним чином повністю виключити цей вплив. При зміні рівня на величину Δh фактична вага рідини, виходячи з (2.4), змінюється на величину

$$\Delta P_{pf} = \Delta h \rho_p F_{nl}.$$

Задавши для визначеності $\rho_p = 900 \text{ кг/м}^3$ та діаметр плунжера 32мм,

отримаємо, що при зміні рівня на 1 метр $\Delta P_{рф} = 0,724$ кг. При використанні динамографа з межами вимірювання 0...10т (типовий діапазон) це означає допустиму межу приведеної похибки біля 0,007%. В той же час у технічних даних на сучасні пристрої динамометрування (див. розділ 1.4) вказується значення приведеної похибки від 0,5% до 5% або роздільна здатність по навантаженню порядку 10 кг. Це говорить про те, що слід або конструктивно вдосконалювати вимірювальні засоби з метою досягнення більшої точності, або ж використовувати описаний метод лише для орієнтовної оцінки рівня з похибкою в десятки метрів.

Ще однією проблемою є те, що форма динамограми змінюється при наявності дефектів. Наприклад, при наявності витоків в приймальній чи нагнітальній частині глибинного насосу вага рідини, визначена за динамограмою, буде відрізнитись від фактичної, особливо при значних витоків (див. Рис. 2.16).

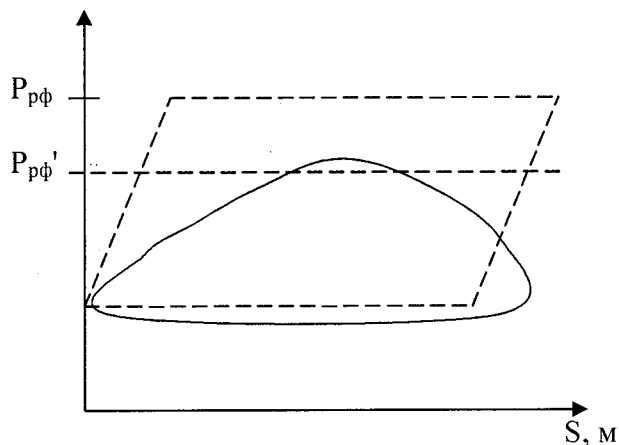


Рис. 2.16. Похибка визначення фактичної ваги рідини при наявності витоків в приймальній частині ($P_{рф}$ – дійсне значення, $P_{рф}'$ – визначене з динамограми)

Те саме стосується наявності витоків в насосно-компресорних трубах, а тим більше аварійної ситуації при обриві штанг. Це означає, що цілком коректний алгоритм оцінки рівня повинен включати хоча б мінімальні елементи діагностики технічного стану ШГНУ, по крайній мірі щодо наявності витоків та обривів штанг. Також не виключеною є непередбачувана зміна складової тертя внаслідок ефектів на зразок заклинювання плунжера, зміни властивостей свердловинної рідини, відкладення парафіну тощо, що може бути помилково прийнято за результат зміни рівня рідини.

Таким чином, розробка алгоритму оцінки рівня рідини за динамограмою, який забезпечував би достатню точність і достовірність результатів, потребує врахування значної кількості різноманітних факторів (зокрема, точного моделювання сил тертя та впливу дефектів), що вимагає вдосконалення чи модифікації існуючих математичних та діагностичних моделей ШГНУ, а також може бути пов'язано з необхідністю розробки нових чи вдосконалення існуючих вимірювальних засобів.

У зв'язку з вищеописаними складностями було розглянуто можливість використання інших інформативних ознак, що можуть вимірюватися одночасно з динамограмою за рахунок включення додаткових давачів до складу пристрою діагностування. Зокрема, було висловлено припущення [97], що одним з перспективних напрямків в галузі вимірювання рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах є пошук інформативних в цьому сенсі ознак шляхом аналізу характеристик коливних процесів ШГНУ, зокрема колони насосно-компресорних труб (КНКТ). З метою підтвердження чи спростування даного припущення було проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень [98], результати яких наводяться нижче.

2.5.1 Моделювання власних коливань КНКТ

Розглянемо КНКТ як стержень з площею перерізу F та довжиною L з жорстко закріпленим верхнім кінцем, до нижнього кінця якого прикладена зосереджена маса M , під якою будемо розуміти масу рідини всередині колони.

Рівняння руху

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (2.5)$$

де a – швидкість звуку в матеріалі труб.

Крайові умови

$$u|_{x=0} = 0, \quad M \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -EF \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=L}, \quad (2.6)$$

де E – модуль Юнга матеріалу труб.

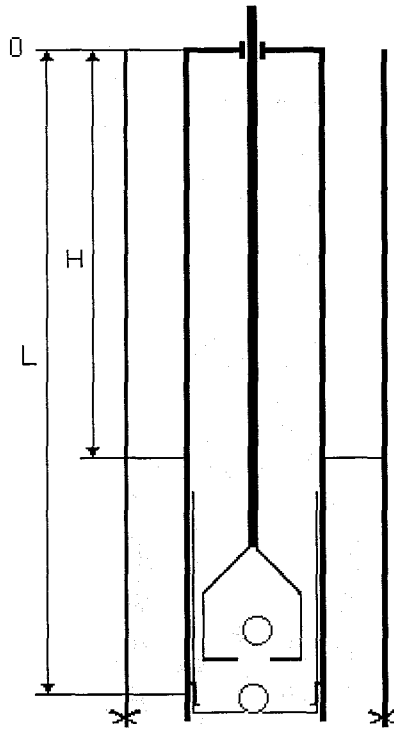


Рис. 2.17. Будова підземної частини ШГНУ

Розглянемо лише коливання КНКТ при ході вниз, коли маса рідини прикладена до нижнього кінця колони, оскільки при ході вгору рідина рухається разом з штанговою колоною всередині КНКТ, і для адекватного моделювання слід врахувати тертя між КНКТ і рідиною, що вимагає введення у розгляд закону руху штангової колони.

Оскільки маса рідини, прикладена до нижнього кінця КНКТ, залежить від значення рівня H

$$m_p = \rho_p F_n H, \quad (2.7)$$

де F_n – площа перерізу плунжера, ρ_p – густина рідини, то в (2.6) $M = M(H)$. Очевидним наслідком зміни маси системи є зміна частоти її власних коливань. Рівняння для визначення власних частот [99]

$$\operatorname{tg} \frac{pL}{a} = \frac{ma}{MpL}, \quad (2.8)$$

де m – маса КНКТ,

і перші три частоти [99]

$$p_1 = \frac{3\pi}{8L} \sqrt{\frac{EFL}{m}}, \quad p_2 = \frac{9\pi}{8L} \sqrt{\frac{EFL}{m}}, \quad p_3 = \frac{33\pi}{16L} \sqrt{\frac{EFL}{m}}. \quad (2.9)$$

Оцінимо величину зміни власної частоти p_1 при зміні рівня H в широких межах (1000...2000м) для наступних значень експлуатаційних параметрів ШГНУ: $L=2000\text{м}$, $\rho_p = 900 \text{ кг/м}^3$, діаметр плунжера 32мм, діаметр НКТ 73мм. Результат розрахунків за формулами (2.7)-(2.9) представлений на Рис. 2.18.

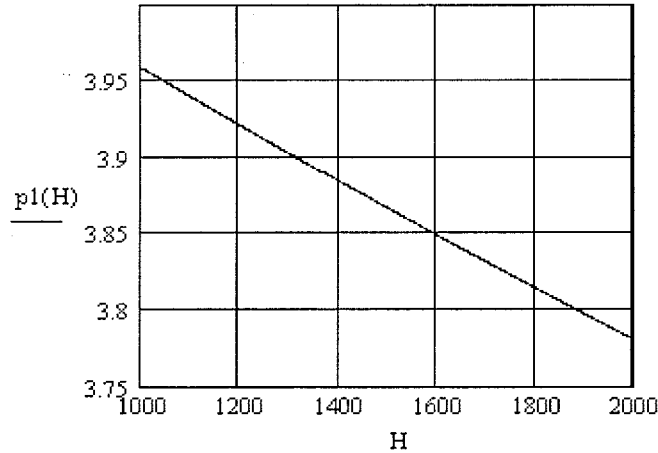


Рис. 2.18. Залежність власної частоти від рівня рідини

Такий результат вказує на те, що оцінка рівня рідини за власною частотою коливань системи КНКТ-рідина являє собою технічно складну задачу, оскільки для вимірювання рівня з точністю хоча б ± 10 м необхідно вимірювати частоту з точністю ± 0.002 Гц, і це за умов наявності у вібраційному сигналі значної кількості шумів та гармонічних складових з іншими частотами. Достатньо вказати на те, що для отримання роздільної здатності по частоті 0.002 Гц для дискретного перетворення Фур'є необхідно записати вибірку тривалістю не менше 500 с; оскільки спектр вібросигналу має ширину порядку кількох кілогерц [34], а частоту дискретизації для якісного відтворення спектра рекомендується вибирати у 8-10 разів більшою за максимальну частоту спектра [63], то обсяг вибірки повинен сягати кількох десятків мільйонів значень. Для підвищення ж точності до ± 1 м відповідно слід записати вибірку обсягом в кількості мільйонів значень на протязі не менше 1 год 20хв.

Слід вказати також на те, що в результаті обробки експериментальних даних по вібрації КНКТ не було виявлено явно виражених гармонічних складових на частотах, розрахованих за (2.9), що, однак, може бути пояснено обмеженістю частотного діапазону використаних при дослідженнях вібродавачів в області

низьких частот, а також тим, що в зв'язку з конструктивними особливостями обладнання гирла свердловини вібросигнал вимірювався не безпосередньо на КНКТ, а на трійнику НКТ.

2.5.2 Моделювання коливань КНКТ з врахуванням тертя, тиску рідини в затрубному просторі та періодичного навантаження під дією ваги рідини

Як видно з Рис. 2.17, коливання нижньої частини КНКТ відбуваються в рідині, тобто в середовищі з опором, а верхньої частини – в газовому середовищі, опір якого можна вважати нульовим. Відповідно можна записати хвильові рівняння:

$$\text{при } 0 < x < H \quad \frac{\partial^2 u_B}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_B}{\partial x^2}, \quad (2.10)$$

$$\text{при } H \leq x < L \quad \frac{\partial^2 u_H}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u_H}{\partial x^2} - \beta \frac{\partial u_H}{\partial t}, \quad (2.11)$$

де β – коефіцієнт опору середовища.

Початкові умови приймаються нульовими:

$$u_B|_{t=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_B}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \quad (2.12)$$

$$u_H|_{t=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_H}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \quad (2.13)$$

Крайові умови для (2.10):

$$u_B|_{x=0} = 0 \quad (2.14)$$

(верхній кінець жорстко закріплений);

$$u_B|_{x=H} = u_H|_{x=H} \quad (2.15)$$

(умова стику для рівнянь (2.10) і (2.11)).

Для запису крайових умов для (2.11) розглядається, по-перше, деформація КНКТ під дією ваги стовпа рідини, що періодично прикладається до нижнього кінця колони, і, по-друге, деформація під дією тиску рідини всередині колони та в затрубному просторі.

Припустивши, що навантаження від ваги рідини зрівноважується силами пружності ШК та КНКТ, можна записати:

$$E(F_{st}\varepsilon_{st} + F_T\varepsilon_T) = m_p g,$$

де F_{sb} , F_T – площі поперечного перерізу штанг і труб, ε_{sb} , ε_T – відносні деформації штанг і труб.

Закон деформації штанг в часі, виходячи із закону руху полірованого штока $s(t) = \frac{S0}{2}(1 - \cos \omega t)$, де $S0$ – довжина ходу, ω – кутова швидкість руху полірованого штока (Рис. 2.19).

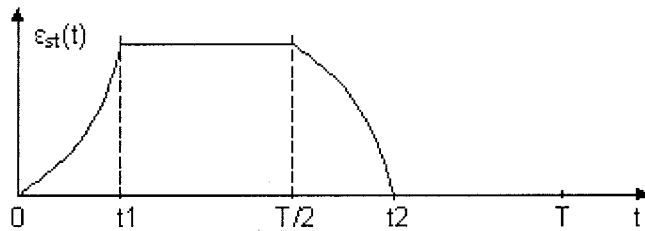


Рис. 2.19. Закон деформації штангової колони

$$\varepsilon_{st}(t) = \begin{cases} \frac{S0}{2}(1 - \cos \omega t), 0 < t < t1 \\ \frac{m_p g}{EF_{st}}, t1 < t < \frac{T}{2} \\ \frac{S0}{2}(1 - \cos \omega t) - \frac{m_p g}{EF_{st}}, \frac{T}{2} < t < t2 \\ 0, t2 < t < T \end{cases}$$

де $t1 = \frac{1}{\omega} \arccos(1 - \frac{2m_p g}{EF_{st} S0})$ – час сприйняття колоною штанг навантаження від ваги

рідини, $t2 = \frac{T}{2} + t1$, T – тривалість одного циклу качання.

Таким чином,

$$\varepsilon_T(t) = \frac{1}{F_T} \left(\frac{m_p g}{E} - F_{st} \varepsilon_{st}(t) \right). \quad (2.16)$$

Розглянемо деформацію під дією тиску рідини. За законом Гука поздовжнє носне видовження $\varepsilon = \mu \frac{\sigma}{E}$, де σ – напруження від поперечної деформації, μ – коефіцієнт Пуассона; за формулою Маріотта $\sigma = \frac{D}{2d} p$, де D – внутрішній діаметр

КНКТ, d – товщина стінки, p – тиск рідини на стінку. Звідси $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\mu D}{2dE}(p_B - p_3)$, де p_3 – тиск рідини в затрубному просторі, p_B – тиск рідини всередині КНКТ (знаки пояснюються тим, що зовнішній тиск стискає січення труби, внутрішній розтягує); $p_B = \rho_B g L$, $p_3 = \rho_3 g (L-H)$, де ρ_B, ρ_3 – густина рідини всередині та зовні КНКТ.

Остаточно крайова умова для нижнього кінця

$$\left. \frac{\partial u_H}{\partial x} \right|_{x=L} = \varepsilon_T(t) + \frac{\mu D g}{2dE}(\rho_B L - \rho_3(L-H)), \quad (2.17)$$

де $\varepsilon_T(t)$ визначається за (2.16).

Для $x = H$ крайова умова

$$\left. \frac{\partial u_H}{\partial x} \right|_{x=H} = \frac{\mu D g}{2dE} \rho_B H. \quad (2.18)$$

2.5.3 Аналіз математичної моделі коливань КНКТ з точки зору практичного застосування

Розв'язком описаної моделі є деякі функції $u_B(x,t)$ та $u_H(x,t)$. Оскільки вимірювання характеристик вібраційних процесів можливе лише у верхній частині КНКТ, практичний інтерес представляє тільки функція $u_B(x,t)$, причому при $x \rightarrow 0$. На Рис. 2.20,а показано типове обладнання гирла свердловини при експлуатації ШГНУ. Як видно з рисунка, вимірювання вібрації безпосередньо на КНКТ вимагає стаціонарного встановлення вібродавачів, наприклад, при капремонті свердловини, оскільки конструкція обладнання гирла свердловини не дозволяє здійснювати це зручно. При цьому в принципі можливе внесення мінімальних змін до конструкції цього обладнання (формування додаткових отворів та вибухобезпечних роз'ємів для виводу сигнальних кабелів). У випадку переносного варіанту вібродіагностичної системи конструкція обладнання гирла свердловини повинна допускати встановлення вібродавачів на колону НКТ навіть при значному тиску газів в затрубному просторі. Це призводить до потреби значної зміни конструкції обладнання гирла свердловини (введення шлюзових камер, направляючих для транспортування вібродавачів, тощо). Тому при проведенні експериментальних

досліджень акселерометр встановлювався на трійнику, який з'єднаний з КНКТ різьбовим з'єднанням за допомогою муфти. Оскільки відповідно до розглянутої моделі верхній кінець КНКТ вважається жорстко закріпленим, встановити аналітичний зв'язок між коливаннями КНКТ і трійника в принципі неможливо. Існує два шляхи розв'язання даної проблеми: або вважати, що коливання КНКТ передаються на трійник, не змінюючи суттєво своїх амплітудно-частотних характеристик, тобто виміряні на трійнику коливання вважати аналогічними до коливань КНКТ, або ж врахувати цей зв'язок шляхом ускладнення моделі. Один із варіантів такого ускладнення представлений на Рис. 2.20,б.

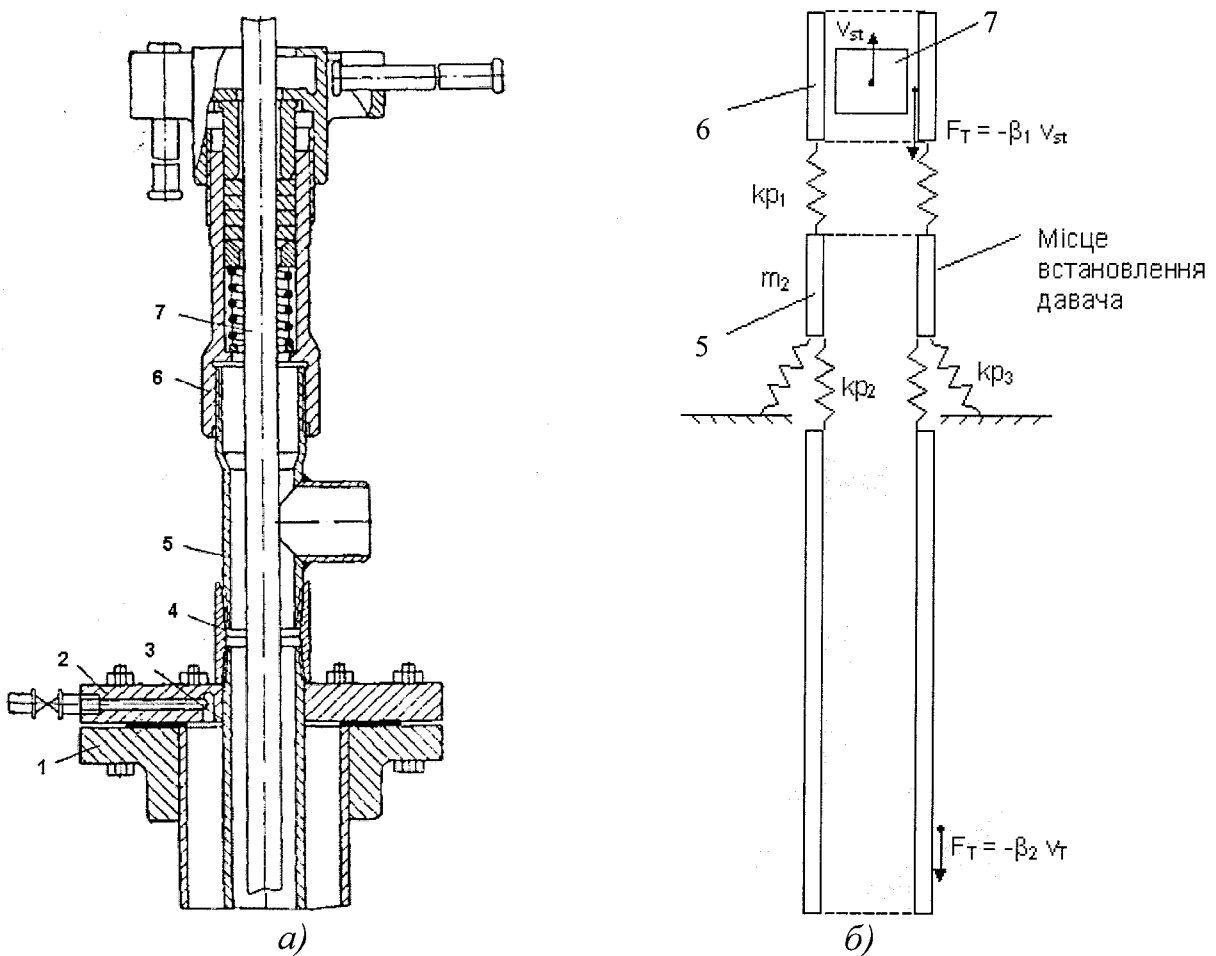


Рис. 2.20. Обладнання гирла свердловини (а) та його модель (б):

- 1 – колонний фланець;
- 2 – планшайба;
- 3 – КНКТ;
- 4 – муфта;
- 5 – трійник;
- 6 – сальник;
- 7 – штангова колона.

Система рівнянь, що описує рух даної системи, відрізнятиметься від розглянутої вище, по-перше, крайовою умовою для верхнього кінця КНКТ, і, по-друге, наявністю рівнянь руху трійника і сальника, які будемо розглядати як тверді тіла.

Рівняння руху сальника, вважаючи тертя між сальником і полірованим штоком прямо пропорційним швидкості полірованого штока

$$\frac{d^2 u_{m1}}{dt^2} = \frac{k_{p1}}{m1} u_{m1} - \frac{k_{p1}}{m2} u_{m2} - \frac{\beta_1}{m1} \frac{\partial u_{st}}{\partial t} \quad (2.19)$$

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

Рівняння руху трійника

$$\frac{d^2 u_{m2}}{dt^2} = \frac{k_{p1}}{m2} u_{m1} - \frac{(k_{p1} - k_{p2} - k_{p3})}{m1} u_{m2} - \frac{k_{p2}}{m2} u_B \Big|_{x=0}, \quad (2.20)$$

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

Початкові умови нульові

$$u_{m1} \Big|_{t=0} = 0 \quad (2.21)$$

Початкові умови нульові

$$u_{m2} \Big|_{t=0} = 0 \quad (2.22)$$

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

$$\frac{\partial u_B}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{k_{p2}}{EF_T} u_B - \frac{k_{p2}}{EF_T} u_{m2} \quad (2.23)$$

Решта рівнянь аналогічні наведеним вище (2.10-2.13, 2.15-2.17)

Для розв'язку даної системи рівнянь було складено різницю.

$$us_{j+1} - 2us_j + us_{j-1} = dt * dt * (a1 * us_j - a1 * ut_j - a2 * vst_j);$$

$$ut_{j+1} - 2ut_j + ut_{j-1} = dt * dt * (a3 * us_j - a4 * ut_j - a5 * uv_{0j});$$

$$uv_{1j} - uv_{0j} = dx * (a6 * uv_{0j} - a7 * ut_j);$$

$$(uv_{i,j+1} - 2uv_{i,j} + uv_{i,j-1}) * dx * dx = (uv_{i+1,j} - 2uv_{i,j} + uv_{i-1,j}) * dt * dt * a * a;$$

$$v_{mj} = un_{0j} ;$$

$$(un_{k,j+1} - 2un_{k,j} + un_{k,j-1}) * dx * dx = (un_{k+1,j} - 2un_{k,j} + un_{k-1,j}) * dt * dt * a * a - a8 * dx * dx * dt * (un_{k,j} - un_{k,j-1});$$

$$un_{1j} - un_{0j} = dx * a9 * H ;$$

$$un_{M,j} - un_{M-1,j} = dx * (a10 - a11 * eps_j + a11 * H);$$

$$uv_{i,0} = 0; \quad uv_{i,1} = 0; \quad un_{k,0} = 0; \quad un_{k,1} = 0;$$

$$us_0 = 0; \quad ut_0 = 0.$$

Тут через us_j , ut_j , un_{ij} , uv_{ij} позначено відповідно u_{m1} , u_{m2} , u_B , u_H (невідомі величини); vst_j – величину $\frac{\partial u_{st}}{\partial t}$ – швидкість ПШ, яка обчислюється за вимірюваними переміщеннями; eps_j - $\varepsilon_{st}(t)$ - видовження штанг, яке обчислюється за переміщенням штока згідно (2.16), $a1 \dots a11$ – константи у рівняннях (2.10-2.13, 2.15-2.18), dx , dt – крок по координаті і часу відповідно.

Аналіз розв'язків наведеної системи рівнянь для різних значень рівня не дозволив виявити чітко вираженої залежності між характеристиками коливних процесів та значенням рівня. Очевидно, це зумовлено незначністю досліджуваного ефекту в порівнянні з процесами, що визначаються величинами та конфігурацією значних коливних мас КНКТ і рідини в розглянутій коливній системі.

З іншого боку, постає питання адекватності наведеної математичної моделі реальним коливним процесам в КНКТ, а точніше – їх картині, отриманій в результаті вимірювань, наприклад, за допомогою акселерометра. Будь-які моделі типу наведеної вище дозволяють оцінити коливання складових ШГНУ лише в діапазоні низьких та інфранизьких частот, що зумовлено низькою власною частотою коливань системи. Оскільки чутливість сучасних вібродавачів в такому діапазоні частот незначна, то безпосередні вимірювання таких коливань в області їх можливого вузла - технічно складна задача. Перевірка припущення щодо реєстрації

можливих вищих та субгармонік основної частоти, утворених внаслідок нелінійності системи та (в основному) вібродавачів, дала негативний результат. Оціночна ідентифікація записаних коливань, проведена шляхом прослуховування та аналізу їх часових та спектральних залежностей, свідчить про переважаючу наявність амплітудно-модульованого шумового сигналу, утвореного внаслідок тертя полірованого штока об ущільнюючі елементи обладнання гирла свердловини. Частотні характеристики цього сигналу лежать в області максимальної чутливості вібродавачів, тому відношення сигнал/шум значно менше одиниці. Покращення цього відношення можливе тільки за умови побудови оптимального фільтру, АЧХ якого відповідає спектру сигналу. Оскільки характеристики сигналу невідомі, то побудова такого фільтру – задача, що технічно не реалізується. Розрахунок поля сигналу в ближній зоні для хвилеводу складної конфігурації можливе тільки чисельним методом і є також складною задачею.

На підтвердження наведених міркувань на **Рис. 2.21** приведено спектри коливань КНКТ, отримані в результаті експериментальних досліджень (а, б) та математичного моделювання (в). Можна помітити, що для реального сигналу основна енергія зосереджена в смугах частот 1200...2400 Гц та, меншою мірою, 50...1000 Гц, в той час як для модельованого – до 50 Гц, що вказує на принципову неможливість їх адекватного співставлення.

Таким чином, в результаті проведених теоретико-експериментальних досліджень коливних процесів КНКТ не було виявлено в достатній мірі інформативних ознак, придатних для використання з метою оцінки рівня рідини в свердловинах, обладнаних ШГНУ, з необхідною точністю і достовірністю.

Подальші дослідження в цьому напрямі вимагають більш детального аналізу низькочастотних складових вібраційного сигналу при умові використання відповідного по точності і частотному діапазону типу первинних перетворювачів, а також принципово інших підходів до математичного моделювання коливних процесів з метою врахування значних стохастичних складових досліджуваного вібраційного сигналу.

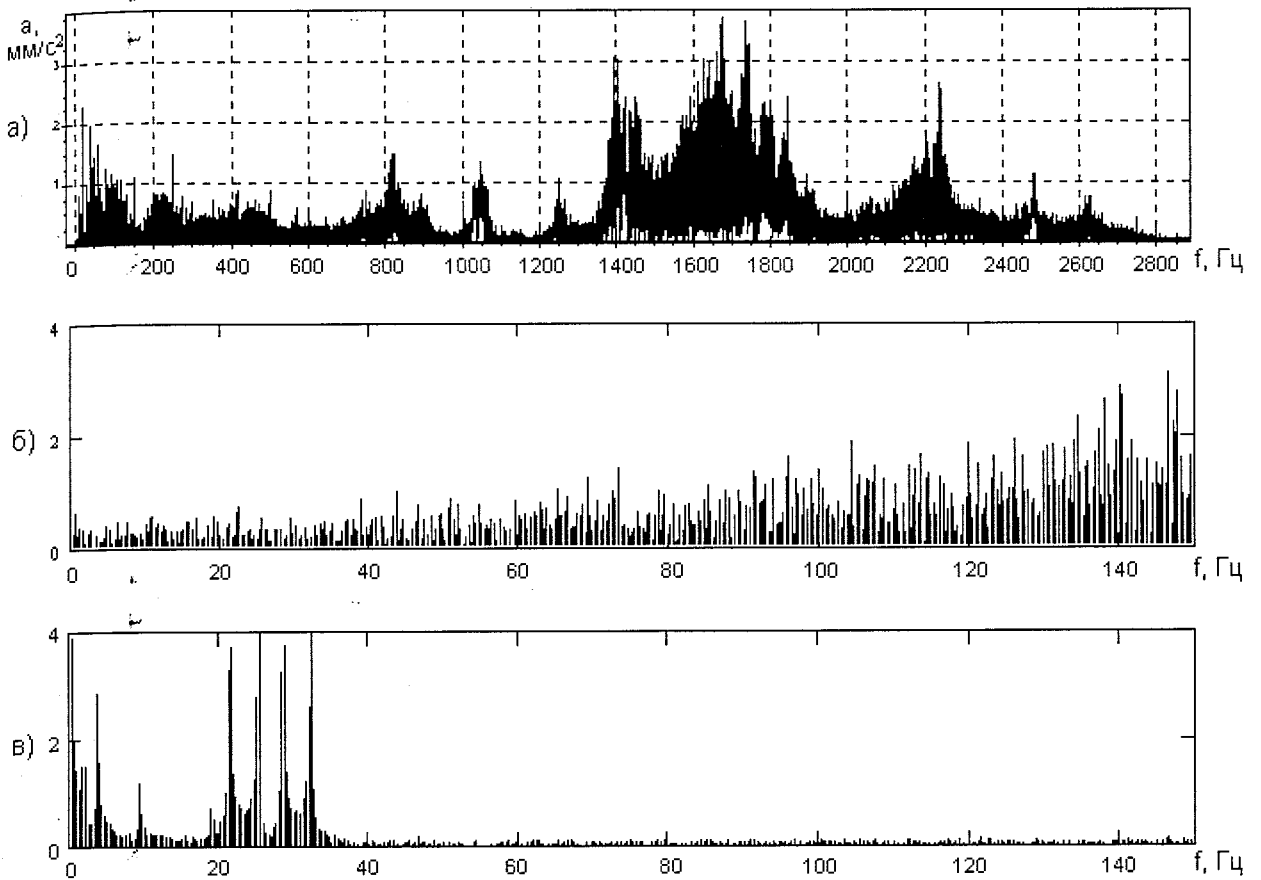


Рис. 2.21. Спектри коливань КНКТ: а, б – для виміряного сигналу; в – для модельованого сигналу

Висновки до розділу

1. Запропоновано нові способи формування вектора ознак при діагностуванні динамометричним методом – на основі коефіцієнтів розкладу в базисі Уолша та вейвлет-базисі, а також шляхом обчислення модифікованої різницевої кривої, що дозволить підвищити достовірність діагностування в порівнянні з відомими методами.
2. Показано, що врахування форми сигналу переміщення полірованого штоку дозволяє підвищити достовірність діагностування та запропоновано метод формування вектора ознак на основі сигналів навантаження і переміщення.
3. Розглянуто можливість визначення рівня рідини в затрубному просторі за динамограмою та за характеристиками коливних процесів колони НКТ. Показано, що більш доцільно оцінювати рівень на підставі динамограми, що, однак, вимагає

використання точних вимірювальних засобів та наявності інформації про значення коефіцієнту тертя.

4. Запропоновано експериментальний метод визначення коефіцієнту тертя штангової колони на основі аналізу вимірних динамограм, що дозволяє підвищити достовірність розрахунку плунжерних динамограм та розрахунку еталонних динамограм, які відображають різні технічні стани дослідної свердловини.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ

3.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Для експериментальних досліджень було вибрано 25 свердловин НГВУ "Надвірнанафтогаз" (Битківське родовище) та "Бориславнафтогаз" (Бориславське, Орів-Уличнянське та Старосамбірське родовище), основні параметри яких приведені в табл. 3.1. Свердловини вибирались таким чином, щоб забезпечити наявність різних комбінацій глибини спуску насоса, довжини ходу та кількості качань за хвилину (див. табл. 3.2). Для кожного із цих параметрів було виділено 4-5 діапазонів найбільш характерних значень на основі аналізу інформації про свердловини НГВУ "Надвірнанафтогаз" (65 свердловин) та "Бориславнафтогаз" (160 свердловин). При цьому деякі комбінації параметрів, наприклад, велика довжина ходу при глибині спуску менше 1000 м або мала довжина ходу для глибоких свердловин, виявились відсутніми. Діаметр насоса для переважної більшості свердловин в даній вибірці, як і в цілому для свердловин Прикарпатського регіону, складає 32 мм.

Таблиця 3.1. Основні параметри свердловин

Родовище	Свердловина	Довжина ходу, м	Кількість качань за хв.	Глибина спуску насоса, м	Тип насоса
Битківське	320	3	6.5	1895	НГВ1-32
	420	3	6.5	1804	НГВ1-32
	463	3	6.5	1983	НГВ1-44
	588	2.5	4.4	2070	НГВ1-32
Бориславське	1298	1.8	5	1567	НСВ-32
	1604	1.4	4	1914	НСВБ-32
	28	3	4.5	2283	НСВБ-32
	24	3	4	2071	НСВБ-32

Продовження табл. 3.1

Родовище	Свердловина	Довжина ходу, м	Кількість качань за хв.	Глибина спуску насоса, м	Тип насоса
Бориславське	8	2.3	5	2312	НСВБ-32
	1715	2.4	4.5	2001	НСВБ-32
	196	1.8	3.1	1155	НСВБ-32
	950	2	3.2	1274	НСВБ-32
	158	1.8	7	361	НСВ-32
	581	0.9	3	873	НСВБ-28
	967	1.8	5	1339	НСВБ-32
	1616	1.5	4	2003	НСВ-32
	557	1.5	3.1	958	НСВБ-32
	560	1.1	3	1132	НСВБ-32
774	2.4	3.5	1277	НСВБ-43	
Ориво-Уличнянське	101	2.8	4.2	2404	НСВБ-32
	161	3	6.5	2406	НСВ-32
	104	3	6.5	2109	НСВ-32
	54	2.8	4	2458	НСВБ-32
Старосамбірське	68	2.4	6	2079	НСВ-32
	63	3	6.5	2198	НСВБ-32

Таблиця 3.2. Наявність різних комбінацій експлуатаційних параметрів ШГНУ у вибірці, що досліджувалась

Глибина спуску		<1000			1000...1500			1500...2000			2000...2300			>2300		
		3-5	5-6	>6	3-5	5-6	>6	3-5	5-6	>6	3-5	5-6	>6	3-5	5-6	>6
Довжина ходу	<1.5	■			■			■								
	1.5...2	■		■	■	■			■		■					
	2...2.5				■							■	■		■	
	>2.5									■	■		■	■		■

Методика проведення експериментальних досліджень передбачала одночасне вимірювання динамограм за допомогою системи динамометрування ШГНУ та гідравлічним динамографом. Вимірювалось навантаження на полірований шток за

допомогою давача накладного типу та переміщення за допомогою давача кута повороту А178-А5, який за допомогою магнітного кріплення встановлювався на балансірі ВК безпосередньо біля опори. Крім того, в окремих випадках (для свердловин, що працюють у режимі з періодичною відкачкою) вимірювався рівень рідини в затрубному просторі свердловини з інтервалом в півгодини на протязі всього часу вимірювань.

