

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

На правах рукопису

Заміховська Олена Леонідівна

622.276,53.054(047)

УДК 621.67-213.32(047)

З-26

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ  
ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ  
ВИДОБУТКУ НАФТИ**

Спеціальність 05.05.12-Машини нафтової і газової промисловості

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

**науковий керівник:  
доктор технічних наук,  
професор Петрина Ю.Д.**

Івано-Франківськ – 2007

Д 306



d306

## ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	5
ВСТУП.....	6
1 СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ УСТАНОВОК ЕВН.....	11
1.1 Особливості конструкції робочого ступеня ЕВН, його роботи та технології виготовлення.....	11
1.2 Умови виникнення й аналіз поступових відмов установок ЕВН .....	20
1.3 Визначення довговічності установок ЕВН, що експлуатуються на нафтових родовищах Східної України .....	23
1.4 Аналіз методів підвищення надійності та довговічності робочих органів ЕВН.....	31
1.5 Постановка завдання досліджень.....	37
2 СТЕНДОВЕ ТА МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПІДВИЩЕННЮ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН.....	40
2.1 Розробка стендової установки для випробувань ступеня насоса на зносостійкість.....	40
2.2 Вибір матеріалів для стендових досліджень пар тертя ступеня насоса на зносостійкість.....	44
2.3 Методика досліджень об'ємного приросту виливків з чавуну, модифікованого церієм .....	49
2.4 Методика оцінки зносостійкості чавуну, модифікованого церієм, за швидкістю росту втомної тріщини .....	52
2.5 Методика випробування на циклічну тріщиностійкість .....	53
Висновки до розділу .....	55
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ	57

РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН.....	
3.1 Розробка трьохвимірної фізичної моделі робочого колеса ЕВН з використанням програмних продуктів Solid Works і Cosmos Works та її дослідження .....	57
3.2 Моделювання впливу зміни геометричних розмірів робочого колеса ЕВН на його технічні характеристики .....	67
3.3 Дослідження вибраних пар тертя робочого ступеня на зносостійкість.....	74
3.3.1 Дослідження вибраних пар тертя ступеня насоса на матеріалів пари тертя “направляючий апарат – захисна втулка вала” .....	74
3.3.2 Дослідження матеріалів пари тертя “направляючий апарат – опорна шайба” на зносостійкість .....	78
3.4 Оцінка зносостійкості модифікованих церієм та ітрієм чавунів за кінематичними діаграмами втомного руйнування.....	84
3.5 Дослідження впливу термічної обробки на зміну розмірів виливки елементів ступеня насоса з сірого модифікованого чавуну.....	87
3.5.1 Дослідження впливу методу термічної обробки на зміну розмірів виливків елементів ступеня насоса з сірого модифікованого церієм чавуну .....	93
3.6 Встановлення емпіричних залежностей для визначення величини від’ємних припусків виливків елементів ступеня насоса з сірого модифікованого церієм чавуну .....	98
Висновки до розділу .....	102
4 РОЗРОБКА НА НАУКОВО ОБГРУНТОВАНИХ ЗАСАДАХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ .....	104
4.1 Розробка конструкції ступеня ЕВН з поліамідною робочою частиною.....	104

4.2	Виготовлення направляючого апарата і робочого колеса ЕВН з сірого модифікованого церієм чавуну .....	109
4.2.1	Виготовлення виливки направляючого апарата і робочого колеса із сірого чавуну модифікованого церієм .....	109
4.3	Технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи захисної втулки вала ЕВН.....	111
4.4	Виготовлення захисних втулок вала ЕВН з покриттям ПН55Т45	119
4.4.1	Обладнання для напилення захисних втулок вала ЕВН.....	123
4.5	Виготовлення захисних втулок вала ЕВН з композиту ЛО 90-1 .....	124
4.5.1	Вибір порошкових компонентів для виготовлення захисних втулок вала ЕВН.....	125
4.6	Виготовлення захисних втулок вала ЕВН, опорних шайб (верхніх і нижніх) із композиту ПК 70 Н2Д2.....	127
	Висновки до розділу .....	130
5	ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕВН З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ.....	132
5.1	Методика проведення промислових досліджень ЕВН з робочими органами підвищеної довговічності.....	132
5.2	Розробка пристрою та конструкції вимірювальної муфти для контролю вібраційного стану системи «УЕВН - КНКТ» .....	134
5.3	Промислові дослідження зносостійкості ЕВН .....	138
5.4	Промислові дослідження вібраційного стану системи “УЕВН – КНКТ” з серійними і експериментальними робочими органами .....	144
	Висновки до розділу .....	147
	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	149
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	151
	ДОДАТКИ.....	161



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ЗЕУ	заглибна електроустановка
УЕВН	установка електровідцентрових насосів
ЕВН	електровідцентровий насос
ЕВНЗ	електровідцентровий насос зносостійкий
ЕВНК	електровідцентровий насос корозійностійкий
ЗЕД	заглибний електродвигун
НГВУ	нафтогазовидобувне управління
ЦБВЗ Пі Р ЗЕУ	центральна база виробничого забезпечення прокату і ремонту ЗЕУ
КНКТ	колона насосно-компресорних труб
СН	ступінь насоса
ОКБ БН	особливе конструкторське бюро безштангових насосів
АЗЗЕН	Альметьєвський завод заглибних електронасосів
НВЦ СІМС	науково-виробничий центр Саратовського інституту механізації сільського господарства
ККД	коефіцієнт корисної дії
МНП	Міністерство нафтової промисловості бувшого СРСР
СЕМ	скінчено елементна модель
НДС	напружено-деформований стан
ВМ	вимірювальна муфта

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сьогодні понад 60% свердловин з механізованим способом видобутку нафти в Україні обладнано установками електровідцентрових насосів (УЕВН), які при середніх і великих відборах свердловинної рідини (100-150 м<sup>3</sup>/добу і більше) є найбільш економічним і найменш трудомістким за обслуговуванням видом обладнання для видобутку нафти. Технічний стан робочих органів (РО) ступеней насоса (СН) УЕВН – робочих коліс (РК), направляючих апаратів (НА), захисних втулок вала (ЗВ), опорних шайб (ОШ), визначає ефективність процесу видобутку нафти. На зміну їх технічного стану у процесі експлуатації впливають різноманітні фактори: експлуатаційні, свердловинні та інші. Довговічність УЕВН зумовлена, як показує практика, зношуванням робочих органів СН. При цьому інтенсивність зношування опорних елементів УЕВН у 2-3 рази є вищою, ніж проточних каналів РК і НА. З цієї причини ЗВ та ОШ в СН виконуються змінними і з матеріалу, у якого протизношувальні характеристики є низькими. У зв'язку з низькою довговічністю РО міжремонтний період експлуатації УЕВН є незначним. Так, в Україні він складає в середньому 248 діб. При цьому зменшення тривалості міжремонтного періоду зумовлює зростання числа та вартості ремонтів УЕВН.

Таким чином, підвищення довговічності РО УЕВН та пошук ефективних методів їхнього виготовлення є актуальним завданням, яке має важливе народногосподарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм з розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт, які є частиною координаційного плану Міністерства освіти і науки України “Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини”, що входить у національну програму “Нафта і газ України до 2010 року”.

**Мета і завдання досліджень.** Мета роботи полягає в кратному підвищенні довговічності робочих органів УЕВН конструктивними та технологічними методами.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- встановити закономірності зношування РО та їхній вплив на довговічність установок УЕВН, що експлуатуються на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз”;
- розробити стендове та методичне забезпечення експериментальних досліджень з підвищення довговічності РО УЕВН;
- встановити вплив конструктивних і технологічних факторів на довговічність РО УЕВН;
- змодельовати вплив зміни конструктивних параметрів РО на технічні характеристики УЕВН;
- встановити закономірності зміни конструктивних параметрів РК і НА, виготовлених з модифікованого чавуну, при різних методах їх термічної обробки;
- розробити конструкцію РО ступеня насоса підвищеної довговічності;
- провести порівняльні промислові випробування УЕВН з секціями, зібраними із серійних СН та розроблених робочих органів СН підвищеної довговічності.

**Об’єкт досліджень:** ступінь насоса, який є основним вузлом установки ЕВН, особливості її конструкції та умови роботи.

**Предмет досліджень:** методи і засоби підвищення довговічності робочих органів ступеня насоса установки ЕВН.

**Методи дослідження.** Дослідження проведено з використанням методів аналітичної геометрії, математичної статистики та регресійного аналізу, імітаційного моделювання і методів гідроаеромеханіки, а також методів та обладнання для механічних випробувань, металографічних досліджень, випробувань на гідроабразивне зношування з використанням стандартних методик, а обґрунтування послідовності технологічного процесу виготовлення захисної втулки вала здійснено на основі матричного аналізу.

**На захист виносяться:**

– тривимірна фізична модель РК, покладена в основу досліджень закономірностей зміни його напружено-деформованого стану (НДС) та технічних характеристик УЕВН у взаємозв'язку з дією впливових факторів та величиною зношування РК;

– метод виготовлення РК і НА з модифікованого церієм чавуну на основі встановлених закономірностей зміни їх діаметрів при різній термообробці заготовок РК і НА;

– конструктивні особливості СН з поліамідним РК та металополіамідним НА, технологічні процеси та устаткування для виготовлення захисної втулки вала і опорних шайб із зносостійких матеріалів.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в удосконаленні конструктивних та технологічних методів підвищення довговічності РО ступені насоса УЕВН і визначається наступним:

– вперше розроблено тривимірну модель РК, використання якої дозволило змодельовати зміни форми його поверхні, обумовленої процесом зношування, та встановити залежності НДС робочого колеса від величини його зношення та осьового навантаження на торцеву пару тертя;

– дістало подальший розвиток імітаційне моделювання зміни конструктивних розмірів РК, зумовленої його зношуванням, що дозволило встановити її вплив на зміну характеристик УЕВН та запропонувати нову конструкцію СН;

– вперше встановлено закономірності зношування СН залежно від типорозмірів УЕВН на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз”, що дозволило визначити їхню довговічність та характер зношування робочих органів СН;

– запропоновано методику оцінки тріщиностійкості чавуну, модифікованого церієм, яка дозволяє відмовитись від традиційних складних і трудомістких досліджень на зносостійкість;

– вперше встановлено закономірності зміни діаметрів РК і НА виготовлених із модифікованого церієм чавуну, від їх номінальних значень при різних методах термообробки (в печах з рухомим подом, камерних і вакуумних печах), використання яких дозволяє розрахувати необхідну величину від'ємного допуску на

механічну обробку заготовок РК та НА до термообробки і тим самим уникнути трудомісткої операції механічної обробки після їх термообробки;

– вперше розроблено метод виготовлення РК і НА УЕВН з сірого модифікованого церієм чавуну твердістю 44-48 HRC, який без суттєвої зміни традиційної технології виготовлення забезпечує підвищення їхньої довговічності у 2–3 рази.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає в розробленні:

– конструкції ступеня насоса з поліамідним робочим колесом та металополіамідним направляючим апаратом підвищеної довговічності;

– оптимального технологічного процесу і технологічного устаткування для виготовлення ЗВ і ОШ із зносостійких матеріалів методом пресування та спікання, а також принципово нових технологічних маршрутів виготовлення ЗВ з плазмовим напиленням, яке водночас є викінчувальною обробкою;

– серійної технології термічної обробки робочих органів СН, виготовлених з сірого чавуну, модифікованого церієм, на твердість 44-47 HRC.

Згідно з розробленими технологічними процесами ТОВ “Галс-К Лтд” виготовлено експериментальну партію ЗВ і ОШ (верхньої і нижньої), які встановлювали в експериментальні секції УЕВН. Проведені промислові випробування установок ЕВН на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” підтвердили двократне підвищення зносостійкості експериментальної партії втулок в порівнянні з серійними.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати роботи отримано авторкою самостійно. Розроблено тривимірну модель РК та проведено моделювання впливу величини зносу і навантаження на торцьову пару тертя на зміну його НДС, а також впливу величини зносу РК на зміну характеристики УЕВН [11,10]. Запропонована конструкція стендової установки для зношувальних випробувань РО та вибрано матеріали пар тертя СН [12]. Встановлено закономірності зміни діаметрів РК і НА, виготовлених з сірого, модифікованого церієм чавуну, від їх номінальних значень при різних методах термообробки [4]. Розроблено промислову технологію виготовлення ЗВ УЕВН з плазмовим покриттям порошком марки ПН 55Т45 [7]. Розроблено конструкцію вимірювальної муфти, яка

є основним вузлом пристрою контролю вібраційного стану УЕВН [13]. У працях, опублікованих у співавторстві, авторкою встановлено закономірності зношування РО на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” та визначена довговічність УЕВН [5]; запропоновано технологію литва заготовок РК і НА з двоступінчастим модифікуванням сірого чавуну [9]; розроблено методику оцінки зносостійкості РК і НА з чавуну, модифікованого церієм, за швидкістю росту втомної тріщини [3]; досліджено технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи ЗВ вала УЕВН [6]; визначено оптимальний склад чавуну і модифікатора та запропоновано метод виготовлення РК і НА з підвищеними міцністними і зношувальними властивостями [2,8]; запропоновано спосіб з’єднання металевого корпусу НА з поліамідною проточною частиною для нової конструкції СН [1].

Здобувачка брала участь в обробці результатів промислових випробувань та впровадженні експериментальних СН УЕВН, виготовлених з використанням розроблених нею методів і технологій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися: на XII, XIV, XVI і XVIII Міжнародних міжвузівських школах-семінарах “Методи і засоби технічної діагностики” (Івано-Франківськ, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003 і 2005 рр.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 1999, 2000, 2001-2006 рр.), наукових семінарах кафедр технології нафтогазового машинобудування, комп’ютерних технологій в системах управління та автоматики ІФНТУНГ (2002-2006 рр.), розширеному науковому семінарі кафедри нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2007 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць ( 6 одноосібних), з них 10 статей – у фахових виданнях ВАК України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, списку використаних джерел із 105 найменувань, 57 рисунків, 27 таблиць та 14 додатків. Загальний обсяг роботи 202 сторінок.

## РОЗДІЛ 1

# СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ УСТАНОВОК ЕВН

Надійність – властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення його експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам і умовам застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування [1].

Надійність є однією із властивостей установок ЕВН, яка проявляє себе в процесі експлуатації. Надійність є комплексною властивістю, яка в залежності від конструктивних особливостей УЕВН і умов її експлуатації може містити в собі: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереження.

Довговічність УЕВН – це властивість зберігати працездатність до настання граничного стану при установленій системі технічного обслуговування і ремонту. При цьому під граничним технічним станом установки ЕВН розуміють відсутність можливості її подальшої експлуатації, що обумовлюється або зниженням ефективності, або вимогами безпеки (вірогідність настання аварійних ситуацій) [2]. У загальному випадку довговічність ЕВН визначається періодом напрацювання до відмови.

Оскільки однією із основних причин зниження ефективності роботи установок ЕВН є значне зношування їх робочих органів [3], у розділі розглядаються їх конструктивні особливості, умови роботи і технологія виготовлення, а також аналізуються фактори впливу на процес зношування робочих органів та методи підвищення їх довговічності.

### **1.1. Особливості конструкції робочого ступеня ЕВН, його роботи та технології виготовлення**

Установка ЕВН – багатоступенева і, в загальному випадку, багатосекційна конструкція. Кількість секцій в насосах установок ЕВН, в залежності від дебіта свердловин, коливається від двох до п'яти. Робочі органи – ступеня (СН – ступені

насоса) – розміщують в розточці циліндричного корпуса кожної секції. В одній секції насоса може бути розміщено від 50 до 200 ступеней в залежності від їх монтажної висоти. Максимальна кількість однотипних ступеней в насосах, освоєних виробництвом, сягає 400 штук.

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

Серійні ЕВН призначені для експлуатації нафтових свердловин з внутрішнім діаметром обсадної колони не менше 121,7; 130; 144,3 мм і випускаються із зовнішніми діаметрами 92, 103 і 114 мм.

Проточна частина заглибних відцентрових насосів для видобутку нафти складається з пакета однотипних елементів – ступеней.

У серійних насосах використовуються ступені із зовнішніми діаметрами 80, 90, 100 мм. ОКБ БН розроблені типорозміри ступеней із зовнішніми діаметрами 60,80,100,110,124 мм, призначені для використання в ЕВН. Ці насоси охоплюють діапазон подач від 24 до 2400 м<sup>3</sup>/добу (від 1 до 100 м<sup>3</sup>/год) [4, 5].

При конструюванні установок ЕВН до їхніх ступеней висуваються особливі вимоги: вони повинні розвивати високі тиски, незважаючи на вкрай обмежені розміри; відрізнитися простотою складальних операцій; володіти відмінною працездатністю і високою надійністю.

Конструкція ступеня ЕВН [6] (рис.1.1) складається з направляючого апарату – 1, робочого колеса – 2, захисної втулки вала – 3, яка є радіальною опорою ступеня, і опорних шайб – нижньої (4) і верхньої (5), що сприймають осьові зусилля на ступінь, відповідно, знизу і зверху та є торцевими ступеня. Така конструкція ступеня дозволяє збирати на дуже тонкому валу велику кількість робочих коліс.

Для зменшення сили тертя направляючий апарат обладнаний кільцевим буртиком необхідної висоти і ширини, а робоче колесо – опорною шайбою (зазвичай із текстоліта). Останнє, є ще свого роду ущільненням, яке сприяє зменшенню перетоку рідини в ступені.



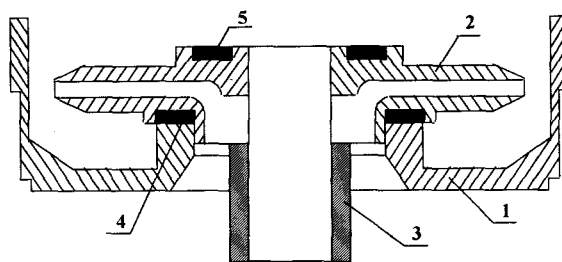


Рис. 1.1. Ступінь ЕВН

Враховуючи, що на деяких режимах роботи насоса (наприклад, під час його запуску при відкритій засувці) осьові сили можуть бути направлені вгору і робочі колеса можуть вспливати, для зменшення сили тертя між верхнім диском робочого колеса і направляючим апаратом також застосовують проміжну шайбу з текстоліта, але меншої товщини.

Для ступеней, які застосовуються в ЕВН, характерними є певні особливості конструкції і робочого процесу в порівнянні з ступенями інших насосів [7, 8]:

1. СН має оригінальну конструкцію з гідродинамічною схемою, яка не має аналогів у інших підгалузях насособудування. Вона забезпечує максимально можливий напір ступеня при відносно малих діаметральних габаритах насоса (напір відцентрового насоса пропорційний квадрату кутової швидкості на середньому вихідному діаметрі робочого колеса). Відношення середнього зовнішнього діаметра робочого колеса до максимального діаметра проточної частини рівне 0,95 – 0,8.

2. Кількість ступеней в ЕВН нараховується сотнями, тому для розвантаження вала від осьової сили при зборці такої кількості ступеней застосовується плаваюче робоче колесо. Воно не фіксується на валу в осьовому напрямку і утримується від провертання призматичною шпонкою. Колесо може вільно переміщатися в осьовому напрямку в проміжку, обмеженому опорними поверхнями, передбаченими на направляючих апаратах.

При цьому механічний ККД ступеня з плаваючим робочим колесом знижується через втрату тертя в нижній опорі колеса. Величина цих втрат в першому наближенні пропорційна осьовій силі, яка діє на робоче колесо ступеня.

3. Відносні розміри вхідної воронки робочого колеса СН невеликі, так як вони вибираються із умов мінімуму сумарних гідравлічних втрат в робочому колесі і втрат тертя в індивідуальній п'яті робочого колеса.

4. За абсолютно малими значеннями корисної гідравлічної потужності СН можна віднести до мікромілких насосів [9]. При перерахунку СН з габариту на габарит навіть стосовно роботи на воді, як правило, не спостерігається геометрична подібність (по товщині лопаток і відносній шорстковатості) і кінематична подібність потоку через співрозмірність величин поперечного січення і товщини граничних шарів. Течія в каналах СН відбувається поза зоною автомодельності, тому на характеристики СН сильно впливає в'язкість. Суттєвий вплив на характеристики ступеня мають технологічні відхилення розмірів та форм проточної частини.

5. Канали направляючого апарата є відносно короткими та сильно вигнутими через абсолютно малі розміри і відносно великі діаметри валів СН, що характеризуються наявністю вхідної циркуляції швидкості на режимах рекомендованого діапазона подач.

В установках ЕВН в залежності від продукції, що перекачується, в першу чергу зношуються поверхні тертя осьових і радіальних опор, а також поверхні каналів, які контактують з потоком протікання. Підвищення надійності і довговічності ступеней досягається шляхом зменшення осьової сили, що діє на робочі колеса, підсиленням пари тертя осьової опори, використанням відповідних зносостійких і корозійностійких матеріалів.

Матеріали, що переважно застосовують в ступенях насосів різного виконання, для виготовлення деталей наведені в табл.1.1 [6].

Оригінальна конструкція насоса ставить ряд специфічних технологічних завдань, основними з яких є: виготовлення довгомірних деталей – валів і каліброваних труб необхідної точності і мінімальної кривизни, заготовок кінцевих деталей гарячою штамповкою, або із сталевого листа замість прокату; використання металопорошкових матеріалів замість традиційних. Всі завдання успішно вирішуються заводами-виробниками установок ЕВН, металургійною

промисловістю, науково-дослідними і конструкторськими організаціями.

Одним з найбільш складних технологічних завдань є виготовлення масових деталей СН. Враховуючи першочергове значення ступенів в енергетиці насоса і його довговічності, а також питому вагу вартості ступенів через їх масовість у вартості насоса, слід особливо розглядати технологію виготовлення і перспективи розвитку технології виготовлення ступенів. Сама конструкція СН спричиняє певні труднощі у виробництві через малі діаметральні габарити деталей, точних вузьких гідравлічних каналів, тонких профілів лопаток, а також високих вимог до шорсткості поверхні.

Традиційна технологія виготовлення – литво, а гідравлічні канали виконуються в піщаних стержнях.

Слід зазначити, що якість виливків в значній мірі залежить від стабільності технологічних процесів: якості піску, кріплення, смол, щільності набивання стержнів і форм, газотворення і газопроникненості стержнів, форм і міцності стержнів.

Таблиця 1.1

### Матеріали, що використовуються для виготовлення робочих органів ЕВН

№ п/п	Деталь або пара тертя	Матеріали		
		ЕВН	ЕВНЗ	ЕВНК
1	Робоче колесо	Чавун*	Пластмаса поліамідна	Чавун**
2	Направляючий апарат	Чавун*	Чавун	
3	Пара тертя в нижній п'яті	Текстоліт типу ПТК – чавун	Гума – сталь 40Х (HRC-48-56)	Текстоліт типу ПТК – чавун**
4	Пара тертя у верхній п'яті	Текстоліт типу ПТК – чавун		
5	Пара тертя: розточка НА-втулка	Чавун* – латунь	Чавун – пластмаса поліамідна	Чавун**

\* – сірий чавун, модифікований церієм і бором.

\*\* – корозійностійкий аустенітний чавун (модифікований нікелем і міддю).

У залежності від необхідної корозійної стійкості насосів для робочих органів використовуються різні чавуни: церієво-бористий чавун для насосів звичайного виконання й аустенітний корозійностійкий чавун з великим вмістом нікелю і міді для корозійностійких насосів [8].

Забезпечення вимог ТУ при використанні традиційної технології литва призводить до високої трудомісткості виготовлення виливків і значного відсотку браку.

Багато іноземних фірм відливають робочі органи з “нірезита” – чавуна, близького за складом до аустенітного корозійностійкого чавуна. Так, фірми “Centrilift Hughes” і “Oil Dynamics” мають більш якісне литво ( $R_z40$ ), фірма “TRW Reda Pumps” – менше якісне ( $R_z80$ ). Слід зазначити, що якість виливків фірми “TRW Reda Pumps” нижче, ніж у фірм “Centrilift Hughes” і “Oil Dynamics”, що, ймовірно, пов’язано зі значно більшим обсягом випуску насосів [10].

З огляду на складність, трудомісткість виготовлення виливків робочих органів, ведуться пошуки перспективних технологічних процесів їх виготовлення.

Одним з найбільш перспективних технологічних методів одержання робочих органів є їхнє лиття з пластичних матеріалів [11]. Сьогодні освоєно і впроваджено у виробництво деякі типорозміри робочих коліс з модифікованого радіоопроміненого поліаміду ПА610РМ, що має покращені експлуатаційні властивості в свердловинах з температурою пластової рідини до  $90^{\circ}\text{C}$ .

З метою пошуку більш дешевого вихідного матеріалу ведуться експериментальні перевірки працездатності робочих коліс з поліаміду з різними наповнювачами, а також роботи зі створенням направляючих апаратів, проточна частина яких виконана з пластмаси, а зовнішня обойма, що сприймає значні стискаючі навантаження і втулка, що виконує роль обойми підшипника, – з металу.

Якщо при складанні і експлуатації насоса з робочим колесом з поліаміду не виникає практично ніяких ускладнень, то використання направляючих апаратів з поліаміду викликає серйозні труднощі. Суттєві недоліки поліаміду (розм’якшення при нагріванні) не дозволяють напряму вирішити завдання використання поліамідних направляючих апаратів в насосі [12].

Одним із нових методів одержання деталей робочих органів насосів є метод холодного штампування [13]. Існує два напрямки: штампування робочих коліс, так званого, відкритого типу і штампування деталей робочих коліс та направляючих апаратів закритого типу з наступним зварюванням.

Робочі органи зі штампованими відкритими робочими колесами пройшли експериментальну перевірку в заглибних електронасосах на нафтопромислах і дали цілком задовільні результати в експлуатації [13].

Перевага цього методу – низька трудомісткість; недолік – низький коефіцієнт використання матеріалу через великі відходи при вирубці заготовок з листа. Окрім того, у зварно-штампованому ступені закритого типу складно забезпечити оптимальну в гідравлічному відношенні геометрію.

У стадії розробки знаходиться виготовлення направляючих апаратів методом порошкової металургії [14, 15]. Цей метод дозволяє одержувати деталі із шорсткістю проточних каналів 1,25, мінімальними припусками на механічну обробку з підвищеною зносостійкістю поверхонь тертя.

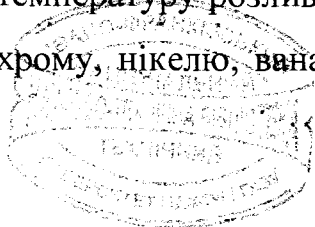
Порошкова технологія дозволяє отримувати вироби з високою чистотою і точною геометрією поверхонь. Робочі органи ЕВН, виготовлені за цією технологією і випробувані на стендах АТ “ОКБ БН-КОННАС” і АТ “Алнас”, показали високі гідродинамічні характеристики [16].

Незважаючи на перспективність розглянутих методів виготовлення робочих органів ЕВН, традиційно їх виготовляють серійно із спеціального модифікованого церієм і бором сірого чавуну, який має феритну основу і твердість 140-160 HRB.

Основною перевагою чавунів є високі ливарні властивості, стійкість та можливість отримання відливок у земляних формах.

Технологія виготовлення робочих органів СН включає в себе литво, механічну обробку торцевих і посадочних поверхонь та термічну (нормалізація-відпуск) обробку на твердість 140-160 HRB, що наперед визначає їх низьку зносостійкість, при цьому не виключається заключна операція шліфування посадочних поверхонь ( $R_z$  80) в робочому колесі і направляючому апараті. Робочі поверхні (каналів) робочих коліс механічно не обробляються і їх стан визначається чистотою, що одержується при литві.

При легованих чавунах вимоги до земляних форм через підвищену температуру розливи ще більш високі, а вміст в хімічному складі великої кількості хрому, нікелю, ванадію призводить до високої ціни виробу. Сірий модифікований



чавун для робочих органів ЕВН, який застосовується всіма заводами Росії та Татарії (Альметьєвський завод заглибних електронасосів, Московський компресорний завод “Борець”, Лебедянський машинобудівний завод) забезпечує низьку їх зносостійкість.

Радіальна та торцеві опори серійно виготовляються також з матеріалів низької зносостійкості, захисна втулка вала – з корозійностійкої латуні Л63, а шайби торцевих опор з текстоліту. Як бачимо, підбір матеріалів деталей ступеня не передбачає високу їх зносостійкість, тому питання підвищення довговічності елементів СН є важливими. Це тим більш справедливо, що міжремонтний період роботи ЕВН порівняно невисокий і за даними минулого міністерства нафтової промисловості (МНП) СРСР складав у 1992 р. в середньому-248 діб. На Україні в 1994 р. він складав 324 доби, в тому числі на нафтопромислах Чернігова –358 діб, Полтави – 150 діб, Долини – 150 діб, Борислава – 130 діб, а на нафтопромислах Азербайджану та Комі не більше 60 діб, на нафтопромислах Башнафти – 570 діб, Татнафти – 500 діб. При цьому, чим менший міжремонтний період роботи, тим більше число їх ремонтів [17].

За даними МНП щорічно в минулому СРСР проводилося біля 175 тис. ремонтів. Наприклад, аналіз аварійності установок ЕВН по АНК “Башнафта” за 1995-1997 р.р. показав, що 155 підйомів насосів з 269, тобто 57,6% відбулося з причини зносу робочих органів до непридатності. Сюди включались “польоти” з причин обриву кабелю. Відрив насосів по НКТ мав місце в 97 свердловинах, що склало 36%, а обриви по кріпленню мали місце в 105 свердловинах - 39% [18].

Якщо врахувати, що вартість заміни (підйом та спуск) ЕВН на новий, або ремонту в 1992р. склали 120 млн. крб. (1200 грн.), то стає очевидною актуальність досліджень з підвищення довговічності СН в різноманітних умовах експлуатації.

Вирішення цієї проблеми стратегічно полягає у використанні для виготовлення елементів СН (робочі органи, радіальна та торцеві опори) зносостійких матеріалів при допустимій вартості виробів з них.

Найбільш перспективним є комплексне вирішення проблеми з врахуванням всіх перерахованих вище шляхів. Виконаний аналіз свідчить, що сьогодні

найкращий результат може бути отримано при раціональному підборі матеріалу як самих робочих органів, так і пар тертя ступеня з врахуванням вдосконалення технологій їх одержання, а також вдосконалення конструкції СН.

Так, початі у 1991 році в Україні під керівництвом проф. Жидовцева М.О. дослідження з підвищення зносостійкості робочих органів ЕВН призвели до розробки сумісно з Саратовським інститутом механізації сільського господарства (керівник робіт – академік РАН, проф. Анікін А.А.) сірого чавуну модифікованого рідкоземельними металами (церієм або ітрієм) з перлітною основою (перліту 70-80%, фериту 20-30%), який: володіє добрими ливарними властивостями; добре піддається механічній обробці; сприятливий до термообробки; має вартість, близьку до вартості чавуну, що використовується сьогодні серійно для виготовлення робочих органів ЕВН. Останнє дозволяє розробити ступені із сірого чавуну без термічної обробки на мартенситну структуру. При цьому, в принципі, забезпечується хоча і низька рівнотійкість робочих органів захисної втулки валу, але також опорних шайб (верхньої і нижньої) торцевих пар тертя, котрі виготовляються також з матеріалу-текстоліту, який має низьку зносостійкість. Однак роботи в цьому напрямку так і не були завершені.

Таким чином, вирішення проблеми підвищення довговічності роботи робочих органів ЕВН – можливе шляхом підвищення їх зносостійкості. Пошук нових матеріалів для деталей, що інтенсивно зношуються, раціональне застосування існуючих матеріалів та конструктивне коригування робочих органів ЕВН дасть можливість забезпечити їх краще напрацювання. Вирішуючи питання підвищення зносостійкості робочих органів ЕВН паралельно потрібно вирішувати не менш важливе питання підвищення зносостійкості інших елементів ступеня, тобто захисних втулок валу і опорних шайб. При вирішенні вказаних питань бажано було б не змінювати суттєво технологію виготовлення СН та вартість її виготовлення, а, можливо, і суттєво знизити, особливо якщо мова йде про кратне підвищення довговічності СН, що дозволить значно скоротити не лише витрати на виготовлення ЕВН, але й на проведення спуско-підіймальних операцій по заміні ЕВН.

## 1.2. Умови виникнення й аналіз поступових відмов установок ЕВН

Дослідження на виявлення джерел і умов, що сприяють виникненню та розвитку дефектів установок ЕВН, найбільш повно представлені в [2]. Наведений нижче аналіз статистичних даних по відмовам установок ЕВН на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” за 2000-2001 роки, який базувався на матеріалах актів некатегорійних аварій, показав [3], що основною відмовою, яка відноситься до поступових відмов, є зношування робочих органів відцентрового насоса. Виходячи з цього, розглянемо умови виникнення поступових відмов ЕВН. У [19] відмічено, що серед причин, які обумовлюють можливість виникнення дефектів ЕВН і, зокрема, зносу його робочих органів, є експлуатаційні причини, у зв’язку з чим більш детально зупинимося на їх аналізі.

Однією з експлуатаційних причин, яка здійснює найбільший вплив на розвиток зношувальних процесів, є характеристика свердловинної рідини, в яку входять: в’язкість і густина рідини; обводненість; газовий вміст; наявність механічних домішок; наявність корозійно-активних елементів; температура рідини; відкладення парафіну і гідратних пробок.

Аномально низькі темпи відбору нафти підвищеної в’язкості можуть призвести до надмірного зносу елементів насоса [20], а також викликати перегрів заглибного електродвигуна (ЗЕД), обмотки якого при недостатньому охолодженні можуть перегоріти.

При відборі свердловинної рідини з механічними домішками, вміст яких здебільшого складає до 3 г/л [21], абразив, що вільно несеться, руйнує диски і лопатки робочого колеса й частини направляючого апарату, особливо в місцях зміни напрямку руху струменя рідини. В місцях тертя деталей, біля текстолітової опори, у ступиці колеса пісок, який попадає в зазор, також зношує ці деталі, причому ступиці стираються до вала. Довгий гнучкий вал при обертанні отримує декілька напівхвиль згину і на його поверхні місця їх згину чітко показують форму, яку він приймає при роботі насоса [22]. Дослідження характеру зносу втулок робочих коліс і отворів в направляючих апаратах показують, що зношування в цих місцях пов’язане з якістю



змащувальної рідини й наявністю механічних домішок [23]. Природа розглянутих вище видів зношування детально подана в [24, 25, 26, 27, 28].

При 1% вмісту піску використання установок ЕВН повністю виключається [29, 30, 31], так як виникають закупорки свердловинного обладнання бітумними частинками та механічними домішками. При вмісті механічних домішок більше 100 мг/л виникає закупорення прохідних січень і інтенсивний знос робочих органів насоса: робочих коліс направляючих апаратів, захисних втулок вала і т.д. [30]. Швидке зношування деталей призводить також до збільшення амплітуди вібрації і, як наслідок, відкручення або обриву болтів фланцевих з'єднань установки і падіння останньої на вибій свердловини, що досліджено в [2] і підтверджується також у [33].

Стосовно впливу корозійно-активних речовин на величину й швидкість зношування робочих органів ЕВН, автор не знайшла наукових публікацій результатів досліджень, за виключенням [34, 35].

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

Вплив відкладень парафіну на зношувальні процеси аналогічний впливу відкладень солей, тобто не сприяє більш інтенсивному зношуванню робочих органів ЕВН.

Пластові води володіють, як правило, низькою мастильною властивістю і значно гірше змащують поверхні тертя. Присутність абразивних частин в цих умовах призводить до різкого збільшення зносу робочих органів, а присутність у свердловинній рідині, яку видобувають, мінеральної води, котра є корозійно-активною рідиною, різко підвищує знос робочих органів ЕВН. Велика обводненість нафти призводить до зниження працездатності установок ЕВН: погіршується змащування; посилюється випадання в осад у застійних порожнинах насоса механічних домішок; погіршується робота гідрозахисту [20].

Аналіз динаміки відмов по НГВУ “Чернігівнафтогаз” ВАТ “Укрнафта” за 1993-1997 роки і 1-ше півріччя 1998 року [3] показує, що по насосу із семи видів відмов (поломка вала, промивки в ловильній головці, деформація пластмасових коліс; повний знос робочих коліс, провертання в шліцевій муфті; промив фланцевого з’єднання, зрив шпонки) найбільший відсоток припадає на таку відмову, як повний знос робочих коліс. Так, за роками вона складає:

У 1993 р. із 131 відмови – 103 (78,63%); у 1994 р. із 134 відмов – 125 (93,28%); у 1995 р. із 130 відмов – 122 (93,85%); у 1996 р. із 100 відмов – 91 (91%); у 1997 р. із 88 відмов – 80 (90,41%); у першому півріччі 1998 р. із 72-64 (88,9%).

Виходячи із характеристики свердловинної рідини, що видобувається на нафтопромислах Східної України і, як показують результати досліджень [2, 30, 14], Західного Сибіру, основною причиною вказаної вище відмови є значна кількість механічних домішок. В [2] показано, що найбільшому зносу схильний направляючий апарат(70-97%), незалежно від типу ЕВН. Далі йде робоче колесо. З 517 шт. ЕВН, що пройшли стенд розборки (від 50% до 80% робочих коліс вимагали заміни з причини зносу спіднички й руйнування шпоночного паза. Крім розглянутих елементів встановлено, що до значного зносу схильні опорні шайби робочих коліс – із збільшенням осьової сили знос останніх зростає, а також захисні втулки, що зношуються нерівномірно по довжині вала насоса так само, як і направляючий апарат.

Крім того, внаслідок зносу та інших процесів типу корозії, фреттинг - корозії і кавітації виникає зміна показників стану і параметрів вібрації, як установки ЕВН із колоною насосно-компресорних труб, так і її окремих вузлів і деталей. Вони можуть бути викликані вібраційними процесами, а також самі викликати або змінювати їх.

Подібні результати були отримані в процесі вивчення характеру зносу робочих органів УЕВН, які відпрацювали в 1998-1999 роках на родовищах ТПП “Урайнафтогаз” [35]. Проведений аналіз стану вузлів УЕВН показав, що знос їх робочих органів спостерігається в наступній пропорції: із-за зносу захисних втулок до 50%-20,6% відмов, знос захисних втулок до 100%-79,4% відмов, знос текстолітових шайб – 22% відмов (частково спостерігається разом із зносом втулок).

Крім того, спостерігається знос (іноді поломка) вала й зріз шпонки. В результаті подальшого зносу втулок і текстолітових шайб збільшується рівень вібрації і руйнуються робочі органи.

Таким чином, основними причинами поступових (зносівих) відмов установок ЕВН є знос робочих органів СН, що обумовлено як впливом свердловинних факторів, зносостійкістю матеріалів робочих органів, нераціональним підбором пар тертя, так і конструкцією самої ступені насоса.

### 1.3. Визначення довговічності установок ЕВН, що експлуатуються на нафтових родовищах Східної України

Як основні показники довговічності використовують середній ресурс і середній термін служби [1, 36].

Середній ресурс – математичне очікування ресурсу з врахуванням відновлення. Для установок ЕВН перехід до граничного стану визначається наступленням моменту, коли їх подальша експлуатація і використання неможливі, або недоцільні за наступної причини – неможливості підтримання безпеки, безвідмовності, або ефективності і застосування їх на допустимому рівні.

Статистично

$$T_{pec}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi}, \text{ [діб]}, \quad (1.1)$$

де  $N$  – число установок ЕВН;  $t_{pi}$  – ресурс  $i$ -тої установки ЕВН.

Середній термін служби – математичне очікування терміну служби (календарної тривалості експлуатації) установки від початку до настання граничного стану з врахуванням відновлення.

Статистично його можна визначити як:

$$T_{cl}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{cli}, \text{ [років]},$$

де  $t_{cli}$  – термін служби  $i$ -тої установки ЕВН.

Одним з показників надійності, який характеризує ефективність експлуатації установок ЕВН, тобто її ресурс, є час напрацювання до відмови. З метою визначення показника довговічності установок ЕВН були зібрані і проаналізовані дані про їх відмови протягом 2000-2001 років по Богданівському, Гнідинцівському, Лесяківському та Талалаївському родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз”. До розгляду було прийнято 328 установок. При цьому бралися до уваги лишень відмови, пов’язані із зносом робочих органів насоса, оскільки, як вже було відмічено вище, знос робочих органів насоса є причиною відмови установки ЕВН більш, ніж у 50% випадках. Для прикладу в табл.1.2 наведені дані про напрацювання установок ЕВН до відмови (повного зносу робочих органів) по родовищу “Богдани”. Дані по інших родовищах наведені в додатках А.1-А.3.

Таблиця 1.2

**Дані про напрацювання установок ЕВН до повного зносу робочих органів по родовищу “Богдани”**

№ п/п	№ свердловини	Напрацювання (ресурс), діб	Тип установки	Тип ЗЕД
1	82 Богдани	4	5-80-1200	45-103
2	84 Богдани	5	5-50-1400	32-103
3	51 Богдани	6	5-50-1200	32-103
4	84 Богдани	27	5-50-1400	32-103
5	84 Богдани	27	5-125-750	32-103
6	82 Богдани	29	5-80-1200	45-103
7	10 Богдани	38	5-80-1200	32-103
8	61 Богдани	48	5-50-1800	32-103
9	82 Богдани	74	5-80-1200	45-103
10	82 Богдани	76	5-80-1200	45-103
11	10 Богдани	98	5-80-1200	32-117
12	58 Богдани	122	5-80-1800	45-103
13	69 Богдани	128	5-80-1200	32-103
14	86 Богдани	152	5-200-800	45-103
15	86 Богдани	191	5-200-800	45-103
16	10 Богдани	195	5-80-1200	45-103
17	76 Богдани	195	5-50-1800	45-103
18	82 Богдани	240	5-80-1200	32-103
19	78 Богдани	490	5-125-1200	32-103
20	69 Богдани	495	5-80-1200	32-103

Зібрані дані про напрацювання установок ЕВН були згруповані за родовищами та за типорозмірами. По кожному із родовищ були побудовані гістограми розподілу кількості відмов від часу напрацювання (рис.1.2, рис.1.3) [3].

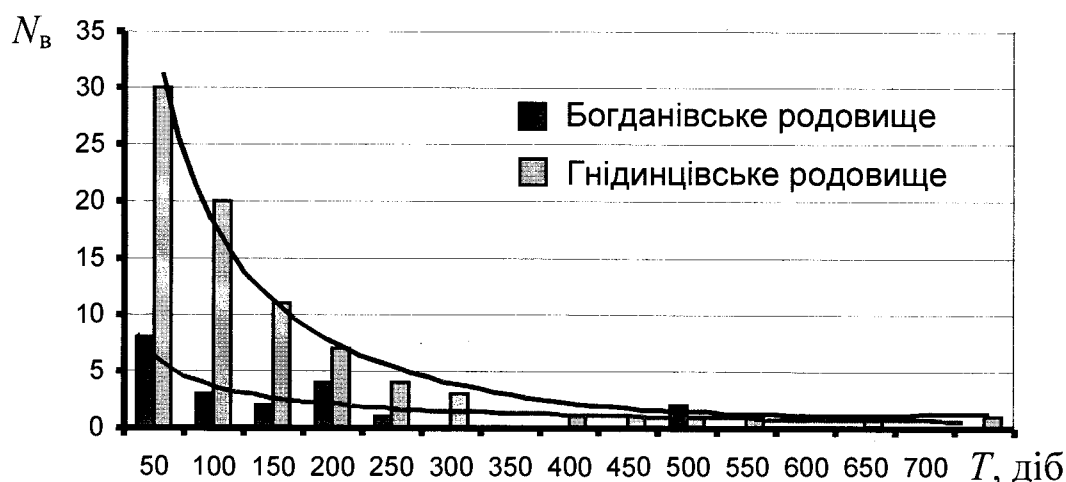


Рис. 1.2. Гістограми розподілу кількості відмов  $N_B$  установок ЕВН на Богданівському та Гнідинцівському родовищах від часу напрацювання  $T$

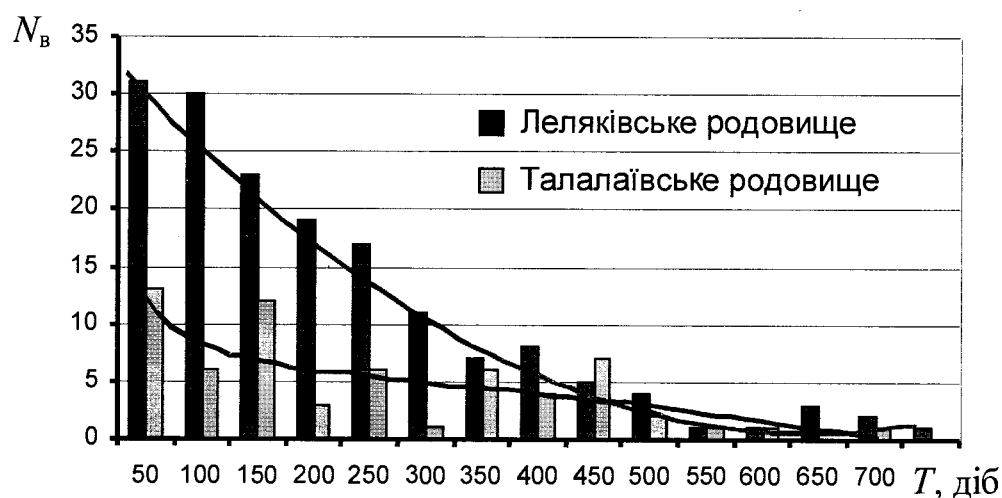


Рис. 1.3. Гістограма розподілу кількості відмов  $N_B$  установок ЕВН на Леляківському та Талалаївському родовищах від часу напрацювання  $T$

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

Так, по Богданівському родовищу

$$N_B^B(t) = -0.789 + \frac{437.228}{t} + 2.565 \cdot 10^{-6} t^2. \quad (1.2)$$

По Гнідинцівському родовищу

$$N_g^T(t) = -2.25 + \frac{1.733}{t} - 4.027 \cdot 10^{-7} t^2. \quad (1.3)$$

По Лесяківському родовищу

$$N_g^T(t) = 38.095 - 0.112t + 8.546 \cdot 10^{-5} t^2. \quad (1.4)$$

По Талалаївському родовищу

$$N_g^T(t) = 3.543 + \frac{454.771}{t} + 3.289 \cdot 10^{-3} t - 4.027 \cdot 10^{-7} t^2. \quad (1.5)$$

Як видно з рис.1.2-1.3 по всіх родовищах найбільша кількість відмов припадає на перші 50 діб експлуатації установок, в той час як подальший характер зміни кількості відмов установок ЕВН від часу напрацювання для кожного з розглянутих родовищ є дещо різним.

Так, на Гнідинцівському родовищі (рис.1.2) більшість відмов (більше 65%) відбувається протягом перших 50-100 діб роботи установки, значно менше число установок працює до 150 діб і лишень невелика їх кількість має напрацювання, що перевищує 300 діб.

На Богданівському родовищі (рис.1.2) майже 5-% всіх установок має напрацювання, що не перевищує 50 діб. Інші 50% установок мають напрацювання в межах до 200 діб і лишень незначна кількість установок працює більше 500 діб.

На Лесяківському родовищі (рис.1.3) зменшення кількості відмов з ростом напрацювання є значно повільнішим. Основна кількість відмов установок ЕВН зосереджена в часовому інтервалі до 400 діб.

На Талалаївському родовищі (рис.1.3) відмови установок ЕВН більш рівномірніше розподілені в інтервалі напрацювання до 500 діб.

Значну кількість відмов у початковий період експлуатації – до 50 діб можна пояснити наступним: припрацюванням робочих органів ЕВН, важкими умовами роботи УЕВН – велика обводненість продукції свердловин та наявність значної кількості механічних домішок і, можливо, незадовільною якістю ремонту установок ЕВН.

Аналіз відмов за типами установок ЕВН (рис.1.4-1.6) показав, що чим менший типорозмір установки, тим більше відбувається відмов в початковий період експлуатації. Так, для установок ЕВН5-50 (рис.1.4, 1.6) протягом перших 100 діб відмовило майже 50%, причому найбільше відмов зафіксовано протягом перших 50 діб, зокрема це найяскравіше проявляється в установках з напором до 1200 м. При збільшенні величини напору установки відсоток їх відмов у початковий період експлуатації зменшується (рис.1.5), в той час, як для високодебітних установок ЕВН5-200 (рис.1.6) значна кількість відмов більш рівномірно розподілена в діапазоні до 300 діб і пік кількості відмов переміщується в район до 100 діб.

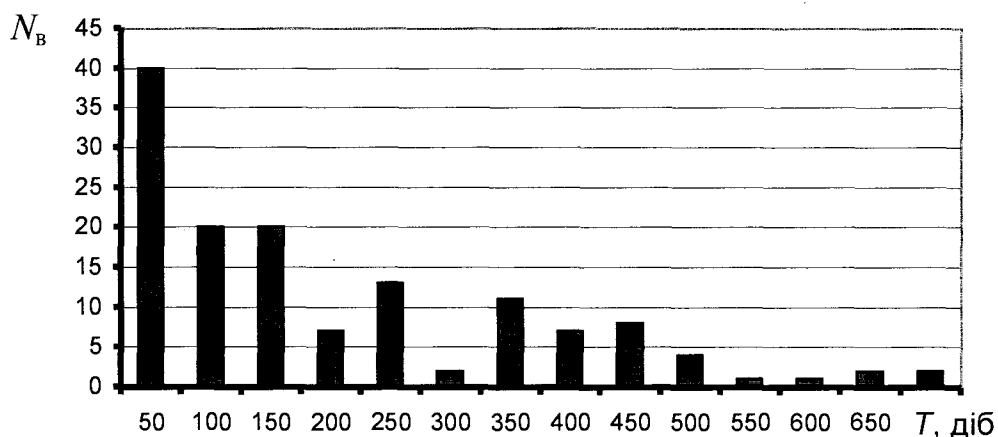


Рис. 1.4. Гістограма розподілу кількості відмов  $N_v$  установок типу ЕВН5-50 від часу напрацювання  $T$

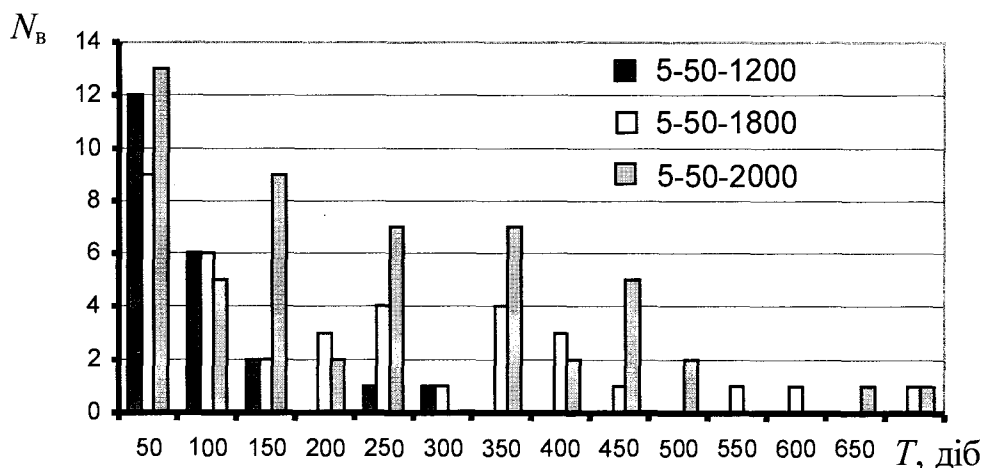


Рис. 1.5. Порівняльні гістограми розподілу кількості відмов  $N_v$  різних типорозмірів установок ЕВН5-50 від часу напрацювання  $T$

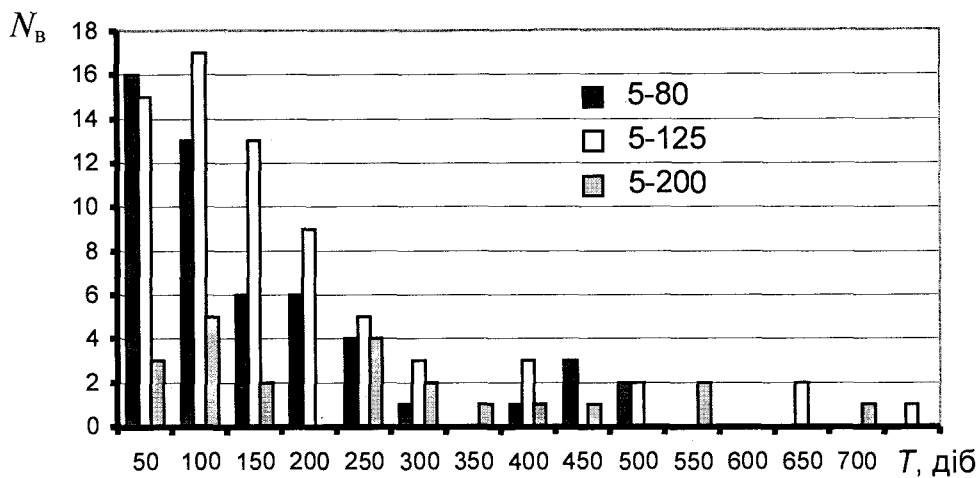


Рис. 1.6. Гістограми розподілу кількості відмов  $N_B$  установок ЕВН5-80, ЕВН5-125 та ЕВН5-200 від часу напрацювання  $T$

Для установок ЕВН5-80 (рис.1.6) характер зміни кількості відмов від напрацювання є близьким до установок ЕВН5-50, що пояснюється майже однаковими розмірами робочих органів в установках обох типів. Стосовно установок ЕВН5-125 (рис.1.6), то вигляд розподілу відмов наближається до розподілу відмов установок ЕВН5-200.

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

Результати визначення показника довговічності установок ЕВН, які експлуатуються в НГВУ “Чернігівнафтогаз” за формулою (1.1) наведені в табл.1.3. До розгляду приймалися установки ЕВН з напрацювання до відмови більше 20 діб.

В середньому по НГВУ середній ресурс складає 198.1 діб. В розрізі родовищ середній ресурс змінюється від 167,4 доби на Богданівському родовищі (обводненість 66,4 %, мех. домішки 110 г/м<sup>3</sup>) до 220 діб на Талалаївському родовищі. Слід відмітити, що по Богданівському родовищі вибірка установок ЕВН,



які аналізувалися, становила тільки 17 установок, в той час як по інших родовищах, вибірки є набагато більшими. Значення середнього ресурсу залежить також від типорозміру установки (рис.1.7). Із збільшенням типорозміру збільшується величина середнього ресурсу. Середній ресурс для ЕВН-5-500 складає лише 159.1 доби тому, що по двох родовищах (Богдани, Гнідинці) статистичних даних по відмовам цих установок не було. Установки ЕВН-80 мають найменший ресурс на родовищі Гнідинці, що характеризується високим значенням обводненості продукції свердловин.

Таблиця 1.3

**Середній ресурс роботи установок ЕВН по родовищах і по НГВУ  
“Чернігівнафтогаз” в цілому**

Тип установки	Середній ресурс, (діб) по НГВУ “Чернігівнафтогаз”	Середній ресурс, (діб) по родовищах			
		Богдани	Гнідинці	Талалаївка	Леяки
ЕВН-5-50	183.7	90	157,9	277,6	209,4
ЕВН-5-80	147.4	149,5	78,9	213,25	148
ЕВН-5-125	240.2	258,5	263,1	–	199
ЕВН-5-200	210.8	171,5	178,85	282	–
ЕВН-5А-250	247.5	–	156,6	302	283,9
ЕВН-5А-500	159.1	–	–	74,67	243,5
Середній	198.1	167.4	167.1	230	216.8
Обводненість, %		66,4	90,7	31,2	70,6
Мех. домішки, г/м <sup>3</sup>		110	143,7	200	114,5
Глибина підвісу, м		1300	830	1990	1450

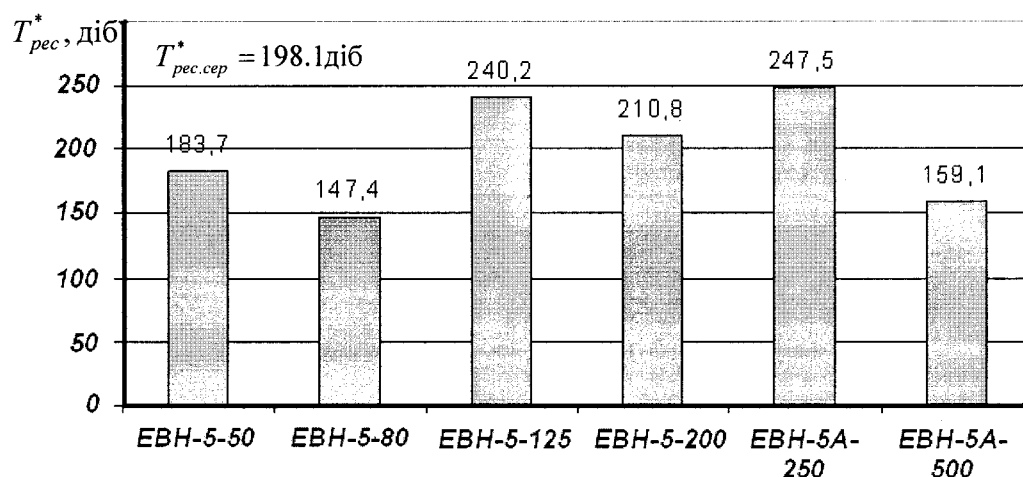


Рис. 1.7. Гістограми розподілу середнього ресурсу роботи установок ЕВН по НГВУ “Чернігівнафтогаз” від їх типорозмірів

Найбільш поширеними є установки ЕВН малих типорозмірів. Установки з подачею більше  $200 \text{ м}^3$  за добу становлять лише 10% загального парку установок. Більш ніж в половині випадків експлуатуються установки типу ЕВН5-50, для яких можна виділити тенденцію зростання середнього ресурсу при зниженні обводненості піднімаючої рідини, яка добувається (рис.1.8), що також підтверджується і для установок іншого типорозміру. Виділити характер залежності показника довговічності від вмісту механічних домішок, дещо складніше, оскільки в даному випадку накладається вплив декількох факторів (обводненість + вміст мех. домішок). Причому вплив обводненості на середній ресурс установки є домінуючим.

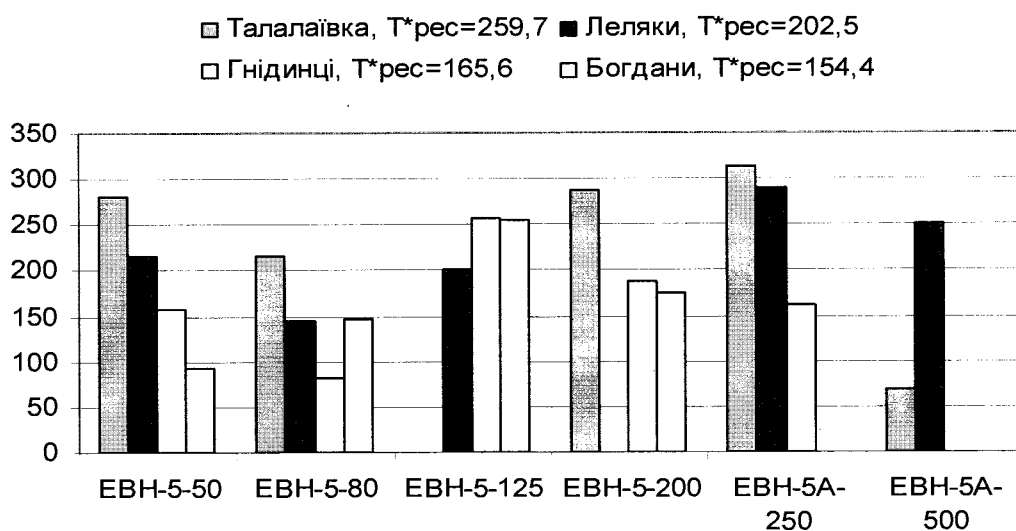


Рис. 1.8. Гістограми розподілу середнього ресурсу роботи установок ЕВН по нафтових родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз”

На основі проведеного вище аналізу можна зробити наступні висновки:

– до найбільшого зносу схильні малодобітні установки ЕВН, через малі діаметральні розміри робочих органів та низькі гідродинамічні характеристики ступеня насоса, що обумовлено способом їх виготовлення (значна шорсткість поверхні робочих коліс і направляючих апаратів та дефекти профілю їх лопаток);

– найбільша кількість відмов установок ЕВН по всіх родовищах припадає на перші 50 діб їх експлуатації, хоча подальший характер зміни відмов ЕВН для кожного з родовищ є різним;

– показник довговічності – середній ресурс роботи ЕВН по НГВУ “Чернігівнафтогаз” складає 198.1 діб, хоча його значення по нафтових родовищах змінюється від 167,4 діб для Богданівського родовища до 230 діб для Талалаївського родовища незалежно від типорозміру установки ЕВН;

– найменший середній ресурс мають установки ЕВН-5-80 по відношенню до всіх інших типорозмірів установок, зокрема по Гнідинцівському родовищі, що можна пояснити високим значенням обводненості продукції свердловин (90,7%) та значним вмістом механічних домішок –  $143,7\text{г/м}^3$ .

#### **1.4. Аналіз методів підвищення надійності і довговічності робочих органів ЕВН**

Сьогодні відома значна кількість технологічних методів підвищення надійності і довговічності деталей машин, заснованих на механічному, фізичному і хімічному впливі на поверхневий шар, що призводить до його зміцнення.

Методи зміцнення поверхонь деталей машин можна розділити на дві групи [37]:

1. Методи створення первинних структур із властивостями, що забезпечують можливість оптимальної перебудови і додаткового зміцнення у визначених умовах експлуатації (механічний і фазовий наклеп, деякі види хіміко-термічної обробки: цементація, азотування, цинкування та інші гальванічні покриття).

2. Методи, що дозволяють одержати первинні структури з максимальною стійкістю до механічних і хімічних впливів (нанесення на поверхню твердих сплавів, окремі види хіміко-термічної обробки: борування, насичення хромом, титаном, ванадієм, карбідами й ін.).

З метою підвищення надійності та довговічності робочих органів ЕВН проаналізуємо відомі методи з точки зору можливості їх застосування до робочих органів ЕВН. Виходячи з конструктивних особливостей та умов експлуатації ступені ЕВН, до розгляду приймаємо наступні (табл. 1.4).

*Метод газотермічного напилення* – полягає в нанесенні на поверхню деталі різних зносостійких покриттів. Покриття наносяться різними способами

(електродуговим, електролітичним, хімічним, вакуумним, плазмовим, лазерним, детонаційним та іншими). Найбільш розповсюдженим та найбільш технологічним серед газотермічних методів є метод нанесення покриттів плазмово-дуговим напиленням.

Таблиця 1.4

### Методи підвищення надійності та довговічності робочих органів ЕВН

№ п/п	Назва методу	Недоліки
1	Газотермічне напилення	Зміцнюються лише посадочні місця мехобробки
2	Лазерне зміцнення	Складність доступу до поверхонь обробки, висока вартість обладнання.
3	Застосування нових матеріалів	Висока вартість виготовлення, трудоемкість мехобробки
4	Термодифузійні методи	Низька продуктивність, час циклу – 5-7 годин.
5	Нанесення полімерних покриттів	Низька зносостійкість.
6	Оплавлення робочих поверхонь	Складність при обробці внутрішніх поверхонь і у витримці температурного режиму.

Це найбільш універсальний і ефективний метод нанесення захисних покриттів. За його допомогою з відповідним підбором порошкових чи дротових матеріалів можна створювати покриття з заданими експлуатаційними властивостями: зносостійкі, антикорозійні, термостійкі, електроізоляційні і т.п.; можна напилювати різні металеві і керамічні матеріали, у тому числі тугоплавкі метали і з'єднання-вольфрам, титан, цирконій, карбіди, бориди, нітриди, окисли і т.п., а також композиційні металеві і металополімерні матеріали та багатошарові покриття [38].

Перевагами плазмового напилювання є висока однорідність, міцність зчеплення з основою і висока продуктивність, що досягається за рахунок високої швидкості частинок, а також відсутність перемішування матеріалів покриття основи. При цьому створюються умови надшвидкого охолодження розплавлених частинок матеріалу покриття, при яких забезпечується їх висока аморфність та висока продуктивність напилення [38, 39, 40, 41]. Металеві сплави в аморфному стані поєднують високу пластичність з достатньою міцністю при згині та стиску,

відрізняються високими значеннями в'язкості руйнування, опору ерозії і утворенню тріщин [42], мають порівняно високу зносостійкість. Цей метод часто дає прекрасні результати, які дозволяють кратно підвищити зносостійкість, але метод має і слабкі сторони. Так, більшість видів покриттів понижують опір втомі. Основна причина цього – розтягуючі залишкові напруження [43, 44]. На такі напруження впливають нерівномірність теплового потоку і розподілу матеріалу в газопорошковому струмені, нерівномірний нагрів деталі, конструктивні параметри деталі, нанесення покриттів по шарах [45]. При однаковій дії корозійного середовища і зовнішнього навантаження напруження стиску підвищують стійкість деталей, а розтягуючі можуть призвести до корозійного розтріскування [43, 44]. При масовому виробництві різко зростає об'єм механічної обробки деталей після нанесення покриття. Крім цього, зносостійкі покриття можуть бути нанесені лише на відкриті ділянки деталі (в нашому випадку це посадочні місця пар тертя), залишаючи не зміцненими внутрішні порожнини деталей.

*Газоплазмове напилення.* Цей метод як найбільш простий і доступний одержує сьогодні все більше розповсюдження для захисту металів від зносу, ерозії, корозії, підвищення термостійкості і відновлення зношених деталей до початкових розмірів. Для розігріву матеріалу, який напилюють, при газоплазмовому напилюванні використовується тепло, що виділяється при згоранні різних пальних газів у суміші з технічним киснем і киснем стиснутого повітря. Найбільшою теплотворною здатністю володіє суміш кисню й ацетилену в співвідношенні 1:1.

Пальний газ і окислювач (кисень), згораючи в газополум'яному пальнику, генерують високотемпературний газовий потік, що витікає зі швидкістю 50...70 м/с. Продукти згорання розплавляють максимально порошковий (дротовий) матеріал, що подається, який видувається потоком стиснутого повітря, розташованого навколо газоплазмового струменя. На відміну від плазмового струменя теплова потужність і швидкість витікання газоплазмового значно менша, тому ефективно можна напилювати матеріали, що мають невисоку температуру плавлення (1373...1423° К).

Слід зазначити, що застосування додаткового обтиснення газоплазмового струменя дозволяє напилювати матеріали, що мають більш високу температуру плавлення (різні керамічні матеріали).

*Лазерне поверхнєве гартування* [46-54]. Метод базується на створенні окремих ділянок підвищеної твердості (зносостійкості) на поверхні деталі за рахунок утворення аморфної структури внаслідок дуже швидкого розігріву та охолодження металу на визначених ділянках. Це дає можливість фіксувати крайній незрівноважений стан матеріалу, при якому не встигають пройти фазові та структурні перетворення. Мікротвердість у зоні обробки підвищується з 650-800<sup>0</sup>С до 850-1000<sup>0</sup>С. Структура матеріалу, що утворився за таких умов, має підвищену дисперсність, розвинену дислокаційну структуру, яка пояснюється впливом хвиль теплових напружень, що розвиваються при таких температурних циклах [55, 56]. Рекомендації щодо вибору параметрів та режимів лазерного нагріву для отримання загартованих деталей розроблені в [57, 58]. Однак в результаті зміцнення згідно цих рекомендацій отримували неоднорідний розподіл мікротвердості по товщині зони лазерного гартування для сталей з різним вмістом вуглецю. В роботах [33, 45, 46, 47] показано, що лазерне зміцнення може бути рекомендованим для ефективного зміцнення деталей, що експлуатуються у важких умовах і дозволяє значно підвищити зносостійкість деталей машин. Стосовно робочих органів ЕВН, то на Бугульминському заводі проводились роботи по зміцненню посадочних місць направляючого апарату за допомогою лазерів. Однак спосіб не одержав промислового застосування із-за складності та високої вартості технології лазерного гартування при масовому виробництві деталей.

*Термодифузійні методи* зміцнення зводяться до насичення поверхні деталі зносостійкими матеріалами (карбіди і нітриди бора і т.п.). Процес насичення проходить у вакуумних печах при високій температурі. Метод не знайшов широкого застосування через високу вартість обладнання та низьку його продуктивність, так як час циклу обробки партії деталей 300 шт. складає 5-7 год.

*Застосування нових матеріалів із підвищеними зношувальними і корозійностійкими характеристиками* (епоксидні смоли, поліаміди, високоміцні

чавуни і сталі, кераміка і т.п.). Однак усі ці матеріали так і не знайшли широкого застосування стосовно робочих органів ЕВН за тих чи інших причин. Так, деталі з поліаміду мають температурні обмеження та схильність до набухання в нафтових середовищах. Деталі з високоміцного чавуну і сталей вимагають значної кількості твердосплавного ріжучого інструменту і спеціальних технологічних режимів при механічній обробці. Деталі з кераміки дають добрі експлуатаційні якості, але вартість їх виготовлення в 30-40 разів вища, ніж із чавуну і т.п.

Починаючи з 1995 р., роботи по створенню робочих органів ЕВН з порошкових матеріалів на основі заліза та міді проводяться НВО “Новомет” у м. Пермі [16]. Ця технологія дозволяє отримувати вироби з високою чистотою й характеристиками, що перевершують аналогічні для робочих органів ЕВН із чавуну.

Особливістю використання порошкових технологій є можливість створення робочих органів з високими корозійними властивостями, стійкими до абразиву, налипань продукції свердловин і т.п. за рахунок складу компонентів.

В останні роки в експериментальному плані знаходять застосування робочі органи ЕВН, виготовленні із спеціального зносостійкого чавуну 4Н16Д7ГХШ (нирезист) [16, 35]. Зносостійкий чавун –нирезист, а також відмічена вище технологія виготовлення методом порошкової металургії забезпечують підвищення зносостійкості робочих органів ЕВН більш ніж в 2-3 рази, але при цьому в не меншій степені зростає їх вартість та вимагається перебудова виробництва, а для порошкової металургії потрібна велика витрата дефіцитних матеріалів (нікель, хром та ін.). Не заперечуючи перспективність цих технологій та напрямків, сьогодні їх масове впровадження малоімовірно як з організаційних, так і, насамперед, з фінансових причин.

Заслугує уваги використання для робочих органів ЕВН поліамідних матеріалів [59, 60, 61]. Тут приваблює дешевизна матеріалу, технологічність і простота виготовлення шляхом литва. Окрім того, забезпечується висока чистота поверхні литих каналів. Гідродинамічні характеристики таких робочих органів, так само, як у випадку застосування робочих органів, виготовлених за технологією

порошкової металургії на 10-20 % перевищують аналогічні характеристики серійних органів, виготовлених з чавуну, шляхом литва.

З цих причин знайшло застосування в ряді конструкцій установок (ЕВН5-125, ЕВН-200) робочих коліс з поліаміду марки 610 СМ (з радіаційним опроміненням), а також їх використання в комплекті з чавунними направляючими апаратами в ряді нафтовидобувних регіонів (Азербайджан, Україна, Західний Сибір та ін.). Як правило, робочі колеса виготовляються заодно із захисною втулкою вала в процесі відливки робочого колеса. При цьому відмічаються по більшості регіонів відпрацювання дещо зниженої стійкості поліамідної захисної втулки вала проти серійної латунної (Л63). Цей недолік в деякій мірі компенсується, насамперед, виготовленням поліамідної втулки вала одразу в ремонтному розмірі (для ЕВН5-50, 80, 125, 200)  $d_3=21,6$  мм замість мінімального розміру  $d_3=21,0$  мм, а також підвищеною заміною поліамідних робочих коліс при кожному ремонті насоса (переборці).

Спроби використання поліаміду і для виготовлення направляючих апаратів не знайшли практичного використання. Пояснюється це насамперед недостатньою жорсткістю корпусу направляючого апарату, результатом чого при стиску ступеней (пакету ступеней) при зборці насоса є наповзання корпусів один на одного, що призводить до збільшення діаметра й створення ступінчатого пакета ступеней, який контактує з корпусом насоса [12]. При обертанні вала насоса в місцях контакту ступеней з корпусом різко зростає коефіцієнт тертя, виникає нагрів і плавлення пластмаси. Аналогічні процеси виникають також у місцях контакту поліамідної втулки вала з корпусом (виступом) поліамідного колеса. В цьому випадку спостерігається зчеплення поліамідних деталей між собою та вихід їх із ладу, а заодно і насоса.

Останнє вказує на те, що при використанні поліамідних робочих органів ЕВН необхідно не допускати у вузлах пар тертя поліаміду по поліаміду

Підсумовуючи викладене вище, відмітимо, що сьогодні жоден із розглянутих методів зміцнення не знайшов широкого застосування при виготовленні деталей ЕВН, тому і їх довговічність знаходиться на низькому рівні. Більше того,



довговічність елементів ступеня ЕВН нерівноцінна і визначається стійкістю матеріалу (чавуну), із якого виготовляються робочі органи насоса.

Враховуючи низьку стійкість основних елементів ступеня робочого колеса і направляючого апарата, які виготовляються серійно із сірого чавуну твердістю 140-160 HRC, відповідною деталлю радіальної пари тертя служить латунна втулка, котра також має низьку зносостійкість. Тільки низькою стійкістю робочих органів можна пояснити наскільки невдалим є підбір пар тертя в ступені ЕВН, оскільки велика стійкість їх і не вимагається, раз основні деталі - робочі органи мають низьку стійкість. Тому, для вирішення проблеми підвищення довговічності ступеней ЕВН необхідно, перш за все, підвищити зносостійкість їх робочих органів.

### **1.5. Постановка завдання досліджень**

Приведений аналіз особливостей конструкції ступеня ЕВН, його роботи та технології виготовлення показав, що робочі органи установок ЕВН виготовляють, в основному, з сірого чавуну, завдяки чому вони мають низьку зносостійкість, хоча собівартість їх і є незначною. Перевагою чавунів є їх високі ливарні властивості та можливість відливок у земляних формах. У той же час, при малих діаметральних габаритах деталей робочих органів ЕВН з вузькими гідравлічними каналами і тонких профілях лопаток, при заливці в земляну форму виникає часткове розмивання профілей лопаток струменем металу, в результаті чого знижуються гідродинамічні характеристики ступеней. Останнє обумовлено тим, що робочі поверхні (каналів) робочих коліс механічно не обробляються, тому їх стан визначається чистотою, що одержується при литві. Проведені дослідження показали, що в залежності від ступеня їх шорстковатості ККД установок знижується в межах від 0,5 до 5 %. Відмічено, що вирішуючи питання підвищення зносостійкості робочих коліс, паралельно потрібно вирішувати питання підвищення зносостійкості інших елементів ступеня. При цьому бажано суттєво не змінювати технологію та вартість виготовлення ступеня.

Аналіз умов виникнення і поступових відмов установок ЕВН показав, що до найбільшого зносу схильні малодобітні установки ЕВН через малі діаметральні

розміри робочих органів (до 50 % всіх установок). Серед робочих органів насоса значний знос спостерігається у робочих коліс, направляючих апаратів, захисних втулок вала та нижньої і верхньої опорних шайб. Останній обумовлений як їх низькою зносостійкістю, так і недосконалістю конструкції і технології виготовлення (значна шорсткість поверхні робочих коліс і направляючих апаратів та дефекти профілю їх лопаток), а також свердловинними і експлуатаційними факторами.

Не вивченими залишаються також питання впливу зміни розмірів робочих органів ЕВН на ефективність їх роботи.

Результати статистичної обробки даних з відмов установок ЕВН по НГВУ “Чернігівнафтогаз” (всього було проаналізовано відмови по 328 установках) дозволили встановити закономірності їх напрацювання до відмови по нафтових родовищах у вигляді емпіричних залежностей та розрахувати показник довговічності – середній ресурс. Встановлено, що в цілому по НГВУ “Чернігівнафтогаз” середній ресурс складає 198.1 діб і змінюється по родовищах від 17 діб до 230 діб, незалежно від типорозмірів ЕВН. Найменший розмір мають установки ЕВН-5-80 по відношенню до всіх інших типів – 167 діб, особливо при їх експлуатації на Гнідинцівському родовищі – 79 діб, що можна пояснити значним зносом робочих органів ЕВН, обумовленим як великою обводненістю продукції свердловин родовища – 90,7 %, так і значним вмістом механічних домішок – 43,7 г/м<sup>3</sup>.

Огляд сучасного стану методів зміцнення деталей стосовно підвищення довговічності робочих органів ЕВН показав, що жоден з відомих методів не може бути використаний для вирішення поставленої задачі. В той же час відмічено, що використання для виготовлення робочих органів ЕВН нових матеріалів з підвищеними зношувальними характеристиками, зокрема сірого чавуну перлітного класу, модифікованого рідкоземельними матеріалами (ітрій, церій) та поліаміду дозволить вирішити проблему підвищення довговічності ступеней ЕВН.

Враховуючи викладене, для вирішення проблеми підвищення довговічності робочих органів установок ЕВН необхідно:

1. Розробити стендове та методичне забезпечення експериментальних досліджень по підвищенню довговічності робочих органів ЕВН.
2. Дослідити вплив конструктивних і технологічних факторів на довговічність робочих органів ЕВН.
3. Розробити трьохвимірну модель робочого колеса ЕВН і промоделювати вплив величини його зносу і діючих осьових навантажень на зміну НДС робочого колеса та технічні характеристики УЕВН
4. Дослідити закономірності зміни розмірів робочих органів з модифікованого чавуну при різних методах їх термічної обробки.
5. Провести наукове обґрунтування і розробити конструкцію робочих органів ЕВН підвищеної довговічності та технологію їх виготовлення
6. Провести порівняльні промислові випробування ЕВН з секціями, зібраними із серійних робочих органів та експериментальних робочих органів підвищеної довговічності.

## РОЗДІЛ 2

### СТЕНДОВЕ ТА МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПІДВИЩЕННЮ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН

Оперативність і вірогідність результатів експериментальних досліджень обумовлюється, в першу чергу, їх стендовою базою та методичним забезпеченням. У зв'язку з цим, в розділі розглядається стенд для натурних випробувань робочих органів ЕВН на зносостійкість, а також методи: проведення досліджень з оцінки зносостійкості чавуну; визначення об'ємного приросту виливків з чавуну модифікованого церієм та визначення величини від'ємних припусків для термообробки виливків з сірого чавуну.

#### **2.1. Розробка стендової установки для випробувань ступеня насоса на зносостійкість**

Вирішення поставлених в роботі завдань обумовлює необхідність проведення цілеспрямованих зношувальних досліджень, які вимагають використання відповідного стендового обладнання. Конструктивні особливості робочого ступеня ЕВН і умови його експлуатації призводять до того, що канали робочих органів ступеня ЕВН зазнають гідроабразивного зносу, а пари тертя радіальної та торцьової опор зазнають, насамперед, абразивного зносу. В розділі 1.2 було відмічено, що виділити будь-який окремий вид зносу робочих органів ЕВН неможливо. Проте основною і найбільш поширеною причиною втрати їх працездатності є збільшення зазорів та руйнування поверхонь, що труться одна об одну. Це руйнування викликає абразивне зношування деталей, яке можна віднести до абразивного зношування по не закріпленому абразиву [24, 26], про що свідчить наявність напрямлених рисок, тобто направлене ковзання абразивних частинок. При цьому ускладнюються умови роботи пар ковзання тим, що абразивні частинки, які потрапили в зазори між поверхнями деталей, що труться, руйнуються, дробляться і за рахунок неперервного потоку промивної рідини продукти руйнування деталей і окремих абразивних частинок вимиваються, а на їх місце попадає свіжий абразив. При цьому попередньо

зруйнований метал обумовлює збільшення зазорів, що призводить до збільшення як розмірів, так і кількості наступних абразивних частинок, які попадають між поверхнями деталей, що труться. Таким чином, інтенсивність зношування зростає. У зв'язку з цим застосування традиційних випробувань матеріалів на машинах тертя по абразивному зношуванню, або лише гідроабразивному зношуванню [62-66] не дасть об'єктивної оцінки про зносостійкість матеріалів, що використовуються в ступені ЕВН, оскільки існують різноманітні схеми лабораторних установок на зношування (рис.2.1-2.6). Останнє обумовило необхідність розробки лабораторної установки, яка б моделювала, або забезпечувала реальні види зношування елементів ступеня.

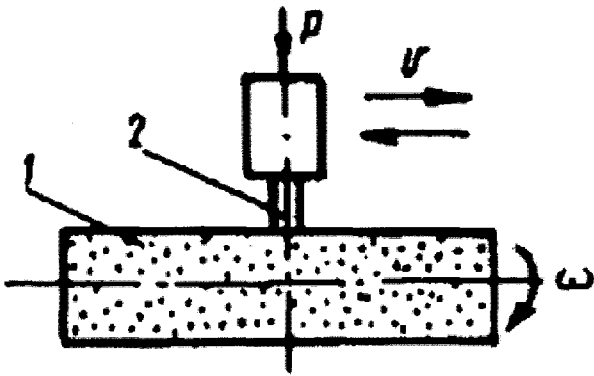


Рис. 2.1. Схема установки по дослідженню на зносостійкість при терті ковзання по абразивному моноліті [67]

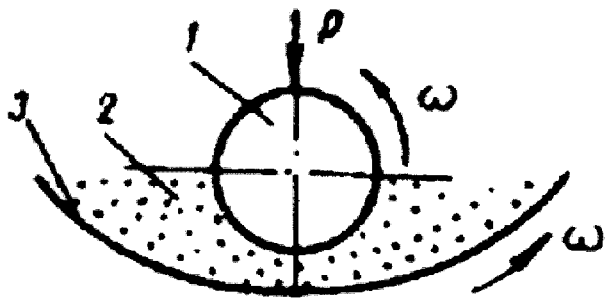


Рис. 2.2. Схема установки по дослідженню на зносостійкість при терті кочення по сипучому абразиву [68]

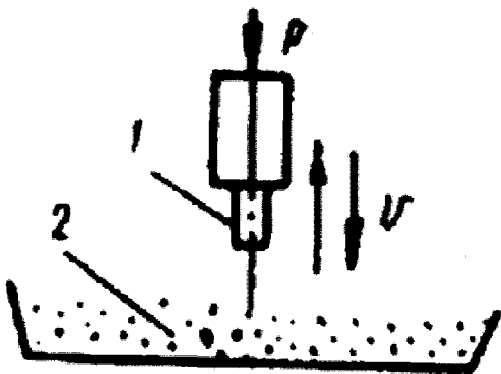


Рис. 2.3. Схема установки по дослідженню на зносостійкість при ударно-абразивному зношуванні [67]

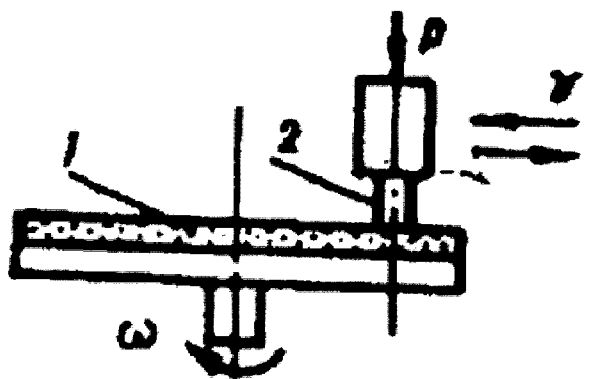


Рис. 2.4. Схема установки по дослідженню на зносостійкість при зношуванні на машині Х4-Б [69]

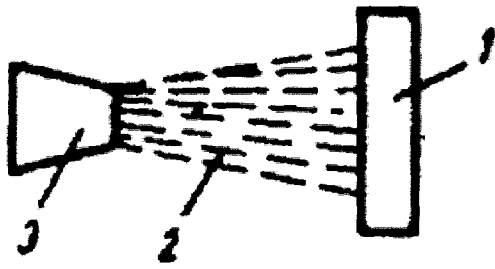


Рис. 2.5. Схема установки по дослідженню на зносостійкість при гідроабразивному зношуванні [70]

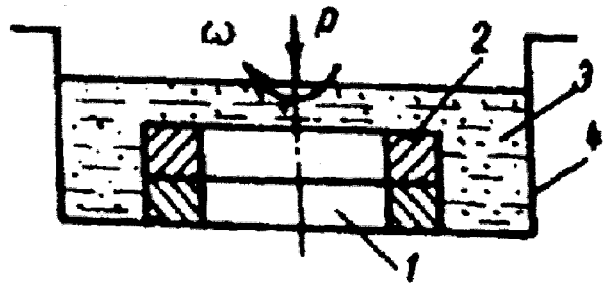


Рис. 2.6. Схема установки, що моделює процес тертя пари тертя в гідроабразивному середовищі [71]

Стендова установка для зношувальних випробувань виконана у вигляді циліндричної ємності 1, у днищі якої є центральний отвір, через який проходить нижній кінець вала 2. Останній опирається на упорний підшипник 3, який за допомогою кришки 4 і болтів 5 кріпиться до днища ємності. З метою запобігання витoku рідини через посадочне місце вала, воно ущільнюється за допомогою сальника 6. Верхній кінець вала з'єднаний з валом 7 привідного електродвигуна.