3.2 Технічне та програмне забезпечення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень використовувалась система динамометрування ШГНУ [100], структурна схема якої приведена на Рис. 3.1. Блок 1, що включає давач навантаження зі схемами підсилення і модуляції, кріпиться до полірованого штока ШГНУ, блок 2 розташовується безпосередньо біля ЕОМ.

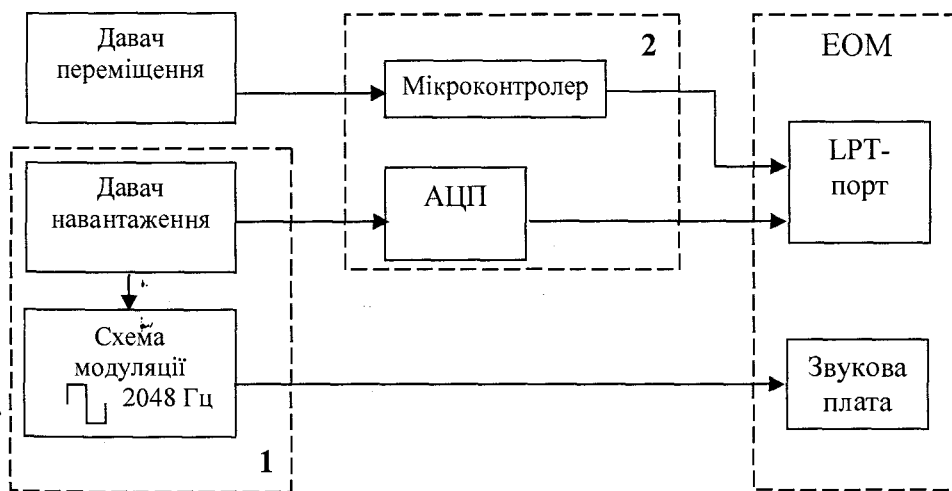


Рис. 3.1. Структурна схема системи динамометрування

Мінімальна конфігурація системи включає лише блок 1 та ЕОМ і може використовуватись в тих випадках, коли не пред'являється жорстких вимог до точності відтворення динамограми. Переміщення в цьому випадку моделюється програмно, виходячи з відомих експлуатаційних параметрів ШГНУ (довжина ходу і кількість качань за хвилину). Для вимірювання навантаження на полірований шток використовується давач накладного типу, конструкція якого зображена на Рис. 3.2.

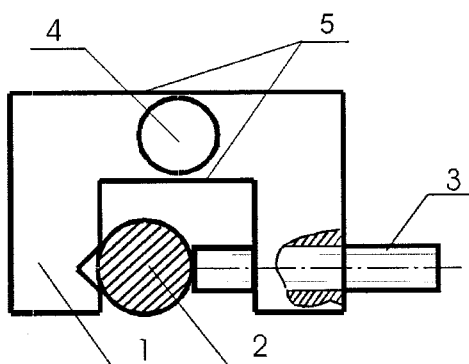


Рис. 3.2. Конструкція накладного давача навантаження:

- 1 – пружний деформуючий елемент;
- 2 – полірований шток;
- 3 – затискний гвинт;
- 4 – послаблюючий отвір;
- 5 – місце розташування тензорезисторів.

Тензорезистори, наклеєні на поверхню чутливого елемента, включені за мостовою схемою. Сигнал з виходу тензомоста модулюється імпульсним сигналом частотою 2048 Гц. Необхідність модуляції пояснюється тим, що для оцифрування сигналу давача навантаження використовується АЦП плати вводу аудіосигналу (звукової плати) ЕОМ, для якого смуга пропускання обмежена знизу частотою порядку 10-20 Гц. Це дозволяє уникнути застосування схеми аналого-цифрового перетворення, проте, оскільки сигнал навантаження є низькочастотним (основна частота – до 0.3 Гц), його безпосереднє оцифрування за допомогою плати вводу аудіосигналу неможливе. Процедура демодуляції реалізована програмно і включає в себе визначення середнього значення модульованого сигналу на періоді несучої частоти з наступним усередненням по кількох періодах, що необхідно для зменшення шумової складової вимірюваного сигналу.

При використанні повної конфігурації системи з блоком 2 точність вимірювання навантаження зростає в кілька разів завдяки використанню 24-розрядного дельта-сигма АЦП AD7714 (операція згладжування в цьому випадку не потрібна). Крім того, використовується інформація з давача переміщення, який

встановлюється на балансірі верстата-качалки ШГНУ. Імпульсний сигнал з виходу датчика обробляється мікроконтролером 8051, який по запиту від ЕОМ передає поточні значення часу і переміщення через LPT-порт. Поточне значення часу отримується за допомогою внутрішнього таймера 8051, що забезпечує роздільну здатність по часу 1,125мс (роздільна здатність системного таймера ЕОМ – 55 мс).

Програмне забезпечення розглянутої системи динамометрування (див. Рис. 3.3) реалізує досить простий процес управління збором та обробкою даних та зручний інтерфейс користувача. Елементи управління згруповані за функціональним призначенням і розташовані в порядку їх використання. Задіяні “швидкі клавіші” для зручного виконання основних операцій.

Процедура отримання динамограми за допомогою описаної системи включає наступні етапи:

1. Вибір свердловини (вікно 1) із списку свердловин, основні параметри яких зберігаються в базі даних. Основні експлуатаційні параметри в цьому вікні виводяться для довідки. Для редагування бази даних служать кнопки “Відкрити базу даних” і “Додати свердловину”.

2. Вибір конфігурації системи (вікно 2). Кнопка “Тест” в цьому вікні призначена для перевірки правильності функціонування давача переміщення та мікроконтролера.

3. Вимірювання нульової лінії, ваги штанг та ваги рідини (вікно 3).

Необхідність вимірювання нульової лінії пояснюється тим, що використаний в системі давач навантаження вимірює лише динамічну деформацію полірованого штоку відносно початкового деформованого стану, тобто не враховується складова деформації, зумовлена вагою колони штанг. Тому для отримання абсолютних значень навантаження необхідно попередньо виміряти навантаження на полірований шток при повністю розвантажених штангах, що, однак, не завжди можливо в умовах нафтопромислів в зв'язку з відсутністю необхідного обладнання. Якщо нульова лінія не була виміряна, значення різниці між вагою штанг і нульовою лінією визначається теоретично на основі параметрів штангової колони і колони НКТ, які зберігаються в базі даних. Так само теоретично можуть бути визначені і значення

ваги штанг і ваги рідини, якщо вони не були виміряні.

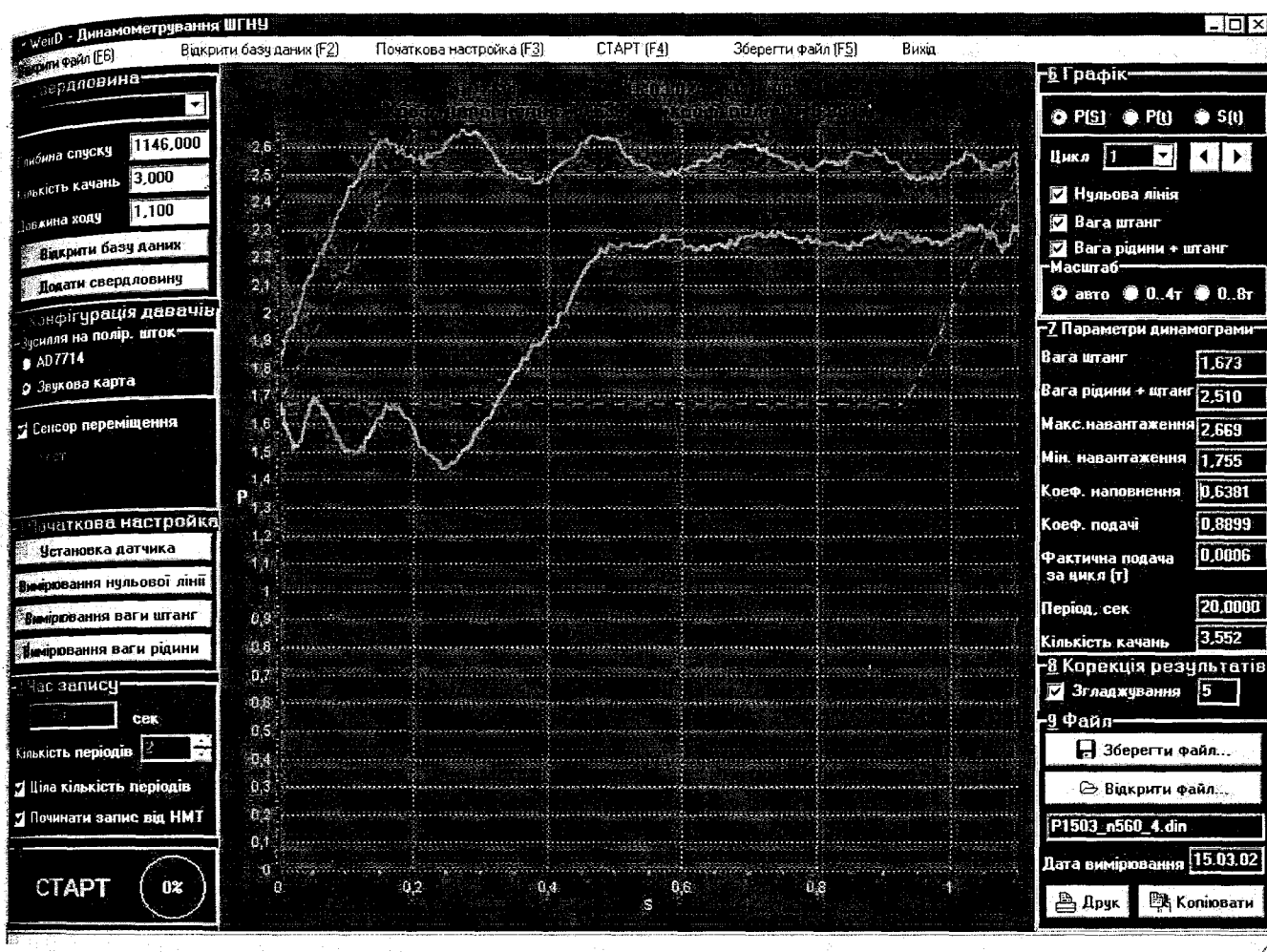


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд головного вікна програми

4. Задання часу запису динамограми (в секундах або кількості періодів).
5. Запуск процедури читання даних (кнопка “Старт”).
6. Збереження файлу динамограми (кнопка “Зберегти файл”).

Після завершення процедури читання даних в головному вікні відображається динамограма за перший період качання. Якщо було записано більше одного періоду, динамограми за інші періоди можна переглянути, вибираючи номер періода у віконці “Цикл” або натискаючи кнопки . При необхідності можна виконати процедуру згладжування, відмітивши перемикач у вікні 8.

У вікні 7 відображаються параметри динамограми для поточного періоду. Максимальне і мінімальне навантаження (далі – P_{\max} і P_{\min}), тривалість циклу качання та кількість качань за хвилину визначаються безпосередньо із динамограми.

Вага штанг та вага рідини являють собою результат вимірювань, проведених у п.3, а у випадку, коли ці вимірювання не були проведені, - результат теоретичного обрахунку згідно формул

$$m_p = \rho_p F_n L, \quad m_{st} = \rho_{st} F_{st} L,$$

де F_n , F_{st} – площа перерізу плунжера та колони штанг, L – глибина спуску насоса, ρ_p , ρ_{st} – густина рідини та матеріалу штанг (добуток $F_{st} L$ обчислюється як сума добутків для довжин відрізків колони штанг з різними діаметрами).

На основі цих двох величин на графіку будується теоретична (паралелограма) динамограма (див. Рис. 3.3). Побудова теоретичної динамограми може бути відключена шляхом вимкнення перемикачів “Вага штанг” і “Вага рідини” у вікні 6. Третій перемикач – “нульова лінія” – дозволяє переглядати динамограму як в масштабі $0 \dots P_{\max}$ (перемикач включений, див. Рис. 3.3), так і в масштабі $P_{\min} \dots P_{\max}$ (перемикач відключений). Другий режим зручний тим, що дає чіткіше уявлення про форму динамограми за умов, коли вага рідини значно менша, ніж вага штанг. Крім автоматичного масштабування (по замовчуванню), існує можливість задання фіксованих масштабів $0 \dots 4t$ та $0 \dots 8t$ для зручності порівняння динамограм з різними максимальними навантаженнями. Програма має три режими перегляду результатів вимірювання – у вигляді динамограми $P(S)$, сигналу навантаження в функції часу $P(t)$ та переміщення в функції часу $S(t)$.

З метою забезпечення можливості використання даного програмного забезпечення для оперативного динамометрування ШГНУ до його складу включено обрахунок коефіцієнтів подачі та наповнення глибинного насосу та фактичної подачі за цикл, що традиційно використовуються у практиці нафтовидобутку для оцінки дебіту свердловини. Коефіцієнт подачі визначається як відношення довжини ходу плунжера до довжини ходу полірованого штока [101], причому довжина ходу плунжера визначається із виміряної динамограми. Коефіцієнт наповнення обчислюється як відношення площі динамограми, отриманої інтегруванням кривої $P(S)$, до площі ідеальної теоретичної динамограми, яка визначається як

$$F_{теор} = m_p (S - \lambda),$$

де λ – сумарне видовження колони штанг і колони НКТ, S – довжина ходу

полірованого штока.

Фактична подача за цикл обчислюється за формулою

$$q_{\text{факт}} = F_n (S - \lambda) \rho_p = \frac{F_{\text{теор}}}{L}.$$

За допомогою описаної системи на протязі 2001-2003рр. було знято 36 динамограм на свердловинах НГВУ “Надвірнанафтогаз” та “Бориславнафтогаз”. Приклад порівняльного динамометрування, виконаного за допомогою серійного гідравлічного динамографа та тензометричного динамографа, який входить до складу системи, наведений на Рис. 3.4.

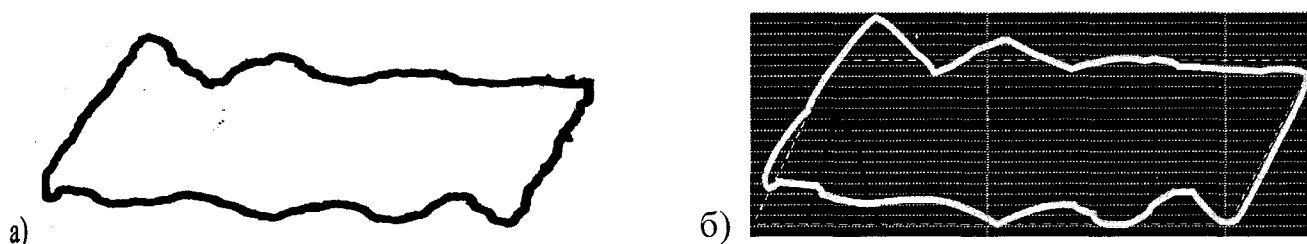


Рис. 3.4. Динамограма, одержана за допомогою гідравлічного динамографа (а) та системи динамометрування з тензометричним давачем (б)

Текст програми динамометрування наведений в додатку В.

3.3 Результати промислової апробації

З метою перевірки роботоздатності алгоритму діагностування було виконано обрахунки для наступних способів формування вектора ознак:

- дискретизований в часі сигнал навантаження (256 відліків на період качання);
- дійсні і уявні складові 8 коефіцієнтів перетворення Фур'є;
- амплітудні і фазові складові 8 коефіцієнтів перетворення Фур'є;
- 16 коефіцієнтів перетворення Уолша;
- 16 коефіцієнтів вейвлет-перетворення Добеші 2-го порядку.

В якості мір подібності використовувались коефіцієнт кореляції, Евклідова відстань та відстань по Хеммінгу. Для двох останніх мір подібності було виконано попереднє нормування сигналу навантаження та еталонів технічних станів шляхом

віднімання середнього значення та ділення на середньоквадратичне відхилення.

Для діагностування було вибрано 25 динамограм, знятих на свердловинах НГВУ "Надвірнанафтогаз" та "Бориславнафтогаз", вказаних в табл. 3.1. Для кожної свердловини формувались паралелограмні еталони технічних станів "нормальна робота", "прихват плунжера", "низька посадка плунжера", "вплив газу", "низький динамічний рівень", "витік в нагнітальній частині" та "витік в приймальній частині". Для кожного з останніх чотирьох станів формувалося по три еталони з коефіцієнтами наповнення 0.3, 0.5 та 0.7.

Приклад розрахунку мір подібності між динамограмою, знятою на свердловині 1715 (див. Рис. 3.5), та еталонними динамограмами наведено в табл. 3.3. З таблиці видно, що при використанні амплітудних і фазових складових перетворення Фур'є різниця між значеннями коефіцієнта кореляції для еталонів різних технічних станів не перевищує 7%, а евклідова і хеммінгова відстань мають значення, дуже близькі до нуля, що вказує на високу степінь подібності еталонних векторів. Це, зокрема, може бути причиною постановки неправильного діагнозу ("витік в нагнітальній частині" для двох із трьох мір подібності). Для решти способів формування вектора ознак значення коефіцієнтів кореляції переважно співпадають з точністю в межах до 12%, а відстані Евкліда і Хеммінга є найменшими для дійсних і уявних складових перетворення Фур'є і найбільшими для перетворення Уолша, однак в процентному відношенні до діапазону зміни кожної із мір подібності значення також є порівнянними. Зокрема, різниця між значеннями міри подібності для правильного діагнозу "витік в приймальній частині" та найближчого до нього для одного із неправильних діагнозів (в даному випадку переважно "нормальна робота") складає 13...17% для коефіцієнту кореляції та від 8% до 30% (в середньому біля 18%) для евклідової і хеммінгової відстані. Максимальне значення коефіцієнту кореляції між виміряною динамограмою і еталонем її технічного стану (0,932), а також максимальну різницю між значеннями мір подібності для правильного і найближчого до нього для одного з неправильних діагнозів (30% від діапазону отриманих значень для хеммінгової відстані) було отримано для вейвлет-перетворення.

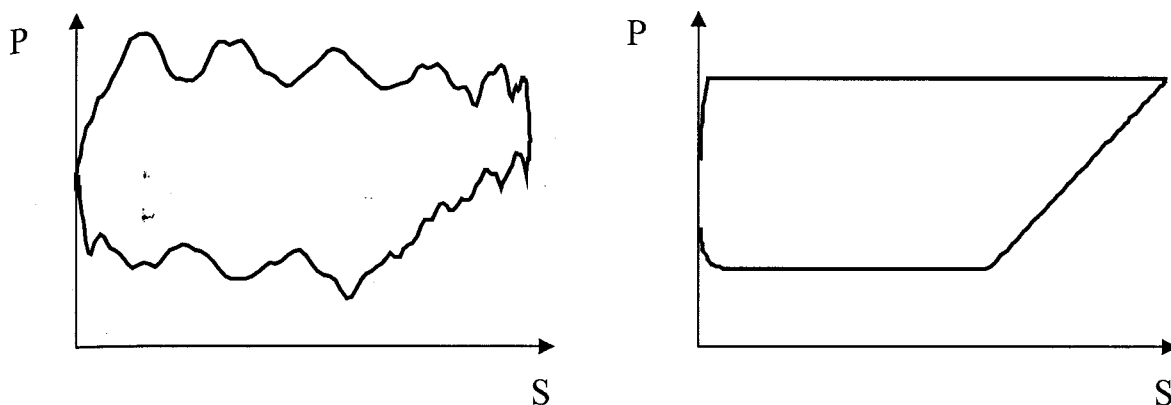


Рис. 3.5. Виміряна (а) та еталонна (б) динамограми для свердловини 1715

Загалом подібні результати було отримано і для решти досліджуваних динамограм (див. додаток Г, де представлено ряд результатів розрахунків). Остаточні результати діагностування приведено в табл.3.4, де у другому стовпчику вказано діагноз, поставлений працівниками нафтопромислів.

Результати, приведені в рядку “Кількість правильних діагнозів” табл.3.4, отримані без застосування методики забезпечення інваріантності до форми сигналу переміщення, про яку йшлося в розділі 2.3. В зв’язку з цим для динамограм із свердловин №№ 420, 320, 557 та 774 (див. Рис. 3.6) було отримано переважно невірний діагноз “витік в приймальній частині”.

Після застосування вказаної методики в ряді випадків було отримано правильний діагноз “нормальна робота”. Крім того, оскільки, як уже згадувалося, стани “низький динамічний рівень” та “вплив газу” фактично означають один і той же дефект, діагноз “вплив газу” при наявності стану “низький динамічний рівень” можна вважати вірним. Після таких уточнень імовірність правильного діагностування є найвищою у випадку використання вейвлет-перетворення і складає 84%. Що стосується вибору міри подібності, то загалом найбільшу кількість правильних діагнозів було отримано у випадку використання коефіцієнту кореляції.

№ свердловини	Правильний діагноз	Діагнози при використанні різних способів формування вектора ознак та різних мір подібності														
		Часова форма			Перетворення Фур'є (дійсні і уявні складові)			Перетворення Фур'є (амплітуда і фаза)			Перетворення Уолша			Вейвлет-перетворення		
		dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy	dE	dH	Rxy			
8	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	НДР	НДР	НДР	НПП	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
1715	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
588	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	НДР	НДР	НДР	НДР	НДР	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
104	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	НР	ВГ	ВГ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ	ВПЧ
950	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
581	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВГ	ВГ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
68	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	НДР	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ	ВНЧ
54	ПП	НДР	ПП	ПП	ПП	ПП	ПП	ВГ	НПП	ВГ	ПП	ПП	ПП	ПП	ПП	ПП
63	НПП	НПП	ВНЧ	НПП	НПП	НПП	НПП	НДР	НДР	ВПЧ	ВПЧ	НПП	ВНЧ	НПП	НПП	НПП
Кількість правильних діагнозів		13	13	14	10	12	12	8	5	11	13	14	15	14	15	14
Після уточнення		20	20	21	15	19	17	9	7	13	20	20	20	21	21	21
%		80	80	84	60	76	68	36	28	52	80	80	80	84	84	84
В середньому		81.3			68			38.7				80		84		

Примітка. НР – нормальна робота, ВГ – вплив газу, НДР – низький динамічний рівень, ВНЧ – витік в нагнітальній частині, ВПЧ – витік в приймальній частині, КН – коефіцієнт наповнення глибинного насоса, ПП – прихват плунжера, НПП – низька посадка плунжера, dE – евклідова відстань, dH – відстань по Хеммінгу, Rxy – коефіцієнт кореляції

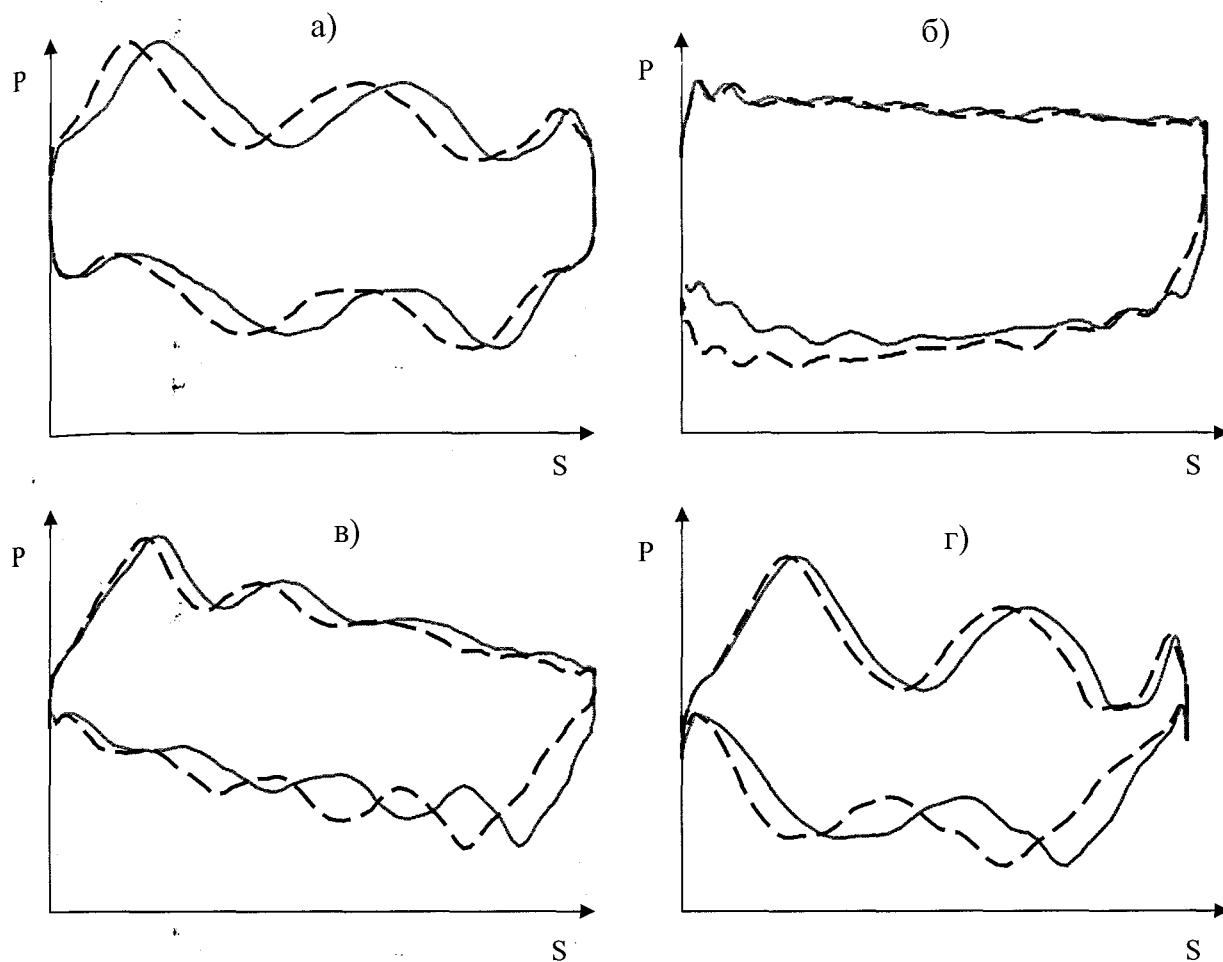


Рис. 3.6 Динамограми, зняті на свердловинах 320 (а), 557 (б), 774 (в) та 420 (г)

Висновки до розділу

1. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень, яка дозволяє для свердловин з різними комбінаціями технологічних параметрів утримувати дані, придатні для перевірки розроблених методів.
2. Розроблено технічне та програмне забезпечення для динамометрування ШГНУ на основі накладного тензометричного датчика навантаження АЦП AD7714 та ПЕОМ типу ІВМ РС, яке забезпечує вимірювання сигналів навантаження та переміщення, необхідних для проведення експериментальних досліджень.
3. Показано, що найвища достовірність діагностування динамометричним методом досягається при формуванні вектору ознак на основі коефіцієнтів вейвлет-перетворення та при використанні в якості міри подібності коефіцієнту кореляції.

4 РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ШГНУ

4.1 Розробка функціональної схеми системи діагностування ШГНУ

Технічна реалізація електронної динамометричної системи передбачає створення засобів вимірювання та засобів їх метрологічної атестації. Технічні засоби вимірювання повинні включати давачі навантаження, давачі переміщення та засоби перетворення і обробки вимірювальних сигналів з можливістю їх накопичення. Давачі навантаження, які можуть бути використані в динамометричних системах діагностування ШГНУ, повинні забезпечувати прийнятну похибку вимірювань за умов нерівномірності та нерівноспрямованості вектора навантаження та дії несприятливих погодньо-кліматичних умов експлуатації. Крім того, такий давач повинен бути зручним в експлуатації, що зумовлює додаткові вимоги, які накладають обмеження на його масу та об'єм. Давач переміщення повинен забезпечувати високу точність вимірювань, оскільки дані, одержані з цього давача, рівнозначно як і з давача навантаження, впливають на форму одержаної динамограми, а, отже, і на постановку загального діагнозу. Такі міркування виключають з розгляду давачі переміщення, побудовані за принципом непрямих вимірювань (на основі акселерометрів з наступним подвійним інтегруванням сигналу прискорення) як такі, що мають похибку $\delta > 5\%$. Засоби перетворення та обробки вимірювальних сигналів можуть бути виконані на поширених мікроконтролерах, оскільки вони на даному етапі розвитку мікроелектронної техніки набули параметрів, достатніх для розв'язання поставленої задачі. Розробка засобів метрологічної атестації передбачає створення контрольної стискно-розтягової машини з похибкою $\delta = 0.2 \dots 0.3\%$ для проведення періодичного кількісного контролю функціонування давачів навантаження системи.

Блок-схема системи динамометрування ШГНУ приведена на Рис. 4.1.

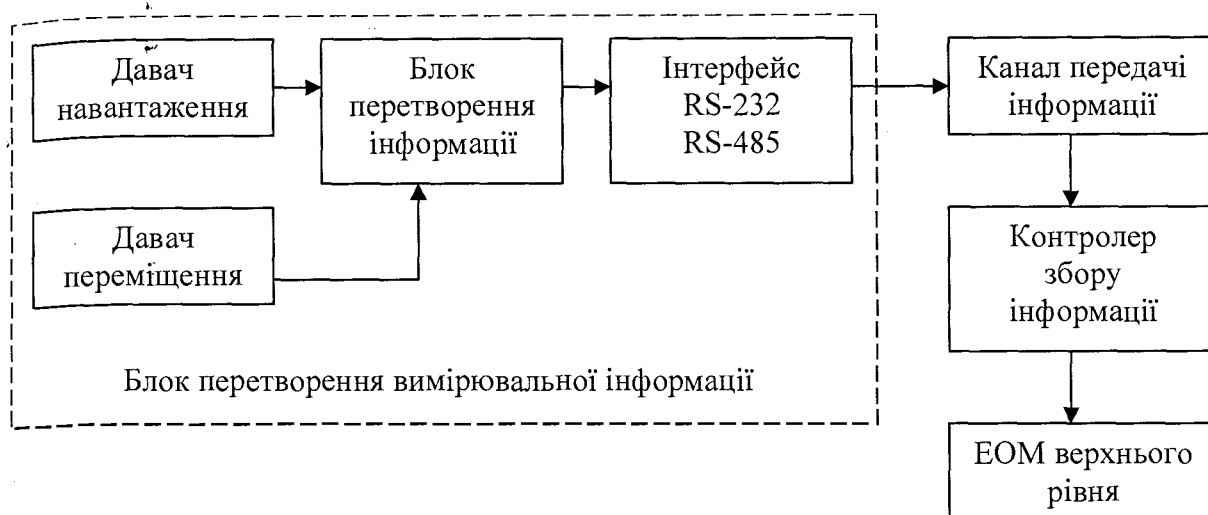


Рис. 4.1. Блок-схема системи динамометрування ШГНУ

В якості контролера збору інформації може бути використана ПЕОМ з інтерфейсом RS-232C, однак це дещо незручно при експлуатації.

Схема вимірювань формується в залежності від комплектації системи динамометрування ШГНУ і передбачає два варіанти.

1) Виміряні динамограми накопичуються в пам'яті контролера збору і при потребі можуть бути попередньо оброблені та відображені за допомогою засобів відображення графічної інформації контролера. По мірі накопичення динамограм вони можуть бути передані до ЕОМ верхнього рівня для подальшої обробки.

2) Виміряні динамограми зберігаються і обробляються безпосередньо ЕОМ верхнього рівня. При цьому попередня обробка даних включає в себе перетворення аналогових сигналів до цифрового вигляду, відслідковування початку робочого циклу ВК та передачу необхідного обсягу даних на протязі часу, кратного заданій кількості циклів ВК. Подальша обробка, на відміну від попередньої, здійснюється не мікроконтролером, а контролером збору інформації та/або ЕОМ верхнього рівня і включає в себе алгоритми розпізнавання образів та автоматичного діагностування.

Розробка електронної частини динамометричної системи включає в себе розробку вузлів, які б дозволили використовувати різні типи вимірювальних перетворювачів (тензометричні, індукційні) та різну їх кількість (1..4). Виходячи з цього, можна сформулювати основні вимоги до такої схеми:

розрядність АЦП $n \geq 16$;

- частота дискретизації $f_d \geq 10\text{Гц}$;
- кількість каналів мультиплексора – 4;
- можливість використання послідовних інтерфейсів типу RS-232C, сумісних з ЕОМ типу IBM PC;
- живлення пристрою повинно здійснюватись від постійної напруги +12В, що викликане потребою автономності живлення.

В якості перетворювача переміщення використаємо перетворювач “кут повороту/код”, який має послідовний імпульсний вихід, електрично сумісний з стандартним рівнем ТТЛ-логіки. Блок-схема пристрою наведена на Рис. 4.2.