З цією метою була розроблена стендова установка [72] для зношувальних випробувань робочого ступеня ЕВН (рис.2.7).

На шпоночному валу кріпиться захисна втулка 8 з матеріалу, що досліджується, а також посадочна втулка 9, яка вирізана з реального направляючого апарата із модифікованого чавуну, і закріплена в обоймі 10. Обойма, в свою чергу, закріплюється в направляючій 11, що вільно обертається на валу. Циркуляція рідини здійснюється за рахунок роботи реального робочого колеса 12 із матеріалу, що досліджується з запресованою робочою шайбою 13. Тиск стовпа рідини створюється за рахунок відбійної кришки 14 та регулюється зазором між обоймою та відбійною кришкою. Величина зазору встановлюється обертанням притисної гайки 15. Радіальне навантаження передається пружиною 16 і регулюється гайкою 17.

У процесі досліджень визначалася зносостійкість пар тертя радіальної опори (захисної втулки вала із досліджуваного матеріалу) та посадочної втулки із модифікованого чавуну, або сірого серійного чавуну, а також торцьової опори (обойма 10 замінювалась реальним направляючим апаратом з сірого або модифікованого чавуну в залежності від методики проведення експериментів). При

цьому пара тертя "бурт направляючого апарату – опорна шайба" були із досліджуваного матеріалу.

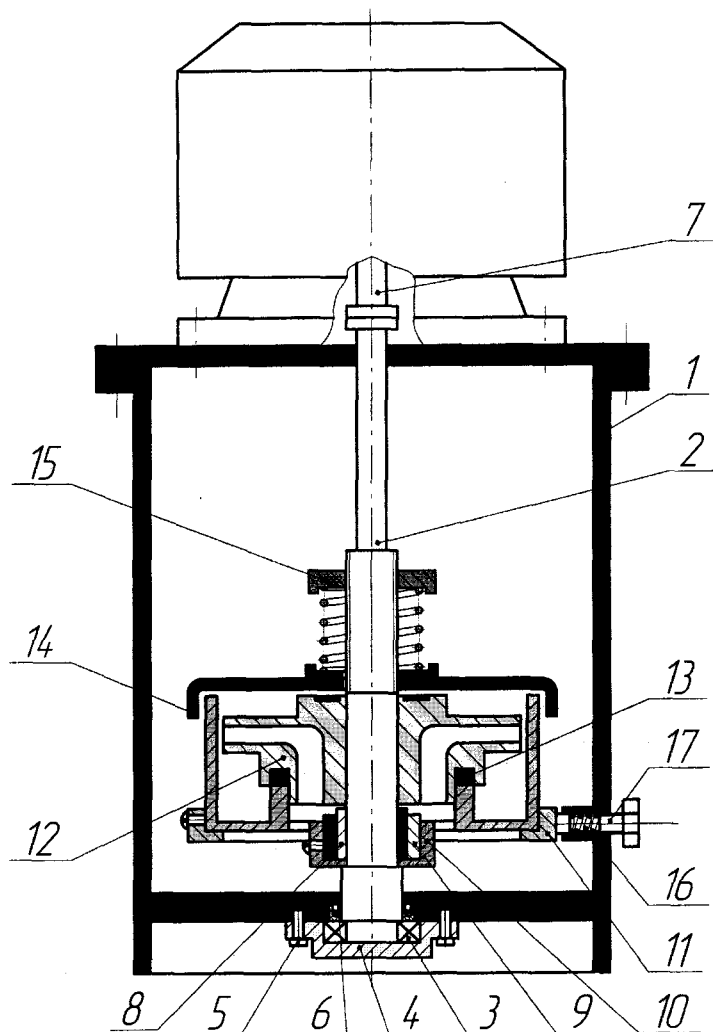


Рис. 2.7. Конструкція стендової установки для зношувальних випробувань робочого ступеня ЕВН

З метою наближення умов досліджень реальних ступеней насоса на зношувальній установці до свердловинних умов, були підібрані режими її роботи та характеристики рідини.

Так, привідний електродвигун забезпечує частоту обертання вала рівну –  $48,3 \text{ c}^{-1}$ .

За допомогою пружини 16 і гайки 17 радіальне навантаження на захисну втулку вала задавалося рівним  $P_p=20,0 \text{ Н}$ .

Осьове навантаження на торцьову пару тертя, виходячи з реальних навантажень: для ЕВН-5-50, ЕВН-5-80 і ЕВН-5-125 та з врахуванням розрахункових

даних, було вибрано рівним  $P_0=20,0$  Н і створювалося за рахунок зазору між відбійною кришкою 14 і обоймою, який регулювали притисною гайкою 15.

Як свердловинну рідину в установці було використано нафтовий флюїд (80% нафти та 20% розчину NaCl). Вміст механічних домішок у свердловинній рідині моделювався вмістом кварцевого піску розміром  $< 100$  мкм, який складав – 6% від об'єму нафтового флюїду в ємності і міг змінюватися в процесі експериментальних досліджень.

Технічна характеристика установки для зношувальних випробувань дозволила провести весь комплекс запланованих досліджень.

## **2.2. Вибір матеріалів для стендових досліджень пар тертя ступеня насоса на зносостійкість**

У 1.4 було відмічено, що довговічність елементів ступеня ЕВН нерівноцінна і визначається значною мірою зносостійкісними характеристиками матеріалу, з якого виготовляються робочі органи насоса, а також умовами їх роботи. Так, радіальні опори ступеня (захисна втулка вала) традиційно виготовляються з латуні Л63, а опорні шайби (нижня і верхня) – виготовляються із текстоліта.

Підвищення зносостійкості ступеня ЕВН вимагає насамперед оцінки зносостійкості матеріалів робочих органів та пар тертя ступеня.

У [6] наведені результати експериментальних досліджень зносостійкості ряду матеріалів на готових виробках. Як рідину для перекачування застосовували воду з додаванням дрібного кварцевого піску, а іноді навіть сирої нафти або солярової олії. Отримані дані наведені в табл.2.1., з якої видно, що при роботі ступеней в однакових умовах однією з найбільш зносостійких пар виявилася пара – гума марки 8470 у сполученні зі сталлю 40Х, закаленої до твердості HRC 50-55. Порівнюючи працездатність пар тертя: гума – сталь 40Х і антифрикційний текстоліт (остання застосовується в серійних насосах звичайного виконання), бачимо, що довговічність першої в багато разів вища, ніж у другої.

В розд. 1.3 було відмічено, що незначна довговічність ЕВН обумовлена тим, що основні деталі насоса – направляючий апарат і робочі колеса виготовляються



литвом із сірого церієво-барієвого чавуну, який має феритну основу з включенням пластинчатого графіту (рис.2.8а) і твердість 140-160 HRB без термообробки. Останнє визначає його низькі міцнісні, зносіві і корозійні властивості. Як показали дослідження [73], при використанні модифікаторів та існуючої технології введення модифікатора в міксер або ковш не виключається наявність ливарного браку і відбілу чавуну через нерівномірність розподілу модифікатора в ливарній формі і його неповне засвоєння.

Таблиця 2.1

**Результати зносу пар тертя з різних матеріалів в залежності від вмісту механічних домішок у рідині, що перекачується**

Матеріал поверхні тертя направляючого апарату	Матеріал опорної шайби, робочого колеса	Вміст піску, % вага	Тривалість роб, год.	Знос поверхонь тертя направляючого апарату, мм.	Знос опорної шайби, мм.	Сумарний знос пари, мм.
Чавун антифрикційний <sup>1</sup>	Текстоліт	0,2	54	0,42	3,4	3,82
Чавун антифрикційний <sup>1</sup>	Металографіт	0,2	54	0,5	1,5	2,0
Чавун антифрикційний <sup>1</sup>	Гума зносостійка	0,2	17	0,65	0,04	0,69
Ебоніт	Ебоніт	0,25	28	0,49	0,88	1,37
Бронза <sup>2</sup>	Гума зносостійка	0,2	17	1,0	0,1	1,1
Сталь ОХМ сира	Гума зносостійка	0,2	52	1,29	0,22	1,51
Сталь ОХММ загартована	Гума зносостійка	0,2	52	0,32	0,16	0,48
Гума нафтостійка <sup>3</sup>	Сталь 40Х загартована	0,25	347	0,36	0,29	0,65
Текстоліт	Гума зносостійка	0,2	16	3,25	0	3,25
Гума нафтостійка	Сталь 40Х сира	0,15	60	0,07	0,47	0,54
Сталь -3 сира	Сталь 40Х сира	0,15	60	0,2	0,81	1,01
Гума зносостійка	Сталь 40Х хромована	0,15	60	0,2	0,04	0,24
Гума зносостійка	Сталь 40Х загартована	0,15	40	0,09	0,26	0,35

<sup>1</sup> Хімічний склад чавуну:  $C_{об.}=3,0-3,3\%$ ;  $C_{св}=0,57\%$ ;  $Si=2,6-2,9\%$ ;  $Mn=0,4-0,6\%$ ;  $Ni=2,5-2,7\%$ ;  $Cu=0,07\%$ ;  $P=0,45-0,55\%$ ;  $S=0,05-0,08\%$ .

<sup>2</sup> Бронза ОЦ-10-2 (10% олова і 2% цинку).

<sup>3</sup> Гума марки 8470 ЛРТІ.



Рис. 2.8 а. Мікроструктура сірого чавуну  $\times 250$  (5%  $\text{HNO}_3$  спирті)

Використання сірого чавуну з низькими зносними характеристиками (твердість 140-160 HRB) зумовило і вибір пар тертя (сірий чавун – латунна захисна втулка вала) для радіальної і сірий чавун–текстоліт – для торцевих (верхньої та нижньої) опор. У результаті хоч і досягнуто в деякій мірі рівну стійкість деталей ЕВН, але довговічність насоса знаходиться на порівняно низькому рівні.

З метою визначення оптимального складу чавуну і модифікатора для виготовлення деталей з підвищеними міцнісними і зношувальними властивостями були проведені експериментальні плавки [73] (Додаток А1). Із отриманих відливок різного складу виготовлялись взірці. Паралельно для кожного складу чавуну експериментально визначали режими термообробки.

Зносостійкість дослідних взірців як до, так і після термообробки визначалась гравіметричним методом за стандартною методикою випробувань на знос на струменевій гідроабразивній машині.

У результаті проведених досліджень і аналізу їх результатів був отриманий чавун модифікований рідкоземельними металами (церієм, ітрієм) з перлитною основою (рис.2.8б), який має хороші ливарні якості, низьку схильність до відбілу, однорідну стабільну структуру, твердість 160-1880 HRB та добре піддається механообробці. Після термообробки (гартування в маслі і відпуск) чавун має однорідну дрібногловку мартенситну основу з рівномірно розподіленим графітом (рис.2.8в), твердість 480-500 HRB і високу зносостійкість, що підтверджено експериментальними дослідженнями (розділ 3.2, 3.3).



Рис. 2.8 б. Мікроструктура модифікованого чавуну  $\times 250$  (5%  $\text{HNO}_3$  в спирті)

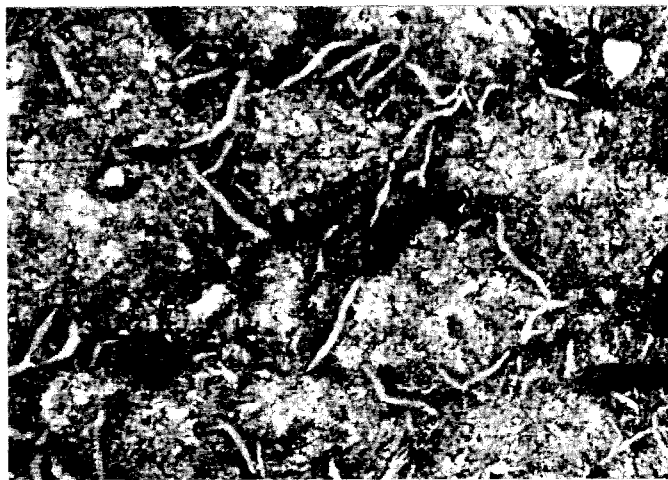


Рис. 2.8 в. Мікроструктура модифікованого чавуну після обробки  $\times 250$  (5%  $\text{HNO}_3$  в спирті)

Базуючись на проведеному в розділі 1.4 аналізі нових матеріалів із підвищеними зношувальними і корозійностійкими характеристиками, стосовно їх використання при виготовленні робочих органів ЕВН, за об'єкт досліджень на зносостійкість були відібрані, окрім матеріалів серійних органів СН, наступні: морська латунь ЛО-90-1, композиційний матеріал ПН-10-1030 з вмістом 10 % нікелю та 30 % алюмінію, ПН55Т45 з вмістом 55 % нікелю та 45 % титану, композиційний матеріал на основі бронзи (БГр4) та міді (М5), композиційний матеріал ПК 10Н2Д2 ГОСТ 28378-89 з вмістом 10 % заліза, 2 % нікелю та 2 % міді, а також ПАЖГрД3, ПАЖГрД8, ПАЖГрД15 з вмістом міді 3, 8, 15 % (ГОСТ 26802-86) та модифікований чавун.

Опорні шайби виготовлялися з композиційних матеріалів методом пресування та наступного спікання на Броварському заводі порошкової металургії, а також МП “Ротор”, а захисні двошарові втулки вала виготовлялись в Інституті проблем матеріалознавства НАН України (м. Київ), шляхом нанесення на сталеву (Сталь20) трубку діаметром 20 мм плазмовою наплавкою зносостійкого композиційного матеріалу ПН55Т45 товщиною 0,7-0,8 мм з наступним шліфуванням до необхідного діаметру.

Оскільки основним завданням є підвищення довговічності роботи ступеня насоса, який обумовлюється високою зносостійкістю пари тертя, то для стендових досліджень необхідно підібрати пари тертя з відібраних матеріалів.

Аналіз результатів прискорених випробувань на зносостійкість пар тертя з різних матеріалів, проведених НВО “Новомет” [16] свідчить, що в гідроабразивному потоці з серійних матеріалів, які використовувались при виготовленні робочих органів ЕВН найбільшою зносостійкістю володіють (табл.2.2) наступні пари тертя: “порошкова карбідосталь-Х12Ф1” швидкість зносу 0,05 мм/год., “порошкова карбідосталь – ЖГр102” (0,08 мм/год.), а з серійних матеріалів “нирезист-нирезист” (1,23 мм/год.), “сірий чавун – ЖГр1Д3” (1,44 мм/год.), що серійно використовуються в ЕВН для пари тертя радіальної опори. Для пари тертя “сірий чавун–Л63” швидкість зносу складає 3,3 мм/год., а для пари “сірий чавун–БрГр4А” – 3,4 мм/год. Найбільша швидкість зносу бурта направляючого апарату з сірого чавуна складає 0,72 мм/год., а поліамідної втулки –7,92 мм/год., тобто йде випереджуючий в 60 разів знос з поліаміду.

Крім того, аналізуючи табл.2.2, можна зробити висновок, що як пара тертя робочих органів ЕВН можуть використовуватися ще й наступні: модифікований чавун з термообробкою до HRC 45-48 з контртілом Л66; морська латунь ЛО-90-1, текстоліт; бронзографіт і композити ПК 70Н2Д2, ПН 70Ю30, ПР-Н73Х1С3П4.

Базуючись на даних, що отримали за експрес-методикою на гідроабразивне зношування протягом однієї години та характеристиками досліджуваних матеріалів, для подальших випробувань були вибрані наступні пари тертя “направляючий апарат – захисна втулка вала”.

### Величини зносу окремих деталей і сумарний знос пар тертя

№ пари	Матеріали пар тертя	Швидкість зносу, мм/год.			
	Ступень направляючого апарата (СНА)	Верхня захисна втулка (ВЗВ)	СНА	ВЗВ	Сполучення
1	Нирезист	Нирезист	0,59	0,64	1,23
2	Сірий чавун	Л63	1,3	1,0	3,3
3	Сірий чавун	БрГр4А	2,72	0,68	3,4
4	Сірий чавун	Поліамід	0,72	7,92	8,64
5	X12Ф1 Загартована	X12Ф1 загартована	0,04	0,04	0,08
6	У8	У8	0,17	0,17	0,34
7	X12Ф1	X12Ф1	0,1	0,16	0,26
8	Сірий чавун	ЖГр1Д3	0,76	0,68	1,44
9	ЖГр1Д15	ЖГр1Д3	0,4	0,3	0,7
10	ЖГр1, 5Х2МД15	ЖГр1Д3	0,22	0,1	0,23
11	Порошкова карбідосталь	Л63	0,03	0,12	0,15
12	Порошкова карбідосталь	ЖГр102	0,01	0,07	0,08
13	X12Ф1 Загартована	ЖГр1Д3	0,16	0,1	0,26
14	Порошкова карбідосталь	X12Ф1 загартована	0,03	0,02	0,05

1. сірий чавун-латунна втулка (серійна пара тертя);
2. модифікований чавун-латунь;
3. модифікований чавун-напилений шар з матеріалу ПР-Н73Х16С3П34;
4. модифікований чавун-модифікований чавун;
5. модифікований чавун-напилений шар з порошку ПН55Т45;
6. модифікований чавун-напилений шар з порошку ПН70Ю30 на базі міді;
7. модифікований чавун-композит (морська латунь) ЛО-90-1;
8. модифікований чавун-композит ПК70Н2Д2.

### 2.3. Методика досліджень об'ємного приросту виливків з чавуну, модифікованого церієм

При виготовленні робочих органів (робочих коліс, направляючих апаратів) ЕВН пропонується використовувати перлітний або перлітно-феритний чавун, який модифікується при литві рідкоземельним металом (ітрієм, церієм). Робочі органи ЕВН перед термічною обробкою повинні проходити кінцеву механічну обробку з

від'ємними допусками, які компенсують величину приросту їх розмірів при термічній обробці. У зв'язку з цим, важливо знати величину об'ємного приросту виливків з чавуну. Термічну обробку проводять шляхом нагрівання деталей (об'ємним методом, або СВЧ) до температури мартенситного перетворення і гартування в маслі.

Застосування модифікованого рідкоземельними металами в об'ємі 0,01-0,05 % від об'єму сірого чавуну забезпечує мінімальну його усадку при литві, підвищену пластичність, а термічна обробка деталей надає їм підвищену зносостійкість і міцність.

Величину від'ємних допусків і, відповідно, об'ємного приросту виливків можна визначити емпіричним або експериментальним шляхом. Вона буде залежати від наступних факторів [74]:

- від відсоткового співвідношення перліту і фериту у вихідній структурі чавуну: чим більше перліту у вихідній структурі, тим більший приріст розмірів виробу при термообробці. Так, дослідним шляхом встановлено, що об'ємний приріст розмірів змінюється від 0,6% (при 100% перліту) до 0,22% (при 60% перліту);

- від геометричних розмірів і перетинів виробу. Чим більший розмір робочого органу ЕВН і товщина його стінок, тим більший і приріст розмірів. Так, при рівних товщинах у виробі діаметром 80 мм приріст розміру складає 0,275 мм, а у виробі діаметром 20 мм – лише 0,06 мм;

- від способу термічної обробки. При об'ємному способі (в прохідних печах) для рівномірного прогріву виробів і переходу в мартенсит мінімальний час нагріву складає 40-60 хвилин, а при нагріві струмами високої частоти (СВЧ) цей час складає лише 30-50 секунд і товщина металу де проходять перетворення значно менша, тобто процес проходить, в основному, в поверхневому шарі. При одному і тому ж складі чавуну об'ємний приріст розмірів виробу складає: при об'ємному нагріві 0,36%, а при СВЧ – 0,12%, тобто в 3 рази менше [74]. Це добре узгоджується з відомими теоретичними положеннями про те, що величина коефіцієнту об'ємного теплового розширення в 3 рази більша за коефіцієнт лінійного теплового

розширення [75]. При цьому поверхнева твердість чавуну в двох випадках однакова і складає 480-500 HRB, а структура – дрібнозернистий мартенсит, що забезпечує його високу зносостійкість. У першому наближенні величина від’ємного допуску не повинна перевищувати сумарного збільшення розмірів від цих трьох складових, причому, як показали дослідження, структурні зміни і зміни розмірів робочих органів ЕВН після їх термічної обробки взаємозв’язані і взаємообумовлені. Найбільший вплив на зміну розмірів виробу здійснюють самі розміри виробу, причому наближено цю залежність можна виразити. Використовуючи приведені в розділі 3.5 результати досліджень, які показали, що при діаметрі деталі 80 мм приріст розміру складає 0,275 мм, а при діаметрі 20 мм лише 0,06 мм.

Якщо вважати, що при діаметрі понад  $\varnothing 20$  мм зміни розмірів деталей після термічної обробки підпорядковуються прямолінійній залежності, то цю закономірність можна подати як:

$$\Delta = Nk = [\Delta_{20} + \Delta_1(d - 20)]k, \quad (2.1)$$

де  $N = [\Delta_{20} + \Delta_1(d - 20)]$ ;  $\Delta_{20}$  – приріст розмірів виробу  $\varnothing 20$  мм, що рівний 0,06 мм;  $\Delta_1$  – приріст розміру виробу діаметром 80 мм при зміні його на 1%, рівний 0,00275 мм;  $d$  – дійсний розмір виробу, мм;  $k$  – узгоджувачий коефіцієнт, що враховує інші фактори і становить згідно з нижченаведеними дослідями 1,25-1,3.

Для підтвердження цієї залежності, а також визначення значення узгоджувачого коефіцієнта  $k$  і впливу способу нагріву (прохідна піч, СВЧ) при термообробці, були проведені досліди при одному і тому ж самому складі сірого чавуну:  $C = 4,0\%$ ,  $Si = 2,8\%$ ,  $Mn = 0,8\%$ ,  $Cu = 0,4\%$ ,  $Cr, Ni, V, P$  не регламентований (по вихідному чавуну). Структурна основа – перліт  $\Pi = 80\%$ ,  $\Phi = 20\%$ . Вихідна твердість чавуну 160 HRB. Нагрів виробів здійснюється в прохідній печі і СВЧ до температур 840–860 °С. Після нагріву вироби зазнавали гартування в маслі. Вимірювання геометричних розмірів виробів до і після термообробки здійснювали у визначених точках не менше 3-х разів. Результати дослідів по всіх виробках направляючого апарату (УЕ 155034) установки ЕВН, а також дисків діаметром 120 і 200 мм товщиною 5 мм наведені в табл.2.3.

Як видно з табл.2.3, приріст розмірів виробів в значній мірі залежить від самих розмірів і способу нагріву виробів при термообробці. Із збільшенням діаметру виробу (з 21 до 220 мм) величина приросту збільшується практично пропорційно.

Розрахунки відрізняються від експерименту в сторону заниження в 1,25-1,32 рази, тобто узгоджувачий коефіцієнт  $k$  може бути прийнятий для деталей діаметром до 40 мм  $k=1,25$ , від 40 до 100 мм  $k=1,28$ , а більше 100 мм (до 220 мм)  $k=1,3$ .

Таблиця 2.3

**Розрахункове значення приросту розмірів виробів і узгоджувачого коефіцієнта до них**

Спосіб нагріву	Характер результатів	Розміри виробів направляючого апарату (УЕ 155034)						
		21Н8	36Н11	46Н9	75h8	80e8	120	220
		Приріст розмірів після термообробки, $\Delta$ в мм						
Прохідна піч	Експеримент	0,076	0,130	0,166	0,270	0,288	0,441	0,801
	Розрахунок за формулою (2.1)	0,063	0,104	0,132	0,211	0,225	0,339	0,606
	Узгоджувачий коеф. $k$	1,25	1,25	1,26	1,28	1,28	1,30	1,32
СВЧ	Експеримент	0,025	0,043	0,055	0,090	0,096	0,149	0,263
	Розрахунок за формулою (2.1)	0,020	0,0345	0,0349	0,071	0,075	0,1146	0,202
	Узгоджувачий коеф. $k$	1,25	1,25	1,254	1,275	1,28	1,3	1,32

Розрахунки проводились за формулою

$$\Delta = [0.06 + 0.00275(d - 20)]k. \quad (2.2)$$

Відповідно для прийнятих розмірів виробів запропонована залежність є справедливою.

#### 2.4. Методика оцінки зносостійкості чавуну, модифікованого церієм, за швидкістю росту втомної тріщини

Оскільки дослідження на зносостійкість модифікованого сірого чавуну методично досить складні і трудомісткі [72], скористаємося запропонованим в [76, 77] обґрунтованим переходом від кінетичної діаграми втомного руйнування до рівнянь



інтенсивності розвитку тріщин. Згідно [76,77] для визначення середньої швидкості зношування запропонована наступна формула

$$\frac{\partial u_w}{\partial s} = k_{w2} \frac{(B_2 \sigma)^n - (K_{th})^n}{K_{fc}^n - K_{th}^n}, \quad (2.3)$$

де  $\sigma$  – величина контактного тиску;  $K_{th}$  – порогове значення коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$ ; нижче якого тріщина не росте;  $K_{fc}$  – критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень при досягненні якого тріщина починає розвиватися спонтанно;  $k_{w2} = n_0 C_5$  – коефіцієнт інтенсивності зношування ( $n_0$  – середнє число виступів на одиниці довжини поверхні, залежить від жорсткості контактуючих тіл),  $C_5 = C_l (K_{fc})^n$ ;  $C_l$  і  $n$  – параметри, що визначаються з рівняння Періса [78, 79];

$$B_2 = \frac{2}{\sqrt{\pi l}} (a_0 b + f b_0 b) [64, 65],$$

де  $l$  – довжина втомної тріщини;  $a_0, b_0$  – коефіцієнти рівняння Джонеса і Рууке;  $b$  – розмір поверхні тертя;  $f$  – коефіцієнт тертя [80].

Останнім часом зроблено значний поступ у з'ясуванні впливу структури на опір втомному руйнуванню сталей [81]. Проте для конструкційних чавунів ще не маємо узагальнень щодо взаємозв'язку структури та циклічної тріщиностійкості, хоч є ряд праць [82-86] про вплив структури матриці, параметрів включень і т.п. на опір поширенню втомних тріщин.

Залежності швидкості росту втомної тріщини  $V$  від розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень  $\Delta K$  ( $V$ - $\Delta K$  криві) будемо будувати за відомою методикою [87].

## 2.5. Методика випробування на циклічну тріщиностійкість

Для випробування на циклічну тріщиностійкість сталей використовували призматичні зразки у вигляді балки з одностороннім бічним надрізом (рис.2.9). Чистота обробки та гострота концентраторів регламентувалась згідно ГОСТ 2789-73. Для візуального спостереження за ростом тріщини робочу частину зразків полірували з використанням алмазних паст різної зернистості. Циклічну

тріщиностійкість досліджуваних матеріалів оцінювали згідно методичних рекомендацій [88, 89] шляхом консольного навантаження зразків. Задавались певним розмахом циклічного навантаження  $\Delta P$ , вимірювали довжину тріщини і фіксували відповідне число циклів навантаження. Швидкість росту тріщини визначали як відношення приросту довжини тріщини  $\Delta l$  між двома вимірюваннями до відповідного числа циклів  $\Delta N$ . Приріст тріщини між двома послідовними вимірюваннями складав не менше 0,2 мм. Величину коефіцієнта інтенсивності напружень для випробувань на консольний згин визначали за формулою [90].

$$K = \frac{4.12M}{t\sqrt{W^3}} \sqrt{a^{-3} - a^3}, \quad (2.4)$$

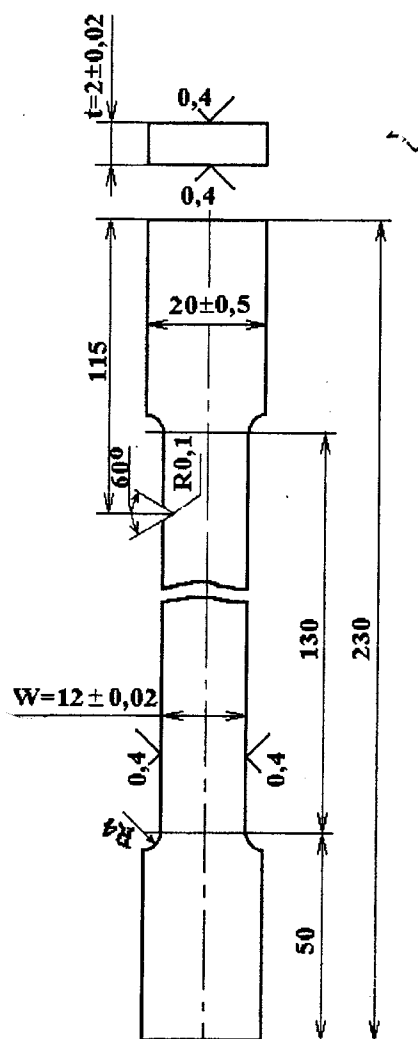


Рис. 2.9. Ескіз зразка, призначеного для випробувань на циклічну тріщиностійкість [88]

$$a = 1 - \frac{l}{N}, \quad (2.5)$$

де  $M$  – згинальний момент;  $l$  – довжина тріщини;  $t$ ,  $W$  – розміри зразка (див. рис.2.9).

Під час досліджень величину розмаху навантажень підтримували постійною. За експериментальними результатами будували кінетичні діаграми втомного руйнування (КДВР) – залежності швидкості росту втомної тріщини  $dl/dn$  від амплітудних значень коефіцієнта інтенсивності напружень  $\Delta K$ . Для побудови КДВР згідно методичних рекомендацій випробовували не менше трьох зразків.

Порогові значення, що відповідають росту тріщини зі швидкістю порядку  $10^{-10}$  м/цикл, визначили методом ступеневого зниження навантаження. При цьому завжди приріст тріщини після чергового пониження навантаження був на порядок більше розміру пластичної зони для вершини тріщини, яка відповідала рівню навантаження на попередньому ступені. Розмір пластичної зони визначали за формулою [91]:

$$r = 1/8\pi(\Delta K / \sigma_{0.2}). \quad (2.6)$$

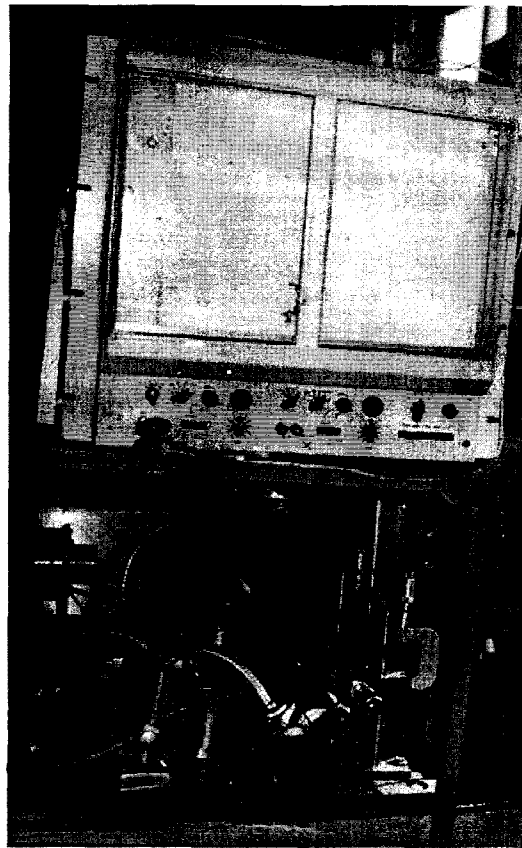


Рис. 2.10. Установка для випробувань на циклічну тріщиностійкість

Ті рівні  $\Delta K$ , при яких мав місце стабільний ріст тріщини зі швидкостями  $1 \div 3 \cdot 10^{-10}$  м/цикл, приймали за порогові значення  $\Delta K_m$ . Експеримент проводили на випробувальних установках із жорстким типом навантаження за допомогою кривошипно-шатунного механізму (рис.2.10).

Запис розмаху зусилля навантаження здійснювали на потенціометрі КСП-4. Зразки випробовували при віднульовому циклі навантаження. Частота циклічного навантаження становила  $f=10$  Гц. Спостереження за ростом тріщини та вимірювання її довжини проводили за допомогою мікроскопів МПБ-2 з похибкою вимірювання не більше 0,01 мм.

### Висновки до розділу

1. Розроблена конструкція стендової установки для випробувань робочого ступеня ЕВН на зносостійкість, яка забезпечує дослідження реальних робочих органів ЕВН та характеристику свердловинної рідини.

2. На основі приведеного в розділі 1.4 аналізу нових матеріалів із підвищеними зношувальними характеристиками, та отриманого чавуну, модифікованого рідкоземельними металами (ітрієм, церієм) з перлитною основою, обґрунтовано вибір матеріалів та здійснено підбір на їх основі пар тертя ступеня насоса для подальшого дослідження їх на зносостійкість.

3. На основі результатів попередньо проведених експериментів встановлена аналітична залежність об'ємного приросту виливків з чавуну в процесі термообробки від їх розмірів, яка дозволяє визначити від'ємні допуски робочих органів ЕВН, що компенсують величину приросту їх розмірів при термічній обробці та відмовитися від кінцевої механічної обробки.

4. Базуючись на обґрунтованому переході від кінетичної діаграми втомного руйнування до рівнянь інтенсивності розвитку тріщини, розроблена методика оцінки зносостійкості чавуну модифікованого церієм за швидкістю росту втомної тріщини, яка дозволяє зменшити кількість достатньо трудоемних і складних традиційних досліджень на зносостійкість.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН

Базуючись на розробленому в розділі 2 стендовому і методичному забезпеченні в розділі наводяться результати експериментальних досліджень впливу конструктивно-технологічних факторів на довговічність робочих органів ЕВН.

#### 3.1. Розробка трьохвимірної фізичної моделі робочого колеса ЕВН з використанням програмних продуктів Solid Works і Cosmos Works та її дослідження

У розділі 1.2 було відмічено, що серед причин, які обумовлюють можливість виникнення дефектів вузлів і елементів ЕВН і, зокрема зносу його робочих органів, є експлуатаційні причини, а в розділі 1.3 наведені результати розрахунку показника довговічності – середнього ресурсу роботи установок ЕВН, який визначається виходом їх з ладу з причин повного зносу робочих коліс. Однак обстеження робочих органів ЕВН у процесі їх дефектації не дозволяють встановити переважаючий знос кожного елемента робочого ступеня насоса та його вплив на працездатність установки ЕВН в той час, як знос робочих органів ЕВН обумовлює як їх довговічність, так і ефективність процесу видобутку нафти, остання визначається такими характеристиками, як напір, подача, ККД і інші і обумовлюється різною формою зносу робочих коліс та їх конструктивними особливостями.

У зв'язку з цим вимагають свого вирішення наступні задачі:

- дослідження впливу зміни геометричних розмірів елементів робочого колеса, обумовлених зносом, на зміну їх технічного (НДС) стану;
- впливу осьового навантаження на торцьову пару тертя, радіального навантаження на захисну втулку вала, а також вплив останніх на НДС робочих органів ступені ЕВН і його робочі характеристики. Вирішення вказаних задач дозволить намітити шляхи вдосконалення конструкції робочих органів ЕВН.

З метою зменшення трудомісткості експериментальних досліджень пропонується їх проводити на фізичній трьохвимірній моделі ступені насоса побудованої з використанням пакета програмних продуктів Solid Works і Cosmos Works [92], а також застосуванням метода скінчених елементів (МСЕ) [93].

Сама фізична модель в цілому визначається постановкою задачі і тими результатами, які передбачаються отримати з їх допомогою, а також колом задач, які можна вирішити за допомогою МСЕ. Стосовно механіки деформованих тіл це наступні задачі:

- обчислення розподілу напружень в конструкції під статичним навантаженням і при температурному впливі. Задача розв'язується в лінійній постановці, розв'язок залежить від геометрії конструкції, пружних властивостей матеріалу (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона) і прикладених навантажень;

- контактна задача, тобто врахована можливість виникнення або порушення контакту в зоні стику деяких деталей конструкції (контакт елементів ступені з валом). Задача розв'язується ітераційним способом:

- задача натягу, тобто розрахунок напружень, які виникають в конструкції при стикуванні деяких деталей з натягом (напруження в тілі робочого колеса навколо внутрішнього отвору після запресування захисної втулки);

- розв'язок попередніх задач в нелінійній постановці з врахуванням пластичності матеріалу конструкції. Пружні властивості матеріалу включають в себе окрім модуля пружності і коефіцієнту Пуассона, функцію залежності напружень від деформацій;

- динамічне навантаження. Задача розв'язується при нестационарних (змінних в часі) навантаженнях.

Першим етапом розв'язку поставлених задач була розробка фізичної моделі робочого колеса з використанням пакета програм Solid Works, та дослідження впливу зміни геометричних розмірів його елементів, обумовлених процесом зношування, на зміну їх НДС при робочих навантаженнях.

Пакет програм Solid Works і Cosmos Works дозволяє проводити проектування трьохвимірних об'єктів різної складності і геометричної форми, а також

досліджувати вплив прикладених до них навантажень на зміну НДС їх вузлів і елементів.

Насамперед було проведено дослідження робочого колеса ЕВН, яке ще не зазнало впливу робочого середовища, тобто не зношеного. Для цього було проведено трьохвимірне моделювання робочого колеса. Хоча, як було відмічено вище, він має складну конструкцію, проте в результаті моделювання вдалося отримати копію об'єкта достатньо високої точності.

Це дозволило підвищити точність побудови його скінчено елементної моделі. Результат моделювання зображено на рис.3.1.

Для проведення дослідження об'єкта на вузлові напруження потрібно отримати адекватну скінчено елементну модель ( СЕМ ) робочого колеса. Для цього програма попередньо виконує поділ об'єкту на вузли, розміри яких залежать від розміру області в якій проводиться поділ. Так, на тонких краях об'єкта розмір вузлів є малим, а у масивних частинах об'єкта – розмір вузлів є не більшим за вказані у налаштуваннях.

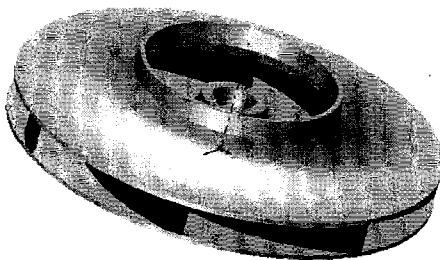


Рис.3.1. Результат моделювання  
робочого колеса ЕВН

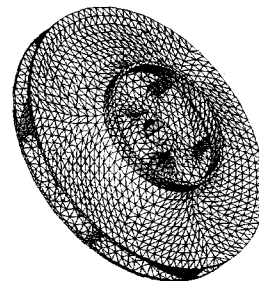


Рис.3.2. Скінчено-елементна модель  
(СЕМ) робочого колеса, загальний вигляд

Такий підхід дозволяє збільшити точність моделювання при зменшенні часу на виконання самого процесу моделювання. Результат такого підходу зображено на рис.3.2. Щоб коректно зімітувати напруження, що виникають при роботі робочого колеса, вирішено було закріпити внутрішній отвір робочого колеса. Саме в цьому місці закріплюється робоче колесо за допомогою шпонки на валу. При цьому до не зношеного робочого колеса прикладалися навантаження, обумовлені технічною документацією і режимом роботи ЕВН в реальних умовах свердловини.

Результатом моделювання є епюра статичних вузлових напружень, що зображена на рис.3.3. Як видно з рис.3.3 незначні вузлові напруження виникають лише у крайній області кріплення лопаті, а в інших областях вони рівномірно розподілені.

При наступному етапі було змодельовано одну із форм зношення частини верхньої поверхні диску робочого колеса з тих коліс, які були відібрані з установок ЕВН 5-50, що експлуатувались на Леляківському і Талалаївському родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз” (обводненість продукції – 70,66%, 31,28%; вміст механічних домішок – 114,58 г/м<sup>3</sup>, 200,46 г/м<sup>3</sup>) та пройшли стенд дефектації в ремонтно-прокатному цеху ВАТ “Укрнафта” (м.Варва). Прим цьому відбиралися робочі колеса, які мали характерні форми зношування, найбільш типові для установок ЕВН, що експлуатуються на нафтопромислах Східної України (рис.3.4).

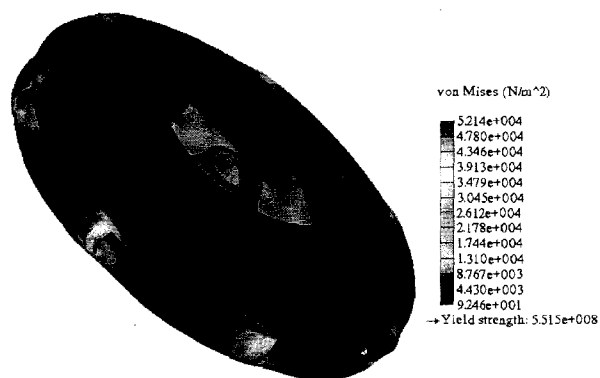


Рис. 3.3. Епюра статичних вузлових напружень в тілі не зношеного робочого колеса при дії робочих навантажень.

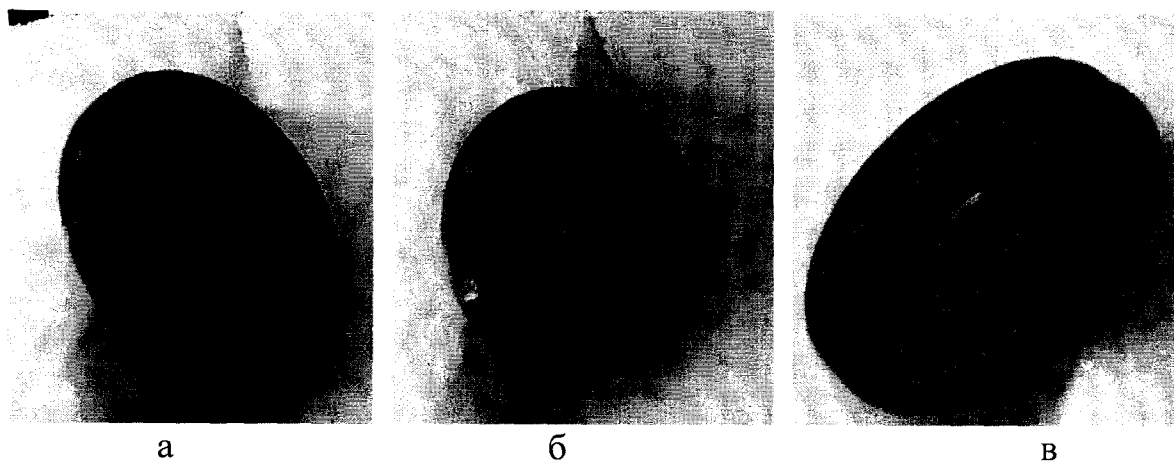


Рис. 3.4. Робочі колеса з різними формами зносу, найбільш типовими для установок ЕВН



Було змодельоване робоче колесо (рис.3.4 б) відібране після дефектації установки ЕВН 5-80-1200, яка відпрацювала на свердловині №82 родовища «Богдани» НГВУ «Чернігівнафтогаз» 240 діб і була демонтована з причини повного зносу робочих органів.

Слід відмітити, що така форма зносу робочого колеса є поодиноким явищем. Результат моделювання подібної форми зносу робочого колеса зображено на рис.3.5.

Як видно з рис.3.5 значне вузлове напруження виникає у крайній точці кріплення, що зумовлено послабленням кріплення лопаті колеса до верхньої поверхні через зношення частини її поверхні.

Наступним кроком було імітування зношення частини лопаті робочого колеса. Результатом стало збільшення вузлових напружень у області кріплення частини лопаті, яка залишилася. Результат даного моделювання зображено на рис.3.6.

Як показали результати дефектації елементів робочих ступеней ЕВН найбільш розповсюдженими формами зношування робочих коліс є зношування кромek лопатей, що впливає на зміну робочих характеристик ЕВН, а також зношування робочого колеса по площині.

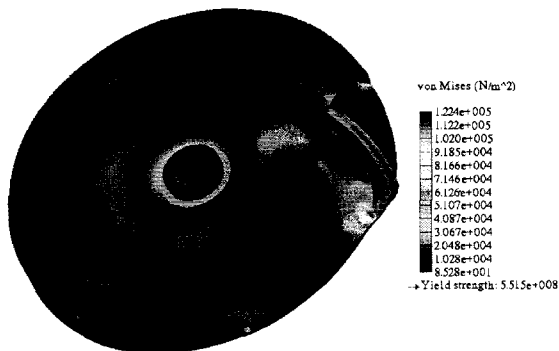


Рис.3.5. Епюра розподілу статичних вузлових напружень по тілу робочого колеса

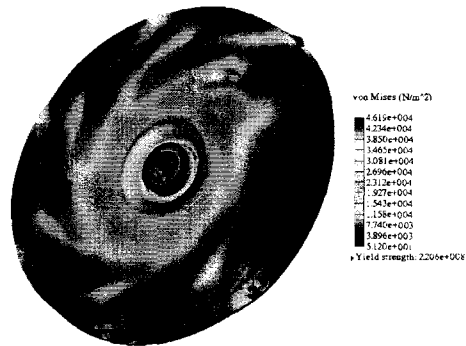


Рис.3.6. Епюра розподілу статичних вузлових напружень при зношенні частини лопаті

На рис.3.7 наведено загальний вигляд змодельованого робочого колеса з частиною зношеної верхньої поверхні.

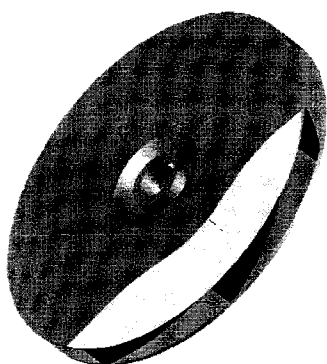


Рис.3.7. Загальний вигляд робочого колеса при моделюванні зменшення товщини його диску

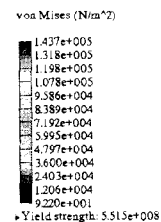


Рис.3.8. Епюра розподілу статичних вузлових напружень при зменшенні товщини диску робочого колеса

На рис.3.8 наведена епюра розподілу статичних вузлових напружень, яка яскраво демонструє збільшення вузлових напружень в області найбільшого зменшення товщини. Даний дефект може призвести до повного або часткового обриву лопаті робочого колеса. Наступним кроком стало імітування форми зносу самої лопаті. Для цього було зроблено відповідний виріз у лопаті робочого колеса (рис.3.9). Як показали результати моделювання (рис.3.10), даний дефект призводить до зменшення вузлових напружень в області зношення лопаті, проте основним недоліком такого виду зношення є зменшення продуктивності самого робочого колеса.



Рис.3.9. Загальний вигляд робочого колеса при моделюванні зносу його лопаті

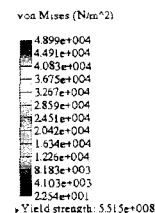
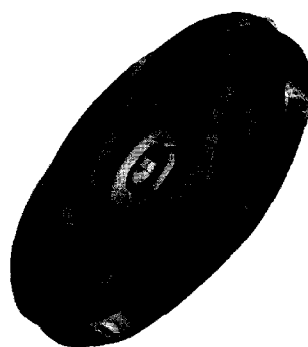


Рис.3.10. Епюра розподілу статичних вузлових напружень при зношенні однієї із лопатей робочого колеса.

З метою дослідження впливу осьового навантаження на торцьову пару тертя та виникаючі при цьому вузлові напруження, розглянемо розрахункову схему робочого колеса установки ЕВН (рис.3.11).

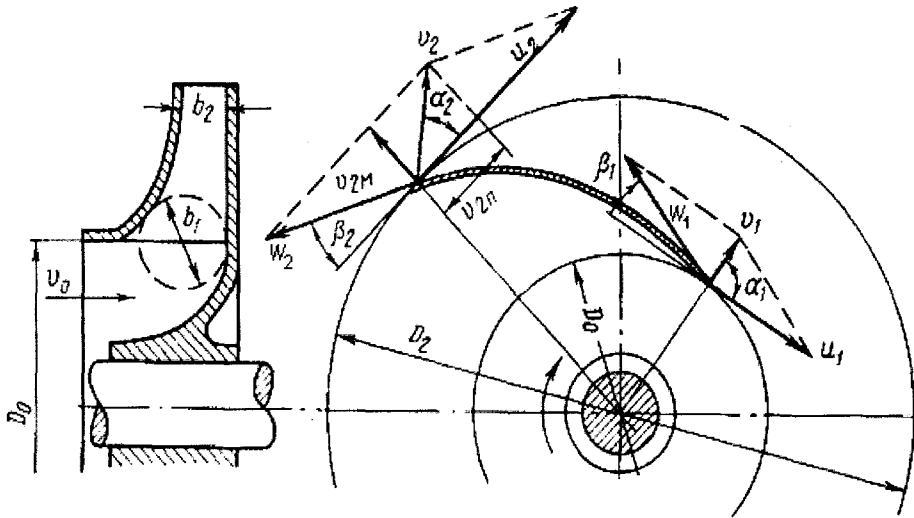


Рис. 3.11. Розрахункова схема робочого колеса установки ЕВН

При роботі ЕВН внаслідок різниці тисків на вході і виході робочого колеса виникають осьові сили, що діють на нього. Свердловинна рідина, що потрапляє в робоче колесо з певним напором  $H_1$  на виході з нього, буде мати більший напір  $H_2$ . На виході з робочого колеса (площина В) зусилля  $P_H$ , що діє на нього, визначається з рівняння:

$$P_H = p_2 \frac{\pi(D_2^2 - d_B^2)}{4} = p_2 \cdot 0,785(D_2^2 - d_B^2), \quad (3.1)$$

де  $D_2$  – зовнішній діаметр робочого колеса в м;  $d_B$  – внутрішній діаметр робочого колеса в м;  $p_1$  – тиск на виході з робочого колеса в Па.

Зі сторони вхідної частини робочого колеса (площина А), зусилля визначаються за формулою:

$$P_B = p \cdot \frac{\pi(D_0^2 - d_B^2)}{4} + p_2 \cdot \frac{\pi(D_2^2 - D_0^2)}{4} = 0,785[p_1(D_0^2 - d_B^2) + p_2(D_2^2 - D_0^2)], \quad (3.2)$$

де  $p_1$  – тиск на вході в робоче колесо, Па.

Результуюче зусилля буде визначатись різницею зусиль, що діють на вході і виході робочого колеса.

$$P = P_f - P_B = 0,785(p_2 - p_1)(D_0^2 - d_B^2), \quad (3.3)$$

$$P = 0,785 \cdot 0,05 \cdot 10^6 \cdot ((0,034)^2 - (0,017)^2) = 34,03 \text{ І } \dot{\text{а}}$$

Результуюча зусилля буде направлене в сторону, протилежну входу в колесо. Це зусилля називається осьовим, так як діє вздовж осі вала.

На практиці осьове зусилля, що діє на робоче колесо, буде дещо відрізнятись (в сторону зменшення) від значення отриманого за формулою. Це пов'язано із тим, що рідина при вході в робоче колесо буде змінювати напрям потоку і осьового в радіальне і створювати реактивне зусилля, що діє в напрямі входу, тобто в напрямку, протилежному силі, що діє на зовнішню поверхню диску колеса. По-друге, тиск, що діє на зовнішні поверхні дисків робочого колеса, менший напору, що розвивається ступінню, і змінюється вздовж радіусу по параболі внаслідок обертання рідини в просторі між колесом і корпусом. Крім цього осьове зусилля в певній мірі залежить також від типу і конструкції ступені.

В розділі 1.1 було відмічено що, робочі колеса не закріплені на валу, а можуть переміщуватись вздовж нього. Діючі при цьому осьові зусилля сприймаються направляючими апаратами, на які опираються колеса, і не передаються на опорний підшипник.

Обчислимо питоме осьове зусилля, що діє на опорну шайбу колеса. Для цього розрахуємо площу опорної шайби

$$S_{ш} = \frac{\pi(D^2 - d_B^2)}{4} = 0.785(D^2 - d_B^2) \quad (3.4)$$

У нашому випадку  $D=0,05$  м,  $d_B=0,038$  м, отже,

$$S_{ш} = 0,785((0,05)^2 - (0,038)^2) = 0,00083 \text{ м}^2.$$

Тоді питоме зусилля, що діє на опорну шайбу:

$$P_{пит} = \frac{P}{S_{ш}} = \frac{34,03}{0,00083} = 41 \text{ кПа}.$$

Для проведення моделювання впливу осьового зусилля на епюру розподілу статистичних вузлових напружень по тілу робочого колеса, місце контакту робочого колеса із опорною шайбою закріплювалось як нерухоме (накладались обмеження). При цьому зусилля прикладались зі сторони широкого диску в напрямку до меншого диску і воно становило раніше розрахованого – 34.03 Н. Слід зауважити, що зусилля прикладалось як рівномірно розподілене по всій площі диску. При

цьому були отримані результати, які приведені на рис.3.12 і 3.13.

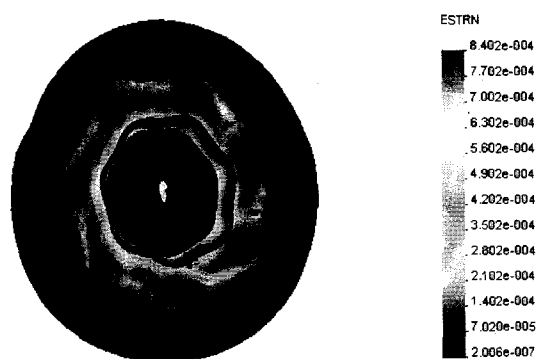


Рис.3.12. Епюра розподілу статичних вузлових напружень по тілу робочого колеса

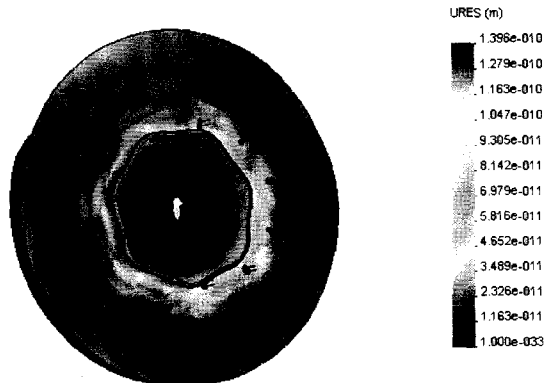


Рис.3.13. Епюра розподілу переміщень по тілу робочого колеса

Проводилися також дослідження зміни епюри розподілу статистичних вузлових напружень по тілу робочого колеса при зміні прикладеного навантаження до лопаті робочого колеса при наявності дефекту, обумовленого відсутністю частини верхнього диску (рис.3.5).

З метою кількісної оцінки впливу величини навантаження лопаті робочого колеса на епюру розподілу вузлових напружень, було розміщено два маркери на лопаті досліджуваного робочого колеса. При ньому маркер №1 відповідав за переміщення точки при дії зусилля, а маркер №2 за величину вузлових напружень у цій точці. Обидва маркери розміщувались на протилежних сторонах лопаті у вертикальній площині (рис.3.14).

Для проведення моделювання до кожної лопаті прикладалося зусилля величиною від 10 до 80  $H$  (з кроком в 1  $H$ ). При цьому зусилля, що прикладалося, було рівномірно розподілене по площині лопаті, а кріплення валу з робочим колесом вважалось нерухомим (робоче колесо не могло переміщуватися вздовж вала). В результаті проведеного моделювання були отримані графіки залежностей досліджуваних величин. Так на рис.3.15 зображено графік залежності величини вузлового напруження у точці 2 від прикладених зусиль у площині лопаті, а на рис.3.16 зображено графік залежності величини переміщення точки 1 від прикладених зусиль. Як видно із графіків, залежності носять лінійний характер.

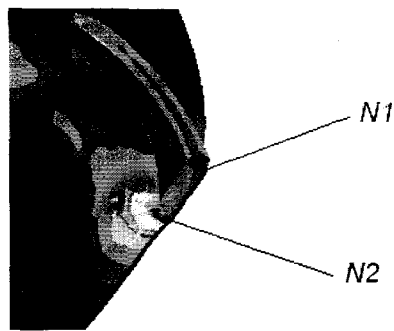


Рис.3.14. Розміщення маркерів при моделюванні дії навантаження на лопаті робочого колеса

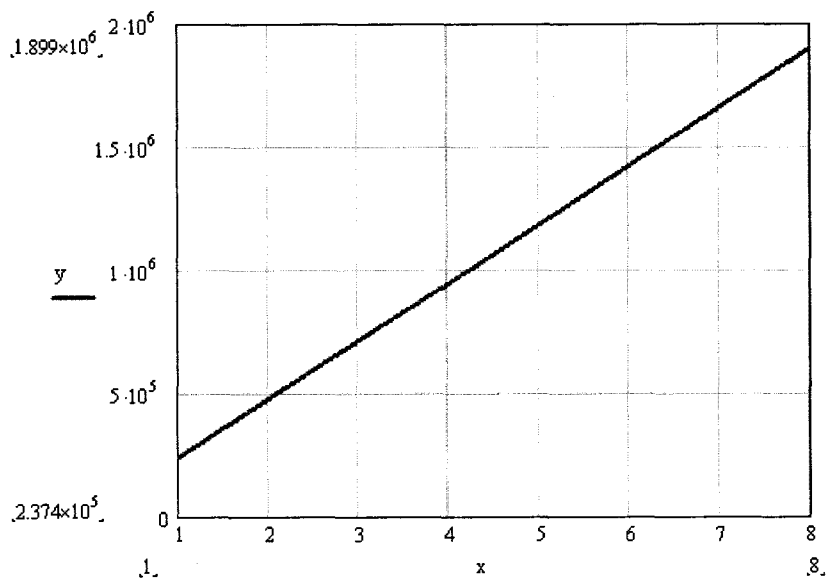


Рис. 3.15. Графік зміни вузлових напружень в точці 2 від величини прикладених зусиль до лопаті робочого колеса

Таким чином, наведені результати показують, що за допомогою розробленої трьохвимірної моделі робочого колеса ЕВН можна змоделювати будь-яку із існуючих форм його зносу, що в наступному розділі дозволить провести моделювання впливу останніх на зміну робочих характеристик установки ЕВН, а також дослідити зміну НДС робочого колеса при його зношуванні [94].

При зміні величини прикладеного зусилля до 8.0 Н пропорційно збільшуються і напруження. Аналогічна картина спостерігається і при зміні переміщення кромки лопаті.

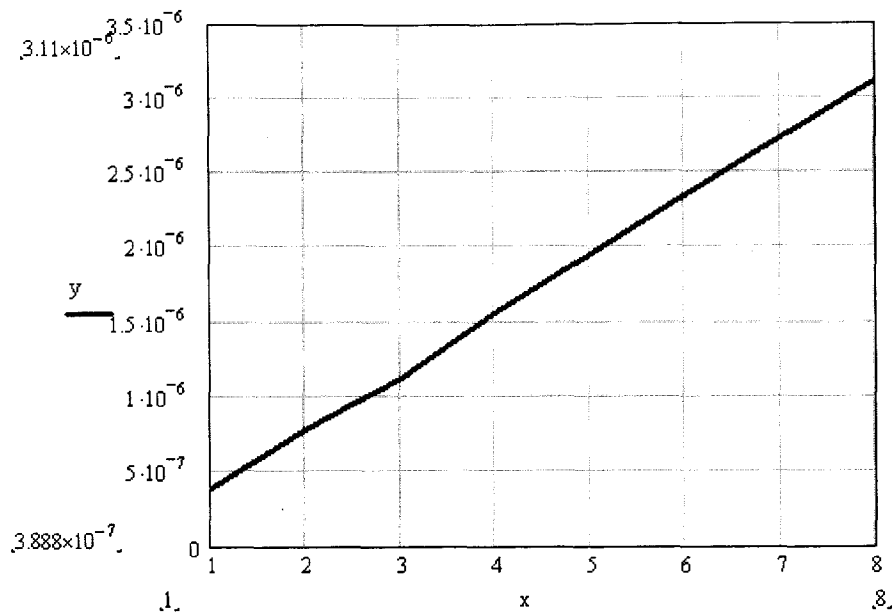


Рис.3.16. Графік зміни переміщення кромки лопаті в точці 1 від величини прикладених зусиль

### 3.2. Моделювання впливу зміни геометричних розмірів робочого колеса ЕВН на його характеристики

З метою моделювання впливу зносу робочих коліс на зміну робочих характеристик установки ЕВН були відібрані робочі колеса, які мали характерні форми зношування, найбільш типові для установок ЕВН, що експлуатуються на нафтопромислах Східної України (рис.3.4). Взірці робочих коліс позначалися як А, В і С, та проводили вимірювання їх геометричних розмірів, які в подальшому використовувалися для встановлення необхідних залежностей [95].

Ступінь ЕВН має оригінальну конструкцію з гідродинамічною схемою, яка немає аналогів у інших підгалузях насособудування. Свердловинна рідина, яка підводиться до робочого колеса, має певний напрям руху (вздовж осі валу) і певну швидкість  $v_0$ . При вході в колесо струмінь рідини починає відхилятися в радіальному напрямку, а швидкість змінюється до  $v_1$ . Продовжуючи рух по робочих каналах колеса, рідина буде збільшувати швидкість і при виході буде становити  $v_2$  (рис.3.11).

Частинки рідини, проходячи по каналах робочого колеса, будуть здійснювати складний рух, оскільки поряд із обертанням разом з колесом з переносною швидкістю  $u$  вони будуть переміщуватися вздовж лопаті колеса з якоюсь відносною швидкістю  $w$ . Абсолютна швидкість рідини  $v$  в будь-якій точці каналу колеса визначається як геометрична сума швидкостей  $u$  і  $w$ .

Як показує практика, в процесі експлуатації свердловин, що характеризуються наявністю піску в свердловинній рідині, в першу чергу зношуються поверхні тертя осьових і радіальних опор, а також поверхні каналів, які контактують з потоком протікання. Остання призводить до зміни геометричних розмірів робочого колеса, величини кута  $\beta_2$  та швидкості  $\omega_2$ . Якщо задати векторну діаграму швидкості на виході з робочого колеса, то величину абсолютної швидкості  $|V_2|$  визначають за формулою

$$|V_2|^2 = V_2^2 + \omega_2^2 - 2V_2\omega_2 \cos \beta_2. \quad (3.5)$$

Зміна величини  $\omega_2$  моделюється шляхом введення додаткового множника  $K=0,8 \div 1,2$ , використовуючи який можна дослідити залежність абсолютної швидкості руху частинки рідини  $V_2$  на виході з робочого колеса від кута нахилу вектора відносної швидкості при зміні параметра  $K$ . При практичних розрахунках приймається, що

$$V_2 = \pi D_2 n / 60, \quad (3.6)$$

де  $n$  – швидкість обертання в  $\text{с}^{-1}$ .

Важливою характеристикою, що визначає теоретичний напір  $H_T$ , є величина кута  $\alpha_2$ , який у відповідності до розглянутої діаграми швидкостей визначається за формулою:

$$\cos \alpha_2 = \frac{U_2^2 + V_2^2 - \omega_2^2}{2U_2V_2}. \quad (3.7)$$

Залежність кута  $\alpha_2$  від кута нахилу вектора відносної швидкості  $\omega_2$  для різних значень  $K$  приведена на рис.3.17, з якого видно, що із збільшенням значення  $K$  залежність  $\alpha_2=f(\omega_2)$  наближається до лінійної і при  $K=1$  є лінійною.



Залежність напору насоса з одним робочим колесом від кута  $\beta_2$  при різних значеннях гідравлічного ККД задається на рис.3.18. Значення напору обчислюється за формулою

$$H = \frac{U_2 V_2 \cos \alpha_2}{g}, \quad (3.8)$$

або за формулою акад. Г.Ф.Проскура

$$\dot{H} = k\eta \frac{U_2 V_2 \cos \alpha_2}{g},$$

де  $\eta$  – гідравлічний ККД;

$$k = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} \cdot \frac{\sin \beta_2}{1 - (R_1/R_2)^2}}, \quad \text{де } z - \text{число лопатей робочого колеса.}$$

Причому залежність від кута  $\beta_2$  в даному випадку є неявною. Вона визначається залежностями (3.6) та (3.8). Вказані розрахунки проведено для значення  $K=1$ . Аналіз результатів дозволяє зробити висновок про те, що величина  $H$  залежить як від ККД, так і від значення кута  $\beta_2$ .

З метою урахування зміни товщини лопаті та її висоти подача насоса  $Q$  обраховувалась за формулою:

$$Q = \left( \pi D_2 b_2 - z \frac{k_1 S_2 b_2}{\sin \beta_2} \right) K_2 V_2 \sin \alpha_2, \quad (3.9)$$

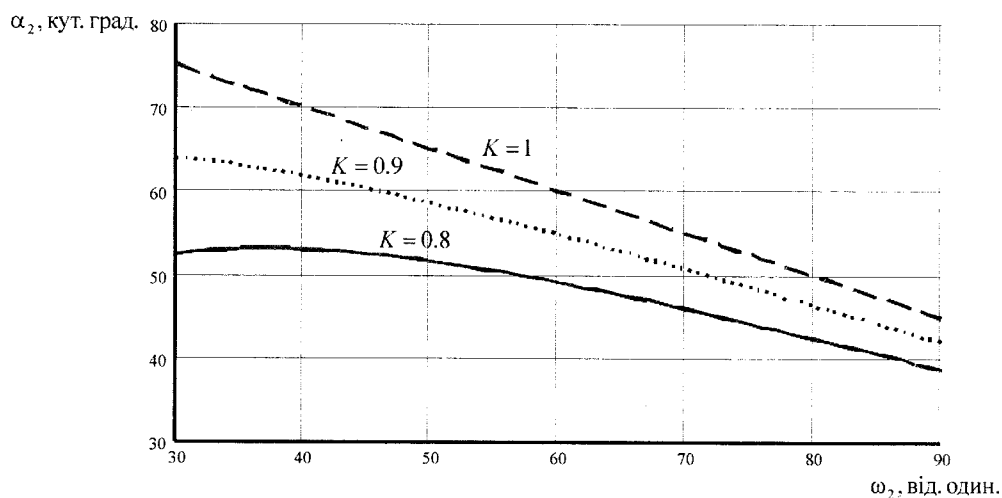


Рис. 3.17. Залежність  $\alpha_2 = f(\omega_2)$  для різних значень  $K$

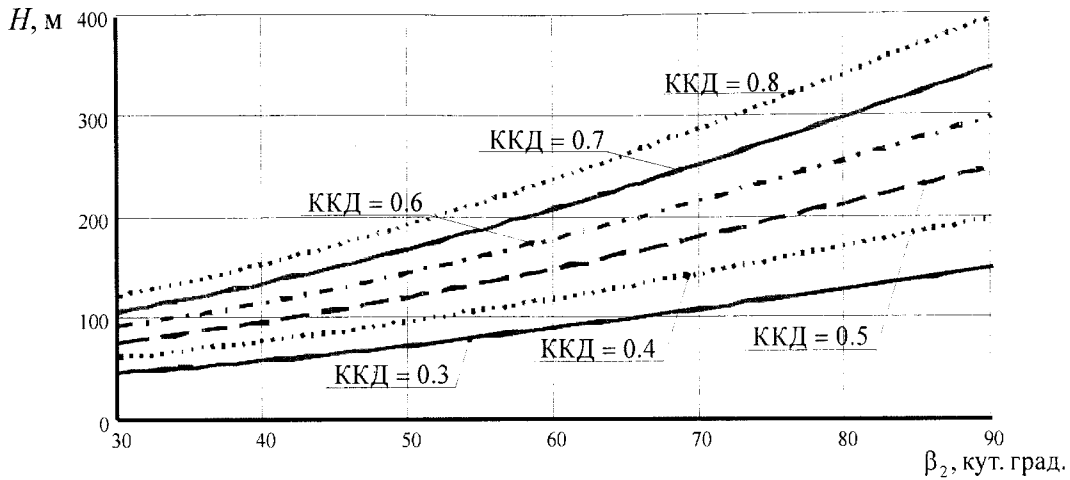


Рис. 3.18. Залежність  $H = f(\beta_2)$  при різних значеннях гідравлічного ККД

де  $z$  – число лопатей колеса насоса;  $S_2$  – товщина лопаті, м;  $b_2$  – висота лопаті, м;  $k_1$  – характеризує зміну параметрів лопаті;  $k_2$  – характеризує можливу зміну площі живого січення.

На рис.3.19 наведено залежність  $Q$  від кута  $\beta_2$  при різних значеннях  $k_2$  за умов постійної величини  $k_1=1$ . Аналіз залежності подачі насоса  $Q$  від коефіцієнта  $k_2$  при постійному значенні кута  $\beta_2$  показав, що вона є лінійною і слабо залежить від коефіцієнта  $k_1$ , який характеризує зміну товщини та висоти лопаті, у зв'язку з чим графіки не наводяться. Для реальних робочих коліс справедлива оцінка:

$$D_2 \gg S_2, \quad (3.10)$$

тому в (3.9) величина доданка, яка містить  $S_2$ , не чинить вирішального впливу на значення  $Q$ .

Аналіз залежності подачі насоса  $Q$  від коефіцієнта  $k_1$  при різних значеннях  $k_2$  показав, що величина  $Q$  мало залежить від  $k_1$ .

На рис.3.20 наведено залежність подачі насоса  $Q$  від висоти лопасті для трьох взірців зношеного робочого колеса: взірець А, для якого  $D_2 = 0,068$  м;  $S_2 = 0,0013$  м;  $z = 7$ ;  $\beta_2 = 24^\circ$ ; взірець В:  $D_2 = 0,068$  м;  $S_2 = 0,002$  м;  $z = 8$ ;  $\beta_2 = 25^\circ$ ; взірець С:  $D_2 = 0,07$  м;  $S_2 = 0,001$  м;  $z = 7$ ;  $\beta_2 = 22^\circ$ . Можна зробити висновок про те, що для взірця В величина  $S_2 = 0,002$  м негативно впливає на зміну величини  $Q$ .

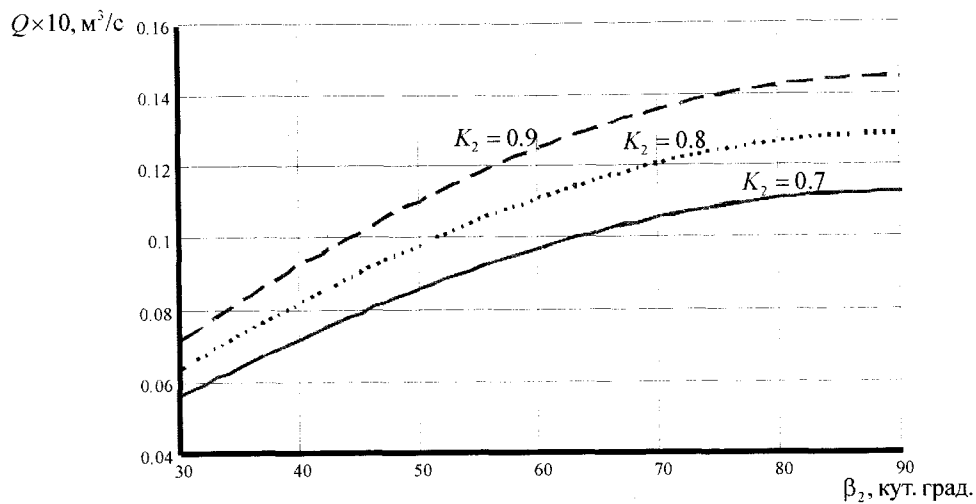


Рис. 3.19. Залежність  $Q = f(\beta_2)$  при різних значеннях коефіцієнтів  $K_2$  при  $K_1 = \text{const} = 1$

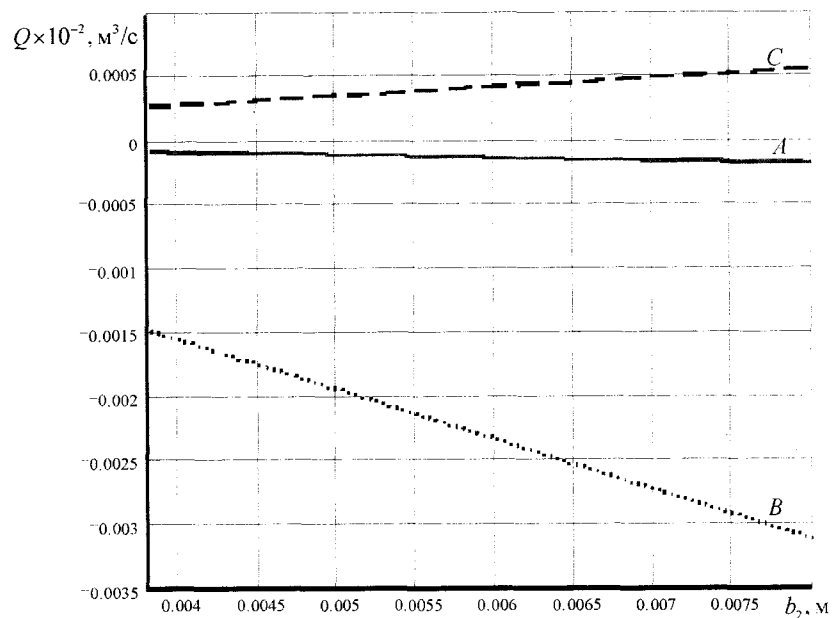


Рис. 3.20. Залежність  $Q = f(b_2)$

На рис.3.21 наведено залежність подачі насоса  $Q$  від діаметра  $D_2$  для зношених робочих коліс трьох типів: взірець А:  $b_2 = 0,0045 \text{ м}$ ,  $S_2 = 0,0013 \text{ м}$ ;  $z = 7$ ;  $\beta_2 = 24^\circ$ ; взірець В:  $b_2 = 0,007 \text{ м}$ ,  $S_2 = 0,002 \text{ м}$ ;  $z = 8$ ;  $\beta_2 = 25^\circ$ ; взірець С:  $b_2 = 0,004 \text{ м}$ ,  $S_2 = 0,001 \text{ м}$ ;  $z = 7$ ;  $\beta_2 = 22^\circ$ . Аналіз результатів дозволяє зробити висновок про те, що взірець В, в якого кут  $\beta_2$  є найбільшим, а отже, робоче колесо найменш зношене, має найвищу подачу, яка лінійно залежить від зміни  $D_2$ . При зменшенні  $\beta_2$  показники колеса погіршуються, це обумовлено зношуванням його

направляючих. Крім того, можна зробити висновок про те, що на величину подачі позитивно впливає значення  $D_2$  робочого колеса.

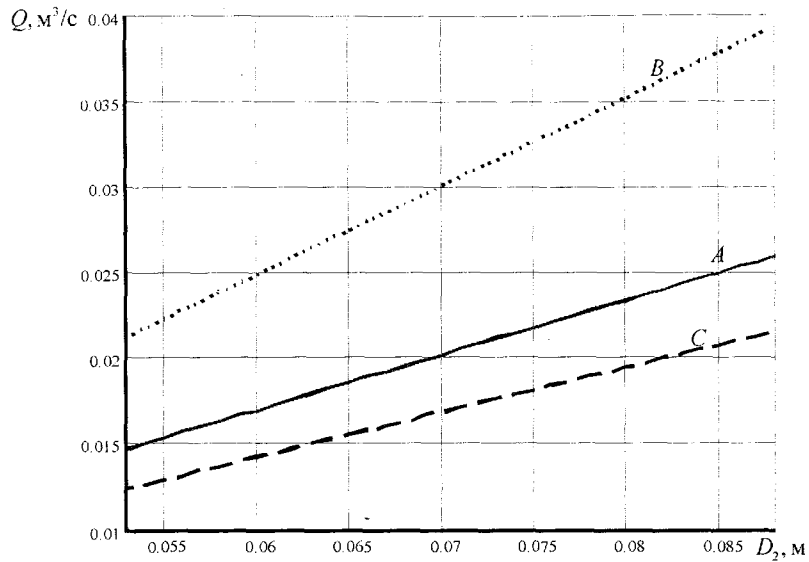


Рис. 3.21. Залежність  $Q = f(D_2)$

Була встановлена залежність подачі насоса від товщини лопаті робочих коліс для взірців А, В, С, аналогічних до раніше розглянутих. Аналіз залежності  $Q = f(S_2)$  показав, що зміна товщини лопаті (її зменшення внаслідок зносу) показники ефективності робочого колеса спадають, хоча і в незначній мірі (до 5%).

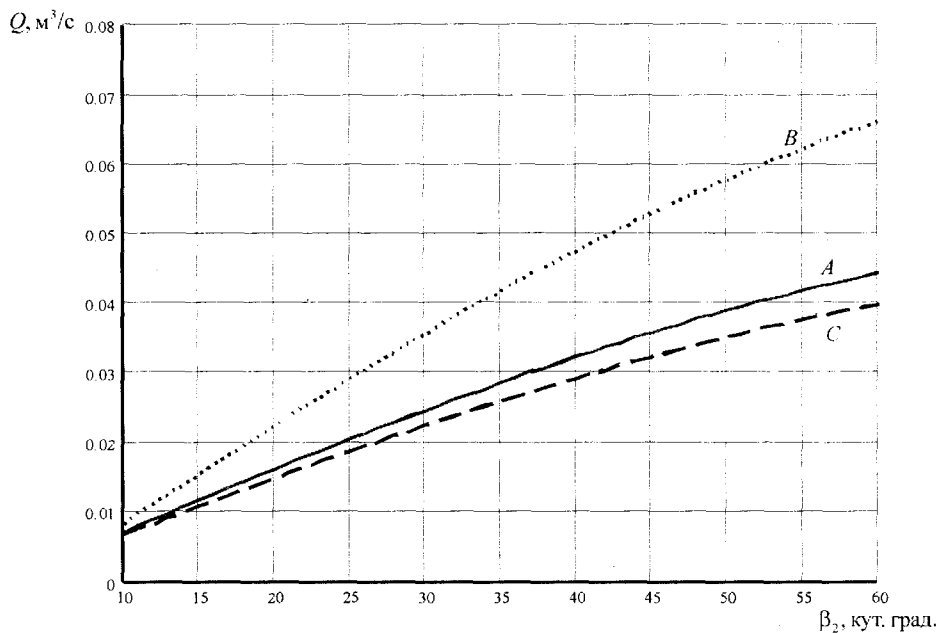


Рис. 3.22. Залежність  $Q = f(\beta_2)$

Залежність подачі насоса від кута  $\beta_2$  наведено на рис.3.22 для взірців А, В, С. Як видно з приведених графіків зношування робочих коліс, пов'язане із

зменшенням величини кута  $\beta_2$ , і негативно впливає на його показники. Розглянута величина  $\beta_2$  змінюється в діапазоні  $10^\circ \leq \beta_2 \leq 60^\circ$ , теоретично можна зробити висновок про те, що значення  $\beta_2$  має бути якомога більшим, проте в реальній ситуації реалізуються робочі колеса з  $\beta_2 = 25^\circ \div 30^\circ$ , оскільки більші значення  $\beta_2$  можуть призвести до виникнення явища гідродинамічного удару та відриву потоку.

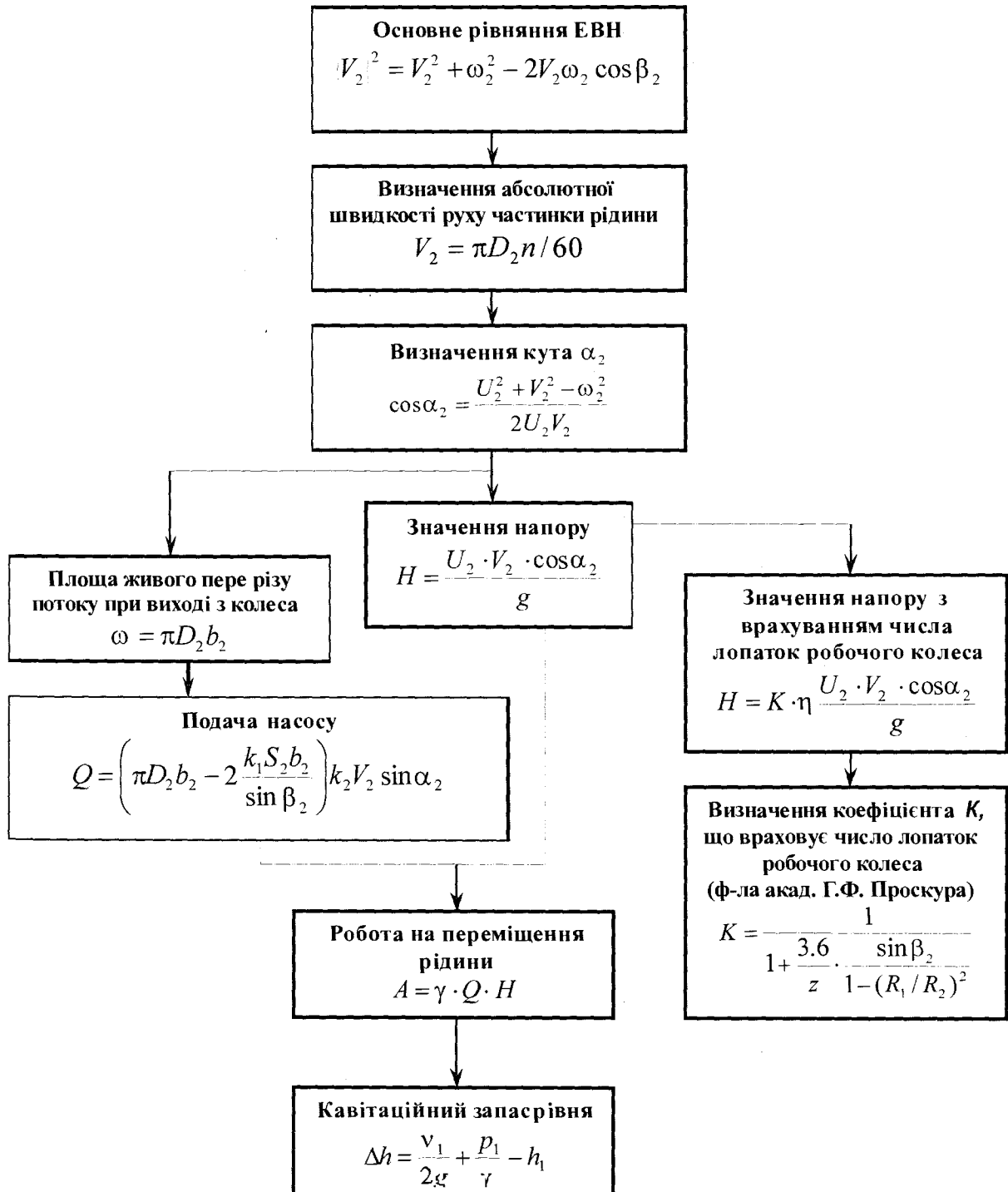


Рис. 3.23. Блок-схема програми розрахунку робочих характеристик УЕВН

Для наведених на рис. 3.17 – 3.22 характеристик, була розроблена блок-схема програми їх реалізації, яка наведена на рис. 3.23.