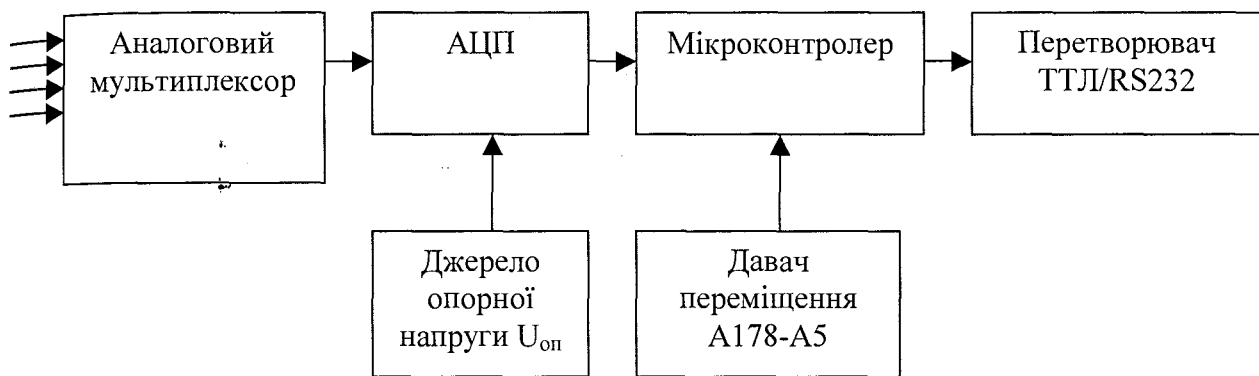


Рис. 4.2. Блок-схема пристрою перетворення вимірювальної інформації

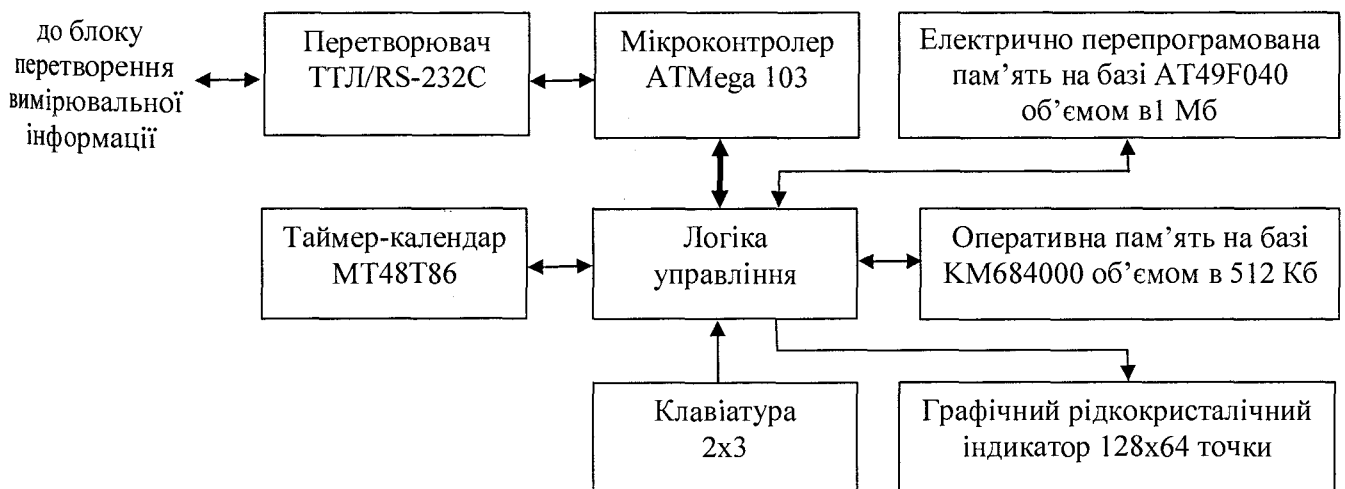


Рис. 4.3. Структурна схема контролера збору інформації К-103

4.2 Розробка конструкції вставного давача навантаження

Для вставних тензометричних давачів можливі двоточкова та триточкова схеми прикладення навантаження [102]. До переваг двоточної схеми слід віднести використання меншої кількості тензомостів (2 замість 3) та постійне прикладення навантаження на дві опори, що є чутливими елементами. Це зумовлює повне використання деформаційних властивостей матеріалу, а, отже, більшу чутливість. Недоліком двоточної схеми є виникнення додаткової похибки при відхиленні вектора навантаження \vec{F}_d від осі стрижня чутливого елемента. Це може мати місце, оскільки площина з опорою на дві точки не має повної стійкості у просторі. При виході вектора сил \vec{F}_d за межі активної зони тензорезисторів виникає додаткова похибка вимірювання (Рис. 4.4, а).

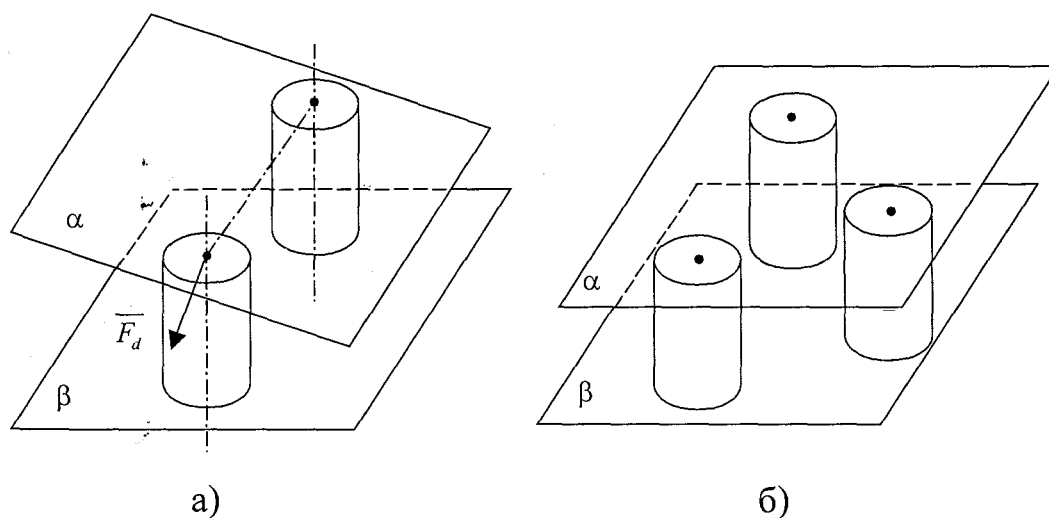


Рис. 4.4. Схеми прикладення навантажень до чутливого елемента: а – двоточкова, б – триточкова.

Триточкова схема цього недоліку позбавлена, оскільки забезпечує стійке положення площини α по відношенню до площини β при будь-якому розподілі навантажень (Рис. 4.4, б). Однак внаслідок нерівності траверс канатної підвіски ВК можливий випадок, коли максимум зусилля буде припадати тільки на дві точки опори – звідси впливає необхідність розрахунку чутливих елементів в такий спосіб, щоб будь-які два з них витримували повне навантаження, прикладене до канатної підвіски ВК. Тоді в нормальному режимі (тобто коли навантаження приблизно

рівномірно розподілено по трьох точках прикладення) вони будуть недовантажені, а, отже, знижується чутливість такого тензорезистивного перетворювача. Крім того, збільшується на одиницю кількість тензомостів, необхідних для реалізації пристрою. На Рис. 4.5, б наведено варіант триточкової схеми [103], що дозволяє використати два тензомости, однак порівняно із схемою Рис. 4.5, а вона має більшу чутливість до перекосів при установці.

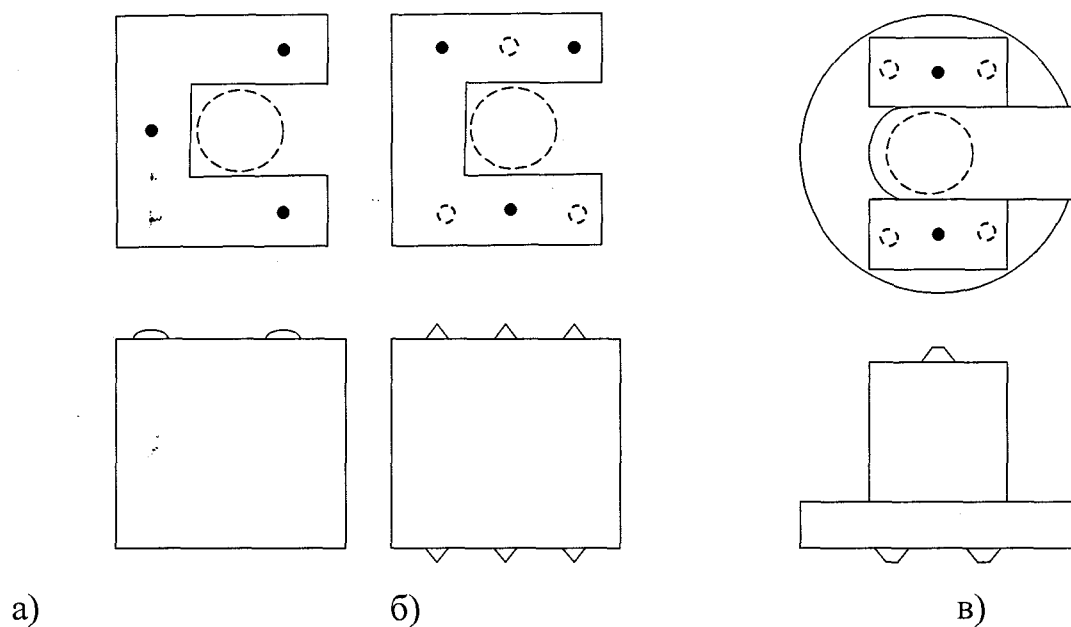


Рис. 4.5. Схема прикладення навантажень (а, б – для існуючих конструкцій, в – для запропонованої конструкції)

Здійснимо розрахунок конструкції двоточкового вставного чутливого елемента, враховуючи вимоги технологічності та простоти виготовлення пристрою. Схематично така конструкція може бути представлена як два пружні стрижні прямокутного січення, що працюють на стиск (Рис. 4.6). При цьому навантаження розподіляється порівну між ними. Точки А, В є точками прикладення сил F' , F'' в площині α верхньої траверси ВК. Вирівнювання сил відбувається за рахунок того, що канатна підвіска ВК виконана з одного канату, рухомо перекинутого через зачіпний блок головки балансира. Стійкість верхньої та нижньої траверс α і β по осі Y забезпечується збільшеними геометричними розмірами опірних поверхонь прямокутного січення. Для зменшення впливу поверхневих нерівностей опори на площину β виконані точковими (точки C, C', D, D'), що забезпечує однотипність зон

навантаження. При цьому поява Y -складових сил F', F'' за умови безаварійного встановлення давача навантаження можлива тільки в межах зон CC' та DD' . Така схема дозволяє розмістити на поверхнях опорних елементів два тензомости, виконаних за повною чотири-тензорезистивною схемою, яка забезпечує максимальну чутливість при максимальній термокомпенсації.

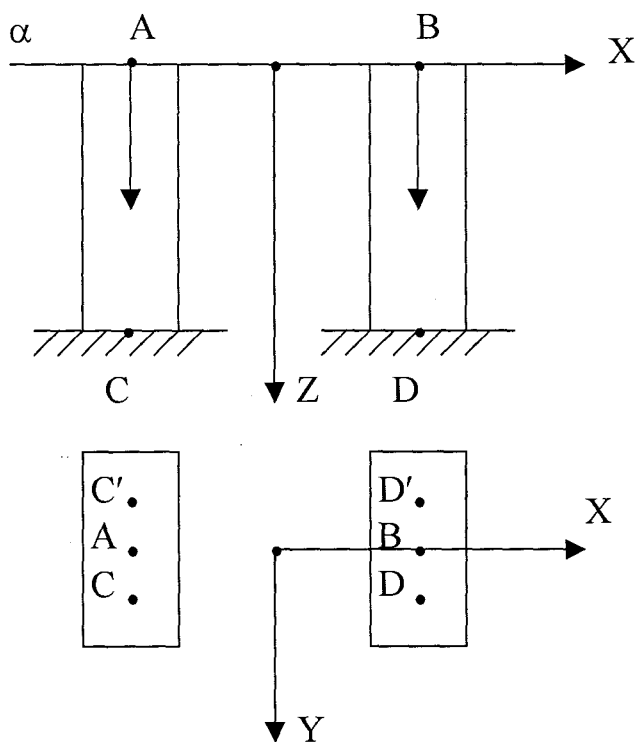


Рис. 4.6. Конструкція чутливого елемента з двоточною схемою прикладення навантаження

Здійснимо розрахунок такої схеми вимірювання для максимального навантаження $F_{\max} = 10^5 \text{ Н}$. Прийmemo максимальне навантаження на одну опору $F'_{\max} = F''_{\max} = 0.6F_{\max} = 0.6 \cdot 10^5 \text{ Н}$. Згідно [46], напруження в опорному елементі при максимальному навантаженні повинно бути більшим, ніж $0.05 \dots 0.06 \text{ ГПа}$ для забезпечення достатньої чутливості тензорезистивних елементів. Для забезпечення мінімального впливу гістерезисних явищ максимальне напруження σ_{\max} в досліджуваному взірці – вимірювальному пристрої не повинне перевищувати допустимого співвідношення

$$K_1 = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{тек}}} \leq 0.15, \quad (4.1)$$

де $\sigma_{тек}$ - межа текучості матеріалу чутливого елемента.

Прийемо межу допустимої складової по осі X паразитного зусилля, що може виникати внаслідок дефектів поверхонь траверс канатної підвіски ВК, як $F_x = 0.1F_{max}$, що складе $F_x = 10^4 Н$.

Виходячи з геометричних розмірів тензорезисторів та траверс типової канатної підвіски ВК стандартного ряду, можна рекомендувати наступні розміри чутливого опорного елемента прямокутного січення: $36 \times 10 \times 33$ мм. Площа січення такого елемента

$$S = 36 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3.6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Максимальне напруження

$$\sigma_{вфч} = \frac{F'_{max}}{S} = \frac{0.6 \cdot 10^5}{3.6 \cdot 10^{-4}} = 0.167 \text{ ГПа}.$$

Умова забезпечення вимоги чутливості $\sigma_{max} > 0.05$ ГПа – виконується.

Перевірку мінімізації впливу гістерезису здійснимо для сталі 4Х13 з межею текучості $\sigma_{тек} = 1.4 \text{ ГПа}$:

$$K_2 = \frac{0.167}{1.4} = 0.12 < 0.15$$

- вимога виконується.

Розрахунок на міцність вимірювального опорного елемента здійснимо на основі моделі чистого згину для консольно закріпленого стержня, що перебуває під дією точково прикладеного до його вільного кінця навантаження F_x . Максимальне нормальне напруження для консольного стержня, яке визначає його характеристики міцності [104]

$$\sigma_{H \max} = \frac{6Fl}{bh^2}. \quad (4.2)$$

Підставляючи числові значення в (4.2), отримаємо

$$\sigma_{H \max} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 33 \cdot 10^{-3}}{36 \cdot 10^{-3} \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2} = 0.55 \text{ ГПа},$$

що менше межі текучості для сталі 4Х13.

Загальна конструкція давача навантаження представлена на Рис. 4.7 і може

бути виготовлена з суцільного взірця матеріалу, що забезпечує максимальну подібність механічних робочих характеристик для двох опорних поверхонь.

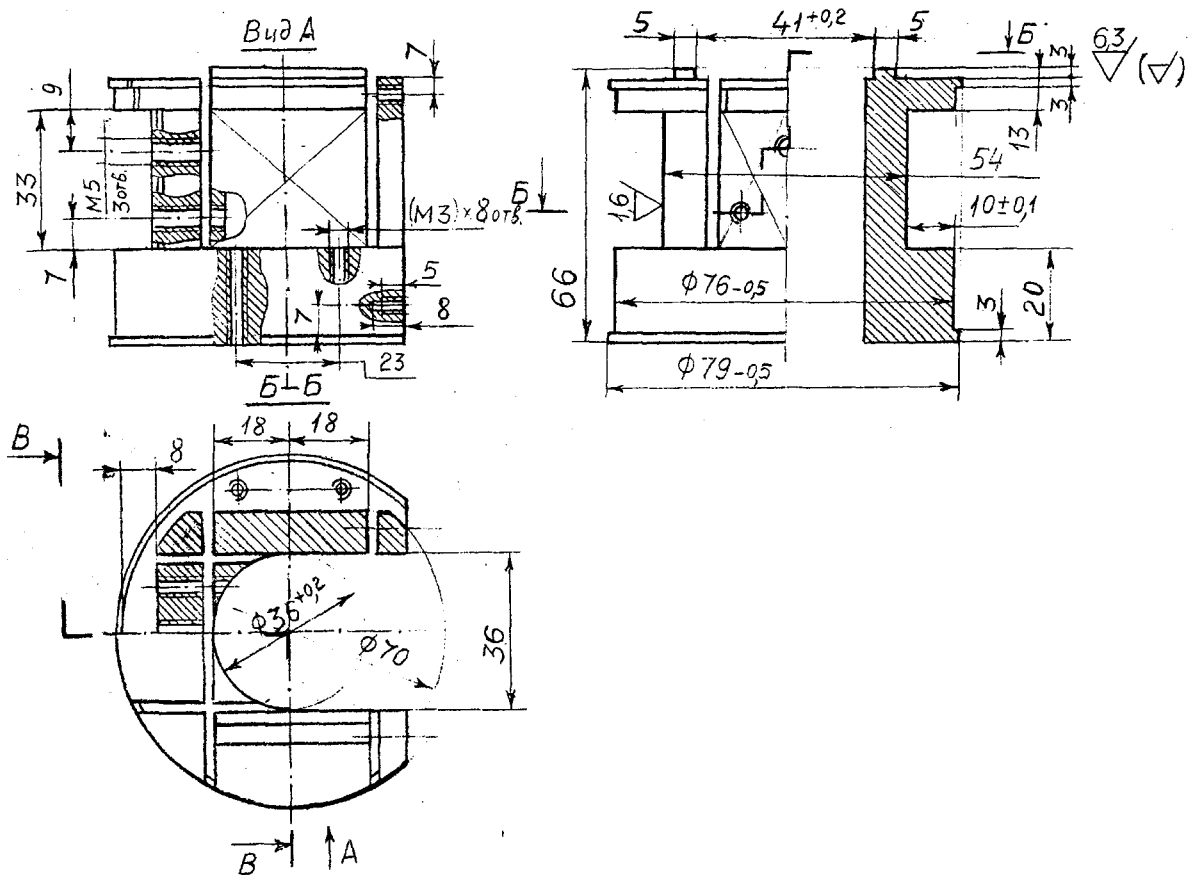


Рис. 4.7. Конструкція вставного датча навантаження

4.3 Розробка електронної частини первинного перетворювача динамометричної системи

У відповідності до Рис. 4.2 здійснено вибір необхідних елементів схеми. В якості аналогового мультиплексора вибрано DG409, основні технічні характеристики якого наведено в [105]. Такий мультиплексор забезпечує комутацію до чотирьох тензомостів на вхід АЦП з похибкою В якості АЦП використано мікросхему ADS1250 – 20-розрядний дельта-сигма АЦП з однополярним живленням +5В. Мікросхема має диференціальний вхід, необхідний для під'єднання мостових схем, можливість зміни коефіцієнта підсилення ($K_{\Pi} = 1,2,4,8$) та не потребує програмування параметрів роботи, що спрощує її використання. Інтегральна нелінійність не перевищує $\pm 0.002\%$. Більш детальні технічні характеристики

наведено в [106].

Як джерело опорної напруги використана мікросхема AD780, призначена для використання в 16-розрядних аналого-цифрових системах. AD780 формує високостабільну опорну напругу $U_{оп} = 3В$. Детальні технічні характеристики наведено в [107].

В якості мікроконтролера для первинного перетворювача використано AT90S8535. Робота мікроконтролера здійснюється за допомогою управляючої програми, написаної на мові Сі. Алгоритм цієї програми забезпечує перетворення проміжного послідовного коду АЦП в послідовний код формату RS232С, сумісного з ПЕОМ типу ІВМ РС. Передача даних до ЕОМ розпочинається після відслідковування контролером початку робочого циклу ВК за відповідною зміною напрямку обертання ротора позиційного давача типу А178-А5 або йому подібного оптичного перетворювача кута повороту. Кількість циклів передачі даних відповідає кількості циклів качань ВК і задається від ЕОМ перед початком процесу вимірювань. Основні технічні характеристики AT90S8535 наведені в [108].

Для перетворення рівнів сигналу ТТЛ/RS232С використано мікросхему SP232 - аналог мікросхеми MAX232А, яка забезпечує перетворення рівнів $0...+5В/\pm 12В$ без додаткових напруг живлення крім +5В, використовуючи для цього внутрішній перетворювач живлення. Для формування напруг $\pm 7.5В$, необхідних для правильної роботи аналогового мультиплексора, використаний ключовий конденсаторний перетворювач напруги, виконаний на КМОН-інверторах К561ЛН2.

Оскільки основні вузли первинного перетворювача динамометричної системи виконані на інтегральних схемах (ІС) без додаткових елементів, то складання схеми полягає в дотриманні інструкцій виробника щодо стандартних схем включення цих ІС. Принципова схема пристрою наведена на Рис. 4.10, зовнішній вигляд на Рис. 4.8.

Топологія друкованої плати для цифрової частини пристрою особливостей не має і тому трасування провідників може виконуватись в автоматичному режимі за допомогою САПР. Аналогова та аналого-цифрова частина схеми, що включає в себе мультиплексор DG409 та АЦП ADS1250 внаслідок необхідності досягнення максимальної розрядності потребує застосування спеціальної технології трасування.

Суть її полягає в зіркоподібній фізичній моделі траси спільного провідника GND, де промені зірки проходять від спільної точки до кожного аналогового елемента схеми. Це зменшує ефект наведення паразитних потенціалів від струмів зовнішніх кіл, цим самим зменшуючи значення власного шуму.

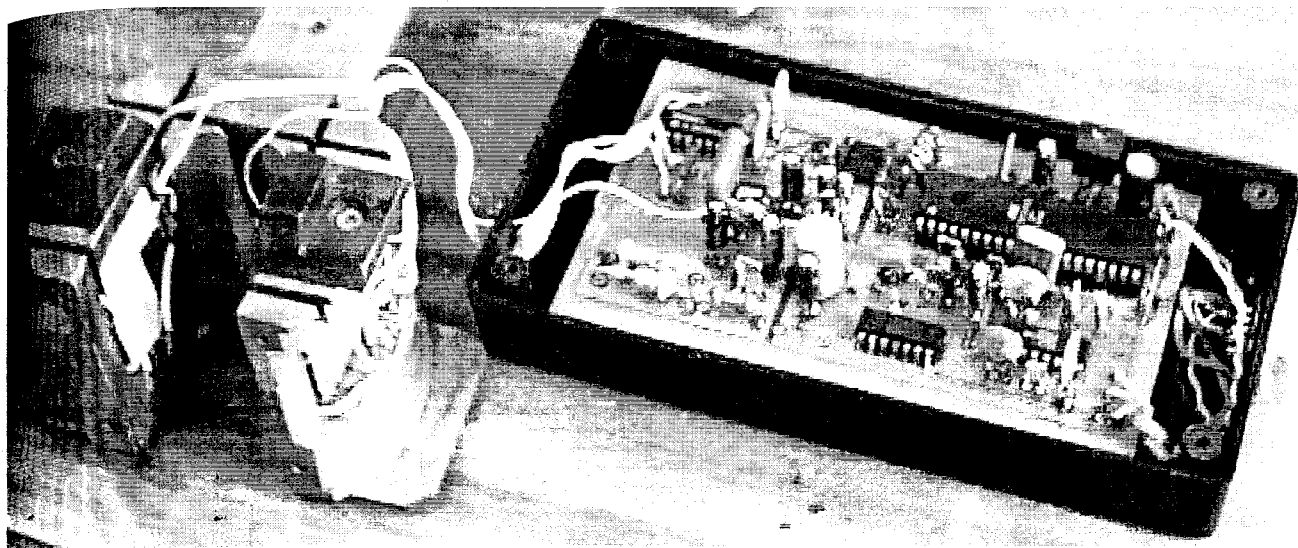
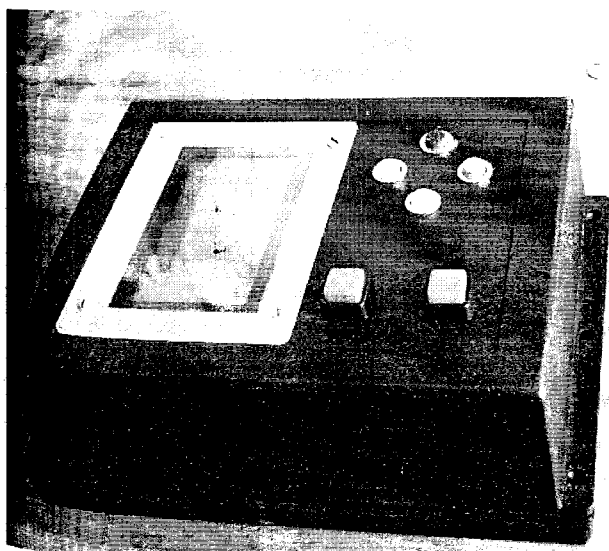
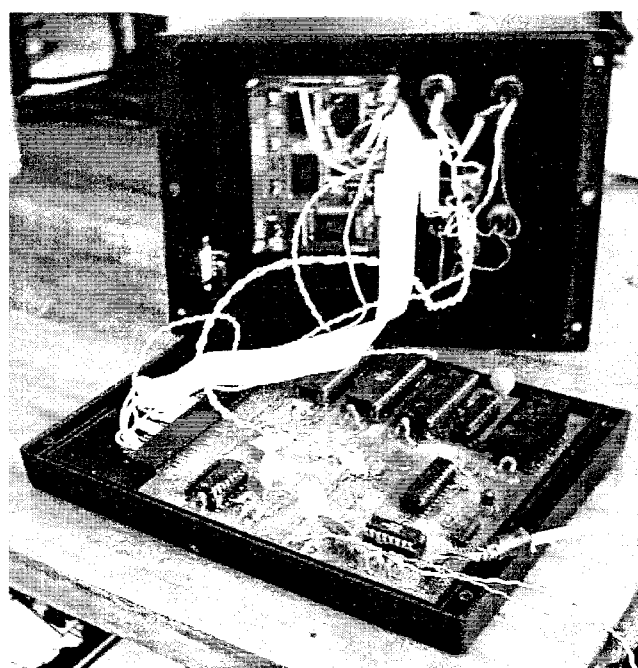


Рис. 4.8. Зовнішній вигляд датчика навантаження з блоком перетворення вимірювальної інформації



а)



б)

Рис. 4.9. Контролер збору і обробки інформації (а – зовнішній вигляд, б – друкована плата)

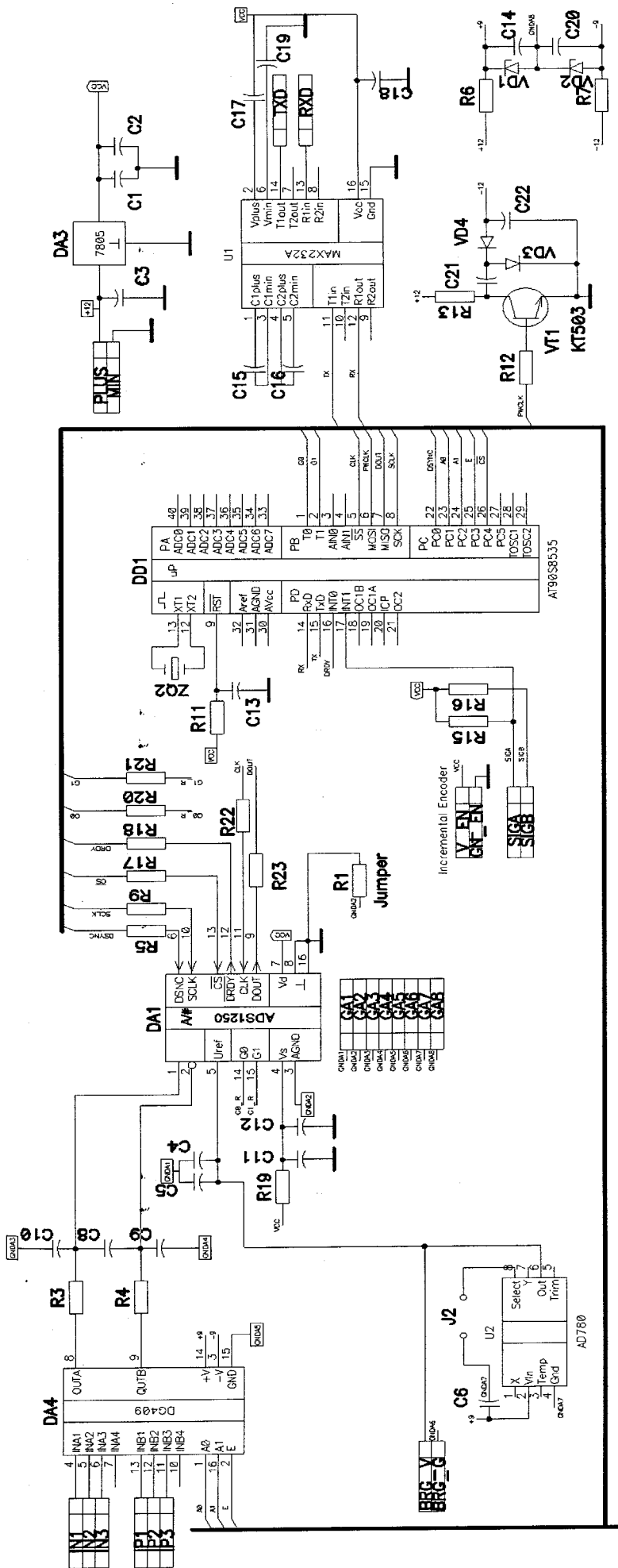


Рис. 4.10. Принципова схема пристрою перетворення вимірювальної інформації

4.4 Розробка електронної частини контролера збору і обробки інформації

Контролер збору і обробки інформації призначений для одержання і зберігання динамографічних даних і використовується в складі системи діагностування ШГНУ. Принципова схема контролера наведена на Рис. 4.11.

Основним елементом схеми є мікроконтролер ATMega103L (елемент DD4) – восьмирозрядний мікроконтролер, із розміром пам'яті програм 128Кбайт. Особливістю функціонування цієї мікросхеми є її можливість бути запрограмованою внутрішньоплатно, що прискорює процес розробки нового обладнання. Під управлінням мікроконтролера здійснюється зчитування, обробка та запис інформації, що забезпечує функціонування всього пристрою. Мікросхеми DD1, DD7 – електрично-програмувана пам'ять об'ємом 1Мбайт, яка забезпечує збереження записаної в неї інформації при відсутності напруги живлення в системі. Наявність двох мікросхем зумовлена неможливістю вибіркового стирання даних, оскільки цикл стирання таких мікросхем передбачає повне знищення інформації для всього елемента. При цьому електрично-незалежна пам'ять має двосторінкову організацію, що дозволяє здійснювати вибіркоче програмне стирання даних на необхідній сторінці. Мікросхема DD8 KM684000 – статичний оперативно-пам'ятовувачий пристрій, з об'ємом пам'яті 512Кбайт, призначена для збереження проміжних даних під час виконання обчислювальних процесів. Основне використання цієї мікросхеми – транзитний буфер для даних на шляху до запису їх в електрично-незалежну пам'ять. Оскільки внутрішні апаратні засоби мікроконтролера ATMega103L не дозволяють здійснювати адресацію даних розміром більше ніж 64Кбайт, в контролері К-103 здійснена штучна сегментація пам'яті. Механізм її полягає в тому, вся пам'ять поділяється на сегменти розміру 4Кбайт. Втрата 4Кбайт пам'яті пояснюється тим, що мікроконтролер ATMega103L здійснює адресацію внутрішньої пам'яті в межах від 0 до 4 Кбайт, а адреси, що знаходяться вище, розглядаються як зовнішні.