Таким чином, для забезпечення технічних характеристик установок ЕВН паспортним даним та підвищення довговічності їх робочих органів необхідно, насамперед, підсилити пари тертя осьової опори, використовувати відповідні зносостійкі та корозійностійкі матеріали, з метою запобігання виникнення вказаних видів зносу робочих органів ступеня насоса, а також вдосконалити технологію виготовлення ступеней ЕВН та їх конструкцію.

### **3.3. Дослідження вибраних пар тертя ступеня насоса на зносостійкість**

#### **3.3.1. Дослідження вибраних пар тертя ступеня насоса на матеріалів пари тертя “направляючий апарат – захисна втулка вала”**

Дослідження проводили на стендовій установці [72], згідно методики, розробленої в розділі 2. На рис.3.24 і 3.25 представлені часові графіки зміни масового зносу  $\Delta m$  для восьми матеріалів пар тертя, наведених в табл.3.1.

Тривалість проведення експериментів складала 60 год. і обґрунтовувалася тим, що за цей час проявляються характерні види зношування різних матеріалів вибраних пар тертя. Вимірювання величини зносу проводили через кожних 5 год.

Аналізуючи графіки, представлені на рис.3.24 і 3.25 та в табл.3.1, можна зробити висновок, що найбільшу величину масового зносу мають пари тертя “сірий чавун-латунь” і “модифікований чавун-латунь”, а найбільшою зносостійкістю з випробуваних пар тертя володіє пара тертя “модифікований чавун-композит”, у якій втулка має напилений лазером шар із композиту ПН55Т45 (титану 45%, нікелю 55%). Пара тертя має в 10,4 рази більшу (0,4321) зносостійкість, ніж серійна пара (“сірий чавун-латунь”) – 4,4527 г., а в порівнянні з парою “модифікований чавун – латунь” більше, ніж в 12,6 разів.

Враховуючи, що зносостійкість робочих органів з модифікованого чавуну в порівнянні з такими ж із звичайного сірого чавуну вища приблизно в 3-3,5 рази (наближено зносостійкість пропорційна твердості матеріалу, твердість сірого чавуну 140-160 HRB, а модифікованого і термообробленого 450-480 HRB), можна

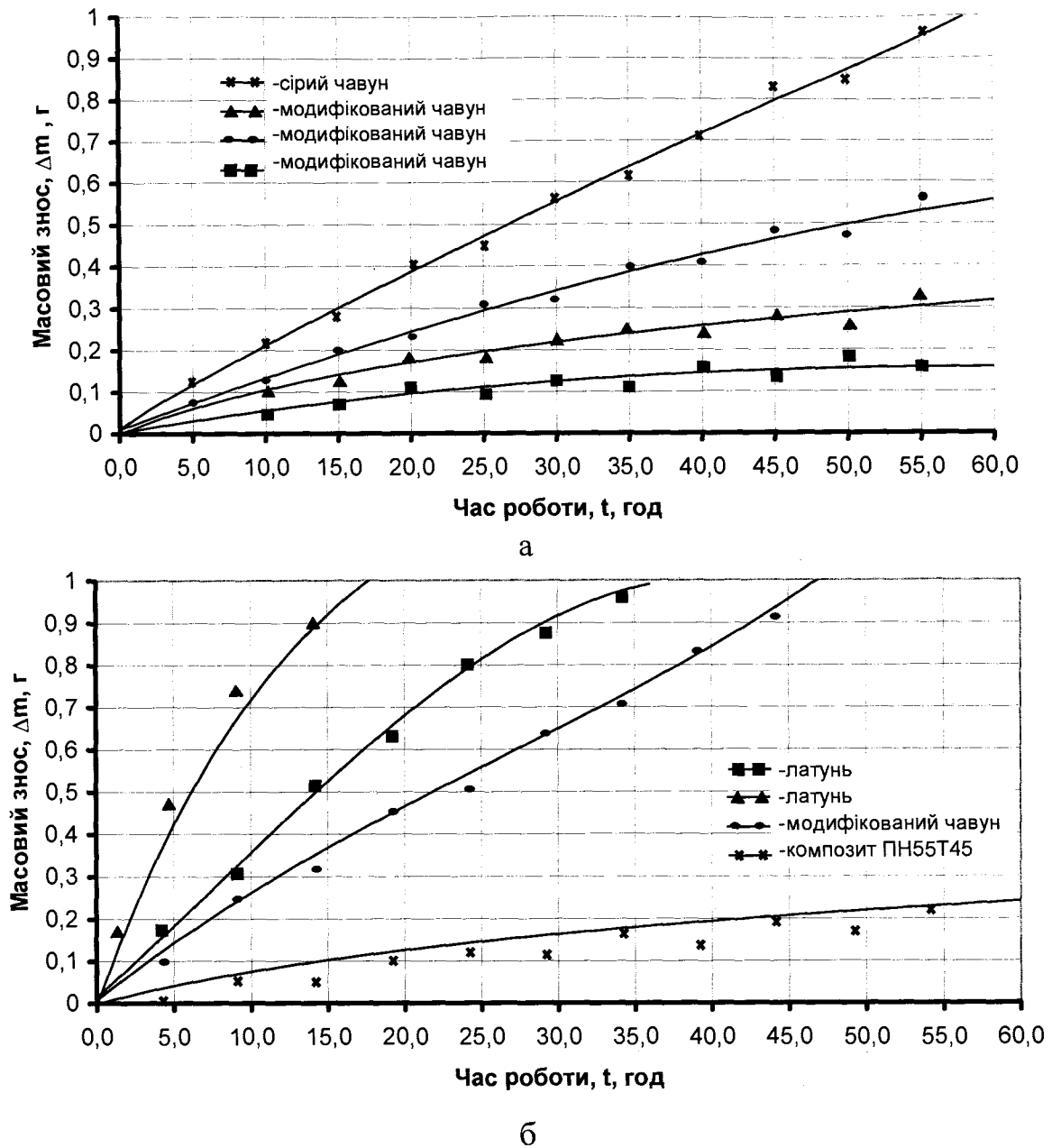
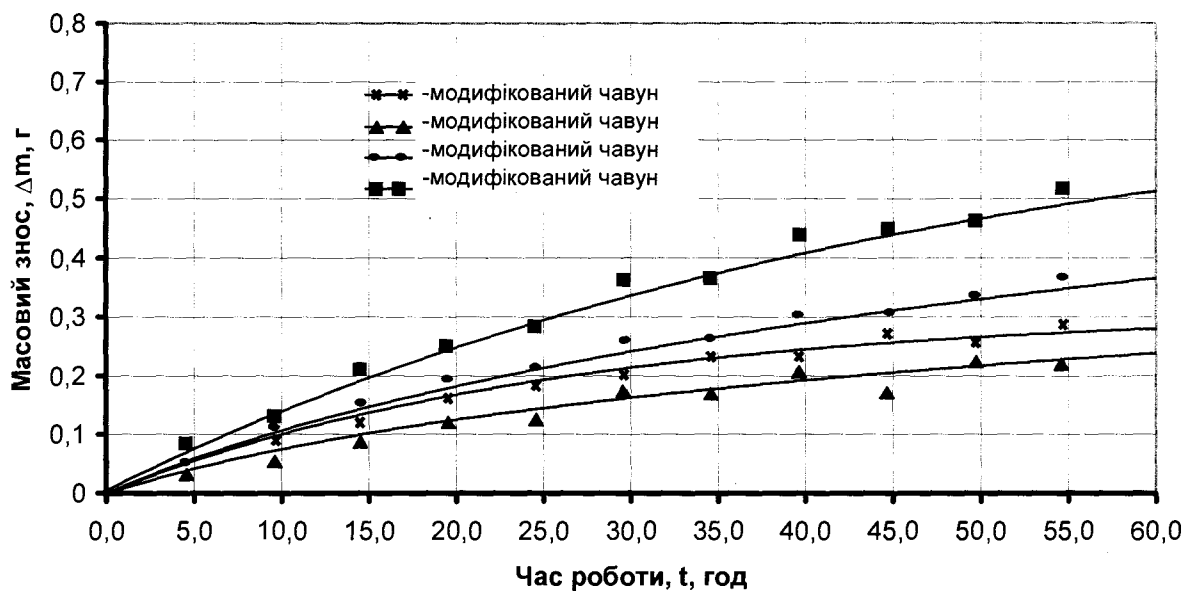


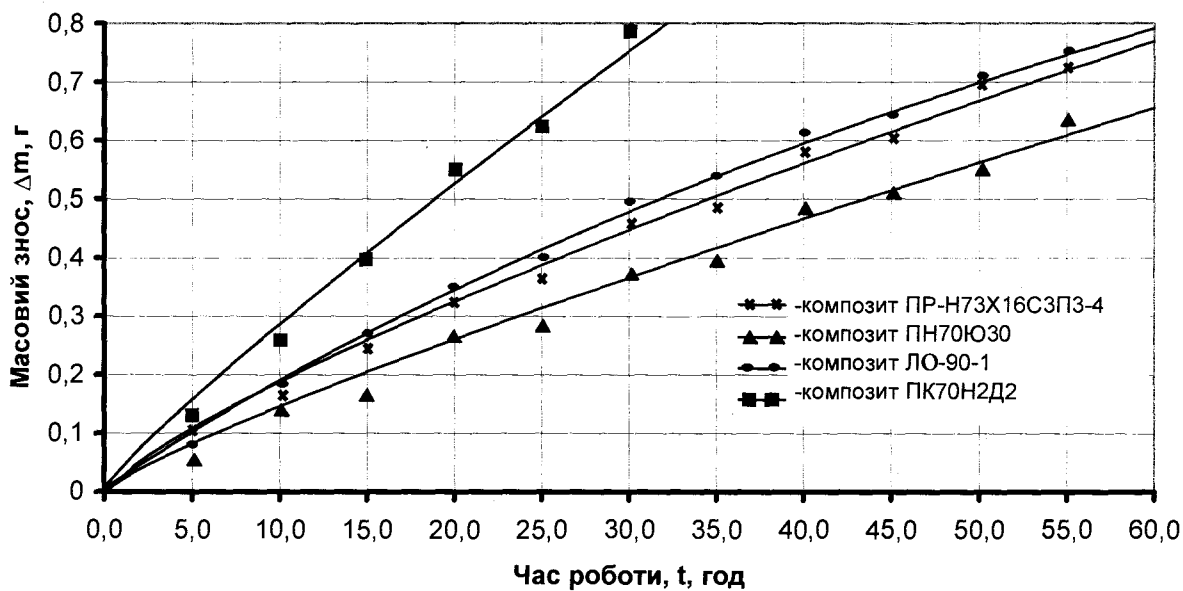
Рис. 3.24. Графіки зміни величини масового зносу  $\Delta m$ : а) направляючого апарату, б) захисної втулки вала, виготовлених з різних матеріалів, в часі  $t$

стверджувати, що збільшення зносостійкості захисної втулки вала (радіальна опора) у 10,4-12,6 разів при забезпеченні рівностійкості всіх елементів ступеня позбавлено доцільності. Тому для серійного виробництва представляють інтерес пари тертя “модифікований чавун-композит ЛО-90-1” (морська латунь), сумарне зношування  $\Delta m=1,15$  г, пара “модифікований чавун– композит ПР-Н73ХІ6С3ПЗ-4” сумарне зношування  $\Delta m=1,039$  г, “модифікований чавун-композит ПК70Н2Д2”, в якого сумарне зношування  $\Delta m=1,75$  г, “модифікований чавун-композит ПК70Ю30”

(сумарний знос  $\sigma=0,922$  г), тобто ці пари тертя приблизно у 3-5 разів більш зносостійкі, ніж серійна пара чи пара “модифікований чавун-латунь”, а це наближено до стійкості робочих органів.



а



б

Рис. 3.25. Графіки зміни величини масового зносу  $\Delta m$ : а) направляючого апарату, б) захисної втулки вала, виготовлених з різних матеріалів, в часі  $t$

Тому для дослідної пари рекомендується пара тертя “модифікований чавун – композит” на базі латуні й бронзи ЛО-90-1 (морська латунь), а також потенційно мало зносилася пара тертя “модифікований чавун – ПН70Ю30”. Особливо слід відмітити пару “модифікований чавун – модифікований чавун”, в якій сумарне



зношування складає  $\Delta m = 2,2335$  г, що в 2,4 рази менше, ніж у пари “сірий чавун – латунь”.

Таблиця 3.1

**Результати зношування пар тертя “направляючий апарат – захисна втулка вала”**

№ п/п	Пара тертя	Зношування $\Delta m$ , г		Сумарне зношування $\Delta m$ , г	Примітка
		Направляючого апарату	Втулки		
1.	Сірий чавун-латунь	1,0712	3,3815	4,4527	Інтенсивне зношування втулки
2.	Модифікований чавун-латунь	0,3211	5,0988	5,4199	Інтенсивне зношування втулки
3.	Модифікований чавун-модифікований чавун	0,5612	1,6723	2,2335	Зношування у 2-2,4 рази менше, ніж по п. 1 і 2.
4.	Модифікований чавун – ПН55Т45	0,1669	0,2652	0,4321	Зношування у 10,4-12,6 разів менше, ніж по п. 1, 2.
5.	Модифікований чавун – ПР-Н73Х16С3ПЗ-4	0,3005	0,7385	1,0390	У 4,3-5,2 разів менше, ніж по п. 1, 2.
6.	Модифікований чавун – ПН70.ЮЗО	0,2646	0,6577	0,9223	У 4,8-5,9 разів менше, ніж по п. 1, 2.
7.	Модифікований чавун – композит ЛО-90-1 (морська латунь)	0,35	0,8	1,15	У 3,9-4,7 разів менше, ніж по п. 1, 2.
8.	Модифікований чавун – композит ПК70Н2Д2	0,5	1,25	1,75	У 2,5-3 рази менше, ніж по п. 1, 2.

Отримані результати свідчать про можливість створення ступеня насоса із одного матеріалу – модифікованого чавуна, який володіє у 2-2,4 рази більшою зносостійкістю, ніж серійні ЄВН. Якщо при цьому ще і торцеві опори будуть мати у 2-3 рази більшу зносостійкість у порівнянні з серійними, то відкривається можливість спрощення і створення конструкції ступеня без опорних шайб із одного матеріалу, що підтверджується результатами моделювання впливу зміни розмірів елементів ступеня насоса на його експлуатаційні характеристики, приведеними в розділі 3.2.

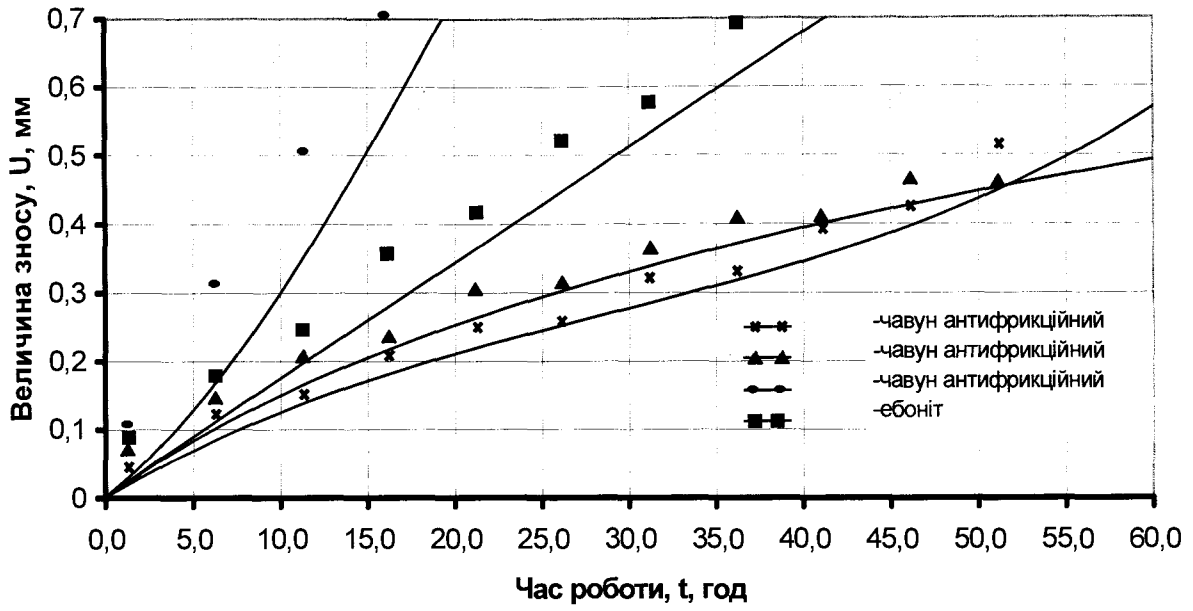
### 3.3.2. Дослідження матеріалів пари тертя “направляючий апарат – опорна шайба” на зносостійкість

Дослідження зносостійкості пар тертя проводились на тій самій стендовій установці і за тією ж методикою, що і в розділі 2.1, але при цьому обойма (10) замінювалась реальним направляючим апаратом з модифікованого чавуну, а опорна шайба була змінною. Зношування бурта направляючого апарату визначалось візуально (він був незначний), зношування опорної шайби визначалось ваговим методом. Шайби виготовлялися на Броварському заводі порошкової металургії та МП “Ротор”.

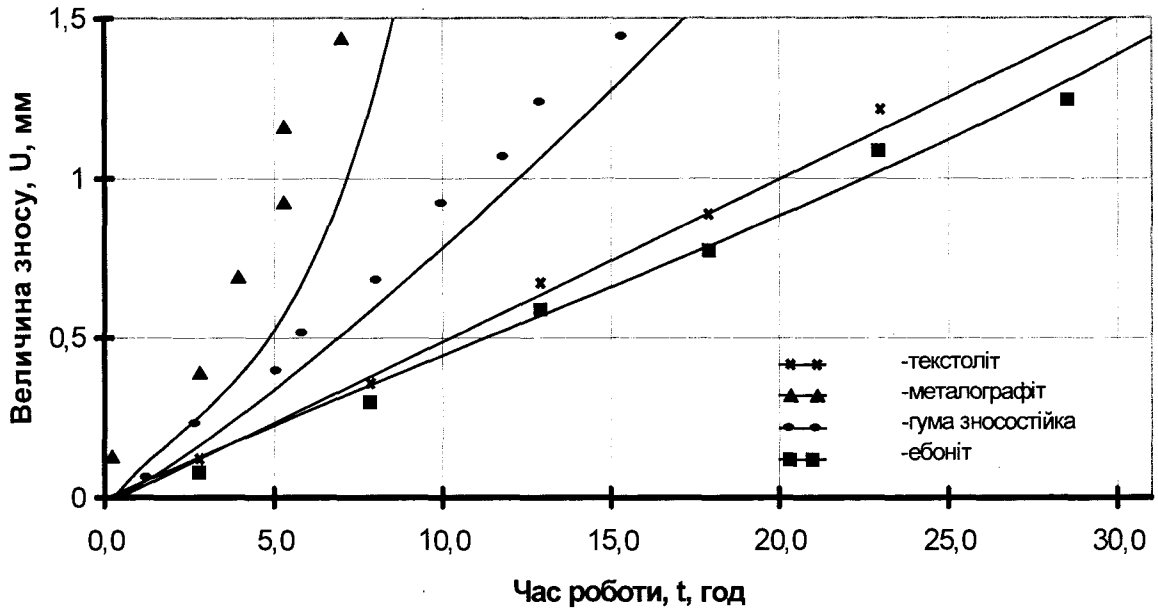
При проведенні досліджень враховувалася методика [6], а також результати зношування різних матеріалів пар тертя, які представлені на рис.3.26-3.28 та наведені в табл.2.1.

Аналізуючи графіки 3.28-3.277, відмітимо, що найбільший знос у направляючого апарату, виготовленого з ебоніту, сирієї сталі – 3 та текстоліту, який відповідно складає за весь час випробувань 0,86, 0,2 і 3,25 мм, а мінімальна величина зносу у направляючого апарату, виготовленого з чавуну антифрикційного, сталі ОХММ загартованої і гуми нафтостійкої, що відповідно складає 0,42, 0,32 і 0,07 мм.

Крім того, із аналізу залежностей рис.3.26-3.28 витікає, що найбільший знос у опорної шайби, які виготовлені із металографіту, зносостійкої гуми, ебоніту, текстоліту і сталі 40Х сирієї, який складає: 0,61; 1,32; 0,49; 0,42 і 0,2 мм, а мінімальна величина зносу опорної шайби складає в гуми зносостійкої – 0,71 мм і 0,37 мм та сталі 40Х загартованої – 0,14 мм. На рис.3.29 наведені графіки сумарного зносу направляючого апарату в парі з опорною шайбою, виготовлених з різного матеріалу, в часі  $t$ . З графіків видно, що найбільшу зносостійкість мають пари “гума зносостійка-сталь 40Х загартована” – 0,35 мм, “гума зносостійка-сталь 40Х хромована” – 0,24 мм та “гума нафтостійка-сталь 40Х загартована” – 0,13 мм.



а)



б

Рис. 3.26. Графіки зміни величини зносу  $U$ : а – направляючого апарату, б – опорної шайби, виготовлених з різних матеріалів, в часі  $t$

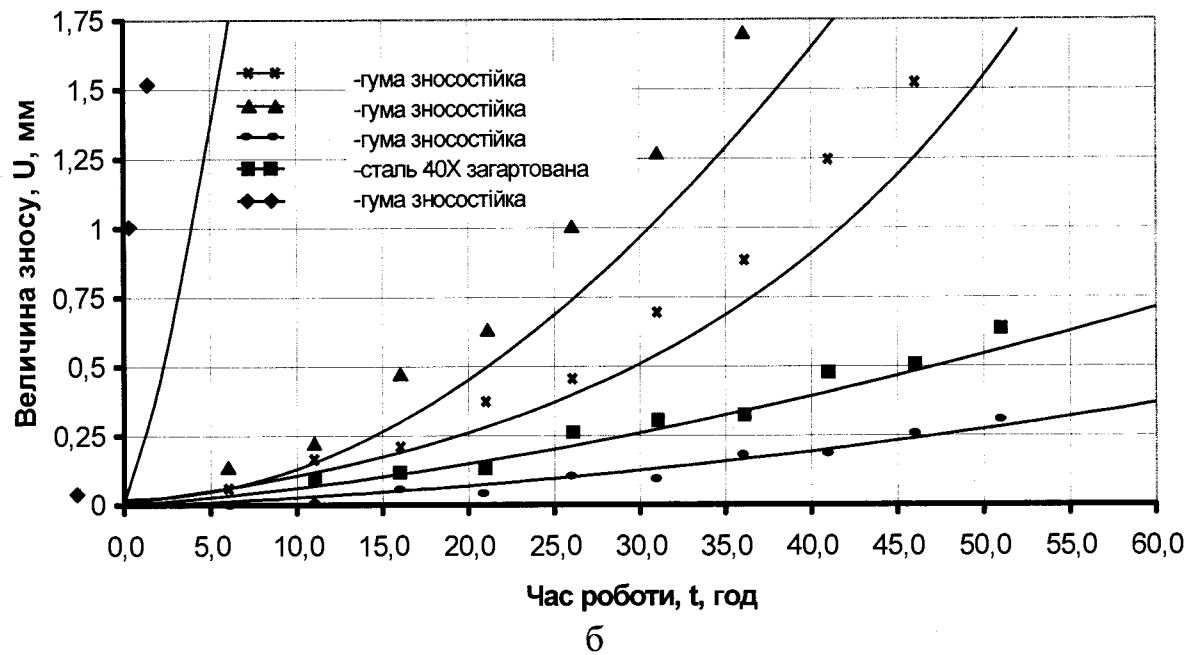
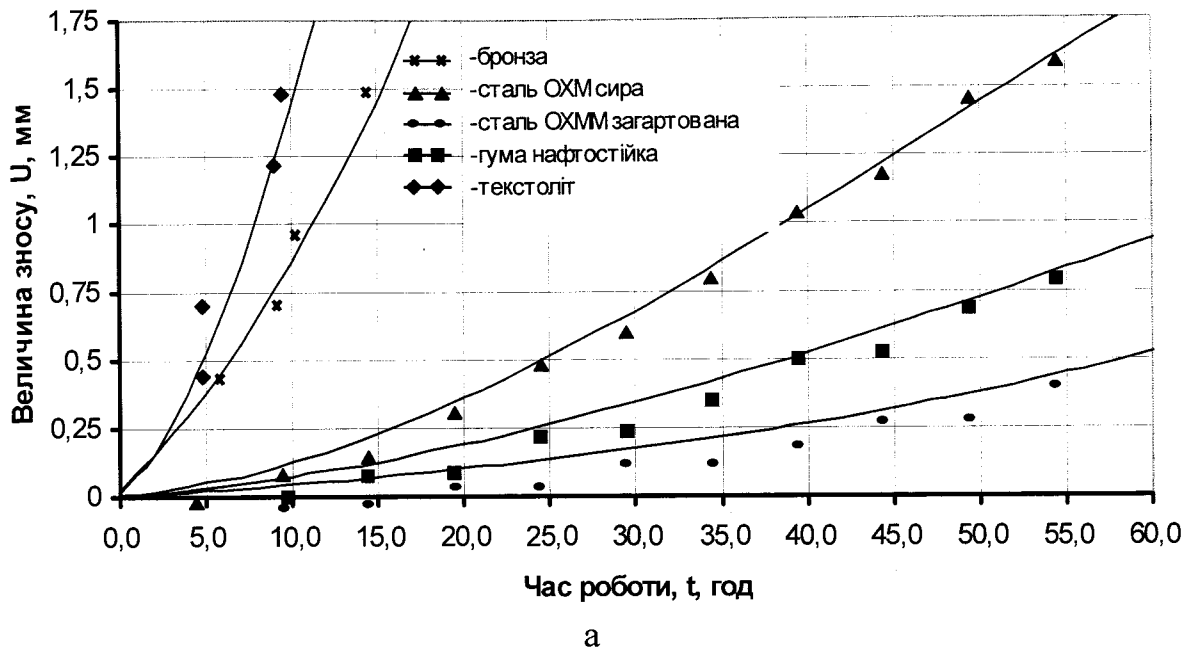
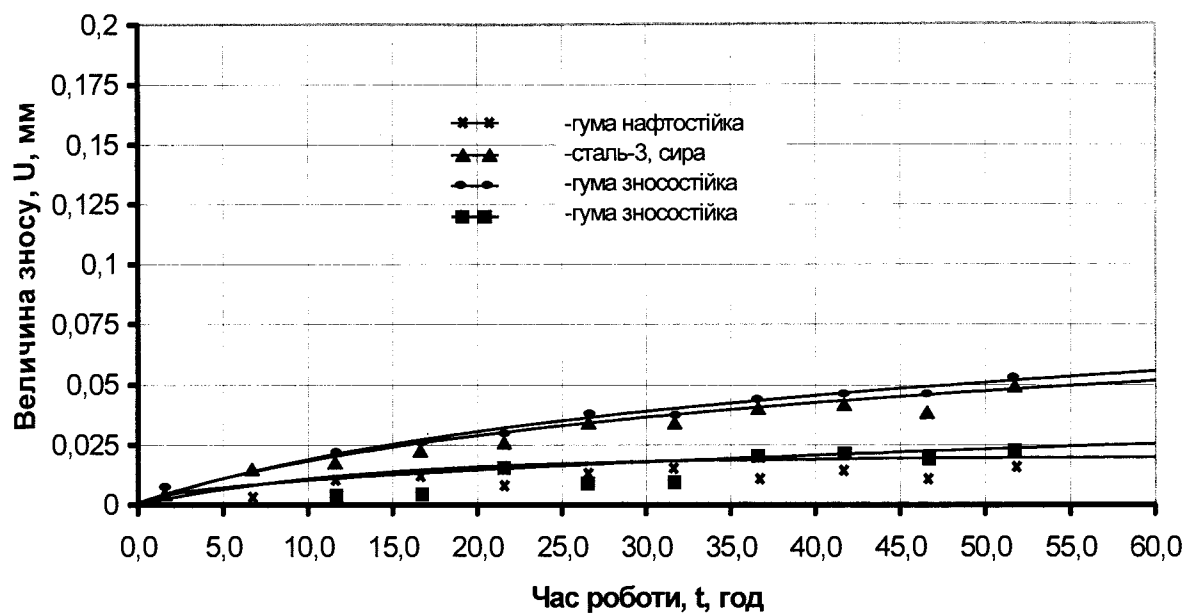
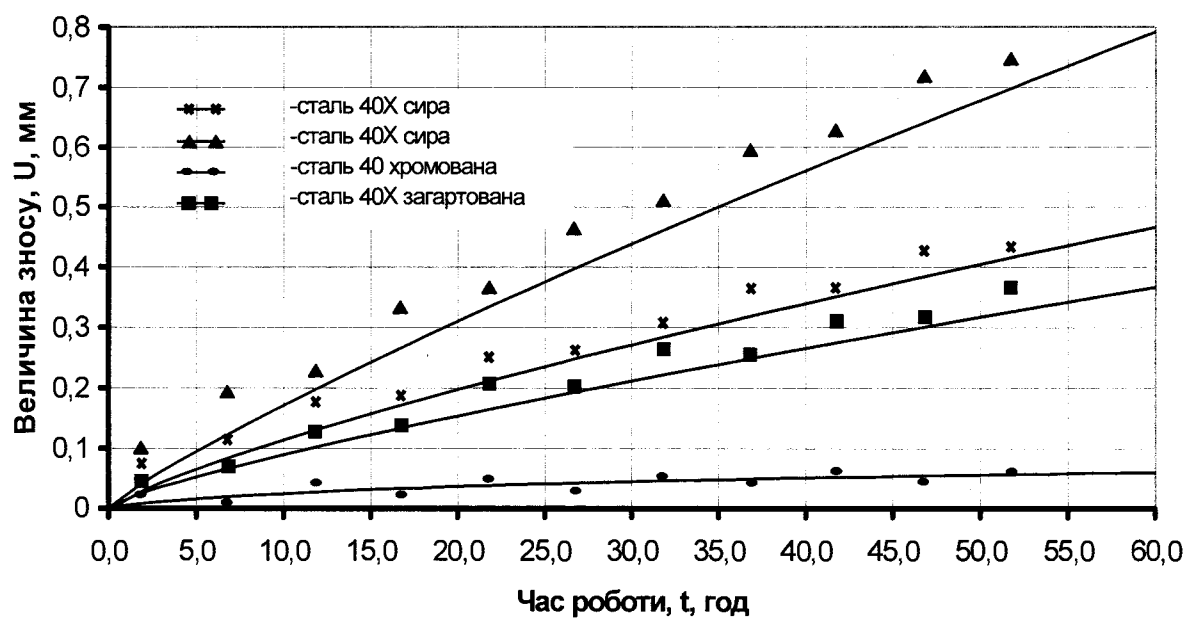


Рис. 3.27. Графіки зміни величини зносу  $U$ : а – направляючого апарату, б – опорної шайби, виготовлених з різних матеріалів, в часі  $t$



а



б

Рис. 3.28. Графіки зміни величини зносу  $U$ : а – направляючого апарату, б – опорної шайби, виготовлених з різних матеріалів, в часі

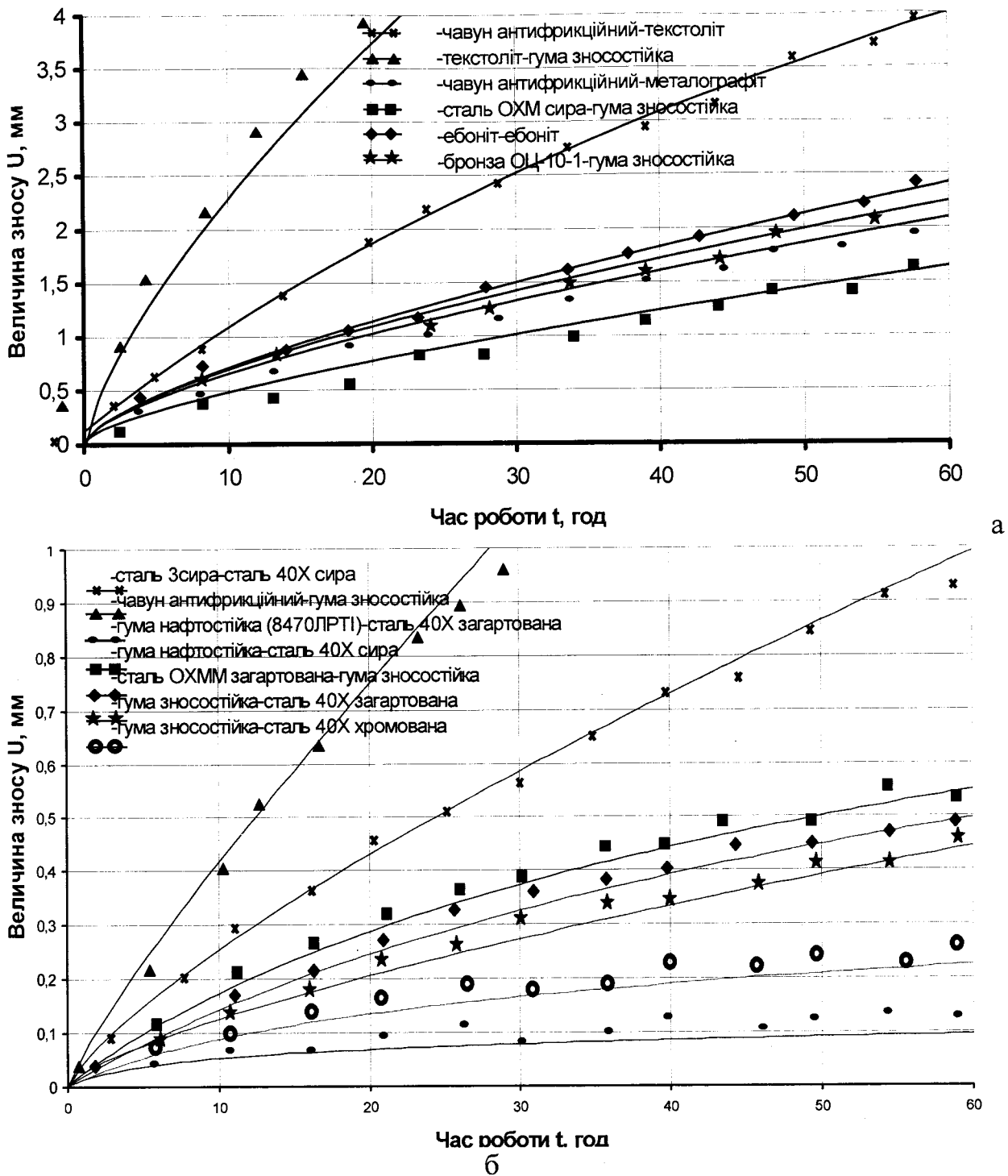


Рис. 3.29. Графіки зміни величини зносу  $U$  пари тертя “направляючий апарат-захисна втулка”: а – низької зносостійкості, б – високої зносостійкості в часі, виготовлених з різних матеріалів

У табл.3.2 наведені результати експериментальних досліджень на зношування деяких матеріалів, використаних для опорних шайб, а на рис.3.30 наведені графіки зміни величини масового зносу опорних шайб  $\Delta m$  для досліджуваних матеріалів в часі  $t$ . З метою більш наочного представлення отриманих результатів, що

обумовлено різною вагою шайб і, відповідно, різною величиною їх зносу, останні подано у відносних одиницях. З рис.3.30 видно, що найбільшою зносостійкістю володіють шайби, виготовлені на основі бронзи (графік 4 на рис.3.30) і мають величину зносу 4,2% проти 10,2% для серійної пари “сірий чавун-текстоліт” (графік 1), тобто величина зносу шайби з композиту на основі бронзи в 2,43 рази менше, ніж шайби з текстоліту і в 4,12 рази менше, у порівнянні з аналогічною шайбою для пари “модифікований чавун-текстоліт” (графік 2).

Таблиця 3.2

**Результати зношування опорних шайб пар тертя “направляючий апарат – опорна шайба”**

№ п/п	Пара тертя	Величина зносу опорної шайби в % від вихідної ваги	Примітка
1.	Сірий чавун-текстоліт	10,2	
2.	Модифікований чавун - текстоліт	17,4	У 1,7 разів більше, ніж по (1).
3.	Модифікований чавун – модифікований чавун	2,6	У 3,9 разів більше у порівнянні по 1 і в 6,7 разів у порівнянні з 2.
4.	Модифікований чавун – композит на основі бронзи (БМК).	4,2	У 4,14 разів більше, у порівнянні з 2 і в 2,43 рази у порівнянні з 1.
5.	Модифікований чавун-композит на основі міді (МК-5)	5,0	У 2,04 рази у порівнянні з 1і у 3,48 рази у порівнянні з 2
6.	Модифікований чавун – композит ПК70Н2Д2	6,2	У 1,634 рази більше у порівнянні з 1 і у 2,81 рази у порівнянні з 2.

Близьку величину зносу мають шайби з композиту на базі міді (5% замість 4,2%) (графік 5). Шайби з композиту ПК70Н2Д2 (графік 6) менш зносостійкі (величина зносу шайби склала 6,2%), однак вони значно (приблизно в 10 разів) дешевші і простіші у виготовленні, ніж шайби з матеріалів на базі бронзи і міді. Тому при виготовленні дослідної партії робочих ступеней доцільно використовувати шайби, виготовлені з композиту ПК70Н2Д2. Тим більше, що при

необхідності можна знизити інтенсивність зношування цієї пари тертя за рахунок бурта направляючого апарату, а також шайби.

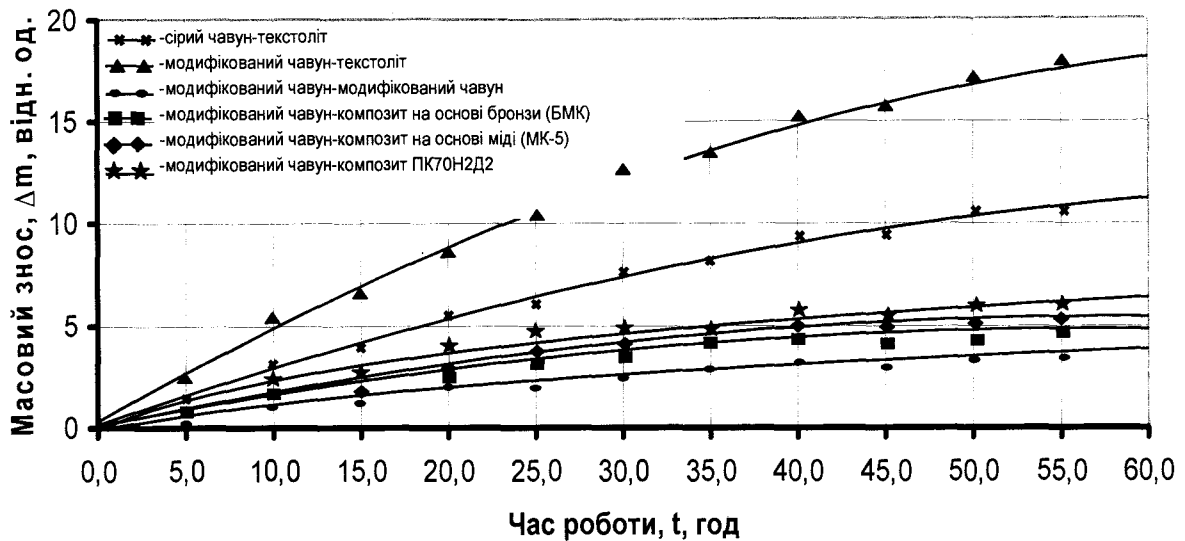


Рис. 3.30. Графіки зміни величини масового зносу опорних шайб  $\Delta m$  (у відн. од.) пари тертя “направляючий апарат-опорна шайба”, виготовлених з різних матеріалів, в часі  $t$

Як і при дослідженні зносостійкості пари “направляючий апарат-захисна втулка вала”, особливу цікавість викликають результати зношування пари тертя “модифікований чавун-модифікований чавун”, величина зносу якої в 6,7 разів менше, ніж пари “модифікований чавун-текстоліт” і в 3,9 разів, ніж серійної пари “сірий чавун-текстоліт”. Якщо врахувати, що зношування шайб багато в чому залежить від розмірів площі контакту пари тертя, то, збільшивши ширину припливу направляючого апарату в 1,5-2 рази, що конструктивно можливо, можна зменшити зношування шайби також у 1,5-2 рази. Отже, конструктивно зносостійкість торцевих опор можна збільшити у 2-3 рази, а це дозволяє перейти до конструкції без опорних шайб, що вже було відмічено в 3.2.

#### 3.4. Оцінка зносостійкості модифікованих церієм чавунів за кінематичними діаграмами втомного руйнування

Результати досліджень на циклічну тріщиностійкість представлені на рис.3.30. Як видно з приведених графіків, модифікування сірого чавуну церієм та ітрієм призводить до зсуву порогового значення коефіцієнта  $K_{th}$  в сторону більш низьких



значень. Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{fc}$  залишається практично на одному рівні.

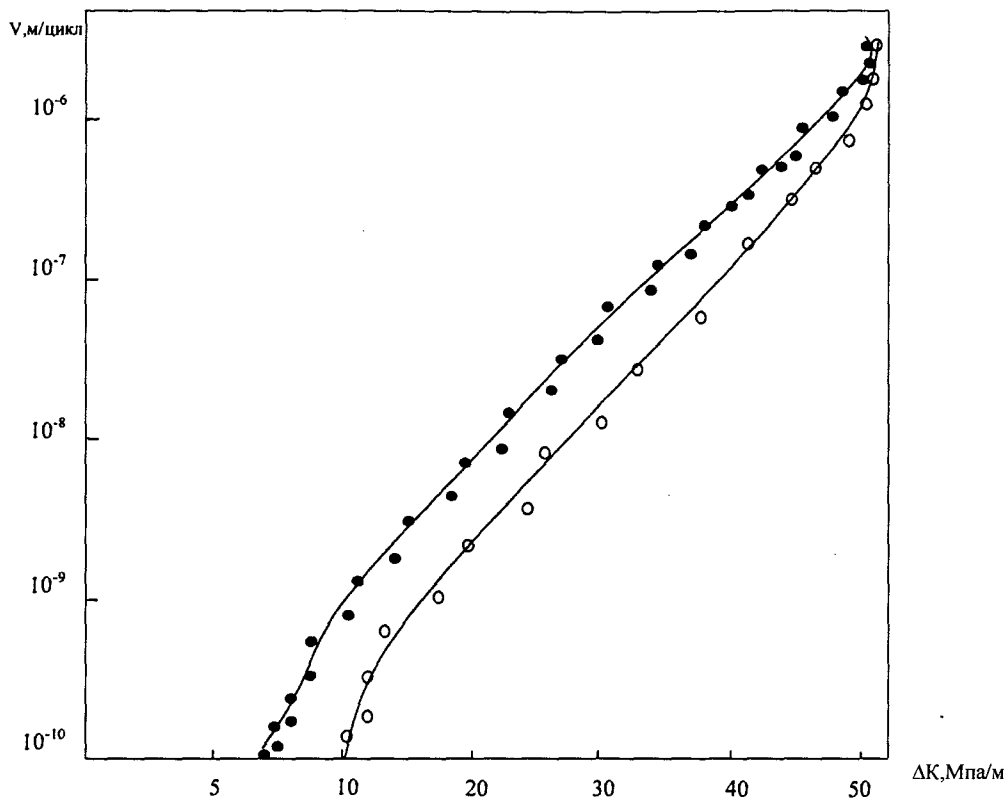


Рис. 3.31. Залежності швидкості росту втомної тріщини  $V$  від коефіцієнта інтенсивності напружень  $\Delta K$  для сірих чавунів, модифікованих: ○ -Ce+B; ● - Ce+Y

Після визначення параметрів кінетичної діаграми втомного руйнування  $K_{th}$ ,  $K_{fc}$ ,  $C_1$  і  $n$  (останні два за рівнянням Періса) заносимо їх в табл.3.3.

Прийmemo величини контактних тисків рівними 6,0 і 8,0 МПа, а за рекомендацією роботи [76] наступні значення загальні для всіх матеріалів:

$$B_2 = 1,863; n_0 = 0,1 \text{ цикл/мкм.}$$

Підставивши одержані дані в формулу для визначення середньої швидкості зношування (2.3), занесемо результати підрахунків у табл.3.4.

Таблиця 3.3

Параметри кінетичної діаграми втомного руйнування

Чавун, модифікований	$K_{th}$ , МПа/м	$K_{fc}$ , МПа/м	$C_1$	$n$
Ce+B    Церій + бор	10,2	57	3,12	4,7
Ce+Y    Церій + ітрій	7,5	55	3,16	4,1

**Порівняльна оцінка інтенсивності зношування сірого чавуну**

Чавун, модифікований елементами	$\partial u_w / \partial s \cdot 10^{-4}$	
	$\sigma=6\text{МПа}$	$\sigma=8\text{МПа}$
Церій+бор	0,9232	8,4882
Церій+ітрії	0,5058	1,9210

Як видно з представлених даних, інтенсивність зношування чавуну, модифікованого церієм та ітрієм, при всіх значеннях контактних тисків суттєво нижча, ніж модифікованого церієм та бором. Це вказує на перевагу запропонованого методу отримання чавуну [96] перед існуючим.

Слід також відзначити, що з ростом контактного тиску ефект від модифікування чавуну церієм та ітрієм зростає. Так, при контактному тиску  $\sigma=6$  МПа інтенсивність зношування чавуну, виготовленого за запропонованим методом, приблизно в два рази менша, ніж такого, який отримують за існуючим методом. При контактному тиску  $\sigma=8$  МПа цей ефект суттєво зростає і різниця в інтенсивності зношування досліджуваних чавунів становить вже майже 4,5 рази.

Відзначимо, що дані, отримані при випробуваннях іншого типу зразка (рис.3.32), підставили результати наших досліджень.

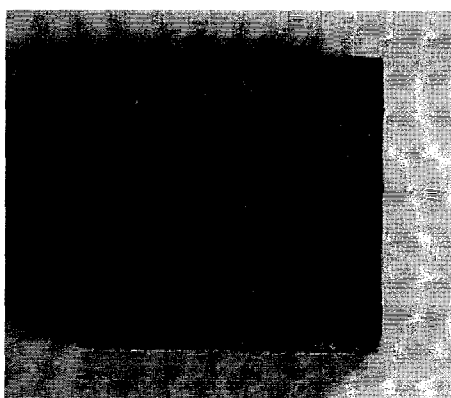


Рис.3.32. Фотографія зразка

### 3.5. Дослідження впливу термічної обробки на зміну розмірів виливки елементів ступеня насоса з сірого модифікованого чавуну

З метою збільшення твердості і зносостійкості модифікованого чавуну були проведені експериментальні дослідження по визначенню оптимального режиму

термообробки. Робота велась за двома напрямками:

1. Термообробка із застосуванням об'ємних прохідних печей із захисною атмосферою;
2. Термообробка із застосуванням струмів високої частоти (СВЧ) в прохідному індукторі.

Слід відмітити, що в цьому та інших випадках після гартування в масло і нормалізації (відпуск при 150° С протягом 3<sup>x</sup> годин) деталі мають мартенситну металеву основу й твердість 45-48 HRC. При гартуванні деталі виникає перетворення перлітної структури в мартенситну, що зумовлює об'ємний приріст розмірів деталей. Степінь приросту залежить від складу вихідного чавуну і однорідності структури (чим більше перліту, тим більший приріст розмірів), розмірів самої деталі і товщини стінок (чим більший розмір деталі й товщина її січень, тим більший приріст деталей), а також від способу нагріву деталей при термічній обробці (при об'ємному нагріві приріст розмірів деталей приблизно в 3 рази більший, ніж при поверхневому СВЧ).

Експерименти проводилися на термічній дільниці заводу АЗЗЕН, де було термооброблено десять робочих ЕВН-80 з метою визначення геометричних розмірів деталей при термообробці. Заміри контрольованої партії деталей проводилися метрологічною службою АЗЗЕН до і після термообробки деталей (додаток Б.2). Результати експериментів показали:

- всі деталі мають гніздовидний рівномірно розподілений дрібнопластинчатий графіт з сорбітно - цементитною основою. Твердість 380 HRV;
- збільшення розмірів деталі в результаті термообробки складає в середньому 0.35% і коливається від 0.28 мм (для Ø 80 E9) до 0.055 (для Ø 17 E9);
- незначні відхилення розмірів даних деталей від передбачених допусків і відхилення по структурі металу пояснюється відсутністю необхідного технологічного обладнання на АЗЗЕН для дотримання технологій термообробки деталей, рекомендованої розробниками.

Аналогічні дослідження проводилися на термічній лінії НВЦ СІМСГ, де було оброблено 3200 комплектів робочих коліс Л-УЕ 155.056 і направляючих апаратів Л-

УЕ 155.034. З метою визначення стабільності приросту геометричних розмірів деталей після термообробки було проведено контрольний замір десяти комплектів деталей (додаток Б.1). Результати експериментів показали:

- збільшення розмірів деталі в результаті термообробки складає в середньому 0,35%;

- всі деталі (3200 комплектів робочих органів) мають рівномірно розподілений дрібнопластинчатий графіт з металевою основою – відпущений мартенсит і твердість 44-47 HRC;

- всі деталі після термообробки мають стабільний однорідний приріст розмірів;

- розкид приросту знаходиться в межах допуску креслень на відповідні деталі;

- короблення, розтріскування та окалина на деталях відсутні.

Відомості про зміни розмірів деталей до і після термічної обробки згідно проведених експериментів наведені в табл.3.5; 3.6.

Як видно з табл.3.5; 3.6 зміни розмірів деталей після термічної обробки незначні і складають по двадцяти замірам від 0,24 до 0,53%.

Виходячи з наведених результатів, можна вважати, що зміни розмірів деталей ЕВН після їх термічної обробки не перевищують в середньому 0,36%, тобто знаходяться в межах допусків на ці деталі (Додаток Б2). При цьому відмічається стабільне збільшення розмірів при термообробці. Останнє дозволяє при механообробці відразу задавати розміри деталі з урахуванням компенсації зміни розмірів при термообробці, тобто враховувати цю зміну мінусовим допуском, рівним 0,36% від розміру деталі.

**Результати замірів розмірів робочого колеса (УЕ 155.056) ЕВН-80  
до і після термічної обробки**

№ п/п	Ø17Е9				Ø36d9				Ø32Н8				Ø46Н9			
	До термо- обробки, мм.	Після термо- обробки, мм.	Зміна, мм	До термо- обробки, мм.	Після термо- обробки, мм.	Зміна, мм	До термо- обробки, мм.	Після термо- обробки, мм.	Зміна, мм	До термо- обробки, мм.	Після термо- обробки, мм.	Зміна, мм	До термо- обробки, мм.	Після термо- обробки, мм.	Зміна, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	17.080	17.110	0.030	35.84	35.975	0.135	31.944	32.095	0.051	45.973	46.132	0.159				
	17.080	17.120	0.040	35.90	36.020	0.12	31.977	32.110	0.133	45.961	46.108	0.149				
2	17.082	17.135	0.053	35.935	36.100	0.165	31.928	32.090	0.162	45.981	46.163	0.179				
	17.088	17.127	0.049	35.920	36.075	0.155	31.966	32.130	0.164	45.985	46.153	0.178				
3	17.085	17.136	0.050	35.930	36.080	0.150	31.964	32.130	0.166	45.958	46.145	0.187				
	17.082	17.135	0.030	35.840	35.980	0.140	31.970	32.130	0.160	45.985	46.133	0.148				
4	17.074	17.125	0.050	35.850	36.005	0.155	31.920	32.060	0.140	45.990	46.146	0.156				
	17.075	17.138	0.053	35.865	36.035	0.170	31.947	32.087	0.140	45.992	46.167	0.175				
5	17.080	17.133	0.053	35.930	36.060	0.130	31.921	32.120	0.199	45.974	46.148	0.174				
	17.072	17.125	0.053	35.920	36.055	0.135	31.930	32.120	0.190	45.972	46.120	0.158				

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	17.082	17.137	0.055	35.930	36.075	0.145	31.922	32.120	0.198	45.990	46.174	0.184
	17.080	17.139	0.059	35.920	36.060	0.140	31.945	32.130	0.185	45.997	46.176	0.189
7	17.082	17.138	0.056	35.930	36.045	0.115	32.000	32.180	0.180	45.152	46.152	0.167
	17.08	17.140	0.06	35.916	36.075	0.159	31.980	32.155	0.175	45.984	46.195	0.211
8	17.085	17.150	0.065	35.908	36.060	0.158	31.904	32.157	0.153	45.978	46.176	0.198
	17.075	17.142	0.066	35.900	36.050	0.150	31.936	32.140	0.104	45.977	46.166	0.189
9	17.083	17.138	0.055	35.840	36.005	0.165	31.968	32.135	0.168	45.977	46.172	0.205
	17.083	17.135	0.052	35.920	36.040	0.120	31.994	32.145	0.151	45.962	46.164	0.202
10	17.087	17.120	0.042	35.945	36.000	0.055	31.921	32.052	0.122	45.90	46.162	0.262
	17.082	17.150	0.068	35.915	36.130	0.215	31.945	32.120	0.175	45.982	46.188	2.06
Сер.	17.080	17.134	0.056	35.903	36.046	0.143	31.95	32.12	0.17	45.97	46.16	0.19
					(0.328%)				(0.532%)			(0.413%)

**Результати замірів розмірів напрямляючих апаратів (УЕ 155.034) ЕВН-80  
до і після термічної обробки**

№ п/п	Ø36НП+0.15				Ø21.5НП+0.13				Ø24.5 ± 0.03		
	До термо- обробки, мм	Після термооб- робки, мм	Зміна, мм	До термооб- робки, мм	Після термооб- робки, мм	Зміна, мм	До термооб- робки, мм	Після термооб- робка, мм	Зміна, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	36.150	36.350	0.200	21.600	21.675	0.075	24.460	24.572	0.112		
	36.200	36.300	0.100	21.610	21.665	0.055	24.460	24.600	0.110		
2	36.200	36.300	0.100	21.640	21.660	0.020	24.460	24.553	0.093		
	36.200	36.250	0.050	21.650	21.690	0.040	24.880	24.557	0.323		
3	36.200	36.250	0.050	21.630	21.672	0.042	24.450	24.547	0.097		
	36.200	36.250	0.050	21.650	21.680	0.030	24.460	24.555	0.095		
4	36.150	36.300	0.150	21.670	21.695	0.025	24.350	24.516	0.166		
	36.200	36.200	0	21.650	21.657	0.007	24.410	24.560	0.150		
5	36.200	36.300	0.100	21.630	21.670	0.040	24.410	24.554	0.135		
	36.200	36.300	0.100	21.630	21.695	0.065	24.450	24.553	0.103		

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	36.200	36.250	0.050	21.640	21.720	0.080	24.410	24.570	0.130
	36.150	36.250	0.100	21.650	21.650	0	24.480	24.532	0.053
7	36.200	36.270	0.070	21.600	21.600	0	24.420	24.520	0.100
	36.200	36.330	0.130	21.620	21.570	0.050	24.420	24.500	0.080
8	36.200	36.350	0.150	21.650	21.695	0.045	24.440	24.608	0.158
	36.250	36.300	0.050	21.650	21.682	0.032	24.480	24.595	0.115
9	36.150	36.300	0.150	21.700	21.825	0.125	24.400	24.535	0.135
	36.200	36.350	0.150	21.740	21.870	0.130	24.440	24.555	0.115
10	36.200	36.250	0.050	21.690	21.736	0.046	24.450	24.575	0.125
	36.250	36.330	0.080	21.740	21.766	0.026	24.460	24.583	0.123
	36.195	36.290	0.0865	21.650	21.685	0.020	24.460	24.560	0.100
	(0.239%)			(0.092%)			(0.408%)		



Крім того, результати проведення досліджень дозволяють позитивно відповісти на питання про правомірність прийнятого методу термообробки і механообробки деталей ЕВН з мінусовим допуском. Це, в свою чергу, дозволяє рекомендувати проводити кінцеву механообробку деталей до їх термічної обробки, і, відповідно, виключити з технологічного процесу заключну трудомістку операцію – шліфівку деталей після їх термічної обробки. Експерименти показали, що якість поверхонь деталей з модифікованого чавуну достатньо висока, а відсутність зон відбілювання, окалини і короблень на ній після термообробки дозволяє прийняти цю рекомендацію у виробництво робочих органів ЕВН, що, звичайно, знизить собівартість виготовлення ступеней ЕВН.

### **3.5.1 Дослідження впливу методу термічної обробки на зміну розмірів виливків елементів ступеня насоса з сірого модифікованого церієм чавуну**

Враховуючи, що степінь зміни розмірів виливків елементів ступеня насоса окрім складу вихідного чавуну і однорідності його структури та розміру елементів, залежить і від методу їх нагріву при термічній обробці, на машинобудівному заводі “Іскра” (м. Боярка) були проведені дослідження з оцінки якості робочих органів ЕЦН 5-80, при цьому вилиті заготовки для останніх, були виготовлені за новою технологією шляхом їх термічної обробки у вакуумних печах і камерних печах типу KS-800 (додаток Б.2). З цією метою спільно з працівниками інструментального і термічного цехів заводу “Іскра” були відпрацьовані, стосовно до деталей і цілей дослідження, технології нагріву деталей під загартування, захисту деталей від дії на них навколишнього середовища, процесу загартування в масло і відпуску після загартування.

При цьому прагнули максимально задовольняти всім вимогам до термообробки, викладеним в технологічній інструкції з використанням печей об’ємного нагріву з захисним середовищем. Вилиті заготовки робочих органів ЕЦН 5-80 виготовлялись методом точного литва за випалюваними газмоделями в науково-виробничому підприємстві “ТЕХНОМЕТ”. На ньому за нашим замовленням було розроблено і обладнання для литва.

Одночасно досліджувався також вплив термообробки на зміну розмірів деталей. З цією метою були відібрані по 10 направляючих апаратів і 10 робочих коліс ЕВН 5-80 для нагріву їх у вакуумній і камерній печах.

Всі деталі були виміряні до, а також після термічної обробки, визначена твердість деталей, в'ясна структура і хімічний склад чавуну до і після термічної обробки. Тобто, виконано весь комплекс досліджень, який дозволяє зробити порівняльну оцінку термічної обробки робочих органів з нагрівом в різних печах. Із табл.Б3.1 додатку Б3 видно, що технології точного литва за виплавляємими моделями і газмоделями забезпечують приблизно однаковий приріст однойменних розмірів виробів відповідно 0.392 % і 0.38 % при діаметрі  $\varnothing$  80 мм, 0.38 % і 0.35 % при діаметрі  $\varnothing$  21мм. Відмічається більш високий приріст розмірів більшого діаметра і тенденцію його зменшення із зменшенням діаметра виробу. Виявлена тенденція проявляється за всіма аналізованими технологіями і, очевидно, пов'язана з масштабним фактором, так як із зменшенням розміру деталі понижується і точність її вимірювання.

Друга особливістю, яка проявляється більш рельєфно, це залежність приросту розмірів виробу від хімічного складу чавуну. Так, зниження вуглецю з 0.38 до 0.335 %, марганцю з 0.6 % до 0.5 % і кремнію з 2.7 % до 2.4 % призвело до збільшення діаметра  $\varnothing$  36мм з 0.33 % до 0.45 % і підвищення твердості виробу з 150-170 НВ до 300-320 НВ. При цьому на чавунній виливці появилися сліди відбілу. При підвищенні в наступній плавці вмісту кремнію до 2.75 % ці сліди зникли.

Слід відмітити, що експерименти носили лише порівняльний характер, тобто не ставилося завдання детального вивчення хіміко-термічної структури елементів СН – направляючого апарату та робочого колеса. Поставлене завдання полягало в аналізі зовнішніх ознак та явищ, притаманних процесу термічної обробки під загартування і їх відпуск у камерній печі.

Цікаво також порівняти результати вимірювання приросту розмірів виробів, виготовлених за вказаними методами литва і термооброблених в камерній печі, з деталями виготовленими на АЗЗЕН при внутріформовому модифікуванні і

гермооброблених і застосуванням печі з хімічним захисним середовищем (з рухомим подом).

Приведені в табл.3.7 узагальнені дані отримані по 10 зразкам кожної із розглянутих технологій. Як бачимо, середні значення приросту деталей близькі: 0.335 % (піч з рухомим подом); 0.351 % (камерна піч) і 0.349 % (вакуумна піч). Причому відмічається більш широкий діапазон розкиду значень приросту при використанні камерної печі.

Звертає на себе увагу той факт, що печі з рухомим подом, де механічну обробку виробів вели з від'ємними допусками 0.36 % встановленими експериментально, більшість розмірів вийшли за межі поля допуску на ці розміри. Спостерігається це, хоч і в меншому степені, і при технології з камерними і вуглецевими печами. Найбільша стабільність приросту спостерігається при використанні вакуумних печей, але тут є свої труднощі, пов'язані з забрудненням печі при розміщенні в ній забруднених маслом виробів після їх загартування в маслі.

У табл.Б3.1 (додаток Б3) приведені результати вимірювань основних діаметрів направляючого апарату (максимального  $\varnothing$  80 мм і мінімального  $\varnothing$  21 мм) до і після термообробки, але механічно оброблених з передбачуваним різним відсотком збільшення їх розмірів після термічної обробки (0.335 %, 0.36 %, 0.5 % і 0.62 %). Аналіз результатів таблиці дозволяє зробити наступні висновки:

1. Середні значення приросту розмірів направляючого апарату при термообробці з нагрівом у камерній печі вилитих заготовок, отриманих методом точного литва за виплавлюваними і випалюваними моделям приблизно однакове і складає, відповідно, для  $\varnothing$  80мм – 0.316 і 0.311мм, або 0.40 % і 0.39 %, а для  $\varnothing$  21мм - 0.079 і 0.074мм, або 0.38 % і 0.35 %.

2. Спостерігається тенденція зниження приросту розмірів виробів з зменшенням розміру, та це зменшення незначне і для даного випадку складає 0.03 % (середнє для  $\varnothing$  80 – 0.0395 %, для  $\varnothing$  21 – 0.0365 %), чим, для зручності підрахунків можна знехтувати і прийняти середнє значення 0.38 %.

3. Розкид значень приросту при постійному хімічному складі вихідного (до термообробки) чавуну за зразками також незначний. Так, при прийнятому відсотку

Загальні результати замірів розмірів направляючого апарату і робочого колеса ЕВН 5-80 до і після їх термічної обробки при механічній обробці з від'ємним допуском 0,36 % для різних технологій виготовлення

Розміри за кресленнями UE155,034 UE155,056	Термообробка в печач																							
	з рухомих подом							у камерній печі							у вакуумній печі									
	до	після	зміни	%	до	після	зміни	%	до	після	зміни	%	до	після	зміни	%								
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	79,796	80,065	0,269	0,34	79,66	79,92	0,26	0,32	79,51	79,86	0,35	0,44
$\varnothing 80 e^{-0,06}$ $-0,0134$	74,962	75,168	0,206	0,28	74,6	74,97	0,37	0,50	74,67	74,92	0,25	0,33	74,959	75,207	0,248	0,32	74,72	75,00	0,28	0,37	74,7	75,12	0,32	0,43
$\varnothing 75 H8^{-0,046}$	45,97	46,16	0,19	0,41	45,8	46,0	0,2	0,42	45,97	46,02	0,14	0,31	35,903	36,046	0,143	0,39	35,80	35,94	0,14	0,39	35,87	35,96	0,09	0,25
$\varnothing 46 H8^{+0,039}$	36,159	36,295	0,1	0,28	35,86	36,01	0,15	0,42	35,84	36,01	0,17	0,47	36,159	36,295	0,1	0,28	35,86	36,01	0,15	0,42	35,84	36,01	0,17	0,47
24,5	24,46	24,56	0,1	0,4	24,5	24,57	0,07	0,33	24,50	24,56	0,06	0,28	24,46	24,56	0,1	0,4	24,5	24,57	0,07	0,33	24,50	24,56	0,06	0,28
21,5 НІІ	21,605	21,685	0,08	0,37	21,46	21,52	0,06	0,28	21,51	21,59	0,08	0,30	21,605	21,685	0,08	0,37	21,46	21,52	0,06	0,28	21,51	21,59	0,08	0,30
$\varnothing 21 H8^{+0,033}$	21,055	21,099	0,049	0,24	20,97	21,020	0,05	0,23	20,97	21,04	0,070	0,33	21,055	21,099	0,049	0,24	20,97	21,020	0,05	0,23	20,97	21,04	0,070	0,33
$\varnothing 17 E 9^{-0,075}$ $0,032$	17,08	17,134	0,054	0,32	16,95	16,993	0,043	0,25	16,99	16,904	0,06	0,35	17,08	17,134	0,054	0,32	16,95	16,993	0,043	0,25	16,99	16,904	0,06	0,35
				0,335%				0,351%					0,349%											

збільшення розміру 0.5 % для  $\varnothing$  80мм збільшення величини розміру коливається в межах 0.29 – 0.36мм, а при  $\varnothing$  21мм відповідно 0.074 – 0.079мм. При прийнятому відсотку збільшення розміру 0.035 %, відповідно 0.24 – 0.35мм для  $\varnothing$  80мм та 0.07 – 0.1мм для  $\varnothing$  21мм, що цілком пояснюється і як точністю інструментних вимірювань, так і дією масштабного фактору.

4. Вплив складу чавуну більш істотний. Так, зниження вуглецю з 3.8 % до 3.55 %, марганцю з 0.6 до 0.5 % і кремнію з 2.7 до 2.4 % (очевидно за рахунок вигорання) призвело до збільшення приросту розмірів приблизно в 2 рази з 0.33 до 0.45 %. Цей результат є цікавим і визначає напрямок подальших досліджень, оскільки важливо врахувати істотний вплив на приріст розмірів виливок відсоткового вмісту перліту в структурній основі чавуну. При вмісті 60 % перліту в чавуні приріст розмірів складає 0.22 мм, а при 100 % перліту – 0.6мм.

Достатньо важливим є також порівняння результатів, отриманих при внутріформовому модифікуванні на АЗЗЕН з результатами по модифікуванні в проміжному ковші і термообробкою з використанням камерної печі KS-800 і вуглецевої печі. Результати порівняння приведені в табл.3.8.

Зведені дані по приросту розмірів направляючого апарату і робочого колеса ЕЦН5-80 при внутріформовому модифікуванні і при використанні електропечей для термообробки з рухомим подом та хімзахистом взяті на основі вимірювань, приведених у табл.3.5 – 3.6. Зведені результати з вимірювання приросту розмірів або використанні термообробки в камерних і вакуумних печах отримані на 10 контрольних зразках з застосуванням кожного типу печі. Частково ці результати приведені в табл.Б3.1 (додаток Б3). Аналіз результатів наведених в табл.3.7 дозволяє зробити наступні висновки:

1. Середні значення приросту розмірів виробів при всіх технологіях виготовлення робочих органів близькі між собою і в порівнянні з базою (внутріформове модифікування і термообробка в захисному середовищі) до 0.335 % підвищено при модифікації в проміжному ковші та при використанні камерної печі - до 0.37 % (тобто в 1.1 рази), а при використанні вакуумної печі - до 0.356 % (в 1.06 рази), тобто практично маловідчутно.

2. Найбільша стабільність приросту розмірів виробів спостерігається при термообробці з нагрівом у вакуумних печах, однак при цьому виникають труднощі, пов'язані з забрудненням печі маслом. Використання камерної печі з засипанням виробів вуглем хоч і забезпечує дещо більш низьку стабільність результатів, однак вони практично зрівняні з результатами, отриманими за технологією з використанням печі з газовим захистом. Розкид приросту в першому випадку складає 0.25 % - 0.4 %, а при використанні камерної печі - 0.24 % - 0.5 %.

3. Порівняння отриманого приросту розмірів деталі після термічної обробки з допусками, обумовленими в конструкторській документації, показують, що при прийнятих від'ємних допусках 0.5 % і 0.6 % практично всі розміри знаходяться в допуску, а при 0.36 % і 0.335 % більшість розмірів не вкладаються в поле допусків. Розрахунки показують, що для надійності отриманого кінцевого результату при термічній обробці необхідно величину від'ємного допуску на механічну обробку прийняти 0.38 % – 0.39 % незалежно від технології, яку застосовують.

### **3.6. Встановлення емпіричних залежностей для визначення величини від'ємних припусків виливків елементів ступеня насоса з сірого модифікованого церієм чавуну**

У розділі 2.3 була встановлена залежність (2.1), за допомогою якої можна визначити величину приросту деталей ступеня насоса при їх термічній обробці. Проте, дискретність експериментальних взірців не дає можливість встановити значення узгоджуючого коефіцієнта для будь-якого розміру деталей, вилитих з перлітного чавуну модифікованого церієм [74].

Як видно з табл.2.3, узгоджувачий коефіцієнт пропорційно збільшується із збільшенням розміру деталей. Провівши лінійну апроксимацію, отримаємо аналітичну залежність величини узгоджуючого коефіцієнта від діаметру деталі

$$k_T = 1.245 + 0.000368 d \quad (3.11)$$

Провівши порівняння значень узгоджуючого експериментального  $k_E$  та теоретичного  $k_T$  коефіцієнтів, можна зробити висновок, що розбіжність значень цих

коефіцієнтів, встановлених експериментально та розрахованих теоретично за формулою (2.3) менше 1 % (табл.3.8).

Після підстановки рівняння (3.11) у рівняння (2.2) отримаємо залежність:

$$\Delta = 0.068475 + 0.0034255d + 0.000001012d^2, \quad (3.12)$$

яка дає можливість визначити величину приросту будь-якого розміру деталей, вилитих з перлітного чавуну модифікованого церієм після обробки у камерних печах. При цьому розкид приросту розмірів виробів згідно дослідів не перевищує 0.07 %, що, при врахуванні від'ємних допусків, не виходить за межі розрахункових допусків і дозволяє спростити технологію виготовлення виробів, виключивши трудомістку операцію шліфування після термообробки (або іншу механічну обробку), і тим самим знизити вартість виробу.

Таблиця 3.9

#### Відхилення значень узгоджуваних коефіцієнтів

$k_E$	$k_T$	$ k_E - k_T $	%
1,25	1,252728	0,00273	0,22
1,25	1,258248	0,00825	0,66
1,26	1,261928	0,00193	0,15
1,28	1,2726	0,00740	0,58
1,28	1,27444	0,00556	0,44
1,3	1,28916	0,01084	0,84
1,32	1,32596	0,00596	0,45

Аналіз наявних відомостей дозволяє констатувати, що при використанні вакуумних і, особливо, камерних печей та модифікації чавуну в проміжному ковші, величина приросту дещо (на 5.0 %-10.0 %) більша, ніж при термообробці в печах з рухомим подом. Однією з причин можна вважати недотримання вимог хімічного складу чавуну при плавці (контроль за цим процесом в умовах заводу "Іскра" значно слабший, ніж на АЗЗЕН).

При проведенні дослідження на АЗЗЕН вміст перліту в основі чавуну складав 80.0 %, а в плавках, виконаних на заводі "Іскра", цей показник коливався в межах 78.0 % -80.0 % (в різних плавках). Вище було відмічено, що чим більший відсоток перліту в чавуні, тим більший відсоток приросту розміру виробу при його термічній обробці. Ступінь впливу перліту на цей показник може бути врахований,

якщо скористатися наступною формулою, аналогічною (2.1)

$$\Delta = \Delta_{60} + \Delta l(X - 60) K, \quad (3.13)$$

де  $\Delta_{60}$  – приріст розміру деталі при 60 % перліту, рівному, згідно дослідів, 0.22мм;  $\Delta l$  – приріст розміру деталі при 100 % перліту, рівному 0.006мм;  $X$  – дійсний відсоток вмісту перліту;  $K$  – узгоджуючий коефіцієнт, рівний згідно дослідів 1.25 – 1.3.

Визначимо приріст деталі при 80 % і 87 % перліту (П) в структурі чавуну:

при 80.0 % П

$$\Delta_{80} = [0.22 + 0.006(80 - 60)] 1.28 = 0.435 \text{ мм}, \quad (3.14)$$

при 87.0 % П

$$\Delta_{87} = [0.22 + 0.006(87 - 60)] 1.28 = 0.489 \text{ мм}, \quad (3.15)$$

тобто збільшення вмісту перліту з 80.0 % до 87.0 % повинно було призвести до збільшення приросту виробу на  $\Delta = 0.489 - 0.435 = 0.054$  мм.

У нашому випадку приріст розміру  $\varnothing 80.0$ мм при 80.0 % П склав 0.269 мм, а при 87% П – 0.34 мм, в той час, як повинно бути  $\Delta = 0.269 + 0.054 = 0.323$  мм. Як бачимо, розбіжність незначна  $\Delta_p = 0.34 - 0.323 = 0,017$  мм, що можна пояснити неточним значенням визначення вмісту перліту при термообробці деталей в печі з рухомим подом. Для даної плавки його не визначали, а прийняли значення визначене для плавки при проведенні дослідів. Крім того, нами було прийняте середнє значення вмісту перліту, визначене в чотирьох плавках виконаних при модифікації. При цьому, значення узгоджуючого коефіцієнта також було прийняте середнім. Необхідно враховувати і вплив інших факторів, наприклад, деякі розбіжності в режимах термообробки і т.д. Таким чином, можна відмітити, що наведеним в розділах 3.5 і 3.5.1 дослідом знайшов додаткове підтвердження аналітичний метод визначення розмірів виробів із сірого чавуну при його термічній обробці, що є важливим результатом виконаного досліді.

Для зручності аналізу впливу виду термічної обробки на приріст розміру робочого органу ЕВН було проведено апроксимацію отриманих результатів (табл.3.7) за методом найменших квадратів і отримано графіки (рис.3.33) залежності



величини приросту  $\Delta$  робочих органів ЕВН, виготовлених з сірого чавуну модифікованого церієм від номінального значення розміру  $d$  робочого органу  $\Delta=f(d)$ , які описуються наступними аналітичними виразами [97]:

$$\Delta_1 = 0,01 + 0,0031d, \quad (3.16)$$

$$\Delta_2 = -0,02219 + 0,004296d, \quad (3.17)$$

$$\Delta_3 = -0,04058 + 0,004643d, \quad (3.18)$$

де  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  – величини приросту розмірів відповідно при термообробці в печі з рухомим подом, камерній печі, вакуумній печі; мм.

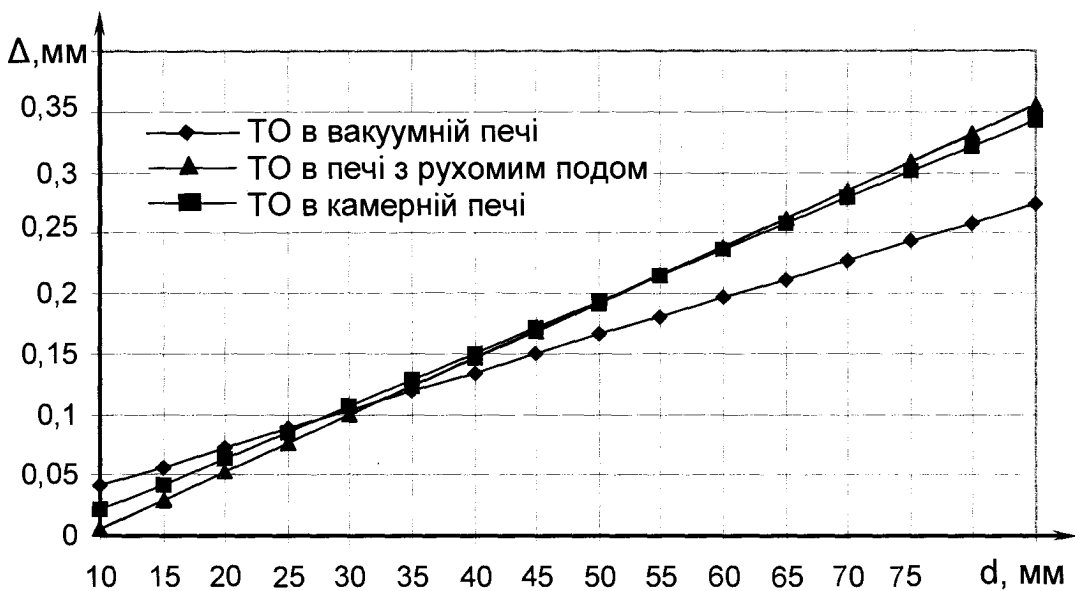


Рис. 3.33. Залежність приросту розміру діаметрів  $\Delta$  робочих органів ЕВН від їх номінальних значень  $d$  при різних методах термообробки (ТО).

Як видно з рис.3.33 вид термообробки істотно впливає на величину приросту розмірів. При термообробці в печах із рухомим подом відсоток приросту розміру становить 0,31%, у печах камерних – 0,43%, у вакуумних печах – 0,46%. При цьому при термообробці в печі з рухомим подом і камерній печі розсіювання приросту розмірів більше, ніж при термообробці у вакуумній печі, що пояснюється більш рівномірним прогрівом виливків. Проте при термообробці у вакуумних печах виникає необхідність у ретельній очистці виливків від масла і бруду, які можуть призвести до виходу з ладу вакуумної печі. Останнє дає підставу рекомендувати для промислового використання печі камерного типу.

## Висновки до розділу

1. Розроблена трьохвимірною модель робочого колеса, використання якої дозволяє змодельовати відомі форми його зносу та досліджувати вплив осьового навантаження на торцьову пару тертя і зносу робочого колеса на зміну його НДС.

2. Проведені результати моделювання впливу зміни геометричних розмірів робочого колеса ЕВН показали, що величина напору  $H$  і висота подачі  $Q$  залежать від кутів  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ , які визначають геометрію лопатей робочого колеса і змінюються в процесі зношування останніх. Збільшення зношування, яке призводить до зміни  $\beta_2 > 30\%$ , може призвести до виникнення явища гідродинамічного удару та відриву потоку рідини. Зміна товщини лопаті (її зменшення внаслідок зносу) призводить до зменшення подачі насоса, хоча і в незначній мірі (до 0,5%).

3. Проведені дослідження на зносостійкість пари тертя “направляючий апарат-захисна втулка вала” показали, що для серійного виробництва представляють інтерес пара тертя “модифікований чавун-композит ПН55Т45”, яка в 10,4 рази більш зносостійка, ніж серійна пара “сірий чавун-латунь”, та пари “модифікований чавун-композит ЛО-90-1” і “модифікований чавун-композит ПК70Н2Д2”, які приблизно в 3-5 разів більш зносостійкі в порівнянні з серійною парою, а це наближено до стійкості робочих органів.

4. Проведені результати досліджень на зносостійкість матеріалу пари тертя “направляючий апарат-опорна шайба” показали, що в серійних робочих органах слід використовувати шайби, виготовлені з композиту ПК70Н2Д2, який хоча менш зносостійкий (6,2%) по відношенню до шайб, виготовлених з матеріалів на базі бронзи (4,2%) і міді (5,0%), однак в 10 разів дешевший.

5. Результати досліджень на зносостійкість пари тертя “модифікований чавун-модифікований чавун”, яка володіє в 2,0 рази більшою зносостійкістю, ніж серійна пара “сірий чавун-текстоліт”, вказують на можливість створення конструкції ступеня без опорних шайб із одного матеріалу.

6. Дослідження впливу приросту тріщини на зносостійкість чавуну модифікованого церієм показали, що інтенсивність зношування чавуну, модифікованого церієм та ітрієм при всіх значеннях контактних тисків суттєво

менша, ніж модифікованого церієм та бором, а при збільшенні контактного тиску ефект від модифікації церієм та ітрієм зростає.

7. Експериментальні дослідження впливу термічної обробки на зміну розмірів виливки елементів ступеня насоса з сірого модифікованого чавуну показали, що збільшення їх розмірів в результаті термообробки складає в середньому 0,34-0,36% і коливається від 0,28 мм (для  $\varnothing 80.0$ мм) до 0,055 (для  $\varnothing 17.0$ мм). Останнє дозволяє при механічній обробці відразу ж задавати розміри деталі з врахуванням компенсації зміни розмірів при термообробці, тобто враховувати цю зміну мінусовим допуском, рівним 0,36% від розміру деталі. Результати дослідження впливу методу термічної обробки на зміну розмірів виливків елементів ступеня насоса з сірого модифікованого церієм чавуну показали, що:

- метод отримання заготовок (точно литво за виплавленими і випалюваними моделями) не впливає на середнє значення приросту їх розмірів при термообробці в камерній печі;

- зменшення розмірів виливок призводить до зменшення приросту їх розмірів при термообробці;

- на зміну приросту розмірів виливок при їх термообробці суттєво впливає склад чавуну. Зменшення вуглецю з 3,8% до 3,55%, марганцю з 0,6% до 0,5% та кремнію з 2,7% до 2,4% призводить до збільшення приросту розмірів приблизно в 2 рази;

- найбільша стабільність приросту розмірів виливок спостерігається при термообробці у вакуумних печах, однак при цьому виникають труднощі, пов'язані з забрудненням печі маслом.

8. У результаті обробки експериментальних даних отримані емпіричні залежності приросту розмірів виливок елементів ступеня насоса від їх номінальних значень при різних методах термообробки, які дозволяють розрахувати необхідну величину від'ємного допуску на механічну обробку виливків до їх термообробки.