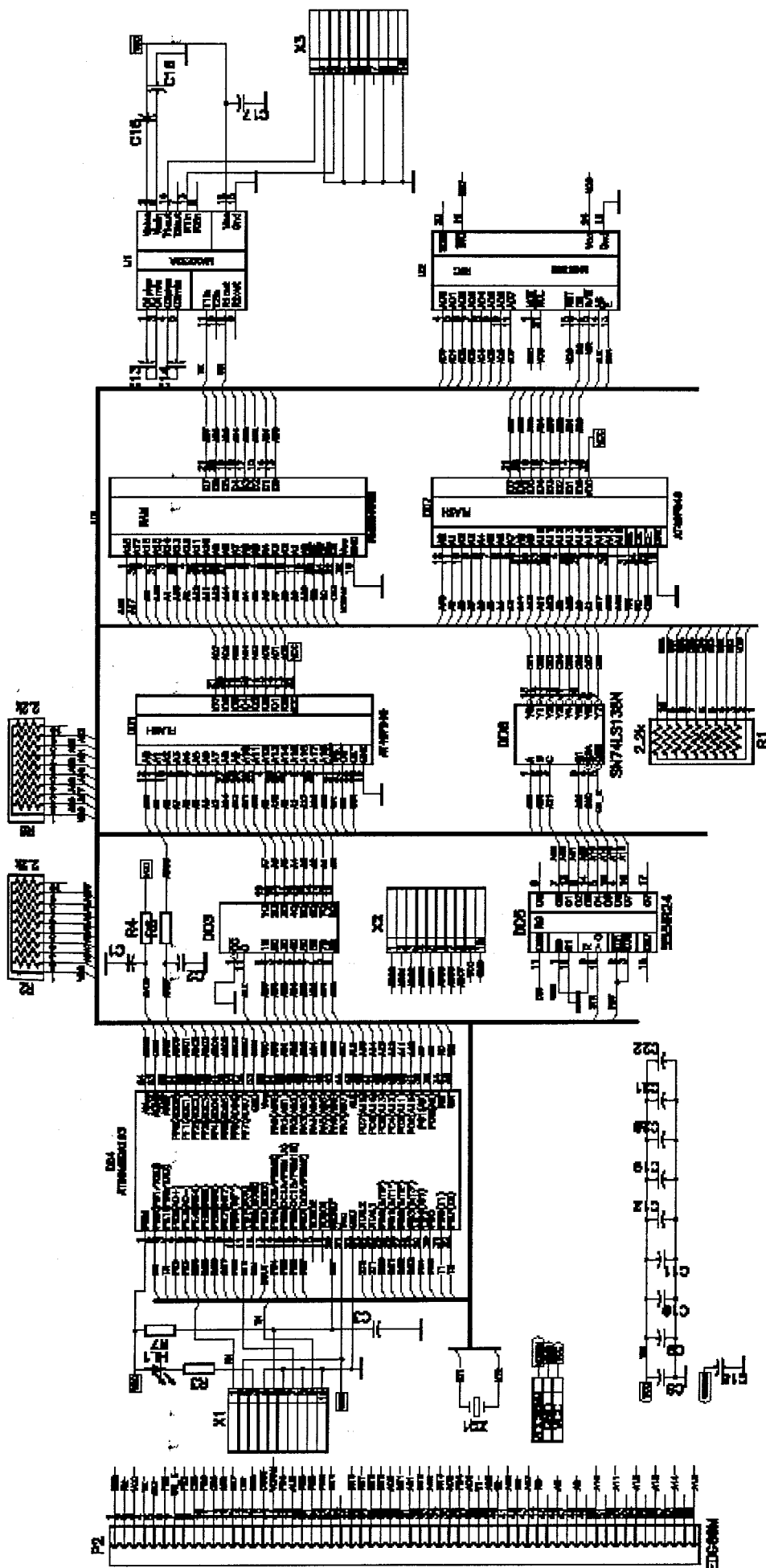


Рис. 4.11. Принципова схема контролера збору і обробки інформації

Апаратно механізм сегментації реалізовано за допомогою регістру зсуву DD5 типу K555ИР24, який забезпечує розширення адрес мікроконтролерної системи з 16 (початкове значення) до 24. Крім того, з цією ж метою використовується дешифратор DD6 SN74LS138N, який забезпечує формування восьми додаткових сигналів “вибір кристалу” (CS), які використовуються для адресації необхідної мікросхеми. Водночас ці сигнали використовуються для вибору додаткових зовнішніх пристроїв, які можуть бути підключені до плати контролера К-103 (в даному разі графічного рідкокристалічного дисплею). Мікросхема DD9 типу M48T86 - таймер реального часу із вбудованим літєвим джерелом електричного струму, що дозволяє реалізувати електрично-незалежний календар з точністю до 1 сек. Таймер використовується в алгоритмі функціонування пристрою для автоматичного датування знятих динамограм, що забезпечує зручність в експлуатації та унеможливорює фальсифікацію хронології знятих даних. Час роботи мікросхеми – 10 років, що відповідає часу експлуатації даної системи. У випадку виходу з ладу літєвого елемента заміні підлягає мікросхема таймера M48T86. Окрема заміна літєвого елемента неможлива, що в загальному підвищує стійкість збереження часових залежностей в алгоритмі функціонування системи. Мікросхема DD10 типу MAX232A - узгоджувач електричних рівнів інтерфейсу RS-232C, який використовується для зв'язку контролера К-103 з первинним перетворювачем електронного динамографа та з основною ЕОМ. Мікросхема здійснює перетворення послідовного цифрового сигналу з рівнями 0..+5В до рівнів інтерфейсу RS-232C, тобто до $\pm 12В$. Мікросхема DD10 типу КР1533ИР34 – запам'ятовуючий регістр, який здійснює запам'ятовування адрес в циклі зовнішнього обміну даними мікроконтролера АТМega103L внаслідок того, що останній має мультиплексовану шину адреси/даних. В цьому регістрі здійснюється запам'ятовування молодшої половини зовнішньої адреси на час другої половини циклу обміну даними мікроконтролера.

4.5 Розробка програмного забезпечення системи діагностування ШГНУ

4.5.1 Програмне забезпечення пристрою перетворення вимірювальної інформації

Програма для мікроконтролера написана на мові Сі з використанням компілятора CodeVision AVR і забезпечує вимірювання навантаження та переміщення по запиту від керуючого пристрою (управляючої ЕОМ або контролеру збору інформації). Блок-схема програми приведена на Рис. 4.12, текст програми – в додатку Д. В основному циклі програми відбувається очікування приходу управляючого байта по послідовному інтерфейсу RS232. В залежності від його значення здійснюється передача підтвердження зв'язку або вимірювання і передача значень навантаження і переміщення. Режими виставлення каналу мультиплексора та вимірювання навантаження по заданому каналу призначені для перевірки функціонування аналогової частини схеми. Нормальний режим роботи пристрою задається управляючим байтом 0x02 і передбачає виконання наступних дій:

- вимірювання навантаження по нульовому і першому каналу;
- обчислення середнього значення навантаження по двох каналах;
- обчислення навантаження в кілограмах шляхом сплайн-інтерполяції по калібрувальній таблиці;
- передача обчисленого значення навантаження та поточного значення переміщення по послідовному інтерфейсу RS232 до керуючого пристрою.

Для відслідковування поточного переміщення використовується зовнішнє переривання INT1, що викликається по фронту наростання імпульсного сигналу SIGA від давача переміщення. Нульовий чи одиничний сигнал SIGB в момент виникнення переривання вказує напрям руху полірованого штока. Початкове значення переміщення приймається рівним 0x7FF для уникнення від'ємних значень при монтуванні давача за умови знаходження головки балансира вище нижньої мертвої точки.

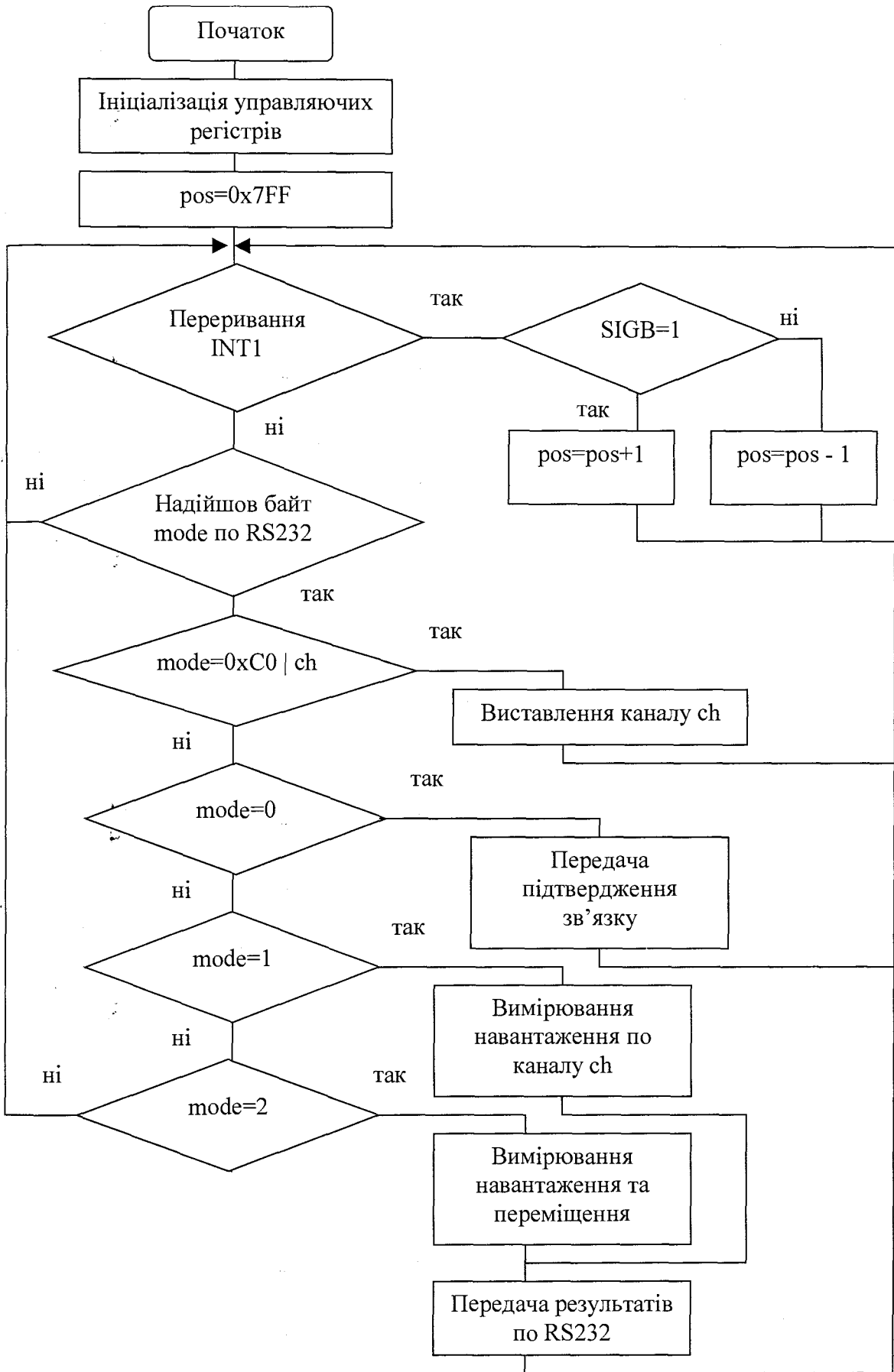


Рис. 4.12. Блок-схема програми пристрою перетворення вимірювальної інформації

Таким чином, одиниця вимірювання переміщення, що передається до керуючого пристрою, - кількість імпульсів давача. При відомих геометричних розмірах давача переміщення кількість імпульсів однозначно перетворюється в одиниці довжини, а для отримання абсолютних значень необхідно від елементів масиву переміщення за цикл качання ШГНУ відняти найменший елемент масиву. Всі ці перетворення, а також відслідковування початку циклу качання ШГНУ, входять у задачі керуючого пристрою.

4.5.2 Програмне забезпечення контролеру збору інформації

Програма для контролера ATmega103 написана з використанням інтегрованого середовища E-Lab на мові високого рівня Паскаль для AVR-контролерів. Такий вибір зумовлений наявністю в E-Lab зручних засобів відладки з симуляцією роботи периферійних пристроїв – графічного дисплея, клавіатури та послідовного інтерфейсу. Результуючий програмний код при використанні E-Lab Pascal має дещо більший обсяг та меншу швидкодію, ніж при використанні Сі-компіляторів, але час розробки програм значно скорочується за рахунок наявності у E-Lab Pascal встроєних функцій для роботи з периферійними пристроями, насамперед графічним дисплеєм.

Контролер збору інформації виконує наступні дії:

- запис динамограми для вибраної свердловини на протязі одного циклу качання;
- відображення динамограми на графічному дисплеї;
- оперативне діагностування технічного стану ШГНУ за динамограмою;
- зберігання архіву динамограм у флеш-пам'яті;
- перегляд архіву динамограм;
- передача архіву динамограм до ЕОМ верхнього рівня;
- прийом від ЕОМ списку свердловин і родовищ.

Інтерфейс користувача організований за допомогою меню та чотирьох кнопок, які виконують функції переміщення по пунктах меню, вибору пункту(перехід на

рівень вниз) та відміни (перехід на рівень вверх). Структура меню зображена на Рис. 4.13.

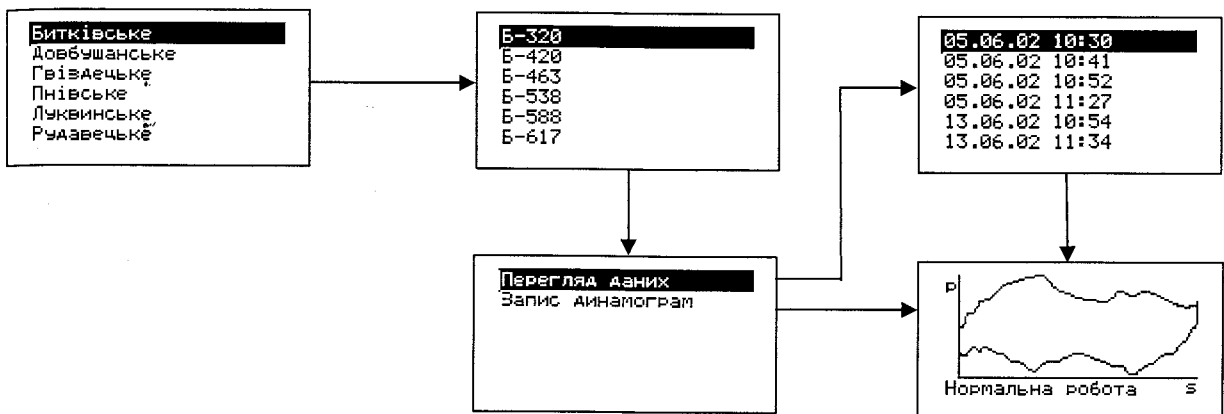


Рис. 4.13. Структура меню контролера збору і обробки інформації

Список свердловин і родовищ приймається від ЕОМ по послідовному інтерфейсу після надходження байту запиту на передачу списку і зберігається за початковими адресами флеш-пам'яті. Одночасно від ЕОМ передається поточна дата, що використовується для встановлення/корекції показів годинника реального часу. Після отримання від ЕОМ байту запиту на передачу даних весь вміст архіву динамограм із флеш-пам'яті передається до ЕОМ по послідовному інтерфейсу, після чого відбувається стирання мікросхем флеш-пам'яті та прийом списку свердловин і родовищ для його поновлення (оскільки дані, що зберігаються у флеш-пам'яті, можуть бути стерті тільки повністю).

4.6 Повірочний стенд для тарування динамографів

Повірочний стенд, призначений для метрологічних відділів експлуатаційних підприємств, повинен відповідати наступним вимогам:

- похибка відтворення навантаження 0.2...0.3%
- перевірка накладних давачів навантаження
- перевірка вставних давачів навантаження
- мінімальні масогабаритні показники
- простота в експлуатації та обслуговуванні.

Виходячи з цього слід розглянути два варіанти реалізації стенда – гідравлічний та механічний важільно-вантажний (МВВ). МВВ-стенди забезпечують високі показники відтворення навантажень, однак мають при цьому значні масогабаритні показники (для діапазону $0...12 \cdot 10^4$ Н) [46]. Це викликано тим, що для зменшення похибки відтворення навантаження кількість важелів в такому пристрої (а, отже, і кількість опор тертя) повинно прямувати до мінімуму, що призводить до застосування важелів невиправдано великих розмірів (2-5м) за умови використання прийнятних мас еталонних вантажів 8-20кг. Гідравлічна конструкція, в свою чергу, забезпечує компактність та простоту в експлуатації, хоча деякі труднощі існують з визначенням тертя в ущільненнях гідравлічних елементів. Тому зупинимось на гідравлічній конструкції повірочного стенду. Схематично його конструкція зображена на Рис. 4.14. Гідроциліндр механічно з'єднаний з рухомою площиною S і утворює з нерухомими площинами X і Y зони стиску A та розтягу B. Стрілками показаний напрям робочого ходу. В зоні стиску може бути розміщений вставний динамограф, в зоні розтягу – закріплений зразок полірованого штоку, на який може бути встановлений накладний динамограф. Створення робочого тиску здійснюється за допомогою вантажопоршневого манометра, що забезпечує одночасно і вимірювання його значень з похибкою біля 0.1%. Складальне креслення повірочного стенду приведено в додатку Е.

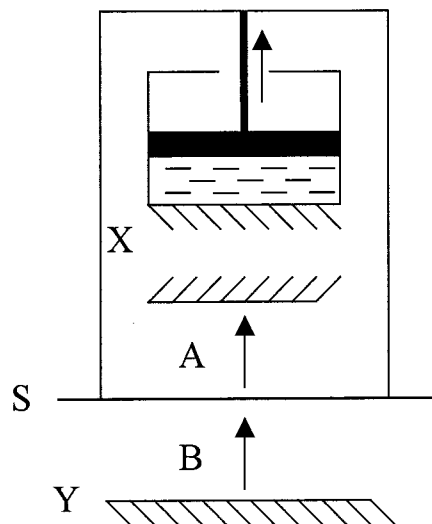


Рис. 4.14. Схематична конструкція гідравлічного стенда

Для визначення власного паразитного тертя поршня та його ущільнень, в його

конструкції передбачена можливість визначення його паразитного опору. Принцип дії ілюструє схема направляючих та ущільнень робочого поршня (див. Рис. 4.15).

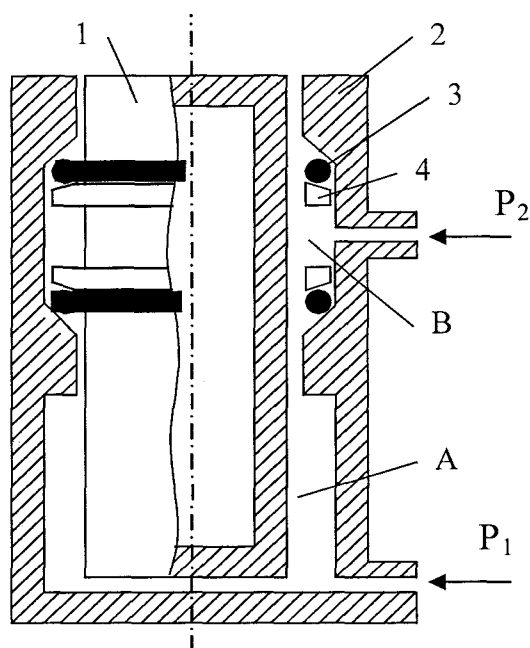


Рис. 4.15. Конструкція поршня гідравлічного стенда:

- 1 – робочий поршень;
- 2 – робочий циліндр;
- 3 – гумове ущільнення;
- 4 – конусне притискне кільце.

При цьому використовуються дві точки подачі рідини P_1 та P_2 . За допомогою вводу P_1 здійснюється підйом поршня плунжерного типу при основному робочому ході стенда.

Гідровід P_2 служить для подачі робочої рідини з тиском $P_2 = P_1$ в зону ущільнень (В). Це призводить до руху конусних притискних кілець (показано стрілкою) та деформації кільцевих гумових ущільнень, внаслідок чого відбувається герметизація поршня по відношенню до робочого циліндра. Рівність тисків P_1 та P_2 в робочій підплунжерній зоні та в зоні ущільнень призводить до мінімізації переходу рідини між зонами А і В (в ідеалі – унеможливує таке перетікання). Розподілене управління підйомом поршня та його герметизацією дозволяє визначити тертя умовних ущільнень. Для цього слід:

- 1) підняти поршень на деяку висоту над циліндром;

- 2) від'єднати гідроввід P_1 від тиску робочої рідини;
- 3) подати на гідроввід P_2 необхідний робочий тиск рідини для герметизації поршня;
- 4) на робочий поршень шляхом поступового наростання встановлювати вантажі відомої маси аж до моменту початку руху поршня вниз під дією ваги контрольних вантажів;
- 5) обчислити силу тертя ущільнень при робочому ході за формулою $F_T = \frac{P_x}{2}$, де P_x - вага контрольних вантажів.

Ця формула справедлива внаслідок того, що при робочому ході за нормальних умов нижнє гумове ущільнення залишається недеформованим внаслідок рівності тисків P_1 та P_2 .

4.7 Методика тарування накладних і вставних динамографів

Методика тарування включає наступні етапи.

- 1.1 Перевірити справність КВА шляхом візуального огляду. Звернути увагу на цілісність гідравлічних з'єднань та відсутність течі в місцях з'єднань.
- 1.2 Перевірити справність вантажопоршневого манометра у відповідності до інструкції з експлуатації цього пристрою.
- 1.3 Перевірити функціонування робочої програми динамометрування на ЕОМ шляхом її запуску в режимі калібрування.
- 1.4 Включити живлення електронних вузлів динамографа і здійснити їх прогрів протягом 30 хв.

Визначення сили тертя ущільнень повірочного стенду.

- 2.1 Підняти поршень на висоту 20-30% від максимальної висоти підйому за допомогою гідравлічного насоса вантажопоршневого манометра.
- 2.2 Здійснити переключення гідровводу P_1 на вивідну гідромагістраль.
- 2.3 Подати тиск на гідроввід P_2 , що дорівнює підіймальній силі 100кг.
- 2.4 Здійснити підбір ваги вантажів P_{x100} до початку руху поршня вниз.

первинного перетворення вимірювальної інформації, за допомогою програматора.

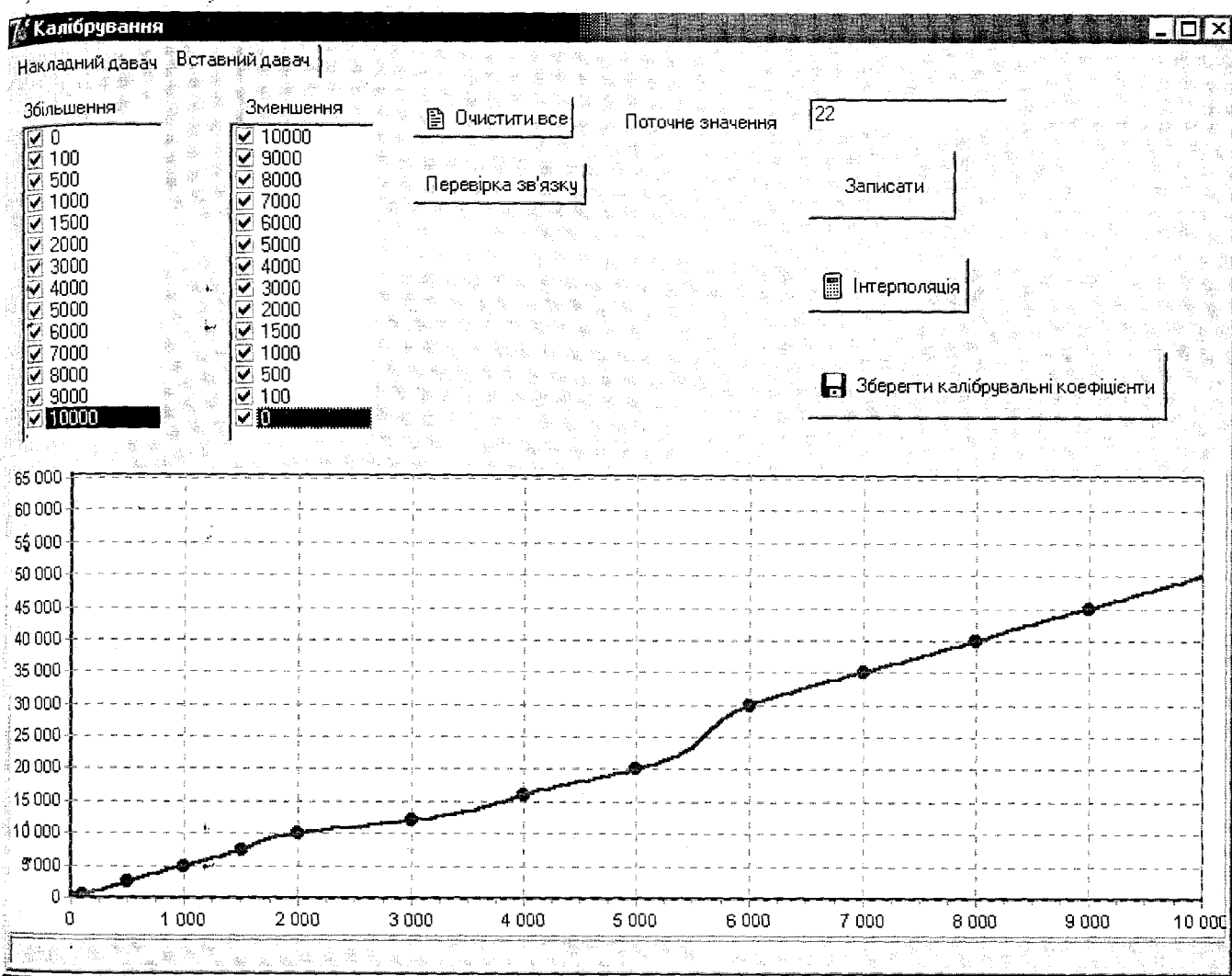


Рис. 4.16. Зовнішній вигляд калібрувальної програми

4.8 Оцінка точності вимірювань

Виходячи із структурної схеми вимірювального перетворювача (Рис. 4.17), можна вважати, що адитивна похибка приладу зумовлена похибками тензодавачів та похибкою зміщення нуля АЦП, а мультиплікативна – коливаннями напруги живлення та залежністю від температури чутливості давачів, коефіцієнту підсилення внутрішнього підсилювача АЦП та внутрішнього опору мультиплектора. Оскільки опорна напруга тензомостів, мультиплектора та АЦП

формується високостабільним джерелом опорної напруги AD780, коливання напруги живлення фактично не впливають на точність вимірювань. Вихідна напруга AD780 має слабку нелінійну залежність від температури, однак похибка в усьому діапазоні температур не перевищує 0,003% і має знак, протилежний до знаку температурної похибки АЦП та мультиплектора. Отже, неврахування цієї складової не призведе до заниження оцінки загальної похибки.

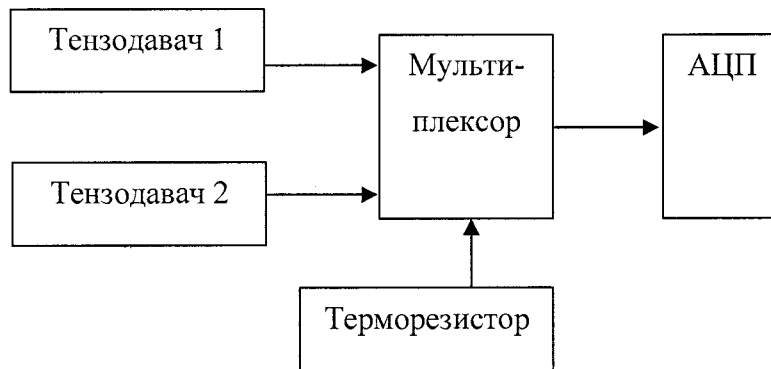


Рис. 4.17. Структурна схема вимірювального перетворювача

В якості тензодавачів використано фольгові константанові тензорезистори типу 2ФКП-5×200 з номінальним опором 200 Ом, призначені для роботи в діапазоні температур -50...+70°C. Тензорезистори підключені за повномостовою схемою, що дозволяє вважати в першому наближенні нелінійність схеми перетворення близькою до нуля та мінімізувати вплив паразитних температурних впливів. Для оцінки похибок, що вносяться тензорезистивним перетворювачем, розглянемо метрологічні характеристики тензорезисторів [46], приведені в табл. 4.1.

Відхилення опору тензорезистора від номінального не впливає на похибку вимірювання, оскільки коефіцієнт перетворення тензометричної схеми (який залежить від опору) визначається експериментально для кожного давача шляхом тарування. Врахування повзучості має сенс при вимірюванні статичних деформацій, оскільки ж навантаження на полірований шток на протязі циклу качання носить динамічний характер, цю характеристику можна не враховувати.

За наявності випадкової похибки чутливості кожного із тензорезисторів з СКВ 0,02% похибка вихідного сигналу також складає $\sigma_{TЧ} = 0,02\%$, що впливає із прямо пропорційної залежності між вихідною напругою тензомоста і зміною опору

тензорезистора.

Таблиця 4.1. Метрологічні характеристики тензорезисторів

Метрологічна характеристика	Нормований параметр	Значення параметра
Опір тензорезистора	Граничне відносне відхилення опору в партії від номінального, %	0,35
Чутливість при нормальних умовах	Середнє значення	1,9...2,3
	Середньоквадратичне відхилення, %	0,02
Температурний коефіцієнт чутливості	Середнє значення, % / °С	0,8...1,1
	Середньоквадратичне відхилення, % / °С	0,02
Повзучість при нормальних умовах	Середнє значення, % / годину	0,5

З метою мінімізації температурного впливу до схеми введено терморезистор, вимірювання напруги на якому здійснюється перед початком вимірювання навантаження. Отримане значення використовується для температурної компенсації похибки чутливості тензорезисторів у припущенні, що чутливість всіх резисторів під дією температури змінюється на однакову величину. Це означає, що при визначенні температурної похибки тензодавачів слід враховувати лише СКВ додаткової температурної похибки чутливості $\sigma_{ТТЧ} = 0,02\%/^{\circ}\text{C}$.

Розподіл температур оточуючого середовища є композицією двох нормальних розподілів з ентропійним коефіцієнтом $k = 1,95$ та середнім відхиленням від математичного очікування $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ [109]. Отже, температурна складова похибки чутливості складає $\sigma_{ТТ} = 0,02 \cdot 20 = 0,4\%$.

Розглянемо складову похибки, зумовлену мультиплексором. У відкритому стані внутрішній опір ключового елемента мультиплексора DG409 складає $R_{ВН} = 40\text{Ом}$ при температурі $T = -40^{\circ}\text{C}$ та $R_{ВН} = 60\text{Ом}$ при температурі $T = +50^{\circ}\text{C}$ [105]. Разом з вхідним опором АЦП $R_{ВХ} = 13\text{кОм}$ внутрішній опір мультиплексора утворює резистивний подільник напруги. Коефіцієнт передачі

подільника

$$K = \frac{R_{BX}}{R_{BX} + R_{BH}}$$

складає при $T = -40^\circ\text{C}$ $K_{-40} = 13 \cdot 10^3 / (13 \cdot 10^3 + 40) = 0,9969$ та при $T = +50^\circ\text{C}$ $K_{50} = 13 \cdot 10^3 / (13 \cdot 10^3 + 60) = 0,9954$. Тоді відносна похибка коефіцієнту передачі мультиплектора становить

$$\gamma_{\text{МУХ}} = (K_{-40} - K_{50}) / K_{\text{сер}} = (0,9969 - 0,9954) / 0,9962 \cdot 100 = 0,15\%.$$

Отже, СКВ температурної похибки мультиплектора $\sigma_{\text{ТМ}} = \gamma_{\text{МУХ}} / k = 0,15 / 1,95 = 0,078\%$.

Чутливість приладу S , визначена експериментально, складає 0,6 одиниць на кілограм. Тоді для максимального зусилля $F_{\text{max}} = 100\text{кН}$ вихідний код АЦП становить $N_{\text{max}} = S \cdot F_{\text{max}} = 6 \cdot 10^4$.

Інтегральна похибка нелінійності АЦП складає $\gamma_1 = 0,0012\%$ повної шкали, тобто $\gamma_{\text{НЕЛ}} = \gamma_1 \cdot 2^M / N_{\text{max}} = 0,0012 \cdot 2^{20} / 6 \cdot 10^4 = 0,021\%$ від діапазону вхідних напруг. Похибки цього типу підлягають нормальному закону розподілу [110] з ентропійним коефіцієнтом $k = 2,066$. Тоді СКВ похибки нелінійності $\sigma_{\text{НЕЛ}} = \gamma_{\text{НЕЛ}} / k = 0,021 / 2,066 = 0,01\%$.

СКВ випадкової похибки, зумовленої внутрішнім шумом АЦП, складає $2,8 \cdot 10^{-6}$ від повної шкали, що становить $\sigma_{\text{Ш}} = 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{20} / 6 \cdot 10^4 \cdot 100 = 0,005\%$ від діапазону вхідних напруг. Закон розподілу цієї похибки – нормальний ($k = 2,066$).

Похибка зміщення нуля АЦП становить $100 \cdot 10^{-6}$ від повної шкали, що становить $\gamma_{\text{ДР}} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{20} / 6 \cdot 10^4 \cdot 100 = 0,174\%$ від діапазону вхідних напруг. Закон розподілу похибки – рівномірний (ентропійний коефіцієнт $k = 1,73$), отже, СКВ цієї похибки $\sigma_{\text{ДР}} = \gamma_{\text{ДР}} / k = 0,174 / 1,73 = 0,1\%$.

Температурний дрейф нуля АЦП складає $\psi_{\text{FSR}} = 0,25 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ від повної шкали, що становить $\psi_1 = \psi_{\text{FSR}} \cdot 2^M / N_{\text{max}} = 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{20} / 6 \cdot 10^4 \cdot 100 = 0,0004\%$ від діапазону вхідних напруг. Температурний дрейф коефіцієнту підсилення внутрішнього підсилувача АЦП складає $\psi_{\text{FSR}} = 5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ від повної шкали, що становить $\psi_2 = \psi_{\text{FSR}} \cdot 2^M / N_{\text{max}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{20} / 6 \cdot 10^4 \cdot 100 = 0,0087\%$ від діапазону вхідних напруг. Таким чином, температурна складова мультиплікативної похибки $\gamma_{\text{М}}$

$$\gamma_{\text{АЦП}} = \Delta T \cdot \psi_2 = 20 \cdot 0,0087 = 0,17\%,$$

адитивної похибки

$$\gamma_{\text{ААЦП}} = \Delta T \cdot \psi_1 = 20 \cdot 0,0004 = 0,008\%.$$

$$\sigma_{\text{М АЦП}} / k = 0,17/1,95 = 0,09\% \text{ та } \sigma_{\text{А АЦП}} = \gamma_{\text{А АЦП}} / k = 0,008/1,95 = 0,0041\%.$$

Температурні похибки всіх елементів схеми є корельованими і тому додаються алгебраїчно. Таким чином, СКВ мультиплікативної температурної похибки

$$\sigma_T = \sigma_{\text{ТТ}} + \sigma_{\text{ТМ}} + \sigma_{\text{М АЦП}} = 0,4 + 0,078 + 0,09 = 0,568\%.$$

Решта похибок є незалежними і їх СКВ додаються геометрично:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\sigma_{\text{Т}}^2 + \sigma_{\text{ТЧ}}^2 + \sigma_{\text{НЕЛ}}^2 + \sigma_{\text{Ш}}^2 + \sigma_{\text{ААЦП}}^2} = \\ &= \sqrt{0,568^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + 0,005^2 + 0,0004^2} = 0,57\%. \end{aligned}$$

Ентропійний коефіцієнт цієї композиції можна прийняти рівним 2,066 в зв'язку з тим, що сукупність великої кількості складових похибки дає розподіл, близький до нормального [110, 111]. Отже, ентропійне значення сумарної зведеної похибки складає

$$\gamma = \sigma \cdot k = 0,57 \cdot 2,066 = 1,39\%.$$

Висновки до розділу

1. Створена функціональна схема системи діагностування ШГНУ, придатної для практичної експлуатації.

2. Розроблено конструкцію давача навантаження вставного типу, що забезпечує одержання абсолютних значень зусилля.

3. Розроблений пристрій динамометрування, що включає первинний перетворювач та контролер збору і обробки інформації на основі мікроконтролерів AT90S8535 та ATmega103.

4. Розроблене програмне забезпечення пристрою динамометрування, що забезпечує взаємодію всіх частин системи, оперативне динамометрування та ведення архіву динамограм.

5. Розроблена методика тарування накладних і вставних динамографів за допомогою повірного стенду.

ВИСНОВКИ

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

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

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

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

4. Розроблені методи розпізнавання динамограм:

- на основі вейвлет-перетворення, застосування якого дозволяє підвищити вірогідність діагностування на 15-40% порівняно із розпізнаванням динамограм з

використанням перетворення Фур'є та різницевої кривої;

- на основі функціонального базису Уолша, який може бути реалізований за допомогою цілочисельної арифметики і вимагає для цього незначної кількості обчислень, а вірогідність результатів діагностування співставима з результатами, отриманими за допомогою існуючих методів.

5. Для реалізації вдосконаленого динамометричного методу розроблена система діагностування ШГНУ на основі мікроконтролерів AT90S8535 та ATMega103, використання якої дозволяє проводити оперативне діагностування ШГНУ в автоматичному та напівавтоматичному режимах, здійснювати вимірювання навантаження та переміщення, проводити запис та відтворення динамографічних залежностей. Проведений метрологічний аналіз показав, що сумарна похибка вимірювання навантаження складає 1,39%.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Муравьев И.М., Базлов М.Н. и др. Технология и техника добычи нефти. М.: "Недра", 1971. – 496 с.
2. Адонин А.Н. Добыча нефти штанговыми насосами. М.: "Недра", 1979. – 213 с
3. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти. М.: "Недра", 1983.
4. И.Г.Белов. Исследование работы глубинных насосов динамографом. - М.: Гостехиздат, 1960.- 126 с.
5. Акульшин А.И., Бойко В.С. и др. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. М.: "Недра", 1989. – 480 с.
6. Бандура В.В., Замиховський Л.М. Умови виникнення і розвитку дефектів глибинно-насосної штангової установки (ГНШУ) / ІФДТУНГ. – Івано-Франківськ, 1996.– 14с. – Укр. - Деп. в УкрІНТЕІ 04.10.96 р. №10 Ук96.
7. Бандура В.В. Дослідження впливу дефектів ШГНУ на її експлуатаційну надійність // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтове обладнання.– Івано-Франківськ, – 1999.– вип.36 (т 4). - С.198-209.
8. Карпаш О.М. Неруйнівний контроль та технічна діагностика нафтогазового обладнання та інструменту // Матеріали 2-ї укр. наук.-техн. конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. - Дніпропетровськ, 1997. - С.36.
9. Диагностические возможности моноблочных электронных динамографов «СИДДОС-автомат» // Нефтяное хозяйство. – 2000. - №7. – С.87-88.
10. Электронная переносная система динамометрирования “УРАН-100” (<http://uralniti.narod.ru/>)
11. Lea J.F., Winkler H.W., Nickens H.V., Snyder R.E. What’s new in artificial lift. – World Oil, March 2000. - Vol.221, No.3. – P. 74
12. Программно-аппаратный комплекс исследования и диагностики ШГНУ (ПАК "КДС") (<http://www.neftegazprogress.ru/nauka-dneft.shtml>)
13. Diamond Series Rod Pump Controller (http://www.ter-usa.com/HTML_PRODUCTS/prod-gen.htm)

14. АЕРОС. Automation Electronics Pump Off Controller
(<http://www.autoelect.com/>)
15. Model 8800 Rod Pump Controller (<http://www.caconline.com>)
16. Локальная система оптимального управления нефтедобывающей скважиной, оснащенной установкой штангового глубинного насоса (УШНГ)
(<http://www.uralniti.ru/>)
17. Podio A.L., McCoy J.N., Becker D., Rowlan L, Drake B. Total Well Management II. – SPE 67273 presented at the SPE Production and Operation Symposium held in Oklahoma City, Oklahoma, March 2001
18. Мобильный аппаратно-программный комплекс диагностики скважин "Квантор-3" (<http://www.sprut.ru/quantor-t/prod.htm>)
19. Автоматизация периодически работающих скважин. – М.: Недра, 1970.
20. Lufkin Automation System-60 RPC (<http://www.lufkinautomation.com/>)
21. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Автоматический контроль и диагностика скважинных штанговых насосных установок. – М.: Недра, 1988. – 232с.
22. Пат. 3951209 США, МКИ E21B 047/00. Method for determining the pump-off of a well / S.G. Gibbs. – Заявл. 9.06.75; Оpubл. 20.04.76.
23. Пат. 5224834 США, МКИ F04B 049/06; F04B 049/02. Pump-off control by integrating a portion of the area of a dynagraph /Westerman G. W.; Montgomery R. C – Заявл. 24.12.91; Оpubл. 6.07.93
24. Пат. 5829530 США, МКИ E21B 043/00; E21B 047/04. Pump off control using fluid levels / Nolen K. B. – Заявл. 27.10.97; Оpubл. 3.11.98
25. Giangiacomo L. A., Hill D.R.. Optimizing Pumping Well Efficiency With Smart Fluid-Level Controller Technology. – SPE 52210 presented at the SPE Mid-Continent Operations Symposium held in Oklahoma City, Oklahoma, March 1999
26. Пат. 4873635 США, МКИ F04B 049/00. Pump off control /Mills M. D. – Заявл. 20.11.86; Оpubл. 10.10.89
27. Пат. 5362206 США, МКИ F04B 049/02. Pump control responsive to voltage-current phase angle /Westerman; G. W., Montgomery R. C., Pippin G. W. – Заявл. 21.07.93; Оpubл. 8.11.94

28. Зайцев Ю.В., Балакиров Ю.А. Технология и техника эксплуатации нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1986. – 302 с.
29. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Перспективы автоматизации обработки информации при диагностике глубинно-насосного нефтяного оборудования // Изв.вузов: Нефть и газ, 1981. - №9. – с.88-92
30. Методы и средства контроля технического состояния глубиннонасосного оборудования // Алиев Т.М., Надеин В.А., Рыскин Л.М., Тер-Хачатуров А.А. - М., 1981. - 57с. - (Обз.инф./ВНИИОЭНГ. Нефт. пром. Сер."Автоматиз. и телемех. нефт. пром.")
31. Смотрицкий Ш.М. Некоторые вопросы распознавания динамограмм. – Тез. докл. межвуз. науч. конф.. – М.: МИНХиГП, 1966.
32. Алиев Т.М., Костянян В.Р., Тер-Хачатуров А.А. Об одном подходе к распознаванию неисправностей глубинного насоса по динамограмме, инвариантной к пространственному положению осей // Изв.вузов: Нефть и газ. - 1983. - №8.- С.60-67
33. Багиров Ф.Ш. Распознавание состояния станка-качалки на основе экспертной диагностики // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1987. – №2. – с.53-55
34. Бандура В.В., Євчук О.В., Заміховський Л.М., Шумада В.М. Використання математичного апарату кореляційних функцій для оцінки технічного стану ГНШУ// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу.– Івано-Франківськ, – 1999.– вип.36 (том 6).- С.184-194.
35. 5” Horseshoe Dynamometer Transducer (<http://www.echometer.com/>)
36. Пат. 3355938 США, МКИ E21B 047/00. Load cell with jack / A.B. Neely, J.W. Montgomery. – Заявл. 29.07.65; Опубл. 5.12.67
37. Model 1923 Series Loadtrol (<http://www.interface.com>)
38. Оборудование и программное обеспечение для управления и контроля скважин. Каталог фирмы “Barker CAC” Printed in USA, 8800-5M-2193.,1996.
39. CAC Stainless Steel Polished Rod Load Cell (<http://www.eproductionsolutions.com/Solutions/>)

40. CAC Clamp on Beam Load Transducer (Beam Sensor) (<http://www.eproductionsolutions.com/Solutions/>)
41. Н. Николаев, В. Ивановский и др. Как поставить диагноз оборудованию. //Нефть России. – 1998. - № 10-11.
42. Динамограф встраиваемый Микон-802 (<http://www.mikon.ru/>)
43. Г.П. Налимов и др. Контроль параметров проблемных добывающих скважин уровнемером-динамографом «СУДОС-комплекс» // Нефтяное хозяйство. – 2000. - №8. – с.107-108.
44. Пат. 4090405 США, МКИ G01L 001/22. Polished rod load transducer / McKee F. E. - Заявл. 14.04.77; Оpubл. 23.05.78
45. Пат. 3965736 США, МКИ E21B 047/00. Clamp-on transducer for well unit / Welton B. S., Westerman G. W. - Заявл. 13.02.74; Оpubл. 29.06.76
46. Р.А.Макаров, А.Б.Ренский, Г.Х.Боркунский, М.И.Этингоф. Тензометрия в машиностроении :Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975
47. Динамограф-эхолот. Переносной прибор для оперативной диагностики нефтепромыслового оборудования (ДН-9) (<http://www.intekufa.ru/>)
48. Комплекс эхолот/динамограф Микон-101-00 (<http://www.mikon.ru/>)
49. Устройство диагностики скважин «УДС-25ДЭ» (динамограф+эхолот) (<http://v-1336.ru/>)
50. Локшин Л.И., Пугачевский В.З., Гординский Е.И. Диагностирование эксплуатации глубинных насосов скважин устройствами тензодинамографирования // Нефтяное хозяйство. – 1988. - №3. – с. 44-46
51. Leutert permanent dynamometer (<http://www.leutert.com/>)
52. Гейнрих Ришмюллер. Добыча нефти глубинными штанговыми насосами. - г.Терниц, Австрия: Шеллер-Блекман ГмбХ, 1988. - 150с.
53. Lea J.F., Winkler H.W., Nickens H.V. What's new in artificial lift // World Oil, March 1998. Vol.219 No.3
54. Lea J.F., Winkler H.W., Snyder R.E. What's new in artificial lift // World Oil, March 1999. Vol.220 No.3

55. Терминальный контроллер ТК-166.03 (www.skbp.ru/products/TK-166_01.html)
56. Lufkin Field automation and well optimization (<http://www.lufkinautomation.com/>)
57. Євчук О.В. Сучасний стан технічних засобів для реалізації динамометричного методу діагностування штангових глибинно-насосних установок // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. - №1. – С.42-45.
58. Малько Б.Д. Динамічні характеристики виконавчих механізмів бурових і нафтопромислових установок та їх оптимізація: Дис... докт.техн.наук: 05.05.12. - Івано-Франківськ, 1999.
59. Чарный И.А. Динамический расчет штанг глубоких нефтяных насосов. //Изв. АН СССР, ОТН. – 1949, т.6. – с.98-103
60. Gibbs S.G., Neely A.B. Computer Diagnosis of Down-Hole Conditions in Sucker Rod Pumping Wells. // Journal of Petroleum Technologies. – Jan. 1966. – p. 91-98.
61. Касьянов В.М. Аналитический метод контроля работы глубинных штанговых насосов /ТНТО: сер. “Машины и оборудование нефтегаз.пром.” - ВНИИОЭНГ, М., 1973. – 95с.
62. Ефимов А.В. Математический анализ (специальные разделы). Ч.1. Общие функциональные ряды и их приложение. – М.: Высш.школа,1980. – 279с.
63. Бабак В.П., Хандецький В.С.,Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник. - К.:Либідь, 1996. - 392с.
64. Гайский В.А. Применение функций Уолша в системах автоматизации научных исследований. - К.: Наукова думка, 1993. - 196 с.
65. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. - М.: Наука, 1989. - 523 с.
66. Вариченко Л.В, Лабунец В.Г., Раков М.А. Абстрактные алгебраические системы и цифровая обработка сигналов.. - К.: Техніка,1986. - 354 с.
67. Н.М. Астафьева. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. - Т. 166, №11. – С.1145-1170.

68. К. Кноте, А.И. Солодовников. Адаптируемые ортогональные wavelet-преобразования диагностических сигналов // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики.– Івано-Франківськ. – 1999.– вип.36 (том 8).- С.12-20.
69. Кириллов С.Н., Зорин С.В. Синтез оптимальных порождающих фильтров для вейвлетных разложений // Материалы 4-й междунар. конф. DSPA-2002. – <http://www.autex.spb.ru>
70. А.В. Переберин. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительные методы и программирование. – 2001. – т.2. – с.15-40
71. Кобелев В.Ю. Адаптивное вейвлет-преобразование сигналов // Материалы 3-й междунар. конф. DSPA-2000. – <http://www.autex.spb.ru>
72. Євчук О.В, Бандура В.В, Заміховський Л.М. Методика виділення інформативних ділянок для аналізу вібраційного процесу в штанговій колоні штангової глибинно-насосної установки // Матеріали 6-ї Міжнар. наук.-пр. конф. “Нафта і газ України-2000”. – Івано-Франківськ,2000. – Т.3. – С. 301-307
73. Пирвердян А.М., Алиев Ш.Н., Халафбеков А.Х. и др. Определение по динамограмме основных параметров исследования штангово-насосных скважин // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1982. - №1. – С.40-42
74. Бульбас В.М., Денис Б.Д., Калужний Б.С. Діагностика свердловини з глибинним штанговим насосом / Нафтова і газова промисловість, 2001. - №1.
75. Хакимьянов М.И., Ковшов В.Д. Анализ искажений форм динамограмм при различных методах определения положения штока ШГН / Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Сб. материалов XIV науч.-тех. конф. - М.: МГИЭМ, 2002. – с.130-131
76. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Забезпечення інваріантності динамометричного методу діагностування ШГНУ до форми сигналу переміщення полірованого штока // Материалы 11-й междунар. конф. "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". – Ялта-Киев, 2003. – С. 115-117.

77. Н. Freeman. Computer processing of line drawing images // Computer Surveys. – 1974. - №6. - pp.57-97
78. G. Chen. Applications of wavelet transforms in pattern recognition and de-noising: A thesis... for the degree of master of computer science. – Concordia University, Montréal, Québec, Canada. – 1999.
79. Вирновский А.С. Теория и практика глубиннонасосной добычи нефти. – ВНИИ избр. труды. – Вып. 57. – 1971. – 192 с.
80. Кадиров Н.Б. К вопросу исследования вынужденного колебательного движения колонны штанг станка-качалки глубиннонасосной установки (Определение сил трения, действующих на колонну штанг станка-качалки) //Изв.вузов. Нефть и газ. - 1981. – №12.- С.23-25.
81. Пирвердян А.М. Гидромеханика глубиннонасосной эксплуатации. – М.: “Недра”, 1968. – 306с.
82. Кадымова К.С., Мовламов Ш.С. Изучение видов трения в подземной части глубиннонасосной установки // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1973. - №3. – С. 41-44.
83. Євчук О.В. Метод визначення коефіцієнту тертя при обрахунку плунжерних динамограм // Методи та прилади контролю якості. – 2003. - №10. – С.55-58
84. Вирновский А.С. О вычислении истинной длины хода плунжера глубинного насоса // Нефтяное хозяйство. – 1954. - №4. – С. 76-82.
85. McCoy J.N., Becker D., Podio A.L., Drake B. Improved analysis of acoustic liquid level measurements using a dual channel analog/digital strip chart recorder. // <http://www.echometer.com>
86. Сныткин В.В. Техника замеров уровней в скважинах эхолотом. – М.-Л., 1951. – 92 с.
87. McCoy J.N., Podio A.L., Becker D. Pressure Transient Digital Data Acquisition and Analysis From Acoustic echometric Surveys in Pumping Wells. – SPE 23980 presented at the Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference held in Midland, Texas, March 1992

88. Петров А.И. Методы и техника измерений при промышленных исследованиях скважин. М.: Недра, 1972. – 272 с.
89. Downhole liquid detecting apparatus: Пат. 2233765 Великобританиї/ Belshaw R.J., Dobson A.R., Belshaw D.J.. - Оpubл. 16.01.91; Fluid level monitoring and control system: Пат. 5035581 США/ McGuire D.G. et al. – Оpubл. 17.11.89.
90. Level sensor: Пат. 4747451 США/ Adams H.P, Hill D.R., Richey L.M., Maitland A.B., Banfoa W.E., Taylor D.C. – Оpubл. 31.05.88.
91. Method and apparatus for determining fluid level in oil wells: Пат. 5868029 США/ Paine A. – Оpubл. 9.02.1999.
92. McCoy J.N., Becker D., Podio A.L., Drake B. Improved analysis of acoustic liquid level measurements using a dual channel analog/digital strip chart recorder. // <http://www.echometer.com>
93. Уровнемер Ventawave // <http://www.nabla.co.jp/>
94. Якушкин П.Л., Налимов Г.П., Гаус П.О. Уровнемер четвертого поколения «Судос-мини-2». // Нефтяное хозяйство. – 2001. - №11.
95. Эхолот Микон-801 // <http://www.mikon.ru/rus/801.shtml>
96. Якушкин П.Л., Налимов Г.П., Белай И.Н. Уровнемер «Судос-автомат». // Нефтяное хозяйство. – 2001. - №5.
97. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Контроль рівня рідини в нафтовидобувних свердловинах за динамограмою // Методи та прилади контролю якості. – 2002. - №9. – С.55-56.
98. Євчук О.В. Сучасний стан методів і засобів контролю вимірювання рівня рідини в свердловинах, обладнаних ШГНУ. - Міжвід. наук.-техн. збірка: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби діагностування. - Івано-Франківськ, 2000. вип.37 (т.8). – С.218-225.
99. Євчук О.В., Заміховський Л.М. Дослідження можливості оцінки рівня рідини в свердловині за характеристиками коливних процесів ШГНУ // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2003. - №2(6). – С.25-29.

- 100.Светлицкий В.А., Стасенко Н.В. Сборник задач по теории колебаний. – М.: Высшая школа, 1973. – 456с.
- 101.Євчук О.В., Заміховський Л.М. Програмне забезпечення системи збору діагностичної інформації про стан штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти. // Матеріали конференції “Сучасні прилади і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання”. – Івано-Франківськ, 2002. – С.121-122.
- 102.Муравьев В.М. Справочник мастера по добыче нефти. – М.: Недра, 1975. – 264с.
- 103.Євчук О.В., Заміховський Л.М., Ровінський В.А. Спосіб побудови динамографічного давача для діагностування штангових глибинно-насосних установок // Матеріали 4-ї наук.-тех. конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. – Київ, 2003. – С. 287-289.
- 104.Пат. 2145414 России, МКИ G 01 L 1/22. Тензорезисторный датчик силы: Свирский В.В., Мамлеев Р.Ф.; Заявл. 26.12.97; Опубл. 10.02.2000. – 3с.
- 105.Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Маслов Г.С. Прикладная механика. – М.:Машиностроение, 1989. – 352с.
- 106.Improved, 8-Channel / Dual 4-Channel, CMOS Analog Multiplexers // Maxim Integrated Products, 1995; www.maxim.com
- 107.Burr-Brown Integrated Circuits Data Book // Mixed Signal Products: Tuson, AZ.: Burr-Brown Corporation, 1996.
- 108.AD780 –2.5V/3.0V High Precision Reference // www.analog.com
- 109.8-bit Microcontroller with 4K/8K Bytes In-System Programmable Flash. AT90S4434, AT90LS4434, AT90S8535, AT90LS8535 // www.atmel.com
- 110.Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи).–Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983.–320с.
- 111.Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304с.
- 112.Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262с.

ДОДАТОК А
ВЕКТОРИ ОЗНАК ЕТАЛОНІВ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ

Таблиця А.1. Вектор ознак еталона “Нормальна робота” при різних значеннях $\frac{\lambda}{S_{\max}}$

№ коєф.	$\frac{\lambda}{S_{\max}}$							$M(k_i)$	$\sigma(k_i)$
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6		
1	0.0006	0.0007	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0007	0.0001
2	0.1348	0.3235	0.3035	0.2630	0.2423	0.2003	0.1570	0.2308	0.0601
3	0.0001	0.0007	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0004	0.0002
4	0.0339	0.1827	0.1501	0.0952	0.0731	0.0428	0.0336	0.0824	0.0506
5	0.0001	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002
6	0.0170	0.1191	0.0793	0.0343	0.0283	0.0276	0.0216	0.0432	0.0306
7	0.0001	0.0006	0.0004	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
8	0.0115	0.0817	0.0412	0.0228	0.0220	0.0146	0.0114	0.0260	0.0204
9	-0.3632	-1.3412	-1.1339	-0.8890	-0.7954	-0.6265	-0.4569	-0.7834	0.2959
10	-6.4784	-1.3243	-1.1354	-7.1594	-7.0470	-6.8296	-6.6027	-5.7513	2.2730
11	-8.8560	-4.4955	-4.2485	-3.9358	-10.0806	-9.7631	-9.2662	-7.4143	2.6520
12	-7.8225	-4.4597	-10.5243	-10.1290	-9.8894	-9.1964	-8.2429	-8.8908	1.7053
13	-16.7076	-7.6441	-7.3198	-12.9968	-12.5763	-11.5710	-10.7947	-11.6030	2.5905
14	-16.2122	-13.8697	-13.5683	-12.6511	-12.0082	-17.3585	-16.6589	-14.4009	2.0918
15	-18.3442	-10.7832	-16.5807	-15.2021	-14.6367	-20.1718	-19.1404	-16.4670	2.7776
16	-24.0362	-16.9828	-16.4810	-14.8652	-20.6461	-19.6933	-18.3321	-18.5917	2.5991

Таблиця А.2. Вектор ознак еталона “Вплив газу” при різних значеннях коефіцієнта наповнення

№ коэф.	Коефіцієнт наповнення					$M(k_i)$	$\sigma(k_i)$
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
1	0.4659	0.3426	0.2408	0.1430	0.0744	0.2250	0.1403
2	0.2529	0.1130	0.1242	0.2022	0.2498	0.1873	0.0610
3	0.0528	0.1283	0.1440	0.1110	0.0647	0.0974	0.0438
4	0.0788	0.1103	0.0715	0.0346	0.0771	0.0788	0.0284
5	0.1011	0.0405	0.0491	0.0706	0.0509	0.0546	0.0257
6	0.0455	0.0103	0.0372	0.0186	0.0153	0.0262	0.0148
7	0.0146	0.0464	0.0195	0.0340	0.0359	0.0281	0.0136
8	0.0260	0.0069	0.0179	0.0097	0.0108	0.0148	0.0071
9	0.0761	-0.1540	-0.3347	-0.5070	-0.6322	-0.3858	0.2966
10	-2.5700	-2.1309	-7.4386	-7.1974	-7.2095	-5.8495	2.2795
11	-9.6742	-9.2099	-9.3541	-9.5626	-9.7370	-8.9211	1.6187
12	-11.940	-12.019	-12.051	-10.822	-10.261	-11.367	0.7569
13	-13.960	-13.750	-12.287	-12.325	-12.533	-12.950	0.6917
14	-17.005	-14.447	-14.904	-15.354	-12.783	-15.019	1.3533
15	-17.995	-16.850	-16.629	-15.073	-15.281	-16.201	0.9336
16	-18.278	-19.569	-16.537	-17.615	-14.481	-17.912	2.0995

Таблиця А.3. Вектор ознак еталона “Витік в нагнітальній частині” при різних значеннях коефіцієнта наповнення

№_коэф.	Коефіцієнт наповнення					$M(k_i)$	$\sigma(k_i)$
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
1	0.6390	0.5875	0.5200	0.4041	0.2137	0.4328	0.1927
2	0.3190	0.2577	0.1495	0.0605	0.2122	0.1993	0.0858
3	0.1912	0.1505	0.0901	0.1461	0.1412	0.1282	0.0518
4	0.1305	0.0865	0.0746	0.0861	0.0401	0.0855	0.0285
5	0.0763	0.0475	0.0679	0.0333	0.0669	0.0510	0.0211
6	0.0492	0.0325	0.0408	0.0277	0.0170	0.0363	0.0112
7	0.0278	0.0265	0.0166	0.0312	0.0236	0.0213	0.0089
8	0.0208	0.0243	0.0118	0.0094	0.0192	0.0188	0.0047
9	-4.3103	-4.1828	-4.1840	-4.1972	-4.2046	-3.8888	0.9620
10	-3.8870	-3.6512	-3.5309	-1.9775	-1.1310	-3.3323	1.6469
11	-3.0909	-9.0159	-8.1779	-7.3610	-7.2517	-6.5529	2.1856
12	-8.7092	-8.2468	-7.0556	-6.6995	-10.7708	-8.1256	1.4224
13	-7.9347	-7.1131	-12.4182	-11.8509	-10.1709	-10.5873	2.1929
14	-13.3339	-12.2641	-11.6994	-9.6945	-9.2635	-11.4934	1.4581
15	-12.3545	-10.9764	-16.7832	-15.2072	-12.7133	-13.7046	2.1004
16	-17.3469	-16.2761	-14.7197	-14.2557	-18.4489	-16.2332	1.4367

Таблиця А.4. Вектори ознак еталонів різних технічних станів при $\frac{\lambda}{S_{\max}} = 1/6$

№ коэф.	Технічні стани							$M(k_i)$	$\sigma(k_i)$
	Норм. робота	Вплив газу	Низький дин. рів.	Витік в нагн. ч.	Витік в пр. ч.	Прихват плунжера	Низька пос. пл.		
1	0.0008	0.2596	0.3828	0.5592	0.5592	0.0004	0.0467	0.2584	0.2312
2	0.2833	0.1121	0.0448	0.2107	0.2107	0.0270	0.3020	0.1701	0.1022
3	0.0006	0.1451	0.2001	0.1107	0.1107	0.0001	0.0441	0.0873	0.0698
4	0.1209	0.0820	0.1465	0.0632	0.0632	0.0143	0.0792	0.0813	0.0396
5	0.0004	0.0409	0.0323	0.0537	0.0537	0.0000	0.0414	0.0318	0.0211
6	0.0510	0.0355	0.0695	0.0439	0.0439	0.0084	0.0620	0.0449	0.0183
7	0.0002	0.0267	0.0543	0.0311	0.0311	0.0000	0.0369	0.0258	0.0182
8	0.0244	0.0155	0.0436	0.0173	0.0173	0.0050	0.0538	0.0253	0.0159
9	-1.0049	-0.3017	-0.2791	-4.1807	-1.0391	-0.0285	0.4385	-0.9136	1.4186
10	-7.2800	-7.5649	-2.5058	-3.6190	-3.6190	-5.5883	-1.1847	-4.4803	2.2304
11	-4.0956	-9.3200	-9.3113	-8.7579	-5.6163	-6.7030	-4.4593	-6.8948	2.0918
12	-10.333	-12.071	-12.630	-7.6825	-7.6825	-12.4223	-10.6844	-10.5009	1.9509
13	-13.349	-12.388	-11.636	-12.677	-9.5362	-13.7162	-9.3467	-11.8074	1.6195
14	-13.192	-14.815	-15.063	-11.799	-11.799	-19.2829	-12.6993	-14.0932	2.4400
15	-16.006	-16.812	-18.245	-10.848	-13.990	-21.0654	-14.2245	-15.8847	3.0473
16	-15.647	-16.355	-23.095	-16.198	-16.198	-26.1948	-16.3662	-18.5795	3.9309

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ

Б.1. Свердловина Б-320 (Битківське родовище НГВУ "Надвірнанафтогаз")

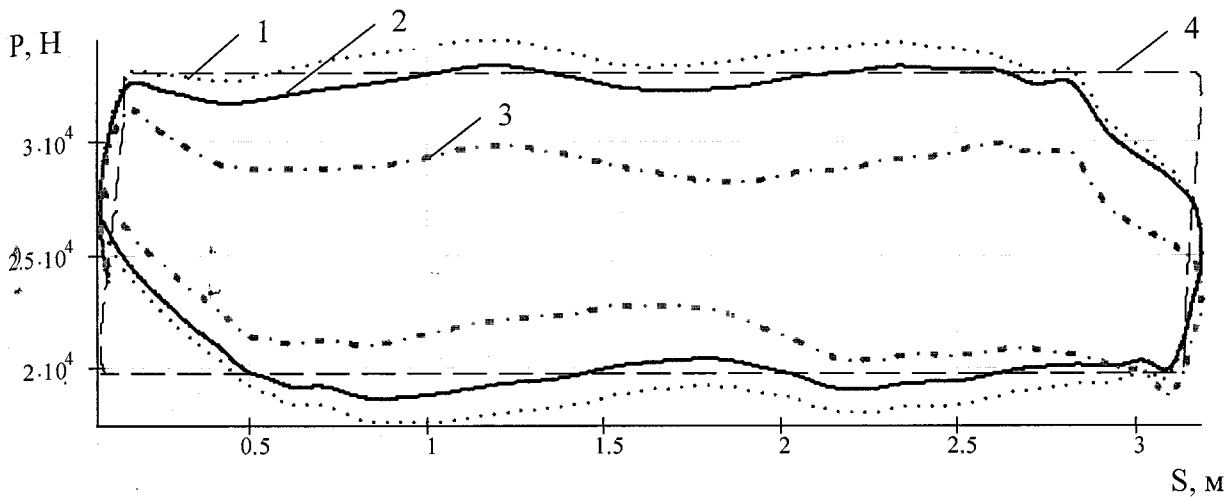


Рис. Б.1. Плунжерні динамограми, розраховані при різних значеннях коефіцієнта тертя b :

- 1 – $b=0$
- 2 – $b=0,144$
- 3 – $b=0,5$
- 4 – теоретична плунжерна динамограма.

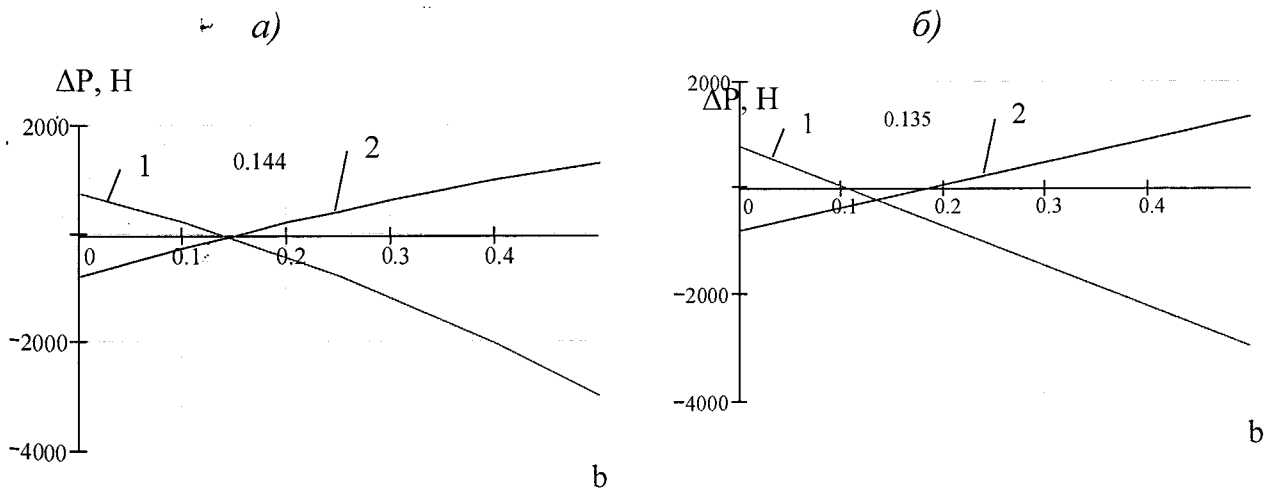
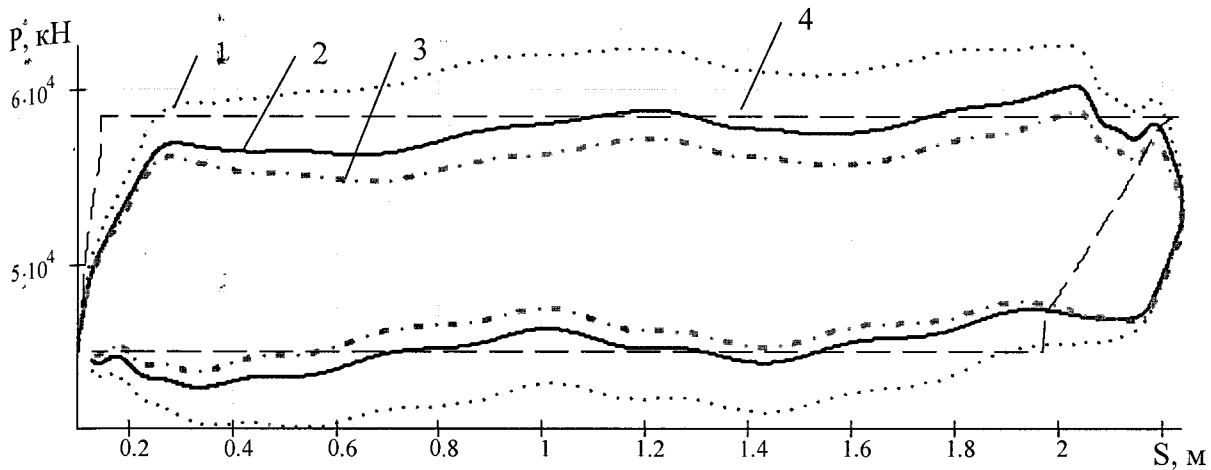


Рис. Б.2. Залежність середнього відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної при русі штангової колони вгору (1) і вниз (2):

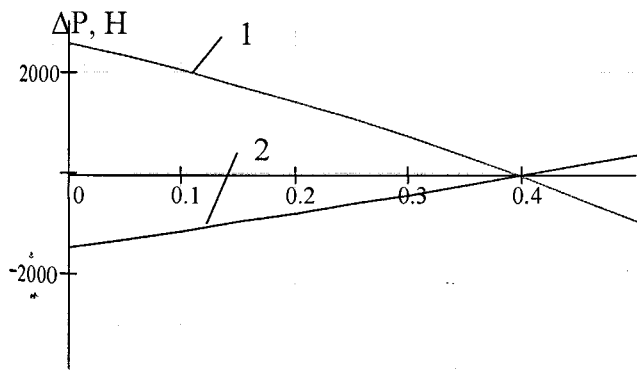
- а) при зміні коефіцієнта тертя з кроком 0,05;
- б) лінійно апроксимована по двох точках.