## РОЗДІЛ 4

# РОЗРОБКА НА НАУКОВО ОБГРУНТОВАНИХ ЗАСАДАХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕВН ПІДВИЩЕНОЇ ДОГОВІЧНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

### 4.1. Розробка конструкції ступеня ЕВН з поліамідною робочою частиною

У розділі 1.3 було відмічено, що елементами ступеня ЕВН, які визначають міжремонтний термін її служби, є радіальна (захисна втулка вала - ступиця направляючого апарата) та торцеві (верхня і нижня) опори, що сприймають осьові і радіальні навантаження на ступінь. Досвід експлуатації ЕВН показує, що, як правило, верхня торцева опора практично не зношується, так як вступає в роботу епізодично при нештатних умовах експлуатації. З цієї ж причини верхні торцеві опори деколи навіть не передбачаються (наприклад, в ЕВН-200) в конструкції ступеня.

Практика експлуатації ЕВН показує, що інтенсивність зношування опорних елементів ступеня насоса в кратне число разів (в 2-3 рази і більше) вища, ніж проточних каналів робочих органів. З цієї причини захисні втулка вала та опорні шайби в ступені виконуються замінними із матеріалу з незначними зношувальними характеристиками, який є порівняно доступним та дешевим. Зокрема, для захисної втулки вала використовується латунь, а для опорних шайб - текстоліт. Цей вибір обґрунтовано багатьма дослідженнями та досвідом експлуатації. Однак наведені в розділі 3 результати досліджень показують не раціональність вибору вказаних матеріалів та наявність суттєвих резервів в підвищенні зносостійкості розглянутих пар тертя.

У той же час ситуація, що склалася, (коли елементи ступеня ЕВН різні за зносостійкістю) дозволяє обґрунтовано ставити питання як про підвищення зносостійкості всіх елементів ступеня до визначеного науково - та економічно обґрунтованого рівня, так і про можливість виготовлення проточної частини робочих органів з менш зносостійкого, але технологічно та економічно більш

прийняттого матеріалу (наприклад, поліаміду), який забезпечує рівностійкість всіх елементів без помітного зниження загального терміну служби ступеня.

Це питання вже піднімалося спеціалістами, навіть більше того - протягом ряду років випускаються малими серіями робочі колеса для ЕВН5-125, ЕВН5-200 з поліаміду марки 610РЗ (радіоактивно опроміненого). З досвіду експлуатації можна з впевненістю сказати, що робочі колеса з поліаміду 610РЗ в комплекті з чавунними направляючими апаратами ступеня працюють добре і до першого ремонту насоса не виникає ніяких ускладнень. При цьому знос проточних каналів не нижче, ніж в ступенях, які повністю виготовлені з чавуну. Більше того, за цими параметрами поліамідні колеса могли б повторно використовуватися при ремонті насосу.

Аналіз роботи та зношування робочих коліс з поліаміду вказує на необхідність виготовлення з поліаміду проточної частини не лише в робочих колесах, але і в направляючих апаратах ЕВН.

Така постановка питання вважається правомірною, виходячи з наступного:

1. Виконання проточної частини направляючого апарата і робочого колеса робить ступінь рівностійкою.

2. При цьому досить просто і з достатньо високою точністю вирішується питання підвищення гідродинаміки ступеня на 10-15%, так як клас частоти при пластмасовому литві каналів значно вищий, ніж при чавунному.

3. Зважаючи на заміну робочих коліс на нові при ремонті насоса, відпадає необхідність виготовлення опорних шайб змінними. Більш доцільно виготовляти їх як одне ціле з робочим колесом з поліаміду при відливці останнього.

4. За цими ж причинами немає необхідності виконувати змінними захисні втулки вала, передбачивши з метою підвищення надійності їх кріплення на шпонки вала, збільшення зовнішнього розміру діаметра втулки вала одразу ж до ремонтного розміру, тобто з 21мм до 21,6мм (для ЕВН5-50,80,125).

Відмітимо, що виконання захисної втулки вала одним цілим з робочим колесом вирішує також питання підвищення надійності кріплення робочого колеса на валу, так як довжина шпоночного паза в робочому поліамідному колесі приблизно в два рази довша, ніж в чавунному колесі. Всі відмічені моменти

неодноразово перевірялися при ремонті ЕВН в ПРЦ ЗЕУ (м. Варва) НГВУ «Чернігівнафтогаз», що дозволяє обгрунтовано запропонувати нову конструкцію ступеня ЕВН з поліамідною проточною частиною як робочого колеса, так і направляючого апарата [12]. Нова конструкція ступеня представлена на рис.4.1 і включає: направляючий апарат 1, що складається з металевого (сталь, чавун, алюміній) корпусу 2 і проточної поліамідної частини 3, які з'єднані між собою одним з відомих способів - отвори (наприклад, 4), канавки, накатка тощо), робочого поліамідного колеса 5, яке виконане як одне ціле з радіальною (захисна втулка вала) 6, нижньою 7 та верхньою 8 торцевими опорами з того ж матеріалу, що і робоче колесо (поліамід 610Р3) у процесі його відливки.

Детально конструкція направляючого апарата представлена на рис.4.2, а робочого колеса - на рис.4.3.

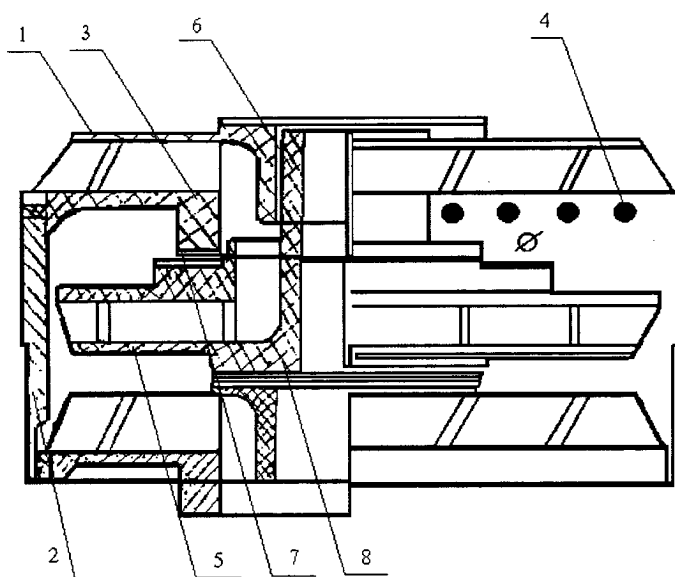


Рис. 4.1. Конструкція ступеня робочого органу ЕВН

1 – направляючий апарат (НА), 2 – металевий корпус, 3 – поліамідна робоча частина НА, 4 – елемент кріплення поліамідної робочої частини НА до корпусу, 5 – поліамідне робоче колесо, 6 – захисна втулка вала, 7 – нижня опора ступеня, 8 – верхня опора ступеня.

Відмітимо, що проточні частини як робочого колеса, так і направляючого апарата, які відлиті з поліаміду, володіють безсумнівними перевагами по відношенню до відливок з чавуну, насамперед за гідродинамічними характеристиками, так як поліамідне литво забезпечує більш чисту поверхню

каналів і лопаток. Наслідком цього є зменшення і гідродинамічних витрат і збільшення на 10-15% потужності.

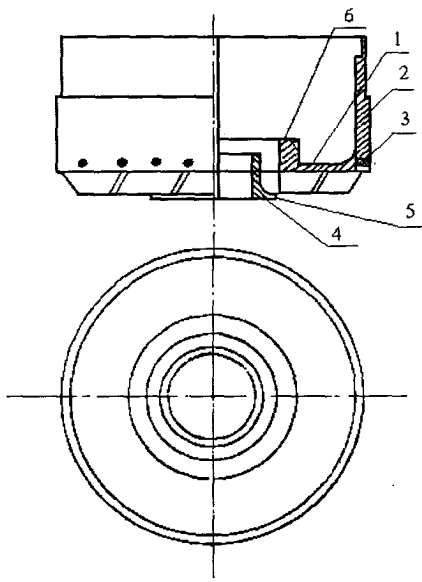


Рис. 4.2. Конструкція направляючого апарата (НА)

1 – поліамідна робоча частина, 2 – металічний корпус, 3 – елемент кріплення поліамідної робочої частини НА до корпусу, 4 – ступиця, 5 – поверхня нижньої опори, 6 – поверхня верхньої опори.

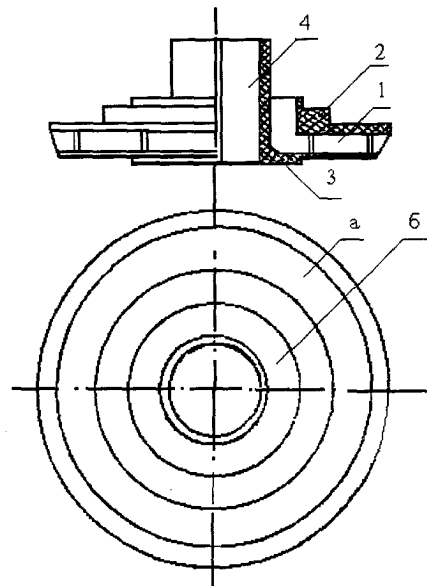


Рис. 4.3. Конструкція робочого колеса (поліамідного)

1 – робочі канали, 2 – поверхня (а) нижньої осьової опори, 3 – поверхня (б) верхньої осьової опори, 4 – захисна втулка вала.

Крім того, виконання опорних шайб і захисної втулки вала як одне ціле з робочим колесом суттєво спрощує конструкцію ступеня ЕВН, а також робить її більш надійною за рахунок рівності всіх елементів. При цьому враховуємо, що стійкість поліамідного ступеня в кратно число разів менша, ніж серійної чавунної, а стійкість поліамідного ступеня знаходиться на рівні стійкості чавунного ступеня до ремонту і з'являється можливість зробити ступінь одноразового користування.

Якщо при збиранні і експлуатації насоса з робочим колесом з поліаміду не виникає практично ніяких ускладнень, то використання направляючих апаратів з поліаміду викликає серйозні труднощі, відмічені в розділі 1.3.

Так, через податливість поліаміду може виникати при стягуванні ступенів обтискання захисної втулки вала поліамідною ступицею направляючого апарата. В

результаті при повертанні вала і його обертанні контакт буде розігріватися, пластмаса розм'якшуватися і опорний радіальний вузол ступеня буде виходити з ладу. Розм'якшення поліаміду буде проходити також в зонах контакту ступенів (корпуса направляючого апарата) з внутрішньою поверхнею корпуса насоса при повертанні насоса і т.д. Ці суттєві недоліки не дозволяють на пряму вирішити задачу використання поліамідних направляючих апаратів в насосі. В той же час задача буде вирішеною, якщо корпус направляючого апарата виконати металевим, а проточну частину - поліамідною. Для цього необхідно попередньо підготовлений металевий корпус направляючого апарата встановити в пресформу і залити поліамідом. При цьому в металевому корпусі повинні бути заздалегідь передбачені (отвори, пази, кишені, канавки тощо) для надійного закріплення проточної частини апарата з металевим корпусом. Виконані нами дослідження показали, що надійне з'єднання цих двох частин апарата досягається виконанням 6-8 отворів діаметром 4-6мм в корпусі, що заповнюються при литві поліамідом, або виконанням відповідних канавок, глухих пазів і інше. При цьому слід мати на увазі, що коефіцієнт усадки металу і поліаміду різний і його необхідно враховувати.

На рис.4.1 показані деякі конструктивні завдання з'єднання проточної частини апарату з корпусом.

Були виготовлені дослідні партії ступеней ЕВН5-125, ЕВН5-200 з металополімерним направляючим апаратом і поліамідним робочим колесом, з яких зібрані секції насоса в ПРЦ ЗЕУ НГВУ "Чернігівнафтогаз".

При цьому в одному насосі встановлювалась одна серійна та одна дослідна секції. Так, на свердловину №165 Гнідинці з метою подальшого дослідження був направлений насос ЕВН-125-800, в якого серійна секція №100475 була встановлена разом з дослідною секцією № 101405, зібраною з дослідних полімерно-металевих ступеней. Всі показники (плавний запуск, час підвищення тиску - до 40-55 атм протягом 1-2 хв і інші знаходились в межах серійних насосів.

Відсутність фінансування промислових випробувань не дозволила їх завершити і отримати результати та провести їх порівняльну оцінку з серійними ЕВН.



## **4.2. Виготовлення направляючого апарата і робочого колеса ЕВН з сірого модифікованого цезієм чавуну**

Виходячи з поставлених в 1.5 завдань досліджень процес виготовлення ступеней ЕВН повинен відповідати наступним вимогам:

1. Максимально вписуватися в існуючий технологічний процес виготовлення деталей ЕВН;
2. Володіти максимальною простотою і економічністю;
3. Не змінювати геометричних розмірів готової деталі, що виключить додаткову кінцеву механічну обробку.
4. Не вимагати дорогого і дефіцитного обладнання, а також значних площ для виробничого циклу.
5. Відповідати вимогам екології, охорони праці і техніки безпеки.
6. Зносостійкість і корозійна стійкість елементів ступеня повинна знаходитись на високому і однаковому рівні.

Вказаним вище вимогам максимально відповідає спосіб, суть якого полягає в наступному:

- робочі органи ЕВН відливаються з сірого чавуну перлітного класу, модифікованого при литві рідкоземельними металами (ітрій, церій), які володіють хорошими ливарними властивостями і твердістю 44-48HRC, з однорідною структурою з мартенситною основою після термообробки;
- кінцева механічна обробка деталі до термічної обробки проводиться за спеціальною технологією з мінусовими допусками і є легкою;
- деталі після механічної обробки піддаються термообробці за спеціальною технологією, після якої вони мають кінцеві розміри і високу зносостійкість.

### **4.2.1. Виготовлення виливки направляючого апарата і робочого колеса із сірого чавуну модифікованого цезієм**

У роботі [73] були приведені результати досліджень експериментальних виливок чавуну модифікованого рідкоземельними металами (цезієм, ітрієм) з перлітною основою. Експериментальні плавки показали можливість отримання

чавуну з перлитною структурою і великулярним графітом без суттєвих змін технологічного процесу і складу вихідного чавуну. Розроблена технологія литва дозволяє повністю виключити ливарний брак і відбіл модифікованого чавуну.

Склад чавуну, а також розрахунок шихти і технологічна інструкція отримання чавуну наведені в додатку В1, а технологічна інструкція його термообробки – в додатку В2.

Відмінною рисою розробленої технології литва за моделями, що виплавляються, є двоступінчасте модифікування сірого чавуну.

1. Перша стадія – модифікування феросіцілієм ФС 75 (2,4%) і феромарганцем (ФМ-78 у кількості 0,59%), подрібленим на шматки розміром не більше  $10-15 \cdot 10^{-3}$  м, які вводяться в проміжний ковш у струмінь металу, нагрітого до температури 1500°C.

2. Друга стадія – модифікація здійснюється СеFe лігатурою, подрібленою на шматки не більше  $5 \cdot 10^{-3}$  м в кількості 0,01-0,05% у перерахунку на Се (для робочих органів ЕВН 0,01-0,02%) у залежності від товщини січення відливки і швидкості охолодження.

Відмінністю розробленої технології є те, що модифікатор СеFe вводиться у вихідний чавун не в міксер чи в розливний ківш, а рівномірно подається безпосередньо в струмінь металу при заливці в форму, що забезпечує отримання стабільної однорідної структури і різко знижує витрату модифікатора через повне його засвоєння.

В додатку В3 наведений розрахунок шихти для дослідної відливки 2000 комплектів робочих органів (направляючий апарат+ робоче колесо).

Для забезпечення рівномірної подачі модифікатора при внутрішньоформовій модифікації був виготовлений в Українському нафтогазовому інституті порошок дріт, заповнений модифікатором. Для регулювання швидкості подачі дроту з модифікатором у струмінь металу, який направляється у форму, розроблена спеціальна установка.

Конструкція установки для подачі модифікатора і принцип її роботи наведені в додатку В4.

Важливою відмінною властивістю нової технології є також те, що з метою виключення механічної обробки загартованих при термообробці деталей, ця операція вимкнена і замінена кінцевою механічною обробкою деталі із сірого чавуну до її термообробки. При цьому мехобробка проводиться з мінусовими допусками, які компенсують зміни розмірів при термічній обробці. Останні визначаються експериментальним шляхом або за допомогою запропонованого в розділі 3.7 аналітичного методу.

#### **4.3. Технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи захисної втулки**

Забезпечення надійності роботи будь-якого виробу визначається не лише його конструкцією чи використанням нових матеріалів, а й у значній мірі технологією його виготовлення. Тобто істотний вплив на якість виробу мають технологічні параметри його виготовлення та зміцнення.

Загальний підхід до оцінки технологічного процесу полягає в його детальному аналізі як на стадії отримання заготовки, так і в процесі механічної і викінчувальної обробки, що тісно пов'язані з умовами роботи виробу, а також техніко-економічні розрахунки і обґрунтування оптимального маршруту.

Аналіз технологічного процесу з метою оптимізації технологічних параметрів для забезпечення максимальної надійності повинен містити такі етапи:

- аналіз співставних технологічних процесів виготовлення втулки;
- побудова узагальненого маршруту виготовлення втулки ;
- визначення впливу окремих операцій технологічного маршруту;
- моделювання технологічного маршруту виготовлення втулки ;
- визначення впливу технологічних параметрів на показники якості поверхні, які забезпечують стійкість поверхні до спрацювання;
- дослідження процесів, які відбуваються з матеріалами, що наносяться на поверхню втулки ;
- лабораторні і промислові дослідження розробленого технологічного процесу;

- визначення економічних показників виготовлення і експлуатації втулки.

При цьому повинні враховуватись ряд факторів, закономірний вплив яких повинен бути спрямований на:

- розробку процесу виготовлення заготовок;
- розробку високопродуктивних операцій;
- підвищення точності заготовок і механічної обробки;
- розробку і впровадження методів маловідходної, енергозберігаючої і зміцнюючої технологій;
- технологічне забезпечення надійності втулки ;
- підвищення рівня технологічності виготовлення втулки ;
- автоматизацію і механізацію виробництва втулки ;
- використання методів автоматизованого проектування технологічних процесів отримання заготовки і її механічної обробки і зміцнення.

Розв'язання перерахованих завдань вимагає проведення великого об'єму як теоретичних, так і практичних досліджень.

*Аналіз структури порівнюваних технологічних маршрутів виготовлення втулки.* В цілому технологічний маршрут виготовлення втулки визначається необхідним рівнем його якості з врахуванням нормативно-технологічної документації та виду заготовки. За заданою величиною твердості і зносостійкості призначається спосіб зміцнення поверхні, а в залежності від нього і вимог до точності і шорсткості поверхні призначають варіанти викінчувальної обробки. Керуючись вимогами до якості металу втулки, вибирають технологічні методи термообробки та викінчувальної обробки втулки.

Таким чином, технологічний маршрут виготовлення втулки складається з таких груп операцій [98] (табл.4.1):

1. Заготівельні;
2. Термообробка;
3. Просочування;
4. Калібрування;
5. Механічна обробка;

6. Підготовка до поверхневого зміцнення;
7. Поверхнєве зміцнення;
8. Викінчувальна механічна обробка;
9. Термічна обробка.

Таблиця 4.1

## Технологічні маршрути виготовлення втулки

	Технологічні маршрути					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Заготівельні операції	Різка прокату					
				Підготовка суміші порошоків		
					Лиття заготовки з СЧ-20	
						Лиття заготовки з модифікованого чавуну
Термічна обробка					Старіння	
Пропитка				Просочування маслом з MoS <sub>2</sub>		
Калібровка				Калібрування зовнішньої та внутрішньої поверхні		
Механічна обробка	Чорнове точіння				Чорнове точіння	
	Чистове точіння				Чистове точіння	
	Прошивка пазу			Прошивка пазу	Прошивка пазу	
Підготовка до поверхневого зміцнення		Обезжирення, гіскоструменева обробка				
Поверхнєве зміцнення	Лазерне гартування					
		Плазмове напилення				
			Дифузійне насичення			
Викінчувальна обробка	Шліфування				Шліфування	
				Гаптовка		
Термічна обробка						Гартування

Вибір групи заготівельних операцій визначається такими вимогами: технологічні властивості матеріалу заготовок, структурні зміни при термообробці, міцність зчеплення нанесеного покриття з основою; конструктивні форми і розміри заготовок; необхідна точність отримання заготовки, шорсткість і якість її поверхонь, програма випуску і терміни виконання цієї програми.

Найбільш вагомим у технологічному процесі виготовлення втулки є поверхневе зміцнення, яке залежить від матеріалу заготовки, і в подальшому визначає наступні операції обробки поверхневого шару, а також надійність з'єднання його з матеріалом основи та зносостійкість. При цьому матеріал заготовки, в комплексі з методом поверхневого зміцнення, визначає об'єм як попередньої механічної обробки, так і викінчувальної.

*Побудова узагальненого маршруту виготовлення втулки.* При побудові технологічного маршруту виготовлення втулки необхідно вирішувати два завдання: визначення переліку операцій і послідовність їх виконання. Вирішення цих завдань вимагає виявлення закономірностей технологічного проектування, які роблять їх багатоваріантними і спрямованими на забезпечення вимог до якості втулки і місця вибраної операції в технологічному маршруті.

Логічні умови вибору операцій можна розділити на ряд груп. Характерними для груп є умови, які визначають якість втулки. Основними умовами є:

- A1. Співвісність внутрішньої та зовнішньої циліндричних поверхонь.
- A2. Точність розміру отвору.
- A3. Точність розміру зовнішньої циліндричної поверхні.
- A4. Шорсткість зовнішньої циліндричної поверхні.
- A5. Відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні.
- A6. Відхилення від циліндричності зовнішньої циліндричної поверхні.
- A7. Покращання оброблюваності матеріалу.
- A8. Твердість поверхневого шару втулки.
- A9. Надійність фіксації втулки на валі.
- A10. Зменшення контактних деформацій.
- A11. Скорочення терміну припрацювання.

A12. Зменшення коефіцієнту тертя.

A13. Підвищення стійкості до абразивного зношування.

A14. Підвищення зносостійкості.

A15. Підвищення корозійної стійкості.

A16. Збільшення ресурсу роботи.

A17. Підвищення надійності з'єднання поверхневого шару з матеріалом основи.

A18. Економія дорогих матеріалів.

A19. Підвищення продуктивності праці.

A20. Підвищення коефіцієнту використання матеріалу.

A21. Зменшення кількості бракованих заготовок.

A22. Зниження собівартості виготовлення втулки.

Виконання кожної умови веде до підвищення якості виготовлення втулки. Наведені умови A1 – A22 визначають конструкторсько-технологічні, експлуатаційні і економічні показники якості втулки. Систематизація умов по групах наведена в табл.4.2.

Впорядкований перелік операцій виготовлення втулок є узагальненим технологічним маршрутом, який включає в себе всі операції виготовлення втулки по різних існуючих і проектних маршрутах.

Таблиця 4.2

### Систематизація умов по групах

№ п/п	Логічні умови якості виготовлення втулки	Група показників якості втулки
1.	A1, A2, A3, A4, A5, A6 A7, A8	Конструкторсько-технологічні
2.	A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17	Експлуатаційні
3.	A18, A19, A20, A21, A22	Економічні

На основі аналізу відомих технологій систематизовані технологічні процеси виготовлення втулки:

M1 – технологічний процес виготовлення втулки із сталеві заготовки – круглого прокату - з подальшим лазерним гартуванням.

М2 – технологічний процес виготовлення втулки із сталевій заготовки – круглого прокату - з подальшою плазмовою наплавкою.

М3 – технологічний процес виготовлення втулки із сталевій заготовки – круглого прокату - з подальшим дифузійним насиченням поверхневого шару нітридом бору.

М4 – технологічний процес виготовлення втулки методом порошкової металургії з композиту на основі латуні.

М5 – технологічний процес виготовлення втулки із заготовки – чавунного виливка, СЧ-20.

М6 – технологічний процес виготовлення втулки із заготовки – чавунного виливка, модифікований чавун.

Узагальнений технологічний маршрут виготовлення втулки є впорядкована множина операцій для різних методів отримання заготовки (рис.4.5).

#### 1. Заготівельні операції – **З**.

А<sub>з1</sub> – різка заготовки з круглого прокату;

А<sub>з2</sub> – заготовка з композиту на основі латуні, виготовлена методами порошкової металургії;

А<sub>з3</sub> – виливок з СЧ-20;

А<sub>з4</sub> – виливок з модифікованого чавуна.

#### 2. Термічна обробка – **С**.

А<sub>с1</sub> – старіння виливка.

#### 3. Просочування – **Н**.

А<sub>н1</sub> – просочування маслом і MoS<sub>2</sub>.

#### 4. Калібрування – **К**.

А<sub>к1</sub> – калібрування спеченої заготовки в пресформі.

#### 5. Механічна обробка – **М**

А<sub>м1</sub> – чорнова обробка втулки;

А<sub>м2</sub> – чистова обробка втулки;

А<sub>м3</sub> – прошивка пазу в отворі.

#### 6. Підготовка поверхні до зміцнення – **О**.



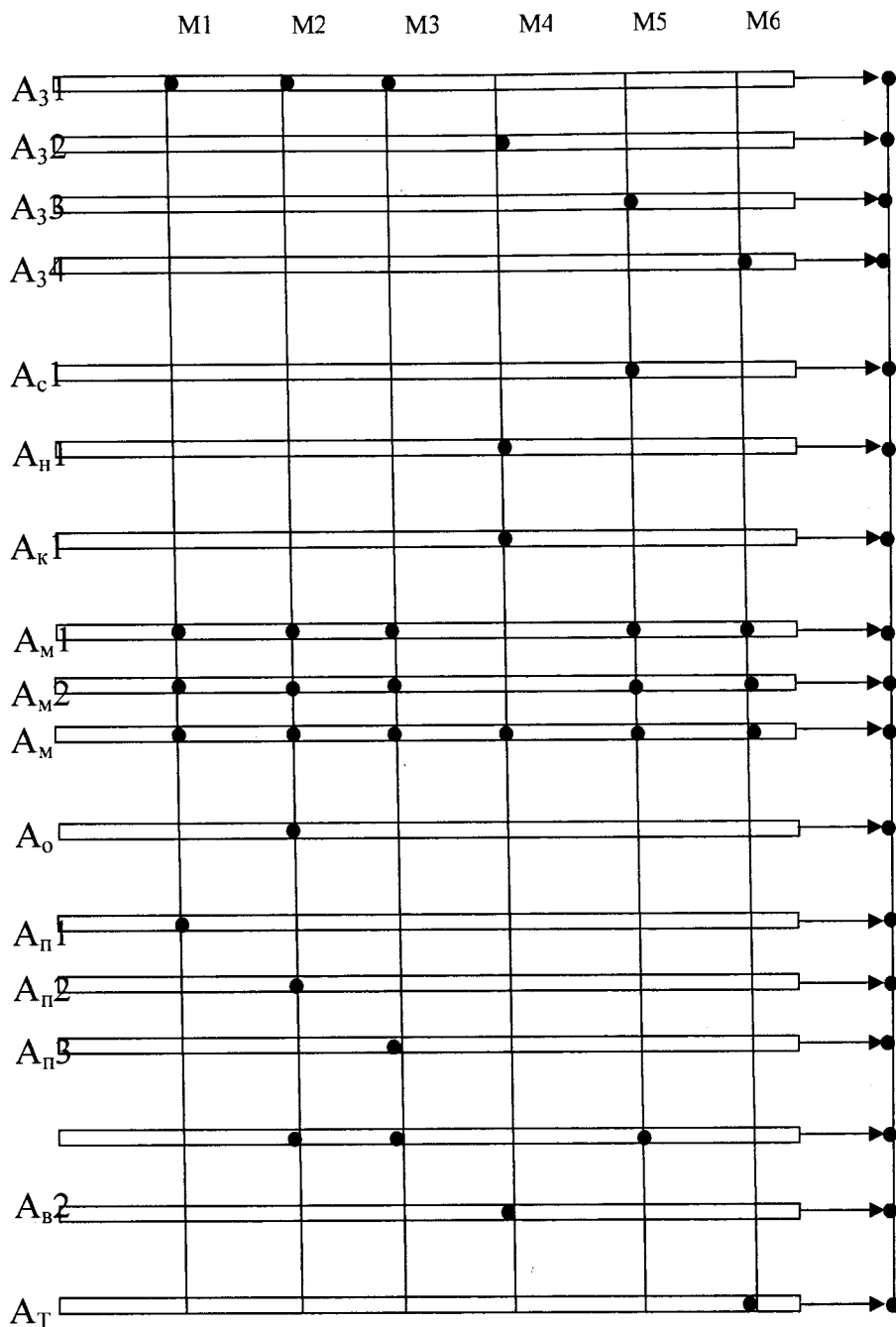


Рис. 4.5. Узагальнений та розроблені маршрути  
виготовлення втулки

$A_{O1}$  – обезжирення і струменево-абразивна обробка.

#### 7. Поверхнєве зміцнення – П.

$A_{П1}$  – лазерне гартування зовнішньої циліндричної поверхні втулки;

$A_{П2}$  – плазмова наплавка зовнішньої циліндричної поверхні втулки;

$A_{П3}$  – поверхнєве дифузійне насичення поверхонь втулки.

#### 8. Викінчувальна обробка – В.

A<sub>B1</sub> – шліфування втулки;

A<sub>B2</sub> – галтовка.

9. Термічна обробка – Т.

A<sub>T1</sub> – гартування з подальшим відпуском.

Логічний зв'язок між операціями узагальненого маршруту і умовами, які визначають якість втулки наведено в табл.4.3.

Аналіз базових, розробленого і узагальненого технологічного маршрутів виготовлення втулки. Аналіз базових, розробленого і узагальненого технологічних маршрутів виготовлення втулки виконано на основі матриці, складеної з врахуванням можливостей реалізації технологічних маршрутів і забезпечення ними необхідних умов якості втулки.

Технологічними маршрутами, які найбільше задовольняють вимоги до втулки, є узагальнений та маршрути М6 і М1.

Таблиця 4.3

**Взаємозв'язок між умовами якості втулки і операціями узагальненого маршруту**

Група операцій	Код операцій	Умови якості виготовлення втулки
1. Заготівельна	A <sub>з1</sub>	A17, A20, A21;
	A <sub>з2</sub>	A4, A11, A12, A15, A21;
	A <sub>з3</sub>	A10, A11, A18, A19, A20, A22;
	A <sub>з4</sub>	A10, A11, A12, A13, A14, A16, A18, A19, A20, A22.
2. Термічна обробка	A <sub>с1</sub>	A7.
3. Просочування	A <sub>н1</sub>	A12
4. Калібрування	A <sub>к1</sub>	A2, A3, A5, A6
5. Механічна обробка	A <sub>м1</sub>	A2, A3, A5;
	A <sub>м2</sub>	A2, A3, A5;
	A <sub>м3</sub>	A9.
6. Підготовка поверхні до зміцнення	A <sub>о</sub>	A17
7. Поверхнєве зміцнення	A <sub>п1</sub>	A8, A10, A13, A16, A18;
	A <sub>п2</sub>	A8, A10, A13, A16;
	A <sub>п3</sub>	A8, A10, A13, A16.
8. Викінчувальна обробка	A <sub>в1</sub>	A1, A2, A3, A4, A5; A6;
	A <sub>в2</sub>	A4.
9. Термічна обробка	A <sub>т1</sub>	A2, A3; A8, A10, A11, A13, A14, A16;

Важливою умовою ефективності технологічного маршруту є кількість операцій в технологічному маршруті, які забезпечують умови якості виробу. Найбільш ефективними в цьому плані є маршрути М6, М5, М3. Водночас слід відзначити найбільш вагомні операції Аз4, Ап1, Ав1, Ат1, які забезпечують найбільш повне охоплення умов якості втулки.

Основними групами показників, які визначають якість втулки, є конструкторсько-технологічні та експлуатаційні показники. Аналіз матриць забезпечення технологічних маршрутів М1-М6 показує (табл.4.4, табл.4.5), що діючий технологічний маршрут виготовлення серійних втулок М5 на 16% забезпечує більш повну відповідність конструкторсько-технологічним показниками якості втулки. Проте за загальними показниками запропонований технологічний процес М6 виготовлення втулки з модифікованого чавуну на 33% повніше забезпечує відповідність порівняно з діючим маршрутом М5.

Потужності технологічних маршрутів М1, М3, М5 є співмірні, що пояснюється високою трудоемкістю виготовлення зміцненого поверхневого шару, необхідністю застосування дорогого технологічного обладнання, а також більшою кількістю операцій для реалізації технологічних процесів. Проте за експлуатаційними показниками розроблений маршрут М6 забезпечує на 80% більш повну відповідність показникам якості втулки, що дає можливість очікувати від втулок, виготовлених маршрутом М6, більш високої довговічності, тобто збільшення ресурсу роботи і, відповідно, до підвищення економічних показників. За загальними показниками (табл.4.6) маршрут М6 теж має найвищу потужність.

Таким чином, технологічні передумови досягнення високої якості втулки в розроблених технологічних маршрутах свідчать про їх потенційні можливості.

#### **4.4. Виготовлення захисних втулок вала з покриттям ПН55Т45**

У розділі 1.4 було відмічено, що серед відомих способів нанесення покриттів: електролітичного, вакуумного, плазмового, газополум'яного, електро-дугового, осаду з газової фази, електронно-променевого, хімічного тощо, які разом з перевагами мають і ряд недоліків, таких, як обмеження по складу покриття, мале

Матриця забезпечення базових, розроблених і узагальненого технологічного маршрутів умовам конструкторсько-технологічної групи показників якості виготовлення втулки

У <sub>3</sub>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6	1	3	25	17	1,4	
<b>М1</b>	0	X	X	X	X	0	0	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	7	5	1,4	
<b>М2</b>	0	X	X	X	X	0	0	X	0	0	1	X	X	X	6	X	X	14	7	2	
<b>М3</b>	0	X	X	X	X	0	0	X	0	0	X	X	X	X	6	X	X	12	6	2	
<b>М4</b>	0	1	X	X	X	0	0	X	0	0	X	X	X	X	X	1	X	6	5	1,2	
<b>М5</b>	X	X	0	X	1	X	0	X	0	0	X	X	X	X	6	X	X	13	6	2,1	
<b>М6</b>	X	X	X	0	X	0	0	X	0	0	X	X	X	X	X	X	3	9	5	1,8	
	<b>A<sub>31</sub></b>	<b>A<sub>32</sub></b>	<b>A<sub>33</sub></b>	<b>A<sub>34</sub></b>	<b>A<sub>C1</sub></b>	<b>A<sub>H1</sub></b>	<b>A<sub>K1</sub></b>	<b>A<sub>M1</sub></b>	<b>A<sub>M2</sub></b>	<b>A<sub>M3</sub></b>	<b>A<sub>M4</sub></b>	<b>A<sub>01</sub></b>	<b>A<sub>п1</sub></b>	<b>A<sub>п2</sub></b>	<b>A<sub>п3</sub></b>	<b>A<sub>B1</sub></b>	<b>A<sub>B2</sub></b>	<b>A<sub>Г1</sub></b>	Кількість операторів	Кількість операцій, які забезпечують виготовлення втулки	Потужність технологічного маршруту
									1	2	3								якості	Кількість	ного
																			маршрут	маршрут	маршруту

Матриця забезпечення базових, розроблених і узагальненого технологічного маршрутів умовам експлуатаційної групи

показників якості виготовлення втулки

Уз	0	1	2	7	0	1	0	0	0	1	1	3	3	3	3	0	0	5	27	17	1,59
М1	0	X	X	X	X	0	0	0	0	1	X	3	X	X	X	X	X	X	4	5	0,8
М2	0	X	X	X	X	0	0	0	0	1	1	X	3	X	X	0	X	X	5	7	0,71
М3	0	X	X	X	X	0	0	0	0	1	X	X	X	X	3	0	X	X	4	6	0,67
М4	X	1	X	X	X	1	X	X	X	1	X	X	X	X	X	0	X	X	3	5	0,6
М5	X	X	2	X	X	0	0	0	0	1	X	X	X	X	0	X	X	3	6	0,5	
М6	X	X	X	7	X	X	0	0	0	1	X	X	X	X	X	X	5	13	5	2,6	
																			Кількість операторів	Кількість операцій, які забезпечують тех. маршрут	Потужність технологічного маршруту
	А31	А32	А33	А34	Ас1	Ан1	Ак1	Ам1	Ам2	Ам3	А01	Ап1	Ап2	Ап3	Ав1	Ав2	Ат1		Кількість якості виготовлення втулки		

Таблиця 4.6

Матриця забезпечення базових, розроблених і узагальненого технологічного маршрутів умовам якості виготовлення втулки

У <sub>3</sub>	3	5	6	10	1	1	4	3	3	3	1	1	1	5	4	4	4	6	1	8	64	17	3,76	
М1	3	X	X	X	X	X	X	3	3	3	1	X	X	5	X	X	X	X	X	X	15	5	3	
М2	3	X	X	X	X	X	X	3	3	3	1	X	X	X	4	X	X	6	X	X	17	7	2,43	
М3	3	X	X	X	X	X	X	3	3	3	1	X	X	X	X	4	X	6	X	X	20	6	3,33	
М4	X	5	X	X	X	X	1	X	X	X	1	X	X	X	X	X	X	X	1	X	12	5	2,4	
М5	X	X	6	X	X	1	X	3	3	3	1	X	X	X	X	X	X	6	X	X	20	6	3,33	
М6	X	X	X	10	X	X	X	3	3	3	1	X	X	X	X	X	X	X	X	8	25	5	5	
																					Кількість операторів якості виготовлення втулки	Кількість операцій, які забезпечують тех. маршрут	Потужність технологічного маршруту	
	А <sub>31</sub>	А <sub>32</sub>	А <sub>33</sub>	А <sub>34</sub>	А <sub>С1</sub>	А <sub>Н1</sub>	А <sub>К1</sub>	А <sub>М1</sub>	А <sub>М2</sub>	А <sub>М3</sub>	А <sub>01</sub>	А <sub>П1</sub>	А <sub>П2</sub>	А <sub>П3</sub>	А <sub>В1</sub>	А <sub>В2</sub>	А <sub>Т1</sub>							

виробництво, погана адгезія до основи та ін., останніх в значній мірі не має технологія плазмового напилення.

Розглянемо процес промислового зміцнення захисних втулок вала методом плазмового напилення на базі розроблених технологічних шляхів забезпечення їх ефективності і надійності [72, 99].

Суть плазмового нанесення покриття полягає у формуванні на поверхні деталі шару з частинок порошків, які володіють певним запасом теплової та кінетичної енергії, одержаної в результаті взаємодії із струменем дугової плазми.

До переваг плазмового напилення належать:

- можливість одержання покриття з більшості відомих матеріалів, які плавляться без розкладу, без обмеження за температурою плавлення;

- можливість використання для утворення струменя дугової плазми газів різного роду: інертних (аргон, гелій), відновлюючих (водень), окислюючих (азот, повітря), а також аміака, природного газу, водяної пари, що в сукупності із застосуванням камер із захисним середовищем (вакуум, гази) дозволяє регулювати властивості середовища, в якому нагріваються і рухаються частинки порошку.

- можливість гнучкого регулювання електричного і газового режимів роботи плазмотрона, в тому числі і в процесі нанесення покриття.

- достатньо висока продуктивність процесу: 3-20 кг для плазмотрона потужністю 30-40 кВт.

- досить високий коефіцієнт використання порошку, що залежить, в основному, від стану порошку, яким здійснюється напилення.

В якості плазмоподібних газів можуть бути використані аргон (ДСТУ 10157-79), азот газоподібний підвищеної чистоти (ТУ 6-21-27-77). Вибір газу залежить від технічної характеристики плазмової установки, складу і дисперсності порошку та потреб до якості покриття.

#### **4.4.1. Обладнання для напилення захисних втулок**

Сьогодні в промисловості використовується ряд установок плазмового напилення різного призначення, які дозволяють одержати покриття з різних

матеріалів. Найбільш поширеними є універсальні плазмові установки (УПУ-3, УПУ-6), що серійно випускаються, а також автоматизовані комплекси плазмового напилення. Нами для виготовлення пробних партій втулок використовувався автоматизований комплекс, як найбільш продуктивне та економічне обладнання з того, що є в наявності.

Комплекс складається з обладнання для струмино-абразивної обробки деталей перед напиленням, камери для напилення з обладнанням для автоматизації процесу нанесення покриття, пульта управління, порошкових джерел, джерел живлення, системи вимушеного охолодження плазмотрона і пилевловлення. Автоматичний комплекс дозволяє обробляти деталі діаметром до 0,18м, довжиною до 0,60м і масою до 10 кг. Швидкість переміщення плазмотрона вздовж осі деталі змінюється в діапазоні  $2,5 - 125 \cdot 10^{-3}$  м/с. Частота обертів деталі  $0,2 \div 1,0$  с<sup>-1</sup>.

Виходячи з річної потреби в захисних втулках вала по АТ “Альметьєвський завод електровідцентрових насосів” (АЗЕВН) “АЛНАС”, розрахунок якої наведений в додатку В5, для їх виготовлення необхідна ділянка плазмового напилення з трьома автоматизованими плазмовими комплексами виробництва Черкаського НВО “Комплекс”.

Технологічна схема напилення захисної втулки вала з покриттям ПН55Т45 наведена в додатку В6, а розрахунок необхідної кількості порошку та устаткування для напилення – в додатку В7.

#### **4.5. Виготовлення захисних втулок вала ЕВН з композиту ЛО 90-1**

Втулки захисні вала призначені для роботи в опорі багатоступінчатого ЕВН в якості підшипника ковзання. Тому до матеріалу підшипника висуваються наступні вимоги: низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, здатність створювати шари вторинних структур, запобігати зчепленню, володіти об'ємною і поверхневою міцністю, високою несучою здатністю, достатньо високою теплопровідністю, самозмащуваністю, економічністю технології виготовлення та ін.