Б.2. Свердловина 1298 (Бориславське родовище НГВУ "Бориславнафтогаз")

Рис. Б.3. Плунжерні динамограми, розраховані при різних значеннях коефіцієнта тертя b :1 — $b=0$ 2 — $b=0,4$ 3 — $b=0,5$

4 — теоретична плунжерна динамограма.

а)



б)

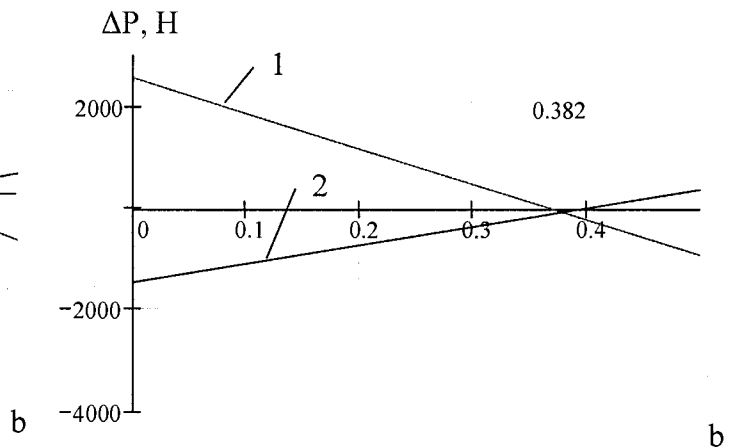


Рис. Б.4. Залежність середнього відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної при русі штангової колони вгору (1) і вниз (2):

а) при зміні коефіцієнта тертя з кроком 0,05;

б) лінійно апроксимована по двох точках.

Б.3. Свердловина 1604 (Бориславське родовище НГВУ "Бориславнафтогаз")

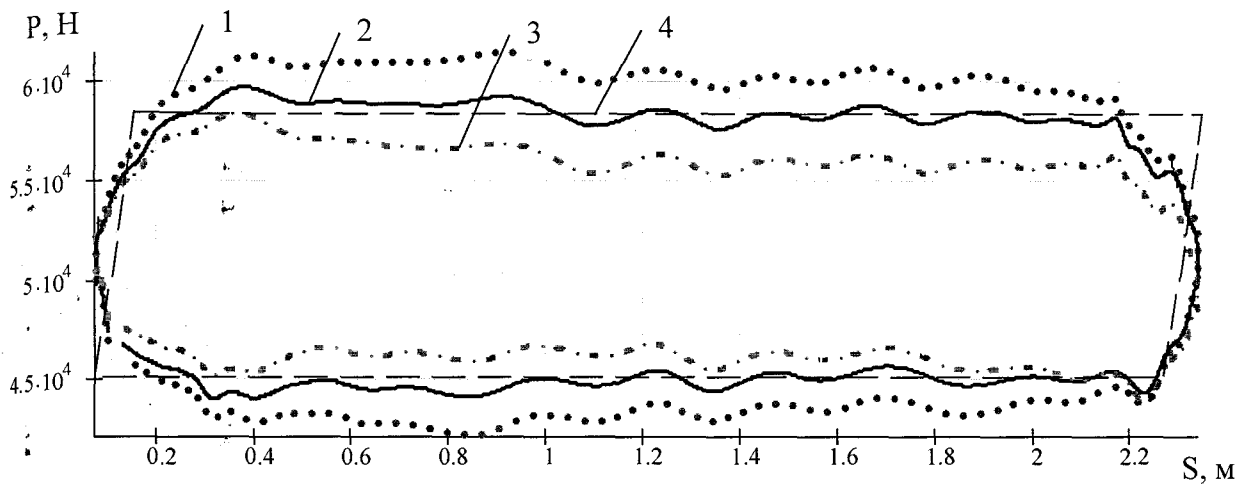


Рис. Б.5. Плунжерні динамограми, розраховані при різних значеннях коефіцієнта тертя b :

1 – $b=0$

2 – $b=0,26$

3 – $b=0,5$

4 – теоретична плунжерна динамограма.

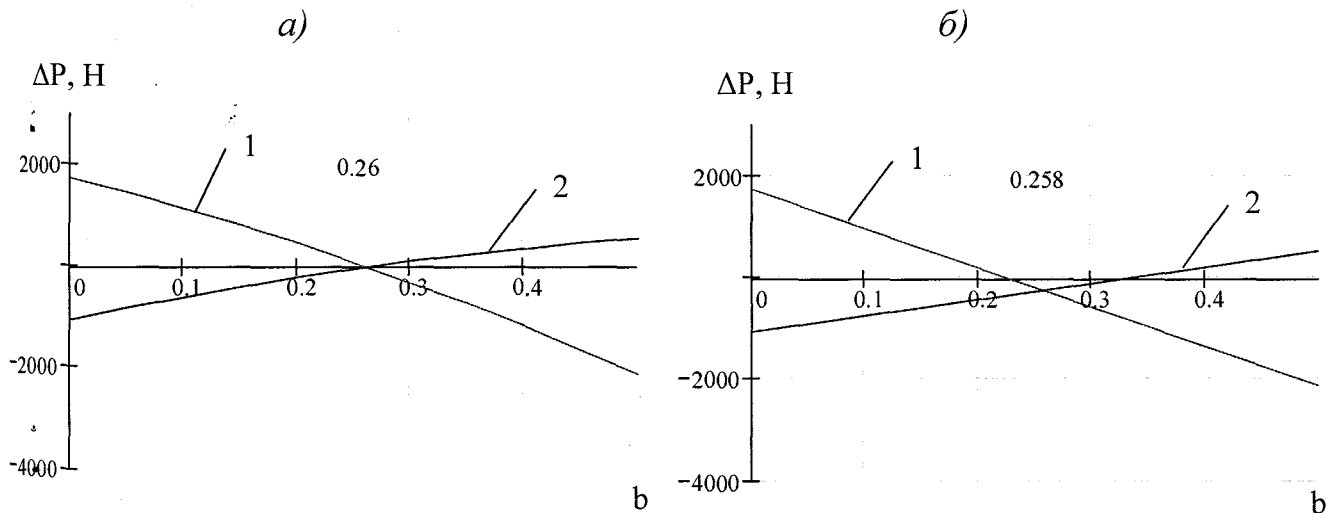


Рис. Б.6. Залежність середнього відхилення розрахованої плунжерної динамограми від теоретичної при русі штангової колони вгору (1) і вниз (2):

а) при зміні коефіцієнта тертя з кроком 0.05;

б) лінійно апроксимована по двох точках.

ДОДАТОК В

ТЕКСТ ПРОГРАМИ ДИНАМОМЕТРУВАННЯ ШГНУ

В.1. Головний модуль

```

unit d_main;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Series,
  TeEngine, TeeProcs, Chart, ComCtrls, Buttons, db, Mask, math, mmsystem, Gauges, Menus;

type
  Pseries = ^TFastLineSeries;

var
  Form1: TForm1;
  tcurr: TTime;
  gaugestep: integer;

implementation
uses d_dat, d_well, d_cal, d_lpt, d_cal7714, d_dinSB;
{$R *.DFM}

//----- Wells database -----
procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
  DMod.Table1.Locate('Well_name', Variant(ComboBox1.Text), [loPartialKey]);
  DMod.GetIniAll;
  EditDBL.Text:=FloatToStrF(rodstring_len, ffFixed, 18, 3);
  EditDBspm.Text:=FloatToStrF(stroke_num, ffFixed, 18, 3);
  EditDBs0.Text:=FloatToStrF(stroke_len, ffFixed, 18, 3);
  EditTimeChange(Sender);
end;

procedure TForm1.OpenDBClick(Sender: TObject);
begin  FormWells.ShowModal; ComboBox1Change(Sender); end;

procedure TForm1.NewWellClick(Sender: TObject);
begin  DMod.Table1.Append; OpenDBClick(Sender); end;

procedure TForm1.FormActivate(Sender: TObject);
var i: integer;
    tmp: double;
begin
  if DMod.Table1.Active then
  begin
    DMod.Table1.First;
    for i:=0 to DMod.Table1.RecordCount-1 do
    begin
      ComboBox1.Items.Add(DMod.Table1.FieldName('Well_name').AsString);
      DMod.Table1.Next;
    end;
  end;
end;

```

```

    DMod.Table1.First;
end;
ComboBox1.ItemIndex:=0; Combobox1Change(Sender);
Radioscaleclick(sender); WayFreq:=1000/TimerDyn.Interval; PResSound:=@ResSound;
EditTime.Text:=FloatToStrF(period,ffixed,10,3); EditTimeChange(Sender);
//----- for SB - dynagraph
nul_lin:=0; mes_vs:=65537; mes_vr:=65537; Selectchannel(0);
//read some ini for AD7714 & SOUND CARD
if FileExists('weird.ini') then
begin
    ReadCFG('weird.ini');
    getinival('nul_scale',nul_scale); getinival('cal_zero',cal_zero); getinival('cal_fullscale',cal_fullscale);
    if (getinival('din_line',din_line)) and (getinival('din_rec',din_rec)) then Setlevels(din_line,din_rec);
end
else
begin nul_scale:=0; cal_zero:=0; cal_fullscale:=1; end;
//----- look for SB
if CheckSB=false then
begin
    Application.MessageBox('Помилка детектування звукової карти.','CheckSB',
MB_ICONEXCLAMATION);
    RadioPsensor.ItemIndex:=0; RadioPsensor.Enabled:=false;
end;
//---- look for sensorpos
if NoChemodan then
begin
    Way.Enabled:=false; TestSenspos.enabled:=false; SynWay.Checked:=false; SynWay.Enabled:=false;
    RadioPsensor.itemindex:=1; RadioPsensor.Enabled:=false;
end;
if TestPos=false then Way.Checked:=false else ReadPos(tmp);
TestSensPos.Visible:=Way.Checked; SynWay.Checked:=Way.checked;
//---- look for AD7714
if TestDyn=false then
begin
    if RadioPsensor.ItemIndex=0 then
begin
    Application.MessageBox('Помилка ідентифікації AD7714. Можливо, система не
включена','Error',0);
    RadioPsensor.ItemIndex:=1;
end;
end;
end;
// ----- Sensors configuration -----
procedure TForm1.WayClick(Sender: TObject);
begin TestSensPos.Visible:=Way.Checked; end;

procedure TForm1.TestSensPosClick(Sender: TObject);
var ttt:double;
    xxx:word;
begin
if FalseWay then exit; xxx:=ReadPos(ttt);
Maskedit1.Show; MaskEdit1.Text:='Time = '+FloatToStrF(ttt,ffixed,10,2)+' Pos = '+intToStr(xxx);

```



```
HideTest.Show;
end;
```

```
procedure TForm1.HideTestClick(Sender: TObject);
begin Maskedit1.Hide; HideTest.Hide; end;
```

```
//----- Initial settings -----
```

```
procedure TForm1.InstallSensorClick(Sender: TObject);
begin
```

```
  if RadioPsensor.ItemIndex=1 then
```

```
  begin
    FormCal.RadioGroup1.ItemIndex:=1; FormCal.Edit2.Text:=FloatToStrF(teor_vs,ffFixed,10,3);
    FormCal.ShowModal;
  end
```

```
  else begin
    FormCal7714.Formactivate(sender); FormCal7714.ShowModal;
  end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.GetNulClick(Sender: TObject);
```

```
begin
  FormCal.RadioGroup1.ItemIndex:=0; FormCal.Edit2.Text:='0'; FormCal.ShowModal;
end;
```

```
procedure TForm1.GetVSClick(Sender: TObject);
```

```
begin
  FormCal.RadioGroup1.ItemIndex:=1; FormCal.Edit2.Text:=FloatToStrF(teor_vs,ffFixed,10,3);
  FormCal.ShowModal;
end;
```

```
procedure TForm1.GetVRClick(Sender: TObject);
```

```
begin
  FormCal.RadioGroup1.ItemIndex:=2; FormCal.Edit2.Text:=FloatToStrF(teor_vr,ffFixed,10,3);
  FormCal.ShowModal;
end;
```

```
//----- Time -----
```

```
procedure TForm1.EditTimeChange(Sender: TObject);
```

```
var np:integer;
begin
  MaxTime:=StrToFlo(EditTime); if MaxTime>MT then MaxTime:=MT-1/freq;
  if MaxTime<0 then MaxTime:=-MaxTime; if MaxTime=0 then MaxTime:=Period;
  MaxNum:=Ceil(MaxTime*Freq); MaxTime:=MaxNum/Freq; Nperi:=MaxTime/Period;
  if AlwaysInt.Checked then
  begin
    Nperi:=Round(Nperi); if Nperi=0 then Nperi:=1;
    MaxTime:=Period*Nperi; MaxNum:=Ceil(MaxTime*Freq)+1;
  end;
```

```
// put to edits:
```

```
EditTime.Text:=FloatToStrF(MaxTime,ffFixed,18,2); np:=round(nperi); if np=0 then np:=1;
if AlwaysInt.Checked then EditNperi.Text:=IntToStr(Np)
else EditNperi.Text:=FloatToStrF(Nperi,ffFixed,18,2);
end;
```

```

procedure TForm1.EditTimeKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word; Shift: TShiftState);
begin
  if Key=VK_RETURN then EditTimeChange(Sender); end;

procedure TForm1.EditNperiChange(Sender: TObject);
begin
  EditTime.Text:=FloatToStr(Ceil(StrToFlo(EditNperi)*Period*Freq)/Freq); end;

procedure TForm1.EditNperiKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word; Shift: TShiftState);
begin
  if Key=VK_RETURN then EditNperiChange(Sender); end;

procedure TForm1.UpDown1ChangingEx(Sender: TObject;
  var AllowChange: Boolean; NewValue: Smallint; Direction: TUpDownDirection);
begin
  EditNperi.Text:=IntToStr(NewValue);  EditNperiChange(Sender); end;

procedure TForm1.AlwaysIntClick(Sender: TObject);
begin
  np:=round(nperi); if np=0 then np:=1;
  if not AlwaysInt.Checked then EditNperi.Text:=IntToStr(Np);
end;

// ----- Soundcard -----
Function TForm1.SetLevels(LineLevel,RecordLevel:WORD):boolean;
var
  rc:      MMRESULT;      // Return code.
  hMix:    HMIXER;        // Mixer handle used in mixer API calls.
  mxc:     MIXERCONTROL;  // Holds the mixer control data.
  mxl:     MIXERLINE;     // Holds the mixer line data.
  mxlc:    MIXERLINECONTROLS; // Obtains the mixer control.
  *mxcd:   TMIXERCONTROLDETAILS ; // Gets the control values.
  i,k:     UINT;
  details: array [0..1] of integer;
begin
  SetLevels:=false;
  rc:=mixerGetID(0, k,MIXER_OBJECTF_WAVEIN);
  rc:= mixerOpen(@hMix, k,0,0,MIXER_OBJECTF_WAVEIN);
  case rc of
    MMSYSERR_ALLOCATED : MessageDlg('R_mix ALLOCATED !',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_BADDEVICEID : MessageDlg('R_mix
BADDEVICEID!',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDFLAG : MessageDlg('R_mix INVALIDFLAG!',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDHANDLE : MessageDlg('R_mix
INVALIDHANDLE!',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDPARAM : MessageDlg('R_mix INVALIDPARAM
!',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_NODRIVER : MessageDlg('R_mix NODRIVER !',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_NOMEM : MessageDlg('R_mix NOMEM !',mtConfirmation,[mbOk],0);
  end; // case
  if (MMSYSERR_NOERROR <> rc) then EXIT; // Couldn't open the mixer.
// Record level
ZeroMemory(@mxl,sizeof(mxl));
*mxl.cbStruct:= sizeof(mxl);
mxl.dwComponentType:=MIXERLINE_COMPONENTTYPE_DST_WAVEIN;

```

```

rc:= mixerGetLineInfo(hMix, @mxl,MIXER_GETLINEINFOF_COMPONENTTYPE);
case rc of
    MIXERR_INVALLINE : Application.MessageBox('R_mix. The audio line reference is
invalid.','GetLinInfo',0);
    MMSYSERR_BADDEVICEID : Application.MessageBox('R_mix. The hmxobj parameter specifies
an invalid device identifier.','GetLinInfo',0);
    MMSYSERR_INVALIDFLAG : Application.MessageBox('R_mix. One or more flags are
invalid.','GetLinInfo',0);
    MMSYSERR_INVALIDHANDLE : Application.MessageBox('R_mix. The hmxobj parameter
specifies an invalid handle.','GetLinInfo',0);
    MMSYSERR_INVALIDPARAM : Application.MessageBox('R_mix. One or more parameters are
invalid.','GetLinInfo',0);
    MMSYSERR_NODRIVER : Application.MessageBox('R_mix. No mixer device is available for
the object specified by hmxobj.','GetLinInfo',0);
end; // case
if (MMSYSERR_NOERROR <> rc) then EXIT;
ZeroMemory(@mxcd, sizeof(mxcd));
mxcd.cbStruct:=sizeof(mxcd); mxcd.cChannels:=1; mxcd.cbDetails:=4; mxcd.paDetails:=@details;
ZeroMemory(@mxc, sizeof(mxc));
mxc.cbStruct := sizeof(mxc); mxc.fdwControl:=0;
ZeroMemory(@mxlc, sizeof(mxlc));
mxlc.cbStruct := sizeof(mxlc); mxlc.cbmxctrl := sizeof(mxc); mxlc.pamxctrl := @mxc;
mxlc.dwLineID := mxl.dwLineID;
mxlc.cControls := mxl.cControls;;
mxlc.dwControlType :=MIXERCONTROL_CONTROLTYPE_VOLUME;
rc := mixerGetLineControls(hMix,@mxlc, MIXER_GETLINECONTROLSF_ONEBYTYPE );
case rc of
    MIXERR_INVALIDCONTROL: MessageDlg('The control reference is
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MIXERR_INVALLINE : MessageDlg('The audio line reference is
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_BADDEVICEID: MessageDlg('The hmxobj parameter specifies an invalid device
identifier.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDFLAG : MessageDlg('One or more flags are
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDHANDLE : MessageDlg('The hmxobj parameter specifies an invalid
handle.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_INVALIDPARAM : MessageDlg('One or more parameters are
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
    MMSYSERR_NODRIVER :
MessageDlg('MMSYSERR_NODRIVER',mtConfirmation,[mbOk],0);
end; //of case;
if (MMSYSERR_NOERROR <> rc) then Exit;
mxcd.dwControlID := mxc.dwControlID;
rc := mixerGetControlDetails(hMix, @mxcd,MIXER_GETCONTROLDETAILSF_VALUE);
case rc of
MIXERR_INVALIDCONTROL : MessageDlg('The control reference is
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
MMSYSERR_BADDEVICEID: MessageDlg('The hmxobj parameter specifies an invalid device
identifier.',mtConfirmation,[mbOk],0);
MMSYSERR_INVALIDFLAG : MessageDlg('One or more flags are invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);

```

```

MMSYSERR_INVALIDHANDLE: MessageDlg('The hmxobj parameter specifies an invalid
handle.',mtConfirmation,[mbOk],0);
MMSYSERR_INVALIDPARAM : MessageDlg('One or more parameters are
invalid.',mtConfirmation,[mbOk],0);
MMSYSERR_NODRIVER : MessageDlg('No mixer device is available for the object specified by
mxobj.',mtConfirmation,[mbOk],0);
end; // of case;
if (MMSYSERR_NOERROR <> rc) then EXIT;
details[0]:=RecordLevel;
rc := mixerSetControlDetails(hMix, @mxcd,MIXER_GETCONTROLDETAILSF_VALUE);
if rc<>0 then exit;
// Select "Line In"
k:=mxl.cConnections;
for i:=0 to k do
begin
mxl.dwSource:=i;
rc:=mixerGetLineInfo(hMix, @mxl, MIXER_GETLINEINFOF_SOURCE);
if mxl.dwComponentType=MIXERLINE_COMPONENTTYPE_SRC_LINE then break;
if (MMSYSERR_NOERROR <> rc) then EXIT;
end;
// Line level
mxlc.cControls := mxl.cControls; mxlc.dwLineID:=mxl.dwLineID;
mxlc.dwControlType :=MIXERCONTROL_CONTROLTYPE_VOLUME;
rc := mixerGetLineControls(hMix,@mxlc, MIXER_GETLINECONTROLSF_ONEBYTYPE );
if rc<>0 then exit;
mxcd.cChannels:=mxl.cChannels; mxcd.dwControlID:= mxc.dwControlID;
rc := mixerGetControlDetails(hMix, @mxcd,MIXER_GETCONTROLDETAILSF_VALUE);
if rc<>0 then exit;
details[0]:=LineLevel; details[1]:=LineLevel;
rc := mixerSetControlDetails(hMix, @mxcd,MIXER_GETCONTROLDETAILSF_VALUE);
if rc<>0 then exit; rc:=MixerClose(hMix);
SetLevels:=true;
end;

function TForm1.CheckSB: Boolean;
begin
if WaveInGetNumDevs=0 then CheckSB:=false else CheckSB:=true;
end;

function TForm1.InitSB:Boolean;
var header:PWaveHdr;
tmp:integer;
begin
InitSB:=true;
//define format
new(WaveFormatExt);
with WaveFormatExt^ do begin
wFormatTag:= WAVE_FORMAT_PCM; cbSize:=1; nChannels:=MONO;
wBitsPerSample:=16; nSamplesPerSec:=Freq; nBlockAlign:=nChannels*(wBitsPerSample div 8);
nAvgBytesPerSec:=nBlockAlign*nSamplesPerSec;
end;
tmp:=waveInOpen(nil,0,WaveFormatExt,0,0,WAVE_FORMAT_QUERY);

```

```

;if tmp<>0 then InitSB:=false;
//define handle
HwaveIn:=new(PHwaveIn);
tmp:=waveInOpen(HWaveIn,0,WaveFormatExt,Form1.handle,0,CALLBACK_WINDOW);
if tmp<>0 then
begin
Application.MessageBox('Error creating handle','InitSB',MB_ICONINFORMATION);
InitSB:=false; exit;
end;
//add header
header:=new(PWaveHDR);
with header^ do begin
lpdata:=pointer(PResSound);
dwbufferlength:=Ceil(MaxTime*WaveFormatExt^.nAvgBytesPerSec);
dwbytesrecorded:=0; dwUser:=0; dwflags:=0; dwloops:=0;
end;
tmp:=waveInPrepareHeader(HWaveIn^,Header,sizeof(TWavehdr));
if tmp<>0 then
begin
Application.MessageBox('Error creating header','InitSB',MB_ICONINFORMATION);
InitSB:=false; exit;
end;
//add buffer
tmp:=waveInAddBuffer(HWaveIn^,Header,sizeof(TWaveHdr));
if tmp<>0 then
begin
Application.MessageBox('Error adding buffer','InitSB',MB_ICONINFORMATION);
InitSB:=false; exit;
end;
//then start
if waveInStart(HwaveIn^)<>0 then InitSB:=false else InitSB:=true;
end;
procedure TForm1.MMIInDone(var msg:Tmessage);
var hHeader:PWaveHDR;
i:integer;
begin
Screen.Cursor := crHourglass; hHeader:=PWaveHDR(msg.lparam);
i:=waveInUnprepareHeader(HWaveIn^,hHeader,sizeof(TWavehdr));
if i<>0 then
Application.MessageBox('MMIInDone, cannot Unprepare','MMIInDone',MB_ICONINFORMATION);
if HwaveIn<>nil then WaveInClose(HWaveIn^); HWaveIn:=nil;
dispose(WaveFormatExt); dispose(HWaveIn); dispose(hHeader); BStopClick(Form1);
end;
// ----- START -----
procedure TForm1.BStartClick(Sender: TObject);
var s,t:double;
i:integer;
begin
MaxAdd:=0; EditTimeChange(Sender);
if RadioPsensor.Itemindex=0 then InitADC(0); end;

```

```

// wait for beg sin:
if Way.Checked and SynWay.Checked then
begin
  ResTrans[0]:=ReadPos(t);
  repeat      s:=ResTrans[0];      ResTrans[0]:=ReadPos(ResTime[0]);      until (Restrans[0]>s);
end;
// start SB
if RadioPsensor.ItemIndex=1 then
begin
  inverted:=false;
  if InitSB=false then
  begin
Application.MessageBox('Помилка ініціалізації звукової карти', 'InitSB', MB_ICONEXCLAMATION);
    BStopClick(Sender);      exit;
  * end;
  end
  else MaxNum:=ceil(Maxtime*wayfreq);
  tcurr:=time;
// show something
  StatusBar1.SimpleText:='Процес зчитування даних...'; Gauge1.Progress:=0;
// start timer
  TimerDyn.Enabled:=true; TimerDyn.Timer(Sender);      // first value
// start gauge
  GaugeStep:= Round(Timer1.Interval*1000/MaxTime);
  Timer1.Tag:=0; Timer1.Enabled:=true;
end;

procedure TForm1.TimerDynTimer(Sender: TObject);
var s:double;
    temp:integer;
begin
  if Way.Checked then
  begin
    s:=ReadPos(ResTime[MaxAdd]);      if s>60000 then s:=s-65536;
    ResTrans[MaxAdd]:=s;      if RadioPsensor.ItemIndex=1 then inc(MaxAdd);
  end;
  if RadioPsensor.ItemIndex=1 then exit;      if not Way.Checked then ResTime[MaxAdd]:=Time;
  temp:=DigADC; ResDyn[MaxAdd]:=temp; inc(MaxAdd);
  if MaxAdd=MaxNum then BStopClick(sender);
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin Gauge1.Progress:=Gauge1.Progress+Gaugestep; end;

procedure TForm1.BStopClick(Sender: TObject);
var i,j,k:integer;
    mx,mn,smax,nrm,delta:double;
begin
  Timer1.Enabled:=false; TimerDyn.Enabled:=false; Gauge1.Progress:=Gauge1.MaxValue;
  StatusBar1.SimpleText:='Збір даних завершено. Обсяг вибірки - '+ IntToStr(MaxNum)+' відліків';
  Screen.Cursor := crHourglass;
  if Way.Checked then

```

```

begin
//correct time
  for j:=1 to MaxAdd-1 do
    if (ResTime[j]<ResTime[j-1]) then
      begin
        if (ResTime[j-1]-ResTime[j]<$1ffff*quant) then ResTime[j]:=ResTime[j]+$ffff*quant
        else ResTime[j]:=ResTime[j]+$1ffff*quant;
      end;
    for i:=0 to MaxAdd-1 do ResTime[i]:=ResTime[i]-ResTime[0];
// supposed period:(diskretes)
    din_p:=round(period*WayFreq);
    j:=min(din_p div 2, MaxAdd-1); if j=0 then j:=1;
// real WayFreq (on half of supposed period):
    din_dt:=(ResTime[j]-ResTime[0])/j; if din_dt=0 then din_dt:=1/WayFreq;
    din_fre:=1/din_dt;    din_p:=round(period*din_fre);
// norm S:
    mx:=MaxVal(ResTrans,0,MaxAdd-1);    mn:=MinVal(ResTrans,0,MaxAdd-1);
    if MaxAdd>din_p then smax:= stroke_len
      else smax:=stroke_len/2*(1-cos(Pi*stroke_num/30*(MaxAdd-1-peri[0])/WayFreq));
    if mx=mn then nrm:=1 else    nrm:= smax/(mx-mn);    // mx=mn if s=const
    for i:=0 to MaxAdd-1 do    ResTrans[i]:=(ResTrans[i]-mn)*nrm;
    if mx=mn then SynWay.Checked:=false;    // if sensor doesn't rotate
    MakePeri;
//FOR SB - DYNAGRAPH:
    if RadioPsensor.ItemIndex=1 then
      begin
// amplitude demodulation:
        if Amp_detect=1 then application.messagebox('maybe no modulated signal','Error',0);
// correct peri's for dynagraph:
        for i:=0 to np do
          begin
            peri[i]:=min(abs(round(Restime[peri[i]]*Fre_dinSB)),Maxnum-1);
            mperi[i]:=min(abs(round(ResTime[mperi[i]]*Fre_dinSB)),Maxnum-1);
          end;
        if mx=mn then mperi[0]:=peri[1];
// linear interpolation to get ResTime, ResTrans with 32 Hz instead of 18 Hz:
        for i:=MaxNum downto 0 do ResTrans[i]:=CalcTrans(i);
        for i:=0 to MaxNum do ResTime[i]:=i/fre_dinSB;
        MaxAdd:=MaxNum;
      end;
    end // end if way sensor works
// no sensor - make sinusoide:
  else begin
// define period from dynagraph
    din_p:=round(period*Fre_dinsb); // supposed period (diskretes)
    din_p:=DefinePeriod(ResDyn,MaxAdd,din_p); // real period (diskretes)
    din_peri:=ResTime[din_p]-ResTime[0]; // real period (sec)
    din_spm:=60/din_peri;
    if RadioPsensor.ItemIndex=1 then
      begin // for SB-dynagraph without senspos
        if Amp_detect=1 then // enigmatic actions if cannot demodulate
          begin

```

```

    application.messagebox('cannot demodulate','error',0);
    if Maxnum>MaxDynLen then MaxNum:=MaxDynLen-1;
    for i:=0 to maxnum-1 do
        begin
            ResDyn[i]:=ReSSound[i];    ResTime[i]:=i/fsb;           end;
        end;
    MaxAdd:=MaxNum;
end;
// finally make sinusoide
for i:=0 to MaxAdd-1 do    ResTrans[i]:=CalcWay(ResTime[i]);
for k:=1 to np do
    peri[k]:=min(k*din_p,MaxAdd-1); mperi[k-1]:=min(peri[k-1] + din_p div 2,MaxAdd-1);
    mperi[np]:=MaxAdd-1; peri[np+1]:=MaxAdd-1; mperi[np+1]:=MaxAdd-1;
end;
// fill ComboBox "Stroke":
NumStroke.Items.Clear;    for i:=0 to np-1 do NumStroke.Items.Add(IntToStr(i+1));
NumStroke.Items.Add('Bci');    NumStroke.ItemIndex:=0;
// average it
if Avi.checked then aviclick(sender) else Ave_din;    // anyway makes ResDynSm
// plunger dynagraph
CalcPlunger; DrawPlunger;
NumStrokeChange(sender);    EditDate.Text:=DateToStr(date);    Screen.Cursor:=crArrow;
end;

procedure TForm1.MakePeri;    // peri,mperi,din_peri,din_spm
var i,j,k,np:integer;
begin
    np:=ceil(nperi);    peri[0]:=MinPos(ResTrans,0,min(din_p,MaxAdd-1));
    mperi[0]:=MaxPos(ResTrans,0,min(din_p,MaxAdd-1));    k:=0;
    repeat
        j:=min(mperi[k]+3*din_p div 4, MaxAdd-1);
        peri[k+1]:=MinPos(ResTrans,mperi[k],j);    inc(k);
        if j=MaxAdd-1 then break;    j:=min(peri[k]+3*din_p div 4, MaxAdd-1);
        mperi[k]:=MaxPos(ResTrans,peri[k],j);    if mperi[k]=peri[k] then break;
    until j=MaxAdd;
    if peri[k]=mperi[k] then dec(k) else peri[k+1]:=MaxAdd-1;
    np:=k;
    if MaxAdd>din_p then    din_peri:=ResTime[peri[1]]-ResTime[peri[0]]; // real period (sek)
    if din_peri<>0 then din_spm:=60/din_peri;
end;

procedure TForm1.Ave_din;
var ave:double;
    nave,i,j,k:integer;
    buf: array of double;
begin
    nave:=StrToint(Enave.Text); SetLength(buf,2*nave);
    if maxadd>6 then
        begin
            ResDynSm[0]:=(39*ResDyn[0]+8*ResDyn[1]-4*ResDyn[2]-4*ResDyn[3]+ResDyn[4]+4*ResDyn[5]-
2*ResDyn[6])/42;
            ResDynSm[1]:=(8*ResDyn[0]+19*ResDyn[1]+16*ResDyn[2]+6*ResDyn[3]-4*ResDyn[4]-
7*ResDyn[5]+4*ResDyn[6])/42;

```



```

ResDynSm[2]:=(-4*ResDyn[0]+16*ResDyn[1]+19*ResDyn[2]+12*ResDyn[3]+2*ResDyn[4]-
4*ResDyn[5]+ResDyn[6])/42;
ResDynSm[maxadd-1]:=(39*ResDyn[maxadd-1]+8*ResDyn[maxadd-2]-4*ResDyn[maxadd-3]-
4*ResDyn[maxadd-4]+ResDyn[maxadd-5]+4*ResDyn[maxadd-6]-2*ResDyn[maxadd-7])/42;
ResDynSm[maxadd-2]:=(8*ResDyn[maxadd-1]+19*ResDyn[maxadd-2]+16*ResDyn[maxadd-
3]+6*ResDyn[maxadd-4]-4*ResDyn[maxadd-5]-7*ResDyn[maxadd-6]+4*ResDyn[maxadd-7])/42;
end else
begin
  ResDynSm[0]:=ResDyn[0];  ResDynSm[1]:=(ResDyn[0]+ResDyn[1])/2;
  ResDynSm[MaxAdd-1]:=ResDyn[maxadd-1];
  ResDynSm[maxadd-2]:=(ResDyn[maxadd-1]+ResDyn[maxadd-2])/2;
end;
for i:=2 to nave-1 do
begin
  ResDynSm[i]:=(ResDyn[i]+ResDyn[i-1]+ResDyn[i-2])/3;
  ResDynSm[maxadd-i-1]:=(ResDyn[maxadd-i]+ResDyn[maxadd-i-1]+ResDyn[maxadd-i-2])/3;
end;
for i:=nave to MaxAdd-nave do
begin
  ave:=0;  for j:=-nave to nave-1 do ave:=ave+ResDyn[i+j];
  k:=i mod nave;  if i>=nave*2 then ResDynSm[i-nave]:=buf[k];  buf[k]:=ave/(nave+nave);
end;
for i:=MaxAdd-nave-nave+1 to Maxadd-nave do  ResDynSm[i]:=buf[i mod nave];
end;

```

```

procedure TForm1.AviClick(Sender: TObject);
var i:integer;
begin
  if not Avi.Checked or not ChartDyn.visible then exit;  Ave_din;
  for i:=0 to Maxadd-1 do ResDyn[i]:=ResDynSm[i];  NumStrokeChange(Sender);
end;

```

```

procedure TForm1.GenWayClick(Sender: TObject);
var i,k,np:integer;
  fase:double;
begin
  fase:=StrToFloat(EditFase.Text);
  for i:=0 to MaxAdd-1 do  ResTrans[i]:=CalcWay(ResTime[i]-fase);
  np:=ceil(nperi);  peri[0]:=MinPos(ResTrans,0,round(period*fre_dinSB));
  for k:=1 to np do
  begin
    if RadioPsensor.Itemindex=1 then
      peri[k]:=min(round(k*period*fre_dinSB+fase*fre_dinSB),MaxAdd-1)
    else
      peri[k]:=min(round(k*period*wayfreq+fase*wayfreq),MaxAdd-1);
      mperi[k-1]:=MaxPos(ResTrans,peri[k-1],peri[k]);
    end;
  NumStrokeChange(Sender);
end;

```

```

// ----- Graphics -----
procedure TForm1.RadioDinTenClick(Sender: TObject);

```

```

begin
  ChartDyn.UndoZoom;
  case RadioDinTen.ItemIndex of
  0: begin
    ChartDyn.Leftaxis.Title.Caption:='P';    ChartDyn.Bottomaxis.Title.Caption:='S';
    CurrentSeries:=@SeriesUp;    SeriesUp.Active:=true;    SeriesDown.Active:=true;
    SeriesTen.Active:=false;    SeriesWay.Active:=false;    SeriesNL.Active:=GrafNL.Checked;
    SeriesVS.Active:=GrafVS.Checked; SeriesVR.Active:=GrafVR.Checked;
    SeriesPLup.Active:=GrafPL.Checked; SeriesPLdown.Active:=GrafPL.Checked;
    end;
  1: begin
    ChartDyn.Leftaxis.Title.Caption:='P';    ChartDyn.Bottomaxis.Title.Caption:='t, c';
    CurrentSeries:=@SeriesTen;    SeriesUp.Active:=false;    SeriesDown.Active:=false;
    SeriesTen.Active:=true;    SeriesWay.Active:=false;    SeriesNL.Active:=GrafNL.Checked;
    SeriesVS.Active:=GrafVS.Checked; SeriesVR.Active:=GrafVR.Checked;
    SeriesPLup.Active:=false; SeriesPLdown.Active:=false;
    end;
  2: begin
    ChartDyn.Leftaxis.Title.Caption:='S';    ChartDyn.Bottomaxis.Title.Caption:='t, c';
    CurrentSeries:=@SeriesWay;    SeriesUp.Active:=false;    SeriesDown.Active:=false;
    SeriesTen.Active:=false; SeriesNL.Active:=false; SeriesVS.Active:=false; SeriesVR.Active:=false;
    SeriesWay.Active:=true;
    end;
  end;
  RefreshLines;
end;

procedure TForm1.ChStrokeClick(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  if (Button=btPrev) and (NumStroke.ItemIndex>0) then
    begin NumStroke.ItemIndex:=NumStroke.ItemIndex-1; NumStrokeChange(Sender); end;
  if (Button=btNext) and (NumStroke.ItemIndex<NumStroke.Items.Count) then
    begin NumStroke.ItemIndex:=NumStroke.ItemIndex+1; NumStrokeChange(Sender); end;
end;

procedure TForm1.NumStrokeChange(Sender: TObject);
var i,p: integer;
begin
  Screen.Cursor := crHourglass;
  SeriesUp.Clear; SeriesDown.Clear; SeriesTen.Clear; SeriesWay.Clear;
  p:=NumStroke.ItemIndex; if p=-1 then p:=0;
  if p=NumStroke.Items.Count-1 then
    begin
      RefreshDyn;    Dmod.DefineDynParam(0);
    end
  else begin
    Dmod.DefineDynParam(p);
    for i:=peri[p] to mperi[p] do
      SeriesUp.Addxy(ResTrans[i],(ResDyn[i]-nul_lin)*diskr_din,",clTeeColor);
    for i:=mperi[p] to peri[p+1] do
      SeriesDown.Addxy(ResTrans[i],(ResDyn[i]-nul_lin)*diskr_din,",clTeeColor);
    for i:=peri[p] to peri[p+1]-1 do

```

```

begin
  SeriesTen.Addxy(ResTime[i],(ResDyn[i]-nul_lin)*diskr_din,"clTeeColor);
  SeriesWay.Addxy(ResTime[i],ResTrans[i],"clTeecolor);
end;
end;
NewDynParam; // put to edits
RadioDinTenClick(Form1);
ChartDyn.Title.Text[0]:=ComboBox1.Text+' '+EditDate.Text+' '+TimeToStr(tcurre);
ChartDyn.BottomAxis.Minimum:=0;
ChartDyn.BottomAxis.Maximum:=CurrentSeries^.MaxXValue;
ChartDyn.BottomAxis.Minimum:=CurrentSeries^.MinXValue;
ChartDyn.Visible:=true; Screen.Cursor := crArrow;
end;

procedure TForm1.GrafNLClick(Sender: TObject);
begin SeriesNL.Active:=GrafNL.Checked; RadioDinTenClick(Sender); end;

procedure TForm1.GrafVSClick(Sender: TObject);
begin SeriesVS.Active:=GrafVS.Checked; RadioDinTenClick(Sender); end;

procedure TForm1.GrafVRClick(Sender: TObject);
begin SeriesVR.Active:=GrafVR.Checked; RadioDinTenClick(Sender); end;

procedure TForm1.GrafPLClick(Sender: TObject);
begin RadioDinTenClick(Sender); end;

procedure TForm1.RefreshLines;
begin
  SeriesVS.Clear; SeriesVR.Clear; SeriesNL.Clear;
  SeriesNL.AddXY(CurrentSeries^.MinXValue,0,"clTeeColor);
  SeriesNL.AddXY(CurrentSeries^.MaxXValue,0,"clTeeColor);
  SeriesVS.AddXY(CurrentSeries^.MinXValue,vaga_st,"clTeeColor);
  SeriesVR.AddXY(CurrentSeries^.MaxXValue,vaga_rid,"clTeeColor);
  if (RadioDinTen.ItemIndex=1) or (MaxTime<Period/2) then
  begin
    SeriesVS.AddXY(CurrentSeries^.MaxXValue,vaga_st,"clTeeColor);
    SeriesVR.AddXY(CurrentSeries^.MinXValue,vaga_rid,"clTeeColor);
  end
  else
  begin
    SeriesVS.AddXY(stroke_len-lambada,vaga_st,"clTeeColor);
    SeriesVS.AddXY(stroke_len,vaga_rid,"clTeeColor);
    SeriesVR.AddXY(lambada,vaga_rid,"clTeeColor);
    SeriesVR.AddXY(CurrentSeries^.MinXValue,vaga_st,"clTeeColor);
  end
end;

procedure TForm1.RefreshDyn;
var i,k: integer;
var Save_Cursor: TCursor;
begin
  Save_Cursor := Screen.Cursor; Screen.Cursor := crHourglass;

```

```

SeriesUp.Clear;SeriesDown.Clear;SeriesTen.Clear;SeriesWay.Clear;
for k:=0 to np do
begin
  if peri[k]=mperi[k] then break;
  for i:=peri[k] to mperi[k]-1 do
    SeriesUp.Addxy(ResTrans[i],[ResDyn[i]-nul_lin]*diskr_din,"clTeeColor);
  if mperi[k]=peri[k+1] then break;
  for i:=mperi[k] to peri[k+1] do
    SeriesDown.Addxy(ResTrans[i],[ResDyn[i]-nul_lin]*diskr_din,"clTeeColor);
end;
for i:=0 to peri[np] do
begin
  SeriesTen.Addxy(ResTime[i],[ResDyn[i]-nul_lin]*diskr_din,"clTeeColor);
  SeriesWay.Addxy(ResTime[i],ResTrans[i],"clTeeColor);
end;
RadioDinTenClick(Form1); ChartDyn.Visible:=true; Screen.Cursor := Save_Cursor;
end;
.
procedure TForm1.Drawplunger;
var i:integer;
begin
  SeriesPLup.clear; seriespldown.clear;
  for i:=peri[0] to mperi[0] do SeriesPLup.Addxy(ResTrans[i],PLDyn[i],"clTeeColor);
  for i:=mperi[0] to peri[1] do SeriesPLDown.Addxy(ResTrans[i],PLDyn[i],"clTeeColor);
end;

// ----- Din parameters -----
procedure TForm1.NewDynParam;
begin
  EditVR.Text:=FloatToStrF(vaga_rid,ffFixed,18,3); EditVS.Text:=FloatToStrF(vaga_st,ffFixed,18,3);
  EditMaxP.Text:=FloatToStrF((max_p-nul_lin)*diskr_din,ffFixed,18,3);
  EditMinP.Text:=FloatToStrF((min_p-nul_lin)*diskr_din,ffFixed,18,3);
  EditQF.Text:=FloatToStrF(q_fact,ffFixed,18,4); EditT.Text:=FloatToStrF(din_peri,ffFixed,10,4);
  EditSPM.Text:=FloatToStrF(din_spm,ffFixed,10,3);
  EditKp.Text:=FloatToStrF(koef_pod,ffFixed,18,4);
  EditKn.Text:=FloatToStrF(koef_nap,ffFixed,18,4);
end;

procedure TForm1.EditVSKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word; Shift: TShiftState);
begin if Key<>VK_RETURN then exit; vaga_st:=StrToFlo(EditVS); RefreshLines; end;

procedure TForm1.EditVRKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word; Shift: TShiftState);
begin if Key<>VK_RETURN then exit; vaga_rid:=StrToFlo(EditVR); RefreshLines; end;

// ----- Files -----
procedure TForm1.AsaveClick(Sender: TObject);
var f : textfile;
    i : Longint;
    s : string;
    var Save_Cursor: TCursor;
begin
  s:='P_'+well_name+'_'+FormatDateTime('dd'-'mm',Date)+FormatDateTime('"'_'hh'-'mm',Time);

```

```

SaveDialog1.FileName:=s;  if not SaveDialog1.Execute then exit;
Save_Cursor := Screen.Cursor;  Screen.Cursor := crHourglass;
inf file
s:=SaveDialog1.FileName;
i:=LastDelimiter('.',s); if i<>0 then SaveDialog1.FileName:=copy(s,0,i-1);
s:= SaveDialog1.FileName + '.inf';  AssignFile(f,s);  ReWrite(f);
writeln(f,IDEN'TIF);  writeln(f,'well_name='+well_name);
writeln(f,'date='+FormatDateTime('dd.mm.yy',Date));
writeln(f,'time='+FormatDateTime('hh:nn',tcurr));  writeln(f,'write_time='+FloatToStr(MaxTime));
writeln(f,'all='+IntToStr(MaxAdd));  writeln(f,'period='+FloatToStr(din_peri));
if Way.Checked then s:='1' else s:='0';  writeln(f,'sensorpos='+s);
writeln(f,'soundcard='+IntToStr(RadioPsensor.ItemIndex));
writeln(f,'nul_lin='+FloatToStr(nul_lin));  // discretas
writeln(f,'mes_vs='+FloatToStr(mes_vs));  // diskretas
writeln(f,'mes_vr='+FloatToStr(mes_vr));  // diskretas
writeln(f,'vaga_rid='+FloatToStr(vaga_rid));  // tonns
writeln(f,'vaga_st='+FloatToStr(vaga_st));  // tonns
writeln(f,'diskr_din='+FloatToStr(diskr_din));  // tonns/discretas
if (MaxTime>Period-2/wayfreq) then
begin
  writeln(f,'koef_napovn='+FloatToStr(koef_nap));  writeln(f,'koef_podachi='+FloatToStr(koef_pod));
  writeln(f,'din_area='+FloatToStr(din_area));  writeln(f,'din_spm='+FloatToStr(din_spm));
end;
write(f,'peri= ');  for i:=0 to np do write (f,peri[i]:8);  writeln(f);
write(f,'mperi= ');  for i:=0 to np do write (f,mperi[i]:8);  writeln(f);
Closefile(f);
// data file
s:= SaveDialog1.FileName + '.din';  AssignFile(f,s);  ReWrite(f);
for i:=0 to MaxAdd-1 do Writeln(f,FloatToStr(ResDyn[i]));
CloseFile(f);
// save S(t):
s:= SaveDialog1.FileName + '.s';  AssignFile(f,s);  ReWrite(f);
for i:=0 to MaxAdd-1 do  Writeln(f,FloatToStr(ResTrans[i])+ '|'+FloatToStr(ResTime[i]));
CloseFile(f);  Screen.Cursor := Save_Cursor;
end;

procedure TForm1.AOpenClick(Sender: TObject);
var F:textfile;
    S,s1:string;
    temp:double;
    i,j,k,nc:integer;
    var Save_Cursor: TCursor;
begin
if not OpenDialog1.Execute then exit;
Save_Cursor := Screen.Cursor;  Screen.Cursor := crHourglass;
StatusBar1.SimpleText:='Читання даних з файла..';Application.ProcessMessages;
s:=OpenDialog1.FileName; k:= LastDelimiter('.',S); s:=copy(s,0,k)+'inf';
if FileExists(s) then ReadCFG(s) else ReadCfG(OpenDialog1.FileName);
s:=OpenDialog1.FileName; k:= LastDelimiter('\',S); Delete(S,1,k);
EditFile.Text:=s; EditFile.Show;
if getinichar('well_name',s) then  begin ComboBox1.Text:=s; ComboBox1.Change(Sender); end;
if not getinival('period',din_peri) then din_peri:=period;

```

```

if not getinival('all', maxnum) then MaxNum:=1;
if not getinival('write_time', maxtime) then MaxTime:=ceil(MaxNum/Freq);
if getinival('sensorpos', temp) then if temp=0 then Way.Checked:=false else way.checked:=true;
if getinichar('date', s) then begin EditDate.Text:=s; EditDate.Show; LabD.Show; end;
if getinichar('time', s) then tcurr:=StrToTime(s);
if getinival('soundcard', temp) then RadioPsensor.ItemIndex:=round(temp);
nul_lin:=0; mes_vs:=65537; mes_vs:=65537; diskr_din:=1;
getinival('diskr_din', diskr_din); getinival('nul_lin', nul_lin);
getinival('mes_vs', mes_vs); getinival('mes_vr', mes_vr);
getinival('vaga_rid', vaga_rid); EditVR.Text:=FloatToStr(vaga_rid);
getinival('vaga_st', vaga_st); EditVS.Text:=FloatToStr(vaga_st);
getinival('din_area', din_area); getinival('din_spm', din_spm); EditSPM.Text:=FloatToStr(din_spm);
/ read data:
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName); Reset(F); MaxNum:=0;
while not eof(F) do begin Readln(F,S); ResDyn[MaxNum]:= StrToFloat(S); inc(MaxNum); end;
CloseFile(F);
/ read S(t):
s:=OpenDialog1.FileName; i:=LastDelimiter('.',S); Delete(S,i,Length(S)-i+1); s:=s+'.s';
if FileExists(s) then
begin
AssignFile(F,s); Reset(F); MaxAdd:=0;
while not eof(F) do
begin
Readln(F,s); i:=LastDelimiter('|',S); s1:=s; Delete(S,i,Length(S)-i+1);
ResTrans[MaxAdd]:=StrToFloat(s);
Delete(S,1,i); ResTime[MaxAdd]:=StrToFloat(s1); inc(MaxAdd);
end;
dec(MaxAdd); MaxAdd:=min(MaxAdd,MaxNum); MaxNum:=MaxAdd;
end
else begin
MaxAdd:=MaxNum;
for i:=0 to MaxAdd-1 do
begin
ResTime[i]:=i/WayFreq; ResTrans[i]:=CalcWay(i/WayFreq);
end;
end;
nperi:=MaxTime/din_peri;
din_p:=Defineperiod(ResDyn,Maxadd-1,round(maxnum/nperi));
din_dt:=(ResTime[maxadd-1]-Restime[0])/(maxadd-1);
MakePeri; Ave_din; CalcPlunger; DrawPlunger;
DMod.DefineDynParam(0);NewDynParam;
NumStroke.Items.Clear; for i:=0 to np-1 do NumStroke.Items.Add(IntToStr(i+1));
NumStroke.Items.Add('Bci'); NumStroke.ItemIndex:=0;
EditTime.Text:=FloatToStrF(MaxTime,ffFixed,10,2); EditTimeChange(Sender);
StatusBar1.Simpletext:=""; Screen.Cursor := Save_Cursor; Numstrokechange(sender);
end;

Procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
panel1.align:=alnone; panel1.hide; chartdyn.Gradient.Visible:=false;
chartdyn.leftaxis.LabelsFont.color:=clblack; chartdyn.leftaxis.Title.Font.color:=clblack;
chartdyn.bottomaxis.LabelsFont.color:=clblack; chartdyn.bottomaxis.Title.Font.color:=clblack;

```

```

panel2.color:=clwhite; panel2.font.color:=clblack;      memo1.font.color:=clblack;
groupbox6.hide; groupbox7.Hide; groupbox9.hide;
Panel2.caption:='Свердловина '+combobox1.text;      label2.caption:=Datetostr(date);
Form1.Print;
panel1.align:=alleft; panel1.show;      chartdyn.Gradient.Visible:=true;
chartdyn.leftaxis.LabelsFont.color:=cllime;      chartdyn.leftaxis.Title.Font.color:=clyellow;
chartdyn.bottomaxis.LabelsFont.color:=cllime;      chartdyn.bottomaxis.Title.Font.color:=clyellow;
panel2.color:=clnavy; panel2.font.color:=cllime;      memo1.font.color:=clyellow;
groupbox6.show; groupbox7.show; groupbox9.show;
end;

```

```

procedure TForm1.CopyGrafClick(Sender: TObject);
begin
    chartdyn.Gradient.Visible:=false;      chartdyn.align:=alnone;      chartDyn.height:=500;
    chartdyn.leftaxis.LabelsFont.color:=clblack;      chartdyn.leftaxis.Title.Font.color:=clblack;
    chartdyn.bottomaxis.LabelsFont.color:=clblack;      chartdyn.bottomaxis.Title.Font.color:=clblack;
    ChartDyn.CopyToClipboardMetafile(false);
    chartdyn.Gradient.Visible:=true;      chartdyn.align:=alclient;
    chartdyn.leftaxis.LabelsFont.color:=cllime;      chartdyn.leftaxis.Title.Font.color:=clyellow;
    chartdyn.bottomaxis.LabelsFont.color:=cllime;      chartdyn.bottomaxis.Title.Font.color:=clyellow;
end;

```

```

procedure TForm1.RadioScaleClick(Sender: TObject);
begin
    case RadioScale.ItemIndex of
    0: begin
        ChartDyn.LeftAxis.Automatic:=true;
        ChartDyn.LeftAxis.Increment:=0.1;      ChartDyn.BottomAxis.Increment:=0.2;
        end;
    1: begin ChartDyn.LeftAxis.Automatic:=false;      ChartDyn.LeftAxis.Minimum:=0;
        ChartDyn.LeftAxis.Maximum:=4;      ChartDyn.LeftAxis.Increment:=0.1;
        end;
    2: begin ChartDyn.LeftAxis.Automatic:=false;      ChartDyn.LeftAxis.Minimum:=0;
        ChartDyn.LeftAxis.Maximum:=8;      ChartDyn.LeftAxis.Increment:=0.1;
        end;
    end;
end;
end;
end.

```

B.2. Модуль взаємодії з пристроєм динамометрування через LPT-порт

```

unit d_lpt;
{AD7714: 378.0 - data out, 378.1 - Rst, 378.3 - CLK;}
{ 379.4 - data in, 379.6 - Ready;}
{SB: 378.7 - enable, 378.6-5 - channel}
{SensorPos: 379.5- - ready, 379.7 - data in}
{ 378.2 - request, 378.4 - sclk}

```

```

interface
uses SysUtils;

```

```

const
  BYTOUT=$0 ;
  BYTCLK=$0 ;
  b:array[0..7] of word=($80,$40,$20,$10,$08,$04,$02,$01);
  Tdel: array [0..6] of longint =(10000,17000,26000,32000,37000,44000,50000);
  T_delay = 10000;
const LPTread=$379;
  LPTwrite=$378;
  DataREADY=32;{00100000b}
  DataIn=128; {10000000b}
  DataREQ=4 ; {00000100b}
  Sclk=16; {00010000B}
  quant=0.001124738; // 1.125 mc
  AIN12 = $04; {00000100}
  ZSCR = $60; {01100000}
  FSCR = $70; {01110000}
  MODE = $10; {00010000}
  READ = $08; {00001000}
  WRITEZSCR = AIN12 or ZSCR;
  READZSCR = AIN12 or ZSCR or READ;
  WRITEFSCR = AIN12 or FSCR;
  READFSCR = AIN12 or FSCR or READ;
  WRITEMODE = AIN12 or MODE;

```

```

var
  b1,b2,b3,b4,i:word;
  t0:double;
  zzz:longint;
  bbc:byte;

```

implementation

```

procedure outportb(port:Word;outbyte:Byte);
var ob:byte;
begin
  ob:=outbyte;
  asm
    mov dx,port
    mov al,outbyte
    out dx,al
  end;
end;

```

```

function inportb(port: Word):Byte;
var received:byte;
begin
  asm
    mov dx,port
    in al,dx
    mov received,al
  end;

```



```

    inportb:=received;
end;

procedure SelectChannel(Ch:Integer);
var outbyte:byte;
begin
    outbyte:=(inportb($378) and $9f) or 128 or (Ch shl 5);
    outportb($378,outbyte);
end;

//-----
procedure RstADC;
begin
    outbyt(255); outbyt(255); outbyt(255); outbyt(255);
end;

procedure ChipReady;
begin while (inportb($379) and 64) = 0 do; end;

function TestDyn:boolean;
var i:integer;
begin
    InitADC(0); Result:=false;
    for i:=0 to 100000 do if (inportb($379) and 64) <> 0 then begin Result:=true; break; end;
end;

procedure SelfCalibration;
begin
    ChipReady; outbyt(WRITEMODE); outbyt($20); //K=1 ($28 - 4, $38 - 64)
    ChipReady;
end;

procedure SystemCalibration;
begin
    ChipReady; outbyt(WRITEMODE); outbyt($80); //K=1 ($98 - 64, $88 - 4)
    ChipReady;
end;

procedure initADC (cal:Integer);
var i:cardinal;
begin
    RstADC; Rstadc;
    // Set Mode in 16/24 bit bipolar.
    outbyt($24); //filter high register
    outbyt($41); // $01 - 16 bit // $41 - 24 bit
    outbyt($34); //filter low register
    outbyt($b5);
    if cal=1 then SelfCalibration; for i:=0 to 20000 do ;
end;

procedure outbyt(outbyte:word);
var i,outbit:integer;

```

```

begin
  for i:=0 to 7 do
    begin
      outbit:=outbyte and b[i];   if (outbit>0) then outbit:=BYTOUT   else outbit:=BYTOUT xor $1;
      outportb($378,inportb($378) and 247);
      if (outbit<>0) then outportb($378,inportb($378) and 254) else outportb($378,inportb($378) or 1);
      outportb($378,inportb($378) or 8);
    end;
  end;
end;

```

```

function inbyt:word;
var i,inbyte:integer;
    ab:array[0..7] of integer;
begin
  for i:=0 to 7 do
    begin
      outportb($378,inportb($378) and 247); ab[i]:=inportb($379) and 16;
      outportb($378,inportb($378) or 8);
    end;
  inbyte:=0;
  for i:=0 to 7 do
    begin
      if(ab[i]=16) then ab[i]:=0   else ab[i]:=1;   inbyte:=inbyte+ab[i]*b[i];
    end;
  inbyt:=inbyte;
end;

```

//----- for calibration registers especially -----

```

procedure outbyt1(outbyte:word);
var i,outbit:integer;
begin
  for i:=0 to 7 do
    begin
      outbit:=outbyte and b[i];
      if (outbit>0) then outbit:=BYTOUT xor $1   else outbit:=BYTOUT;
      outportb($378,inportb($378) and 247);
      if (outbit<>0) then outportb($378,inportb($378) and 254) else outportb($378,inportb($378) or 1);
      outportb($378,inportb($378) or 8);
    end;
  end;
end;

```

```

procedure WriteCalibrationReg(zs:integer; fs:integer);
var i:integer;
    w1,w2,w3:word;
begin
  outbyt(WRITEZSCR);
  w1:= (zs shr 16) and $ff; w2:=(zs shr 8) and $ff; w3:=zs and $ff;
  outbyt1(w1); outbyt1(w2); outbyt1(w3); outbyt(WRITEFSCR);
  w1:= (fs shr 16) and $ff; w2:=(fs shr 8) and $ff; w3:=fs and $ff;
  outbyt1(w1); outbyt1(w2); outbyt1(w3); for i:=0 to 30000 do ;
end;

```

```

procedure ReadCalibrationReg(var zs:integer; var fs:integer);
var i:integer;
begin
  outbyt(READZSCR); b1:=inbyt; b2:=inbyt; b3:=inbyt; zs:=65536*b1+256*b2+b3 ;
  outbyt(READFSCR); b1:=inbyt; b2:=inbyt; b3:=inbyt; fs:=65536*b1+256*b2+b3 ;
  for i:=0 to 30000 do ;
end;
//-----

```

```

function DigADC:longint;
begin
  outbyt($5c); b1:=inbyt; b2:=inbyt; b3:=inbyt; DigAdc:=65536*b1+256*b2+b3 ;
end;

```

```

// ----- sensorpos -----

```

```

function ReadByte:byte;
var a,b,ii,bbc:byte;
    jj:longint;
begin
  b:=0;
  asm
  pusha
  pushf
  mov dx,LPTread
@DatNot:
  in al,dx
  * and al,Dataready
  * jnz @DatNot
  popf
  popa
  sti
  end;
  bbc:=128;
  for ii:=0 to 7 do
  begin
    asm
    pusha
    pushf
    mov dx,LPTwrite
    in al,dx
    or al,Sclk
    out dx,al {sclk imp front -> down}
    popf
    popa
    sti
  end;
  for jj:=0 to T_delay do; //delay(1);
  asm
  pusha
  pushf
  mov dx,LPTWRITE
  in al,dx

```

```

mov bl,Sclk
not bl
and al,bl
out dx,al {sclk imp edge -> Up}
popf
popa
sti
end;
for jj:=0 to T_delay do; //delay(1);
asm
pusha
pushf
mov dx,LPTread
@DataNot:
in al,dx
and al,Dataready
jnz @DataNot
in al,dx
and al,DataIn
mov a,al
popf
popa
sti
end;
if a>0 then b:=b or (bbc shr ii);
end; //for
readbyte:=b;
end;

function ReadPos(var tim: double):integer;
var x:longint;
y,x1,way: word;
begin
SendReq;
x:=ReadByte; y:=Readbyte; tim:=(x+256*y)*quant;
x1:=ReadByte; way:=x1+256*Readbyte;
ReadPos:=way;
end;

procedure SendReq;
begin
asm
pushf
pusha
mov dx,LPTwrite
in al,dx
or al,dataReq
out dx,al {send DataReQ impulse -front}
popa
popf
end;{asm}
for i:=0 to T_delay do ; {delay}

```

```

asm
pushf
pusha
    mov dx,LPTwrite
    mov bl,dataReq
    not bl
    in al,dx
    and al,bl {not dataReq}
    out dx,al {send DataReQ impulse -edge}
popa
popf
end;    {end of DataREQUEST}
end;

```

```

function TestPos:boolean;
var res:byte;
var a,b,ii,bbc:byte;
    jj:longint;
begin
    Result:=true;
    SendReq;
    asm
        mov cx,60000
        mov dx,LPTread
    @DatNot:
        dec cx
        jnz @yet
        mov RES,0
        jmp @endc
    @yet:
        in al,dx
        and al,Dataready
        jnz @DatNot
    @endc:
        sti
    .end;
    Result:=boolean(RES);  if not Result then exit;
    b:=0;
    bbc:=128;
    for ii:=0 to 7 do
    begin
        asm
            pusha
            pushf
            mov dx,LPTwrite
            in al,dx
            or al,Sclk
            out dx,al {sclk imp front -> down}
            popf
            popa
            sti
        end;
    end;

```

```

for jj:=0 to T_delay do; //delay(1);
asm
pusha
pushf
mov dx,LPTWRITE
in al,dx
mov bl,Sclk
not bl
and al,bl
out dx,al {sclk imp edge -> Up}
popf
popa
sti
end;
for jj:=0 to T_delay do; //delay(1);
asm
pusha
pushf
mov dx,LPTread
@DataNot:
in al,dx
and al,Dataready
jnz @DataNot
in al,dx
and al,DataIn
mov a,al
popf
popa
sti
end;
if a>0 then b:=b or (bbc shr ii);
end; //for
Readbyte; //second byte
end;

nd.

```

3.3. Модуль обробки імпульсно-модульованого сигналу звукової карти

```

nit d_dinSB;

interface
uses d_dat, math, windows, messages;

const
nav = 16;
fsb = 44100;
fgen = 2048; //512;
fre_dinSB = fgen div nav; // 512,16: 32Hz
spoiled = 1; //20; //512: ni_typ-spoiled=23
ni_typ = round(fsb/fgen/2); // 512: 43, 2048:10

```

```

ni_max = round(1.5*ni_typ);
ni_min = ni_typ div 2;
var inverted: boolean;
var din_line, din_rec: integer;

```

implementation

```

function Amp_detect: byte;
var i,j,k,beg,fin,ni,added: integer;
    sum_plus, sum_minus, sum8: double;
label finita;
begin
Result:=0;
// zentrieren
ni:=ni_typ*nav; sum8:=0; k:=maxnum div ni;
for j:=0 to k-1 do
begin
    sum8:=0;
    for i:=0 to ni-1 do sum8:=sum8+ResSound[j*ni+i];
        added:=round(sum8/ni);
    for i:=0 to ni-1 do ResSound[j*ni+i]:=ResSound[j*ni+i]-added;
end;
j:=1;
// find good begin
i:=0; // i - index in ResSound, j - in ResDyn, k - in buffer
repeat
    while ResSound[i]>0 do inc(i); // first positive if present (not entire)
    while ResSound[i]<=0 do inc(i); // first negative
    if i>=Maxnum-spoiled then begin Result:=1; exit; end; i:=i+spoiled;
until ResSound[i]>0;
for j:=0 to MaxNum-1 do
begin
    sum8:=0; added:=0;
    for k:=0 to NAV-1 do
begin
    beg:=i; sum_plus:=0; fin:=i;
    while ResSound[fin]>0 do // find begin of negative
begin inc(fin); if fin>=MaxNum-spoiled then goto finita; end;
fin:=fin-spoiled; if fin<=beg then continue;
while i<fin do // sum for positive pulse
begin sum_plus:=sum_plus+ResSound[i]; inc(i); end;
sum_plus:=sum_plus/(fin-beg); i:=i+spoiled;
beg:=i; sum_minus:=0; fin:=i;
while ResSound[fin]<=0 do // negative
begin inc(fin); if fin>=MaxNum-spoiled then goto finita; end;
fin:=fin-spoiled; if fin<=beg then continue;
while i<fin do // sum for negative pulse
begin sum_minus:=sum_minus+ResSound[i]; inc(i); end;
sum_minus:=sum_minus/(fin-beg);
i:=i+spoiled; inc(added); sum8:=sum8+(sum_plus-sum_minus);
end; // for k:=0 to NAV-1
if added=0 then ResDyn[j]:=ResDyn[j-1] else ResDyn[j]:=sum8/added; //NAV;

```

```

    ResTime[j]:=i/fsb;
end; // for j:=0 to MaxNum (all ResDyn)
finita: // leaps here if ResSound ended
    if k=0 then dec(j) else begin Resdyn[j]:=sum8/k; ResTime[j]:=i/fsb; end;
    MaxNum:=j;
end;

function CalcTrans(i:integer):double;
VAR IB,IE:INTEGER;
    tim:double;
begin
    tim:=i/fre_dinSB;  ib:=min(floor(tim*WayFreq),MaxAdd-2);
    if ResTime[ib]>tim then begin while ResTime[ib]>tim do dec(ib); if (ib<0) then inc(ib); end
    else begin
        ie:=ib; while ie<MaxAdd-2 do if ResTime[ie]>tim then break else inc(ie);  ib:=ie-1;
    end;
    CalcTrans:=ResTrans[ib]+(ResTrans[ib+1]-ResTrans[ib])/(ResTime[ib+1]-ResTime[ib])*(tim-
    ResTime[ib]);
end;
end.

```

В.4. Модуль обработки данных

```

unit d_dat;

interface
uses SysUtils, Windows, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, DB, DBTables, math;

const
    MaxSBLen = 80000000; //mono 44100 30 min, stereo 44100 15 min
    MaxDynLen = 315000; // 256 Hz 40 min (2048 Hz 5 min)
    Freq = 44100; // for din-SB must be max
    *MT = MaxSBLen/Freq; // MONO!
    *MONO = 1;

type
    TRes = Double;
    TResBlock = array [0..MaxDynLen] of TRes;
    PResBlock = ^TResBlock;
    TSoundRes = SmallInt;
    TSoundBlock = array [0..MaxSBLen] of TSoundRes;
    PSoundBlock = ^TSoundBlock;
    Tpar = array [0..3] of double;

const
    IDENTIF = '%weird%';
    dia_st: Tpar = (16,19,22,25);
    dia_nkt: Tpar = (60.3,73,88.9,102);
    dia_nktv: Tpar = (50.3, 62, 75.9, 88.6);
    f_st: Tpar = (0.00020106193,0.000283528737,0.000380132711,0.000490873852);

```



```
f_nkt:Tpar = (0.0028557784,0.004185386813,0.006207166619,0.008107319666);
g = 9.81;
```

```
var
```

```
DMod: TDMod;
WayFreq:Double;
MaxNum, MaxAdd:Integer;
MaxTime: double;
fperi: double;
np: integer;
peri,wperi,mperi,wmperi: array [0..60] of integer;
ResDyn, ResDynSm, PIDyn, PIWay, ResTrans, ResTime:TResBlock;
CurrentAdd:PResblock;
ValidS,ValidP:boolean;
ResSound:TSoundBlock;
PResSound: PSoundBlock;
period, omega: double;
```

```
// din param:
```

```
nul_lin, m_st, m_naf, fpl, vaga_st,vaga_rid, teor_vs,teor_vr, mes_vs, mes_vr: double;
len_st, len_nkt: Tpar;
lambada, dst_ave, dtr_ave, dtrv_ave, teor_pmax, teor_pmin: double;
nulllin, disss: double; // for plun-din
max_p, min_p:double;
din_p:integer;
din_flevel, din_dt, din_fre, din_peri, din_spm, din_area, teor_area: double;
q_teor, q_teor2, q_teor3, q_fact, q_fact_day, debit_day:double;
koef_nap,koef_pod, disk_r_din:double;
```

```
// well parameters:
```

```
well_name:string;
rodstring_len, stroke_len, stroke_num, pump_dia, gamma:double;
r, l1, l2, l3:double; //stanok-kachalka
```

```
var
```

```
ininames, inivalues, WellList:TStringList;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
function CalcWay(tim:double):double;
```

```
begin Result:=stroke_len/2*(1-cos(Pi*din_spm{stroke_num}/30*tim)); end;
```

```
function ResTransI(i:integer):double;
```

```
VAR IB,IE:INTEGER;
```

```
tim:double;
```

```
begin
```

```
tim:=i/freq; ib:=min(floor(tim*WayFreq),MaxAdd-2);
```

```
if ResTime[ib]>tim then begin while ResTime[ib]>tim do dec(ib); if (ib<0) then inc(ib); end
```

```
else begin
```

```
ie:=ib; while ie<MaxAdd-2 do if ResTime[ie]>tim then break else inc(ie); ib:=ie-1;
```

```
end;
```

```
ResTransI:=ResTrans[ib]+(ResTrans[ib+1]-ResTrans[ib])/(ResTime[ib+1]-ResTime[ib])*(tim-
ResTime[ib]);
```

```
end;
```

```
//-----
procedure TDMMod.DataModuleCreate(Sender: TObject);
```

```
var i:integer;
```

```
begin
```

```
try
```

```
  IniNames:=TStringList.Create;  IniValues:=TStringList.Create;
```

```
  Table1.DatabaseName:=GetCurrentDir;  Table1.Open;  GetIniAll;
```

```
except
```

```
  Application.MessageBox('Проблеми при відкритті бази даних','Error',MB_ICONEXCLAMATION);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure ReadCFG (fname:string);
```

```
var f:textfile;
```

```
  Str,Str1:string;
```

```
  i,x:integer;
```

```
begin
```

```
  if FileExists(fname) then
```

```
  begin
```

```
    Assignfile(f,fname);reset(f);    readln(f,Str);
```

```
    if Str=IDENTIF then
```

```
    begin
```

```
      Inivalues.Clear;Ininames.Clear;
```

```
      while not eof(f) do
```

```
        begin
```

```
          readln(f,Str);          if (Pos('%',Str)=1) then break;
```

```
          if (Str='')or(Pos(':',Str)=1)or(Pos('[',Str)=1) then continue;
```

```
          x:=LastDelimiter('=',Str);    Str1:=Str; Delete(Str,x,Length(Str)-x+1);
```

```
          ininames.Add(Str);    Delete(Str1,1,x);    inivalues.Add(Str1);
```

```
        end;
```

```
    end
```

```
  else
```

```
    Application.MessageBox('Неправильний файл','Проблеми!',MB_ICONEXCLAMATION);
```

```
    CloseFile(f);
```

```
  end;
```

```
end;
```

```
function getinival(name:string; var val: double):boolean;overload;
```

```
var i:integer;
```

```
begin
```

```
  Result:=false;
```

```
  for i:=0 to Ininames.Count-1 do
```

```
    if ininames[i]=name then begin val:=StrToFloat(inivalues[i]); Result:=true; break;    end;
```

```
end;
```

```
function getinival(name:string; var val: integer):boolean;overload;
```

```
var i:integer;
```

```
begin
```

```
  Result:=false;
```

```

for i:=0 to Ininames.Count-1 do
  if ininames[i]=name then begin val:=StrToInt(inivalues[i]); Result:=true; break; end;
end;

```

```

function getiniChar(name:string; var val:string):boolean;
var i:integer;
begin
  Result:=false;
  for i:=0 to Ininames.Count-1 do
    if ininames[i]=name then begin Result:=true; val:=inivalues[i]; break; end;
end;

```

```

procedure TDMod.GetIniAll;
var i:integer;
begin
  well_name:=Table1.Well_name.AsString;
  r:=Table1R_rotor.AsFloat; l1:=Table1L_neck.AsFloat;
  l2:=Table1L_back.AsFloat; l3:=Table1L_tail.AsFloat;
  gamma:=Table1Gamma.AsFloat; pump_dia:=Table1Pump_dia.AsFloat*0.001;
  stroke_len:=Table1Stroke_len.AsFloat; rodstring_len:=Table1Rodstring_len.AsFloat;
  stroke_num:=Table1Stroke_num.AsFloat; if stroke_NUM=0 THEN period:=10 else
  Period:=60.0/stroke_num;
  for i:=0 to 3 do
    begin
      len_st[i]:=Table1.Fields.Fields[i+6].AsFloat; len_nkt[i]:=Table1.Fields.Fields[i+2].AsFloat;
    end;
  // teor din
  din_peri:=period; fpl:=Pi*pump_dia*pump_dia/4; RecalcTeor;
end;

```

```

procedure RecalcTeor;
// m_st, m_naf, lambada, teor_vs, teor_vr, teor_area, q_teor
var i: integer;
    lt, lst: double;
const alf1=1.1; alf2=0.8; a1=0.9; a2=1.44;
var kf, psi, sp, fst, ftr, ftr1, c1, c2, c3, c4, pst, prid, pst1: double;
begin
  lambada:=0; m_st:=0; lt:=0; lst:=0; dst_ave:=0; dtr_ave:=0; dtrv_ave:=0;
  for i:=0 to 3 do
    begin
      dst_ave:=dst_ave+dia_st[i]*len_st[i]; dtr_ave:=dtr_ave+dia_nkt[i]*len_nkt[i];
      dtrv_ave:=dtrv_ave+dia_nktv[i]*len_nkt[i]; lt:=lt+len_nkt[i]/f_nkt[i];
      lst:=lst+len_st[i]/f_st[i]; m_st:=m_st+len_st[i]*f_st[i];
    end;
  dst_ave:=dst_ave/rodstring_len;
  dtr_ave:=dtr_ave/rodstring_len; dtrv_ave:=dtrv_ave/rodstring_len;
  m_st:=m_st*7800-f_st[1]*Hd*gamma; // kg in air
  m_naf:=(rodstring_len-Hd)*fpl*gamma; // kg
  teor_vs:=(m_st*(1-gamma/7800.0)-fpl*gamma*Hd)/1000; // tonn in oil
  teor_vr:=(m_st+m_naf)/1000; // tonn
  lt:=lt*m_naf*g/(2.06e+11); lst:=lst*m_naf*g/(2.06e+11); lambada:=lt+lst;
// Virnovskiy formulas

```

```

fst:=pi*dst_ave*dst_ave/4; ftr1:=pi*dtr_ave*dtr_ave/4; ftr:=ftr1-pi*dtrv_ave*dtrv_ave/4;
kf:=(fpl-fst)/(ftr-fst); psi:=ftr/(ftr1+fst); sp:=stroke_len-lst; c1:=pi*stroke_num*30*sqrt(sp/g);
c2:=c1*c1*(1-psi/2)*pst/2; c1:=c1*pump_dia/dst_ave/3;
pst:=m_st*g; pst1:=teor_vs*1000*g; prid:=m_naf*g;
c3:=a1*psi-lst/stroke_len; if c3<0 then c3:=abs(c3);
c4:=a2*psi-lst/stroke_len; if c4<0 then c4:=abs(c4);
feor_pmax:=prid+pst+alf1*c1*sqrt(c3)*(pst+0.3*prid)+alf1*alf1*c2*(a1-2*lst/psi/sp);
teor_pmin:=pst1-alf2*c1*sqrt(c4)*pst-alf2*alf2*c2*(a2-2*lst/psi/sp);
//
if stroke_len<=lambada then lambada:=stroke_len;
teor_area:=(teor_vr-teor_vs+Ft)*(stroke_len-lambada); // tonn*metr
q_teor:=fpl*stroke_len*gamma/1000; // teor podacha (tonn/cycle)
q_teor2:=fpl*(stroke_len-lambada)*gamma/1000; // must be = teor_area/rodstring_len
q_teor3:=teor_area/(rodstring_len-Hd); vaga_st:=teor_vs; vaga_rid:=teor_vr;
end;

procedure CalcPlunger;
var xc, efc, maxpl,minpl,ast: double;
i:integer;
begin
// norm dyn
max_p:=MaxVal(ResDynSm,peri[0],peri[1]); min_p:=MinVal(ResDynSm,peri[0],peri[1]);
if max_p=min_p then disss:=1 else disss:=(teor_pmax-teor_pmin)/(max_p-min_p);
nulllin:=min_p-teor_pmin/disss;
// calc it
ast:=sqrt(2e+11/7900); xc:=rodstring_len/ast; efc:=2e+5/ast*pi*dst_ave*dst_ave/4;
omega:=2*pi/din_peri;
for i:=0 to maxadd-1 do
begin
Pldyn[i]:=(fD(Restime[i]+xc)+fD(resTime[i]-xc)-efc*(fV1(ResTime[i]+xc)-fV1(Restime[i]-xc)))/2;
PLway[i]:=(fV(Restime[i]+xc)+fV(resTime[i]-xc)-1/efc*(fD(ResTime[i]+xc)-fD(Restime[i]-xc)))/2;
end;
// norm plun-dyn
maxpl:=MaxVal(PlDyn,peri[0],peri[1]); minpl:=MinVal(PlDyn,peri[0],peri[1]);
for i:=0 to maxadd-1 do
Pldyn[i]:=(pldyn[i]-minpl)/(maxpl-minpl)*m_naf/1000+teor_vs; //tonn
// knap
din_area:=0;
for i:=peri[0] to peri[1] do
din_area:=din_area+(ResTrans[i+1]-ResTrans[i])*(PlDyn[i+1]+PLDyn[i])/2;
koef_nap:=din_area/teor_area;
end;

function fD(t: double): double;
VAR IB,IE:INTEGER;
tim, dig: double;
begin
if t<0 then begin tim:=t+din_peri; if tim>=maxtime then tim:=abs(t); end;
ib:=floor(tim/din_dt);
if ib>maxadd-2 then
begin
ib:=maxadd+maxadd-2-ib; tim:=ib*din_dt;

```

```

end;
if ResTime[ib]>tim then begin while ResTime[ib]>tim do dec(ib); if (ib<0) then inc(ib); end
else begin
ie:=ib; while ie<MaxAdd-2 do if ResTime[ie]>tim then break else inc(ie); ib:=ie-1;
end;
dig:=ResDynSm[ib]+(ResDynSm[ib+1]-ResDynSm[ib])/(ResTime[ib+1]-ResTime[ib])*(tim-
ResTime[ib]);
fD:=(dig-nullin)*disss;
end;

function fV(t: double): double;
VAR IB,IE:INTEGER;
tim: double;
begin
tim:=abs(t); ib:=floor(tim/din_dt);
if ib>maxadd-2 then
begin ib:=maxadd+maxadd-2-ib; tim:=ib*din_dt; end;
if ResTime[ib]>tim then begin while ResTime[ib]>tim do dec(ib); if (ib<0) then inc(ib); end
else begin
ie:=ib; while ie<MaxAdd-2 do if ResTime[ie]>tim then break else inc(ie); ib:=ie-1;
end;
fV:=(ResTrans[ib+1]-ResTrans[ib])/(ResTime[ib+1]-ResTime[ib]);
end;

function fV1(t:double): double;
begin fV1:=omega*stroke_len/2*sin(omega*t); end;

procedure TDMOD.DefineDynParam (n:integer);
var i,beg_up,beg_down,l_up,l_down:integer;
mean_up,mean_down,s_up,s_down: double;
begin
mean_up:=0; mean_down:=0;
// vaga stang & rid; (on SMOOTHED dynagraph)
if mes_vr=65537 then // if not measured, calculate as average on dynagraph
begin
for i:=peri[n] to mperi[n] do // seeks where S=lambada
if ResTrans[i]>=lambada then break; beg_up:=i;
for i:=beg_up to mperi[n] do mean_up:=mean_up+ResDynSm[i];
if beg_up<mperi[n] then vaga_rid:=mean_up/(mperi[n]-beg_up+1) else vaga_rid:=max_p;
end
else vaga_rid:=mes_vr;
if mes_vs=65537 then
begin
for i:=mperi[n] to peri[n+1]-1 do if ResTrans[i]<=(stroke_len-lambada) then break; beg_down:=i;
for i:=beg_down to peri[n+1]-1 do mean_down:=mean_down+ResDynSm[i];
if beg_down<peri[n+1]-1 then vaga_st:=mean_down/(peri[n+1]-beg_down)
else if mperi[n]<peri[n] then vaga_st:=MinVal(ResDynSm,mperi[n],peri[n]-1)
else vaga_st:=ResDynSm[mperi[n]-1];
end
else vaga_st:=mes_vs;
// if called in BStopClick and VS, VR not measured:
if (diskr_din=1) and (vaga_rid>vaga_st) then diskr_din:=(teor_vr-teor_vs)/(vaga_rid-vaga_st);

```

```

if (nul_lin=0) and (vaga_rid>vaga_st) then nul_lin:=vaga_st-teor_vs/diskr_din;
// make tonns from digits:          (diskr_din is CONST)
vaga_st:=(vaga_st-nul_lin)*diskr_din; vaga_rid:=(vaga_rid-nul_lin)*diskr_din;
// area of dynagraph (digits*metr):  (on SMOOTHED dynagraph)
s_up:=0; s_down:=0;
for i:=peri[n]+1 to mperi[n] do
* s_up:=s_up+(ResTrans[i]-ResTrans[i-1])*(ResDynSm[i]+ResDynSm[i+1])/2;
for i:=mperi[n]+1 to peri[n+1]-1 do
s_down:=s_down+(ResTrans[i-1]-ResTrans[i])*(ResDynSm[i]+ResDynSm[i+1])/2;
if s_up<s_down then din_area:=(s_down-s_up)*diskr_din else
din_area:=(s_up-s_down)*diskr_din; // tonn*metr
q_fact:=din_area/rodstring_len; // tonn per cycle
for i:=peri[n] to mperi[n] do if ResDyn[i]>=vaga_rid/diskr_din+nul_lin then break; l_up:=i;
for i:=mperi[n] to peri[n+1]-1 do if ResDyn[i]<=vaga_st/diskr_din+nul_lin then break; l_down:=i;
if RestraNS[l_up]<stroke_len THEN koef_nap:=ResTrans[l_down]/(stroke_len-ResTrans[l_up])
* ELSE KOEF_NAP:=0;
koef_pod:=(stroke_len-ResTrans[l_up])/stroke_len;
koef_pod:=q_fact/q_teor; if q_fact<q_teor2 then koef_nap:=q_fact/q_teor2 else koef_nap:=1;
koef_nap:=din_area/teor_area;
q_fact_day:=q_fact*1440*stroke_num; debit_day:=q_fact_day*TableIT_rob.Asfloat/24;
end;

```

```

function DefinePeriod(x:TResBlock;n:Integer;PreDefined:Integer):Integer;

```

```

var i,j,nn:integer;

```

```

mx,rx:double;

```

```

xy:array of double;

```

```

begin
nn:=n div 2; mx:=0; setlength(xy,n); mx:=MeanVal(x,0,n); xy[0]:=0;
for i:=0 to n-1 do xy[0]:=xy[0]+(x[i]-mx)*(x[i]-mx); xy[0]:=xy[0]/n;
for j:=1 to nn-1 do
begin
* rx:=0; for i:=0 to nn-1 do rx:=rx+(x[i]-mx)*(x[i+j]-mx); xy[j]:=rx/(nn*xy[0]);
end;
for j:=nn to n-1 do
begin
rx:=0; for i:=0 to n-1-j do rx:=rx+(x[i]-mx)*(x[i+j]-mx);
xy[j]:=rx/((n-j)*xy[0]);
end;
xy[0]:=1; mx:=0;
for j:=2 to n-1 do if xy[j]<0 then break; //positive
for i:=j+1 to n-1 do if (xy[i]<0) and (i-j > PreDefined div 8) then break;
for j:=i+1 to n-1 do //2nd positive
begin
if (xy[j]<0) and (j-i > PreDefined div 8) then break;
if xy[j]>mx then begin mx:=xy[j]; Result:=j; end;
end;
if mx<0.4 then Result:=PreDefined; xy:=nil;
end;

```

```

// ----- min, max etc. -----

```

```

function MaxPos(x:TResBlock; be,en:integer):integer;

```

```

var i:integer;

```

```

    mx:double;
begin
    mx:=x[be];Result:=be; if be=en then exit;
    for i:=be+1 to en do    if x[i]>mx then begin mx:=x[i]; Result:=i; end;
end;

function MinPos(x: TResBlock; be,en:integer):integer;
var i:integer;
    mx:double;
begin
    mx:=x[be];Result:=be; if be=en then exit;
    for i:=be+1 to en do    if x[i]<mx then begin mx:=x[i]; Result:=i; end;
end;

function MaxVal(x: TResBlock; be,en:integer):double;
var i:integer;
begin    Result:=x[be];    for i:=be to en do    if x[i]>Result then    Result:=x[i];    end;

function MinVal(x: TResBlock; be,en:integer):double;
var i:integer;
begin    Result:=x[be];    if en<be then exit; for i:=be to en do    if x[i]<Result then    Result:=x[i];    end;

function MeanVal(x: TResBlock; be,en:integer):double;
var i:integer;
begin
    Result:=x[be]; if be=en then exit;    for i:=be+1 to en do Result:=Result+x[i]; Result:=Result/(en-be);
end;

end.

```

B.5. Модуль форми калібрування

```

unit d_cal7714;
interface
uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, d_lpt,
    StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, d_dat;

var
    FormCal7714: TFormCal7714;
    nul_scale, cal_zero, cal_fullscale: integer;

implementation
{$R *.DFM}

procedure TFormCal7714.self_calClick(Sender: TObject);
begin    SelfCalibration; ReadCalClick(Sender); end;

procedure TFormCal7714.Syst_calClick(Sender: TObject);
begin    SystemCalibration; ReadCalClick(Sender); end;

```

```

procedure TFormCal7714.WriteCalClick(Sender: TObject);
begin WriteCalibrationReg(StrToInt(EditZS.Text),StrToint(EditFS.Text)); end;

procedure TFormCal7714.ReadCalClick(Sender: TObject);
var zs,fs:integer;
begin
  ReadCalibrationReg(zs,fs); EditZS.Text:=IntToStr(zs); EditFS.Text:=IntToStr(fs);
end;

procedure TFormCal7714.DefaultCalClick(Sender: TObject);
begin
  EditZS.Text:=IntToStr(cal_zero); EditFS.Text:=IntToStr(cal_fullscale); WriteCalclick(Sender);
end;

procedure TFormCal7714.FormActivate(Sender: TObject);
var beg_val:integer;
begin
  Application.ProcessMessages; InitADC(0); Timer1.Enabled:=false;
  Right.Caption:=IntToStr(nul_scale); beg_val:=DigADC; Edit1.Text:=IntToStr(beg_val);
  EditZS.Text:=IntToStr(cal_zero); EditFS.Text:=IntToStr(cal_fullscale);
  with TrackBar1 do
  begin
    Max:=nul_scale+500000; Min:=nul_scale-500000; Frequency:=(Max-Min)div 2; Position:=beg_val;
  end;
  Timer1.Enabled:=true;
end;

procedure TFormCal7714.Timer1Timer(Sender: TObject);
var val:integer;
begin
  val:=DigADC; Edit1.Text:=IntToStr(val); if val>TrackBar1.Max then val:=TrackBar1.Max;
  TrackBar1.Position:=val;
  if val>nul_scale then FormCal7714.color:=clRed; if val<nul_scale then Formcal7714.color:=clbtnface;
end;

procedure TFormCal7714.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin Timer1.enabled:=false; end;

procedure TFormCal7714.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  case RadioGroup1.ItemIndex of
    0: nul_lin:=StrToint(Edit1.Text);
    1: mes_vs:=StrToint(Edit1.Text);
    2: mes_vr:=StrToint(Edit1.Text);
  end;
end;
end.

```


ДОДАТОК Д

ТЕКСТ ПРОГРАМИ ПРИСТРОЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

```

//*****
#include <90s8535.h>

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

#define CLK PORTB.4 // тактування АЦП
#define PWCLK PORTB.5 // тактування джерела напруги +-12В
#define SCLK PORTB.7 // тактування даних АЦП
#define G0 PORTB.0 // підсилення АЦП
#define G1 PORTB.1
#define DSYNC PORTC.0 // DSYNC АЦП
#define A0 PORTC.1 // номер каналу мультиплектора
#define A1 PORTC.2
#define E PORTC.3 // дозвіл мультиплектора
#define CS PORTC.4 // дозвіл АЦП
#define DIN PINB.6 // дані АЦП
#define SIGB PORTD.4 // від давача переміщення

unsigned int i,mask,j;
unsigned int adc_res, adc_data, pos_data;
char mode;
char *cr;

#define NP 14
const float splint_dataX[NP] =
{0,100,500,1000,1500,2000,3000,4000,5000,6000,7000,8000,9000,10000};

eeprom float splint_coef[NP],splint_dataY[NP]; // калібровочні коефіцієнти
// прописується окремо калібрувальною програмою

int adc_interp(int x1) // сплайн-інтерполяція
{ char j=1; float b,d,r,h;
  while(x1>splint_dataY[j] && j<NP) j++;
  r=x1-splint_dataY[j-1];
  h=splint_dataY[j]-splint_dataY[j-1];
  b=(splint_dataX[j]-splint_dataX[j-1])/h-(splint_coef[j+1]+2*splint_coef[j])*h/3;
  d=(splint_coef[j+1]-splint_coef[j])/h/3;
  return splint_dataX[j-1]+b*r+splint_coef[j]*r*r+d*r*r*r;
}

char get_char(void)
{
  while ((USR & 0x80) == 0) {PWCLK=1; PWCLK=0;};
  return UDR;
}

void put_char(char c)

```

```

{
while ((USR & 0x20) == 0) {PWCLK=1; PWCLK=0;};
UDR=c;
}

```

// External Interrupt 1 service routine

```
interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
```

```

{
if (SIGB) { pos_data++; }
else { pos_data--; }
}

```

```
void getADC(void) // читання відліка з АЦП
```

```

{
SCLK=0;
CS=0; // Enable ADC
DSYNC=1; // Reset Modulator
DSYNC=0;
DSYNC=1;
CS=1; // Disable ADC
for(j=0;j<4;j++)
{for(i=0;i<384;i++)
{ CLK=0; PWCLK=0;
CLK=1; PWCLK=1;
}
for(i=0;i<16;i++)
{ CLK=0; PWCLK=0; SCLK=0;
CLK=0; PWCLK=1; SCLK=1;
}
}
for(i=0;i<384;i++)
{ CLK=0; PWCLK=0;
CLK=1; PWCLK=1;
}
adc_res=0;
mask=0x8000;
CS=0; // Enable ADC
for(i=0;i<16;i++)
{ CLK=0; PWCLK=0; SCLK=0;
CLK=0; PWCLK=1; SCLK=1;
if (DIN==1)adc_res|=mask;
mask>>=1;
}
CS=1; // disable ADC
}

```

```
void getADC2(void)
```

```

{
asm("cli");
A0=0;
getADC();
adc_data=adc_res;
}

```

```

    A0=1;
    getADC();
    adc_data=(adc_data+adc_res)>>1;
    adc_data=adc_interp(adc_data);
    #asm("sei");
}

void main(void)
{
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func0=Out Func1=Out Func2=In Func3=In Func4=Out Func5=Out Func6=In Func7=Out
// State0=0 State1=0 State2=T State3=T State4=0 State5=0 State6=T State7=0
PORTB=0x00;
DDRB=0xB3;

// Port C initialization
// Func0=Out Func1=Out Func2=Out Func3=Out Func4=Out Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=0 State1=0 State2=0 State3=0 State4=0 State5=T State6=T State7=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x1F;

// Port D initialization
// Func0=In Func1=Out Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=T State1=0 State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x02;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=0x00;
TCNT0=0xD8;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;

```



```

OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
GIMSK=0x80;
MCUCR=0x0c;
GIFR=0x80;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// UART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// UART Receiver: On
// UART Transmitter: On
// UART Baud rate: 56000
UCR=0x18;
UBRR=0x08;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Analog Comparator Output: Off
ACSR=0x80;

CS=0; // ADS1250 enable
G1=1; G0=1; // GAIN=8
E=1; // Mux Enable
A0=0; A1=0; // channel 0
pos_data=0x7fff;

while (1)
{
mode=get_char();
switch (mode)
{
case 0x00: printf("RS232 Ok! "); break;
case 0xc0: A1=0;A0=0; break;

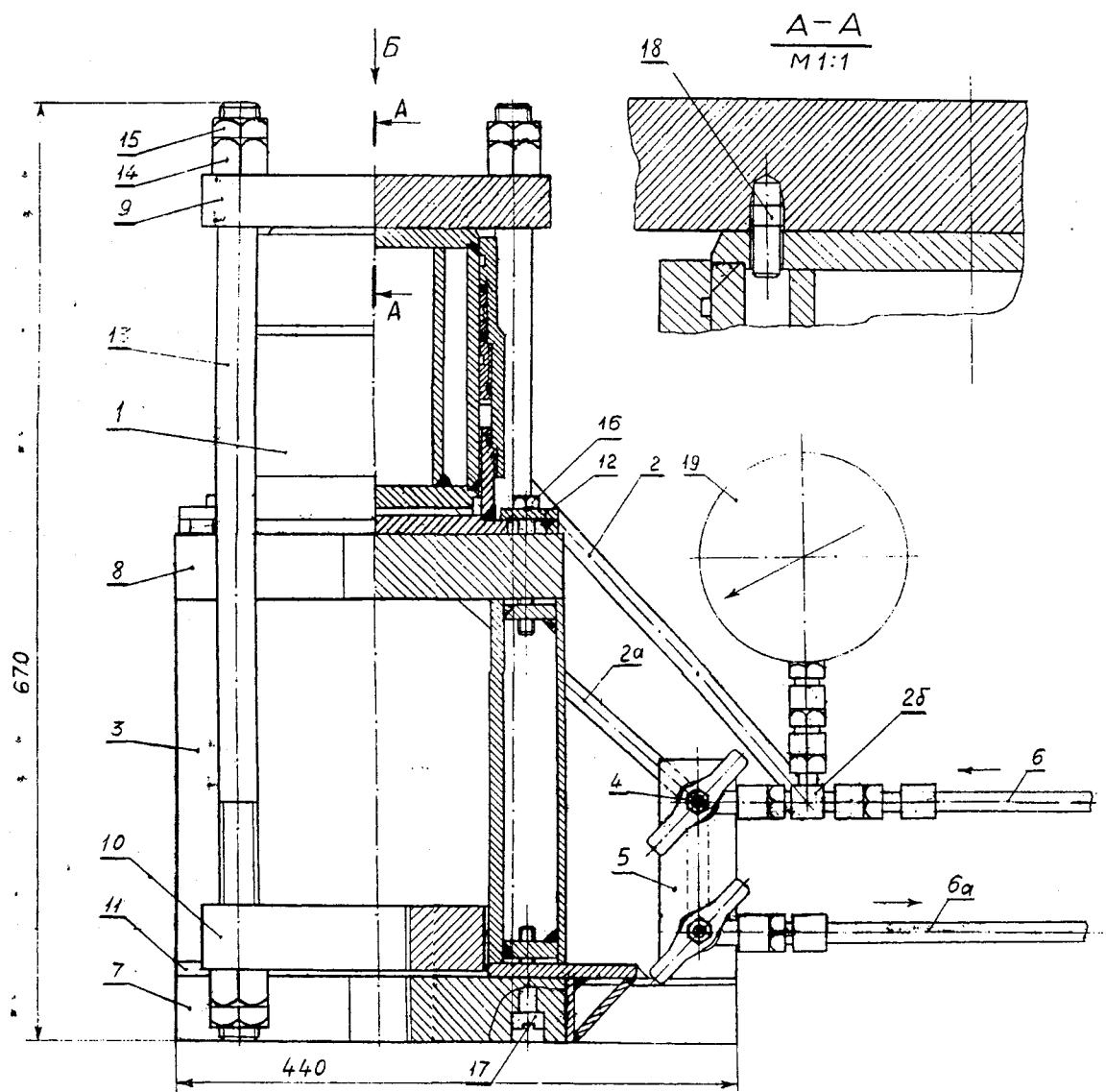
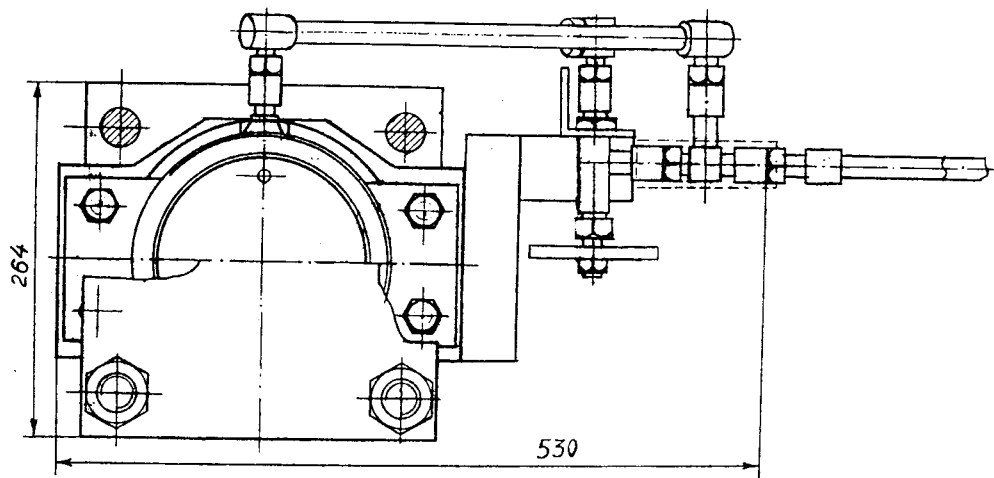
```

```
case 0xc1: A1=0;A0=1; break;
case 0xc2: A1=1;A0=0; break;
case 0xc3: A1=1;A0=1; break;
case 0x01:
    getADC();
    cr=&adc_res;
    put_char(*cr); put_char(*(cr+1));
    break;
case 0x02:
    getADC2();
    cr=&pos_data;
    put_char(*cr); put_char(*(cr+1));
    cr=&adc_data;
    #asm("cli");
    put_char(*cr); put_char(*(cr+1));
    #asm("sei");
    break;
} // switch
    // while(1)
```

ДОДАТОК Е

СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ПОВІРОЧНОГО СТЕНДУ

Вид Б



ДОДАТОК Ж

ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер

НГВУ "Надвірна нафтогаз"

Гузейчук І.Я.

2003р.



А К Т

Ми, що нижче підписалися, начальник технічного відділу НГВУ "Надвірна нафтогаз" Соць В.О., інженер виробничо-технічного відділу Гузейчук Л.Ю., з одного боку, і представники ІФНТУНГ – зав.кафедри КТіСУ д.т.н., проф. Заміховський Л.М., асистент кафедри КТіСУ Ровінський В.А. та асистент кафедри КТіСУ Євчук О.В. з другого боку, склали цей акт в тому, що розроблений на кафедрі комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики ІФНТУНГ давач навантаження на полірований шток ШГНУ ТД-1 пройшов промислову апробацію на свердловинах Битків-588, Битків-463, Битків-420, Битків-320 та Битків-617 в період з листопада 2001 року по березень 2003 року і продовжує використовуватися при проведенні діагностування стану ШГНУ.

Начальник виробничо-технічного відділу

В. Соць

Інженер виробничо-технічного відділу

Л. Гузейчук

Зав.кафедри КТіСУ, д.т.н., проф.

Л. Заміховський

Асистент кафедри КТіСУ

В. Ровінський

Асистент кафедри КТіСУ

О. Євчук

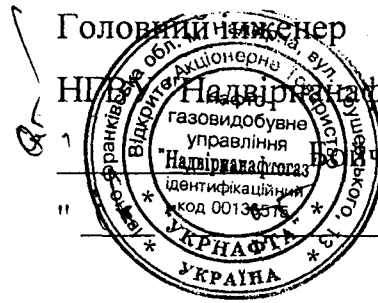
ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер

НП "Надвірна нафтогаз"

І. Я. Євчук

2003р.



А К Т

Ми, що нижче підписалися, начальник технічного відділу НГВУ "Надвірна нафтогаз" Соць В.О., інженер виробничо-технічного відділу Гузійчук Л.Ю., з одного боку, і представники ІФНТУНГ – зав.кафедри КТіСУ д.т.н., проф. Заміховський Л.М., асистент кафедри КТіСУ Ровінський В.А. та асистент кафедри КТіСУ Євчук О.В. з другого боку, склали цей акт в тому, що розроблена на кафедрі комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики ІФНТУНГ система динамометричного контролю СДК-1, призначена для оперативного діагностування ШГНУ за динамограмами, пройшла промислову апробацію на свердловинах Битків-588, Битків-463, Битків-420, Битків-320 та Битків-617 в період з листопада 2001 року по березень 2003 року і продовжує використовуватися при проведенні діагностування стану ШГНУ.

Начальник виробничо-технічного відділу

В. Соць

Інженер виробничо-технічного відділу

Л. Гузійчук

Зав.кафедри КТіСУ, д.т.н., проф.

Л. Заміховський

Асистент кафедри КТіСУ

В. Ровінський

Асистент кафедри КТіСУ

О. Євчук