Багатьом з цих вимог відповідають порошкові композиційні матеріали на основі олов'яних латуней. Особливістю латуней, які містять олово, є їх підвищена



корозійна стійкість в умовах прісної і морської води, внаслідок чого ці сплави отримали назву “морські латуні”. Ця особливість грає вагомую роль при експлуатації насосів в обводнених нафтових пластах.

#### 4.5.1. Вибір порошкових компонентів для виготовлення втулок

Латунь ЛО-90-1 за механічними і технологічними властивостям досить близька до звичайної подвійної латуні Л 90, але відрізняється підвищеною корозійною стійкістю і підвищеними антифрикційними властивостями. Хімічний склад латуні приведений у табл.4.7

Таблиця 4.7

Хімічний склад латуні ЛО 90-1 по ДСТУ 15527-70

Марка сплаву	Компоненти			Домішки					
	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	Sb	Bi	P	Всього
ЛО 90-1	88.0-91.0	0.25-0.75	Cст	0.03	0.1	0.005	0.002	0.01	0.2

#### МЕХАНІЧНІ І ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛАТУНІ ЛО 90-1

Температура плавлення, С

ліквідус.....1015

солідус ..... 995

Щільність.....8.8

Теплопровідність кал/см с К/.....0.3

Модуль пружності E, кгс/мм<sup>2</sup>.....10500

Коефіцієнт тертя:

із змазкою.....0.013

без змазки.....0.12 – 0.30

Корозійна стійкість /втрата ваги/

під дією морської води, г/м<sup>2</sup> · добу .....0.4 – 0.5

Хімічний склад і фізичні властивості композиційного порошкового антифрикційного матеріалу ЛО 90-1 дещо відрізняються від литого гомогенного. В порошкових матеріалах низький коефіцієнт тертя і його стабільність в багатьох

випадках забезпечується за рахунок ефекту самозмащування і вводу твердих змазок, таких, як графіт, сульфати металів та інші.

Самозмащування є однією із головних переваг антифрикційних порошкових матеріалів. Ефект самозмащування в порошковому матеріалі ЛО-1 досягається двома шляхами:

- за рахунок олії, яка знаходиться в порах матеріалу підшипника;
- за рахунок наявності в складі матеріалу речовин, які виконують роль твердого мастила. До таких речовин належать графіт, деякі сульфідні (особливо сульфідні молібдена і вольфрама). Ці речовини в процесі тертя тіл сприяють утворенню розділювальних плівок на їх поверхнях.

Ефект самозмащування пористих виробів, просочених олією, полягає в тому, що при нагріві пари тертя, об'єм олії в антифрикційному матеріалі збільшується в більшій мірі, ніж об'єм металевого каркасу. В результаті цього олія витікає з пор на поверхні тертя і змащує їх. При охолодженні вузла тертя олія під дією капілярних сил всмоктується в пори.

Термін служби підшипника збільшується при збільшенні кількості мастила в матеріалі. Останнє може бути досягнуте за рахунок потовщення стінок підшипника, збільшення кількості і розмірів пор шляхом застосування порошоків з максимально допустимим розміром частинок.

Коефіцієнт тертя і тривалість роботи для литих підшипникових сплавів на основі кольорових металів і порошкових матеріалів практично співставимі.

Збільшення міцності підшипникового матеріалу веде за собою погіршення його припрацювання. Однак наявність мастила в порах і присадках графіту або інших речовин, які володіють ідентичними властивостями, сприяє покращанню роботи. При цьому потрібно враховувати стан матеріалу спряженої пари. Кращі результати при роботі рухомого узгодження забезпечуються в тому випадку, коли спряжена деталь загартована до HRC 54...62. З врахуванням викладеного, склад суміші порошоків при виготовленні композиційного антифрикційного матеріалу ЛО 90-1 повинен відповідати наведеному в табл.4.8.

**Склад суміші порошків для виготовлення ЛО 90-1**

Матеріал	Вміст в %
Порошок латунний Л-80	87.0 – 90.0
Порошок міді ПМС-1	8.0 – 10.0
Порошок олов'яний ПО-1	1.0 – 1.2
Порошок графіту ГК-1	1.0
Порошок стеарата цинку	0.5

Технологічна схема виготовлення захисних втулок приведена в додатку В8, а обладнання для виготовлення – в додатку В9.

#### **4.6. Виготовлення захисних втулок вала ЕВН, опорних шайб (верхніх і нижніх) з композиту ПК 70 Н2Д2**

Антифрикційні матеріали на основі заліза є найбільш поширеними, особливо ті, що містять різні антифрикційні і зміцнюючі домішки.

Найбільш поширеним антифрикційним матеріалом на основі заліза є металографіт. При вмісті до 1.5% графіта він може працювати при наявності змазки, яка подається ззовні або в режимі самозмащування. Однак в останньому випадку зменшуються максимально допустимі навантаження, швидкість ковзання і термін роботи.

Збільшення вмісту графіта понад 1.5 % призводить до виділення його в структурно-вільний стан, що поліпшує антифрикційні властивості матеріалу, особливо в умовах додаткової подачі змазки.

Так як графіт в матеріалах на основі заліза основний елемент, що впливає на структуру, його потрібно розглядати як легуючу присадку, яка взаємодіє із залізом з утворенням  $\gamma$ -твердого розчину, що розпадається в процесі охолодження на евтектоїд перліт, який складається з  $\alpha$ -твердого розчину – ферита і цементита. Тому змінюючи вміст вуглецю, температуру, тривалість спікання і швидкість охолодження, а також застосовуючи хіміко-термічну обробку, можна в широких межах змінювати структуру і властивості залізграфітових матеріалів.

На практиці при виготовленні залізографітових матеріалів намагаються отримати перлітну структуру з вмістом перліту 50%.

Допустима кількість ферита в структурі визначається режимами роботи підшипника і коливається в межах 10-50% . Найбільш зносостійкими є структури, що складаються з мілкодисперсного однорідного перліта з невеликою кількістю ферита (до 5 – 10 %).

Вміст ферита до 50% вимагає застосування великої кількості змазки, але при цьому допускається використання більш м'якого контртіла.

Цементичні включення в структурі залізографіту у вигляді грубих скупчень, а також у вигляді цементитної сітки і окремих включень цементита значно підвищує його зносостійкість, особливо в умовах граничного тертя при відсутності змазки і підвищених швидкостях ковзання. Але в цьому випадку збільшується зношування контртіла. Тому кількість цементита в структурі обумовлюється в кожному конкретному випадку використанням пористих антифрикційних матеріалів.

Графіт, який знаходиться у вільному стані, також відіграє роль противозадірної присадки і дозволяє використовувати також матеріали в стані обмеженої подачі змазки.

Антифрикційні властивості залізографітових матеріалів в значній мірі залежать від умов їх роботи і наявності змазки. Так, при подачі достатньої кількості змазки коефіцієнт їх тертя знаходиться в межах 0.005-0.09, а при обмеженій змазці – 0.02-0.125. Критерій для цих матеріалів в умовах самозмащування складає 1.6, при періодичній і обмеженій змазці – до 2.5, при стабільній змазці – 10 і при змазці під тиском – до 40 МПа·м/с. Гранична швидкість ковзання для залізографітових матеріалів допускається до 2 – 3 м/с. Тривалість експлуатації визначається умовами і, як правило, не перевищує 3 – 5 тис.год.

Залізографітові матеріали володіють більш високими міцнісними та експлуатаційними характеристиками в порівнянні з пористим залізом і матеріалам із бронзографіту.

Для регулювання властивостей антифрикційних матеріалів на основі заліза разом з графітом використовується регулювання міддю, фосфором, нікелем,

хромом, свинцем, марганцем і т.д. Мідь, розчинюючись в залізі, утворює твердий розчин, який володіє більш високими міцнісними властивостями, ніж залізо. Однак кількість добавленої міді не повинна перевищувати межу її розчинності в залізі, яка при температурі 1094°C складає 8.5%, так як при наявності структурно – вільної міді антифрикційні властивості матеріалу зменшуються.

У залізографітовий матеріал зазвичай добавляють 2 – 5% міді. Такі матеріали володіють більш високими механічними властивостями, більш однорідною структурою і стабільними розмірами після спікання.

Позитивний вплив міді на властивості залізографіта також викликаний її графітизуючою дією, внаслідок чого зменшується обезвуглеводнення і збільшується кількість перліта в структурі. При наявності міді уповільнюється дифузія вуглецю і виключається утворення структурновільного цементиту. При легуванні міддю також гальмується розпад аустеніта, що сприяє утворенню тонкопластинчатого перліта.

Внесення сірки в пористе залізо і залізографітові композиції дозволяє значно розширяти їх робочі діапазони швидкостей ковзання і навантажень, а також підвищити термін служби вузлів тертя.

Значно більше підвищуються антифрикційні характеристики при внесенні в шихту залізографітових матеріалів сульфідів міді і цинку. Сульфіди міді також утворюються в процесі спікання матеріалу, що містить мідь і сірку. Також композиційні матеріали системи Fe – Cu – C – S мають високі експлуатаційні характеристики та міцнісні характеристики і добре обробляються. Наявність сульфідних включень в структурі сприяє утворенню на поверхні тертя розділюючих плівок. Це дозволяє підвищити максимально допустимі навантаження на підшипник.

Дія всіх легуючих домішок проявляється, в основному, в підвищенні механічних характеристик, особливо твердості, внаслідок чого підвищується зносостійкість і гранично допустимі навантаження при їх роботі. Однак в цьому випадку погіршується припрацювання матеріалу і для забезпечення працездатності вузлів тертя, виготовлених з цих матеріалів, обов'язкова наявність змазки. У режимі

самозмащування процесдатність таких матеріалів, гранично допустимі навантаження і швидкість ковзання є меншою, ніж при інтенсивній змазці .

Виходячи з такої аргументації, стає зрозумілим вибір матеріалу ПК 70 Н2Д2 для роботи у вузлах ЕВН.

Склад суміші порошкових компонентів для виготовлення захисних втулок вала і опорних шайб повинен відповідати приведеному в табл.4.9.

Таблиця 4.9

#### Склад суміші порошків

Матеріали	Склад в %
Порошок заліза	94.5
Порошок міді ПМС-1	2.0
Порошок нікеля ПНК-1	2.0
Порошок графіта ГК-1	1.0
Стеарат цинку	0.5

Технологічна схема виготовлення захисних втулок вала і опорних шайб приведена в додатку В10, а оснастка для їх виготовлення – в додатку В11.

#### Висновки до розділу

1. Розроблена конструкція ступеня ЕВН з поліамідною робочою частиною, в якій корпус направляючого апарату виготовлений металевим, а проточна частина – поліамідною. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють підвищити довговічність ступеня насоса за рахунок рівності всіх її елементів, та зменшити гідродинамічні втрати та збільшити на 10,0-15,0% потужність.

2. Виходячи з сформульованих вимог до технології виготовлення ЕВН, запропоновано спосіб отримання робочих органів ЕВН підвищеної зносостійкості.

3. Розроблена технологія литва чавуну, модифікованого рідкоземельними металами (церієм, ітрієм) з перлитною основою, відмінною особливістю якої є те, що модифікатор СеFe вводиться в вихідний чавун не в міксер чи в розливний ківш, а рівномірно подається в струмінь металу при заливці в форму. Останнє забезпечує отримання стабільної однорідної структури і різко знижує витрату модифікатора через його повне засвоєння.

4. Розроблена спеціальна установка для регулювання швидкості подачі дроту з модифікатором, яка забезпечує його рівномірну подачу при внутрішньоформовій модифікації.

5. Розроблена технологія серійного виготовлення захисних втулок вала, опорних (верхніх і нижніх) шайб з композиту ПК70Н2Д2 (залізо-графітовий порошок з вмістом до 2% нікелю та міді) .

6. Проаналізовані технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи захисної втулки та побудовані принципово нові технологічні маршрути її виготовлення.

7. Розроблена технологія серійного виготовлення захисної втулки вала з плазмовим напиленням, металевий остов якої виготовляється методом порошкової металургії з порошка ПН70Н2Д2, а для підвищення продуктивності процесу напилення виготовлене обладнання.

8. Розроблена технологія серійного виготовлення захисної втулки вала з композиту ЛО 90-1 (“морська латунь”), яка відрізняється від звичайної латуні Л63 підвищеними антифрикційними властивостями та корозійною стійкістю.

## РОЗДІЛ 5

### ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕВН З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ

#### 5.1. Методика проведення промислових досліджень ЕВН з робочими органами підвищеної довговічності

Швидкий знос робочих органів насосів, закономірності якого детально розглянуті в розділі 1.2, призводить до збільшення амплітуди вібрації. Як було досліджено в [100], процеси зносу робочих органів ЕВН можуть бути не лише викликані вібраційними процесами, а також самі викликати або змінювати їх. Таким чином, оперативну інформацію в процесі експлуатації ЕВН про технічний стан їх робочих органів можна отримати на основі результатів вимірювання параметрів вібрації колони НКТ [101] за допомогою відповідних технічних засобів.

У зв'язку з викладеним, методика проведення промислової апробації результатів теоретико-експериментальних досліджень містила два етапи:

На першому етапі проводилось дослідження вібраційного стану ЕВН, як з серійними робочими органами, так і ЕВН, робочі органи яких були виготовлені за новою технологією. Для експериментальних досліджень вибиралися, в основному, установки типорозміру ЕВН5-50; ЕВН5-80 та ЕВН 5-125, як найбільш поширені на нафтопромислах Східної України.

Основний об'єм промислових досліджень було проведено на нафтопромислі № 4 НГВУ "Чернігівнафтогаз", фонд якого складає 155 насосних свердловин, а середня глибина спуску насосів – 1850 м.

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



дослідженнями свердловин при забезпеченні заданої адекватності отриманих результатів.

Оскільки метою промислових досліджень було виявлення впливу свердловинних факторів на величину зносу робочих органів ЕВН, а отже і на їх вібраційний стан, вибір нафтових свердловин обумовлювався значним проявом таких свердловинних факторів, як обводненість продукції, вміст механічних домішок, падіння динамічного рівня, газовий фактор тощо.

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

Для проведення досліджень були вибрані свердловини Талалаївського родовища, що характеризується різноманітністю свердловинних умов. Так, обводненість продукції становить від 10% (Скороходи 92) до 99,9% (Скороходи 80); максимальний вміст механічних домішок становить 157 мг/л (Скороходи 25, 80, 204) при середньому вмісті механічних домішок до 100 мг/л. Дебіт свердловин становить від 25 м<sup>3</sup>/добу (Скороходи 54) до 80 м<sup>3</sup>/добу (Скороходи 208, 78). Розглядалися свердловини як з постійним динамічним рівнем (Скороходи 52, 66, 54, 204, 208, 73, 78, 80), так і свердловини, в яких рівень змінювався протягом певного часу (Скороходи 92, 50, 90), а також Богданівського та Гнідинцівського родовищ.

Таким чином, вибраний фонд свердловин дозволив охопити прояви найбільш типових свердловинних факторів та дослідити їх вплив на знос серійних і експериментальних робочих органів ЕВН та на їх вібраційний стан.

Другий етап передбачав відпрацювання ЕВН з двома секціями, для чого одна секція (експериментальна), збиралася з робочих органів підвищеної довговічності, а друга – з серійних. Після відпрацювання насосів на нафтопромислах Східної України, в свердловинах, що характеризуються складними умовами, які спричиняють значний вплив на розвиток зносових процесів, їх відправляли в ПРЦ (м. Варва), де вони підлягали демонтажу і виявленню дефектів згідно методики

відбракування, що використовується в ПРЦ ЗЕУ. За результатами дефектації ЕВН визначалися найбільш зношені робочі колеса, направляючі апаратом, захисні втулки вала і опорні шайби та складався акт [99].

## 5.2. Розробка пристрою та конструкції вимірювальної муфти для контролю вібраційного стану системи «УЕВН-КНКТ»

Конструктивні особливості установки ЕВН, а також умови її експлуатації не дозволяють використовувати прилади, які випускаються серійно, для вимірювання параметрів вібрації системи «УЕВН-КНКТ» і вимагають розробки спеціалізованих пристроїв чи систем [102,103,104].

На рис.5.1 представлена структурна схема розробленої системи контролю рівня вібрації, яка складається з наступних основних функціонально закінчених блоків: вібродавача ВД, попереднього підсилювача сигналу ППС, провідникової лінії передачі сигналу ПЛПС, масштабуючого підсилювача сигналу МПС, зовнішньої плати вводу аналогового сигналу до ЕОМ - ЗПВАС, цифрового каналу передачі даних USB, персональної обчислювальної машини ПЕОМ типу ІВМ РС друкуючого пристрою ДП та відеомонітора ВдМ.

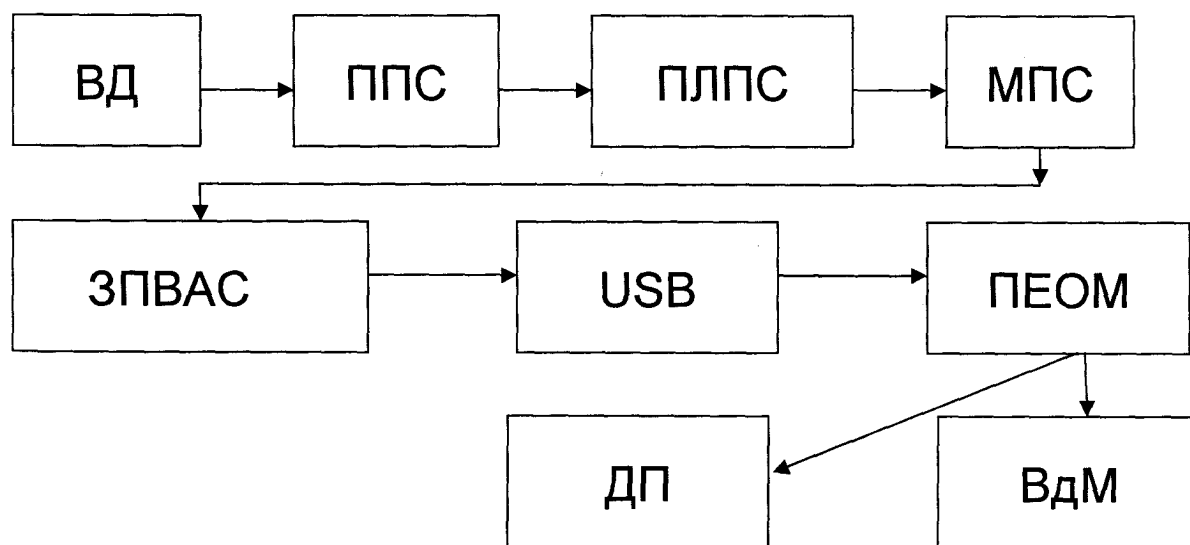


Рис.5.1. Структурна схема системи контролю вібраційного стану УЕВН.

Використання типової зовнішньої плати вводу аналогового сигналу, під'єднаної до ЕОМ через USB – інтерфейс дозволило застосувати стандартне

програмне забезпечення для вводу даних в ЕОМ, та збільшити ефективну розрядність аналого-цифрового перетворення за рахунок зменшення шумових завад, що мають вплив на АЦП у випадку його безпосереднього розташування в системному блоці ЕОМ.

***Схема працює наступним чином:***

Коливання корпусу вимірювальної муфти, в якому розміщений вібродавач (акселерометр) ВД, спричиняють генерацію ним електричних сигналів, які підсилюються в попередньому підсилювачі сигналів ППС. Використання ППС зумовлене необхідністю узгодження високого власного опору п'єзокерамічного вібродавача ( $\geq 1$ ) МОм з низьким (біля 110 Ом ) хвилевим опором аналогової лінії передачі, а також необхідністю підсилення такого сигналу за потужністю. Підсилений сигнал надходить на устя свердловини за допомогою екранованої провідникової лінії передачі сигналу ПЛПС, яка забезпечує мінімізацію впливу зовнішніх завад. Аналогова лінія передачі сигналу навантажена на масштабуючий підсилювач сигналу МПС, призначений для забезпечення рівномірного навантаження на лінію передачі і для вибору діапазону вимірювань сигналу за допомогою механічного перемикача, розміщеного на його корпусі. Підсилений у вибраному діапазоні сигнал надходить на зовнішню плату вводу аналогового сигналу до ЕОМ (ЗПВАС). Використання типової зовнішньої плати вводу аналогового сигналу, під'єднаної до ЕОМ через USB – інтерфейс дозволило застосувати широко розповсюджене програмне забезпечення для вводу даних в ЕОМ, та збільшити ефективну розрядність аналого-цифрового перетворення за рахунок зменшення шумових завад, що мають вплив на АЦП у випадку його безпосереднього розташування в системному блоці ЕОМ. ЗПВАС забезпечує оцифровування даних з частотою дискретизації до 96кГц та з розрядністю в 24біти. Виміряні дискретні значення досліджуваного вібросигналу, від ЗПВАС у вигляді цифрового коду через типовий USB – інтерфейс надходять до ПЕОМ де за допомогою програми Cool Edit Pro записуються на твердий диск у вигляді цифрового текстового файлу для подальшого аналізу. Записані таким чином дані можуть бути зчитані для аналізу за допомогою програмних пакетів MathCAD,

MathLAB, або за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення призначеного для діагностування даного об'єкту, тощо. Результат обробки даних у ПЕОМ виводиться у зручній для оператора формі на відеомонітор (ВДМ) або друкуючий пристрій (ДП).

Найбільш відповідальною механічною частиною вказаної системи від якої залежить надійність і вірогідність інформації, що отримують із свердловин, є вимірювальна муфта – ВМ (далі за текстом – муфта). Конструктивно вимірювальна муфта подібна до муфти, що призначена для з'єднання НКТ, але має дещо змінену конструкцію і габаритні розміри. Останнє обумовлено необхідністю розміщення у ВМ електронних плат, давачів та роз'ємів. Так, виходячи із розмірів електронних плат, які необхідно розмістити у муфті, а також типових розмірів акселерометрів і тензодавачів, були визначені загальні габаритні розміри [105]: довжина — 200мм і зовнішній діаметр —  $\varnothing 118$  мм. Планувалося використати для з'єднання вимірювального кабелю з електронними платами, які розміщені у ВМ роз'єми типу РС19ТВ. Вибір даного типу роз'ємів був обґрунтований простотою їх монтажу на торці корпусу муфти і спрощенням його конструкції. Однак після виготовлення дослідної партії в кількості 6 штук, їх апробація в стендовій свердловині показала, що мають місце наступні недоліки:

- при опусканні установки ЕВН з колоною НКТ, особливо у викривлені свердловини, може мати місце механічне пошкодження роз'ємів;
- оскільки відсутня можливість закріплення кабелю в місці виходу з роз'єму, то в процесі експлуатації можливий його розрив;
- при безпосередньому розміщенні вимірювального кабелю по довжині поряд з силовим кабелем, так як конструкція муфти передбачає лише один шліцевий паз (розріз Б-Б на рис.5.2) шириною 70мм і глибиною 22 мм, то можуть мати місце електромагнітні завади від силового кабелю.

Враховуючи вказані недоліки першого варіанта конструкції муфти, був розроблений другий варіант, який технологічно більш складний, однак позбавлений недоліків першого.

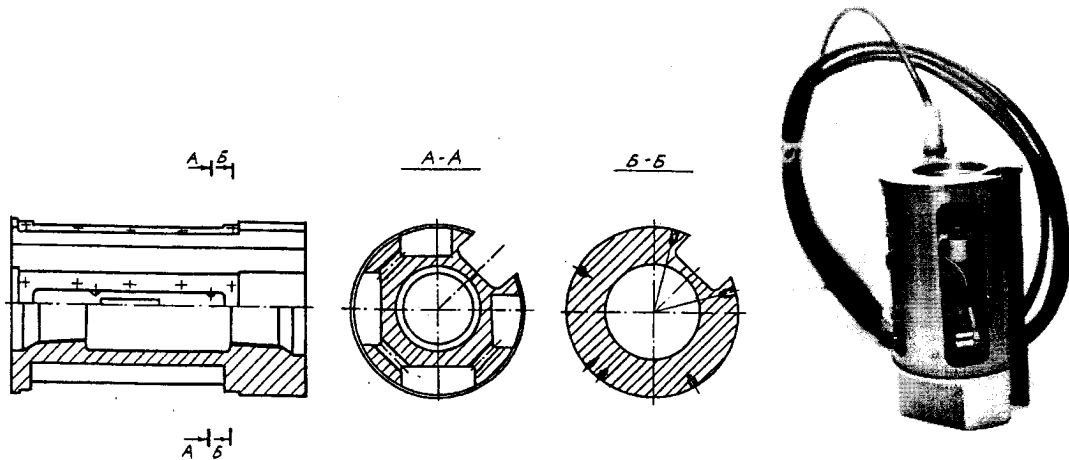


Рис. 5.2. Конструкція вимірювальної муфти (1-й варіант)

У даному варіанті (рис.5.3) замість роз'єму РС19ТВ застосовано роз'єм РСЧН-5 (розетка) і РШ2НМ-1-29 (штекер). Розетки РСЧН-1-5 в кількості двох штук були закріплені всередині видозміненого фігурного пазу (головний вигляд на рис.5.3). Кінець кабелю з запаяним штекером РШ-1-29 з'єднувався з розеткою через спеціально вифреззовані отвори під кабель. Кабель ущільнювався гумовими прокладками і закріплювався за допомогою затискача. У процесі монтажу системи роз'єми заливалися герметиком. Це дозволило забезпечити герметичність вимірювальної лінії і підвищити її механічну надійність.

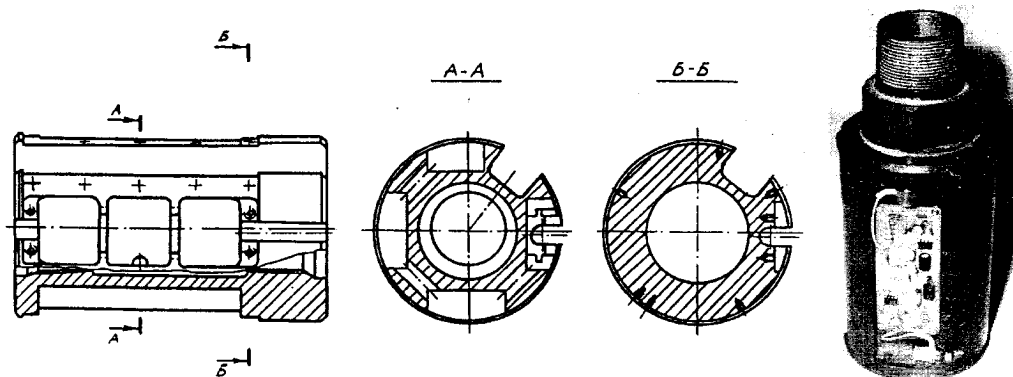


Рис. 5.3. Конструкція вимірювальної муфти (2-й варіант)

На відміну від першого варіанта конструкції муфти довелося зменшити розміри друкованої плати за рахунок використання мікросхем більшого ступеня інтеграції, що було викликано зменшенням корисного об'єму муфти, обумовленого

змінною роз'ємів. Так, плату блока вибору опитувальної муфти сумістили з вузлами кріплення акселерометрів на одній вифрезованій площині.

Після встановлення акселерометрів і друкованих плат вони заливалися герметиком (компаундом) з метою захисту від вологи, що могло призвести до виходу системи з ладу. Для захисту від механічних пошкоджень акселерометрів і плат муфта закривається двома захисними кожухами. Конструкція муфти відповідає вимогам до матеріалу і конструкції, які висуваються, виходячи з вимог ДСТУ-633-80 "Труби насосно-компресорні і муфти до них". В якості матеріалу муфти була вибрана сталь марки 40Х.

Мінімальна товщина стінки муфти становила  $S=7$  мм, що більше, ніж цього вимагає ДСТУ-633-80. У процесі виготовлення всі різьбові з'єднання перевірялися за допомогою калібру. Крім того, з метою запобігання пошкодження модулів від дії корозії, різьби і ущільнюючі конічні проточки були однакові. В процесі монтажу системи необхідно застосовувати мастило або інші ущільнювачі, які забезпечують герметичність з'єднань і запобігають від задирів і корозії різьбового з'єднання.

### **5.3. Промислові дослідження довговічності ЕВН**

У відповідності до методики проведення промислових досліджень ЕВН з робочими органами підвищеної довговічності (експериментальними), експерименти проводилися на нафтопромислах НГВУ "Чернігівнафтогаз" з відпрацюванням ЕВН-80-1800 (Додаток Г1).

З метою усунення впливу роботи на знос втулок і шайб насос комплектувався з однієї секції з експериментальними шайбами і втулками та однієї двох секцій з серійними шайбами і втулками.

Одночасно в експериментальній триметровій секції в середній частині встановили чергуванням шість робочих коліс, обладнаних експериментальними (ПК70Н2Д2) і серійними (нижніми шайбами).

Дві інші експериментальні секції № 93678 і № 91277 комплектувались з серійними секціями, зібраними з ремонтних вибракуваних робочих органів, захисними втулками вала ремонтного розміру і текстолітовими нижніми шайбами.

Насос з експериментальною секцією № 95018 був направлений на відпрацювання на свердловину № 25 Скороходи Талалаєвського родовища. Насоси з експериментальними секціями № 93678 і № 92177 відправлені для відпрацювання на свердловину № 78 Скороходи. Умови відпрацювання експериментальних насосів були ідентичні з відпрацюванням серійних насосів.

З огляду на те, що робочі органи використовувались в основному після ремонту, крім того, в серійних секціях використовувались втулки ремонтного розміру  $d_n=21.6$  мм із бронзи, визначали лише відносний порівнювальний знос експериментальних і серійних деталей.

По експериментальній секції № 95018, що відпрацювала на свердловині №25 Скороходи 164 доби:

– знос нижніх шайб із ПК70Н2Д2 незначний і не перевищував 0,1мм висоти шайби. Всі шайби придатні для подальшого відпрацювання;

– знос захисних втулок вала із композиційного матеріалу нерівномірний по діаметру і по висоті втулки (більший в нижній частині і менший у верхній частині втулки) і склав, в середньому, по діаметру (як правило в нижній частині) 0,1-0,20мм. У втулок, розміщених в середній частині 3-х метровій секції знос втулки в нижній частині доходив до 0,3мм, а в верхній частині – до 0,15мм;

– знос внутрішнього отвору в направляючому апараті склав до 0,15 мм і разом із зносом втулки утворює зазор 0,2-0,3мм (серійна нова втулка вільно проходить, а ремонтна втулка не входить). Направляючі апарати підлягають ремонту в комплектації з захисними втулками вала ремонтного розміру.

По серійній секції № 931646, що працювала в насосі разом з експериментальною секцією № 95018:

– знос нижніх шайб із текстоліту помітний (до 0,6мм або 25-30% від товщини шайби) і практично рівномірний по всій 5 метровій секції;

– всі текстолітові нижні шайби підлягають заміні. Слід відмітити, що частина (15-20%) робочих коліс мають на валу радіальний люфт, що може призвести в подальшому до прокручування коліс;

– знос ремонтних (бронзових) втулок односторонній, незначний, але нерівномірний по висоті втулки і її діаметру. Середній в нижній частині втулки складає 0,12-0,20мм;

– збільшення внутрішнього отвору в направляючому апараті складає 0,3-0,4мм і разом із зношеною втулкою утворює односторонній зазор до 0,6мм., а ремонтна нова втулка в окремих випадках вільно входить в отвір направляючого апарату.

Направляючі апарати до подальшого ремонту не придатні.

По експериментальній секції № 93678, що відпрацювала на свердловині №78 Скороходи 60 діб:

– знос нижніх шайб із ПК70Н2Д2 незначний, в ряді випадків односторонній і не перевищував 0,1мм по товщині (6-10% від висоти шайби), причому у верхній частині секції мали місце лише сліди зносу, в середній частині до 0,1мм, а в нижній частині секції-до 0,15мм. Це свідчить про роботу вала з помітним ексцентриситетом. Практично всі шайби разом з робочими колесами придатні до подальшого відпрацювання;

– захисні втулки вала із ЛО-90-1 мають нерівномірний односторонній знос по довжині секції і по висоті втулки, причому, у верхній частині секції помітні лише сліди зносу, а в нижній частині втулки, в середній частині секції знос доходив до 10-15% від товщини втулки в нижній її частині, а в нижній частині секції до 30% товщини втулки. Дві втулки мали навіть наскрізне протирання стінки в нижній її частині. Це свідчить про великий ексцентриситет в роботі вала із збільшенням хвилі зверху вниз;

– знос внутрішнього отвору вала в направляючому апараті склав до 1,5-2,0мм (ремонтна втулка вала в більшості апаратів вільно проходить).

Направляючі апарати і втулка до подальшої роботи не придатні.

По серійній секції № 92198, що працювала в насосі разом з експериментальною секцією № 93678:

– знос нижніх шайб із текстоліту склав до 60% від товщини шайби.



Робочі колеса помітного зносу не мають і після заміни шайб придатні до подальшої роботи;

- знос бронзових захисних втулок по всій довжині односторонній і нерівномірний по висоті секції, не перевищував в середній частині 25% від товщини втулки;

- знос внутрішнього отвору апаратів складав до 2мм (ремонтна втулка вільно проходить) і вони для подальшої роботи не придатні.

По дослідній 3-х метровій секції № 91277, що відпрацювала на свердловині № 78 Скороходи в період 71 добу:

- знос нижніх шайб із ПК70Н2Д2 незначний (до 0,1мм), тобто є в наявності лиш сліди зносу і рівномірний по всій довжині секції.

- знос нижніх шайб із текстоліту, встановлений в робочих колесах чергуванням з експериментальними в цій же секції більш помітний і досягав 0,5-0,6мм, тобто до 30% від товщини шайби, що в 4-5 раз більше, ніж експериментальних;

- робочі колеса з експериментальними шайбами всі придатні без заміни шайб до подальшої роботи, а робочі колеса з серійними шайбами також придатні до роботи після заміни шайб;

- знос захисних втулок вала односторонній, але рівномірний по всій довжині секції, і складає в нижній частині довжини втулки до 0,1 мм в центрі і у верхній частині довжини секції.

- збільшення внутрішнього отвору направляючих апаратів склало до 0,15мм. Разом зі зносом втулки між втулкою і ступицю апарату утворився односторонній незначний (до 0,2мм) зазор. Направляючі апарати придатні до подальшої роботи.

При дефектації експериментальної секції відмічено збільшення зазору між захисною втулкою і верхньою опорою до 3...4 мм, має місце люфт вала в верхньому підшипнику, а стан захисної втулки під верхнім підшипником – задовільний. Стан опорного пояса апарата і шайби нижньої робочого колеса, так як і захисних втулок вала визначався за трьома точками по довжині секції: на початку і кінці секції та в середній її частині. Так, на початку секції мав місце майже повний знос опорного

пояска – 2мм, а знос нижньої шайби з 2,0 до 1,5 мм (максимум). В середній частині знос опорного пояска склав з 2,45 до 1,2мм, знос шайби нижньої з 2.0 до 1.0мм. В кінці секції знос опорного пояска до 1,6мм, знос нижньої шайби до 1,0мм.

Стан захисних втулок вала був на початку і кінці секції – задовільним, а в середній частині секції позначився знос по внутрішньому діаметрі з  $\varnothing 17$  до  $\varnothing 19$  мм.

Огляд стану вала показав, що він є задовільним і має сліди припрацювання від робочих коліс. Стосовно стану шпонки, то в декількох місцях мало місце повне зрізання шпонки.

При розборці секції серійного виконання відмічено, що знос захисних втулок вала на початку і кінці секції по зовнішньому діаметру з 21 до 20мм. Стан решти втулок задовільний. Стосовно стану опорного пояска апарату і шайби нижньої колеса, то:

- на вході в насос мав місце знос опорного пояска з 2.45 до 1.5мм і повний знос текстолітової шайби;
- в середині секції мав місце знос опорного пояска з 2.45 до 1.7мм
  - знос нижньої шайби з 2.0 до 0.5мм
- на виході із секції мав місце знос опорного пояска з 2.45 до 2.1мм
  - знос нижньої шайби з 2 до 0.5мм.

В цілому стан вала і шпонки – задовільний.

Таким чином, проведені обстеження зносу деталей насосів дозволяють зробити наступні висновки:

Рекомендувати виготовити дослідну партію захисних втулок вала із матеріалу ПК70Н2Д2, що показав при дослідженнях нижніх шайб високу зносостійкість, і випробувати їх при роботі заглибного ЕВЦ.

Малий об'єм експериментального матеріалу не дозволяє дати об'єктивну оцінку підвищення стійкості дослідних втулок у порівнянні із серійними втулками з латуні Л63. Крім того, методично при зборці дослідних і серійних секцій допущена некоректність – для комплектації секції використовувались робочі органи, що були у вжитку, тобто при відпрацюванні, якщо захисна втулка ремонтного розміру ( $D_n=21,6$  мм) не проходить, а серійна ( $D_n=21$  мм) не затримується в посадочному

отворі направляючого апарату, то такі направляючі апарати допускались для комплектації секцій при їх зборці. Це призводить до того, що для окремих втулок заздалегідь свідомо допускається робота з перекосом, що і визначає її односторонній та швидкий знос.

Для отримання надійних результатів необхідні дослідні і серійні насоси або секції для дослідів зібрані повністю із нових ступеней, так як застосування робочих органів після ремонту вносить значні корективи в отриманий результат.

З метою усунення відміченої некоректності проведення експериментів 30.10.2002 року на свердловину № 62 Мільки було відправлено ЕВН 5-80-1600, який спеціально укомплектований новою заводською секцією № 24026 та секцією № 90026 з робочими ознаками, виготовленими ТОВ "ГАЛС-Лтд" за новою технологією, а 31.10.2002 року на свердловину № 58 Богдани відправлено ЕВН5-80-1600 також укомплектований новою заводською секцією № 24024 та секцією № 23333, виготовленою ТОВ "ГАЛС-Лтд" Насоси комплектувалися привідними електродвигунами відповідно ЗЕД 32-103 № 990 та ЗЕД 32-103 № 291. Відпрацювання нових серійних та експериментальних секцій дозволить оцінити знос їх робочих органів і більш точно в кількісному відношенні встановити переваги останніх.

Не дивлячись на малий об'єм експериментального матеріалу, що обумовлено як відсутністю фінансування, так і значною трудоемністю і тривалістю проведення досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Матеріал нижніх шайб з ПК70Н2Д2 забезпечує в порівнянні з текстолітом підвищення зносостійкості опорних шайб мінімум в 3 рази і його доцільно упровадити в серійне виробництво.

Матеріал дослідних захисних втулок вала ЛО-90-1 по зносостійкості не нижче бронзових втулок, які використовуються при ремонті насосів, але вище серійних із Л63.

2. Матеріал дослідних захисних втулок вала ЛО-90-1 по зносостійкості не нижче бронзових втулок, які використовуються при ремонті насосів, але вище серійних із Л63.

#### 5.4. Дослідження вібраційного стану системи “УЕВН– КНКТ” з серійними і експериментальними робочими органами

Експерименти по дослідженню вібраційного стану системи “УЕВН-КНКТ” з серійним та експериментальним робочими органами, підвищеної довговічності виготовленими за новою технологією (виробник ТОВ “ГАЛС-КЛТд”) в промислових умовах проводили, як було відмічено в розділі 5.1, на нафтопромислах Талалаївського, Гнідинцівського та Богданівського родовищ.

Враховуючи, що надійність отриманих результатів вимірювання параметрів вібрації системи “УЕВН-КНКТ” залежить від місця встановлення вимірювальної муфти [103, 104], останню встановлювали на віддалі  $30\div 50$ м від гирла свердловини в залежності від довжини свічі НКТ. Це обумовлено тим, що починаючи з 30м від гирла свердловини на вібраційні процеси системи “УЕВН-КНКТ” не впливає обв’язка свердловинного обладнання. В якості критерія рівня вібрації ЕВН, за яким можна оцінити його вібростан використовували середньоквадратичне значення рівня віброшвидкості поздовжніх коливань – ефективну віброшвидкість  $V_{\text{ef}}$ . [100].

Порядок проведення досліджень полягав у наступному: після опускання установки в свердловину і запуску її в експлуатації за допомогою системи контролю вібростану ЕВН проводили вимірювання  $V_{\text{ef}}$  ефективного значення віброшвидкості вібрації системи “УЕВН-КНКТ”. Протягом часу напрацювання установок ЕВН такі вимірювання проводили декілька разів. Аналізуючи тенденцію зміни  $V_{\text{ef}}$  з періодом напрацювання установок ЕВН з серійними і експериментальними секціями, можна попередньо, до виходу установки з ладу з подальшим проведенням її демонтажу та дефектації, отримати якісну інформацію про швидкість протікання зносних процесів у робочих елементах ЕВН і спрогнозувати час виходу їх з ладу за критичним значенням ефективної віброшвидкості по кожному із типорозмірів ЕВН.

З метою зменшення трудосмкості і тривалості проведення вказаних досліджень, що обумовлювалось, в основному, відсутністю їх фінансування, отримані значення ефективної віброшвидкості вібрації експериментальних ЕВН, обладнаних зносостійкими робочими елементами, виготовленими за розробленою технологією, порівнювалися з результатами досліджень вібраційного стану ЕВН, що

проводилися в 90<sup>х</sup> роках, галузевою лабораторією динаміки і вібродіагностики (ГНДЛ-ВД) ІФНТУНГ під керівництвом д.т.н., проф. Заміховського Л. М.

24.07.2002 року в свердловину № 98 Гнідинці був опущений ЕВН 5-50-1400 з експериментальними робочими органами № секції 01181, 011627, ЗЕД 32-103 № 1525. Вимірне ефективне значення віброшвидкості рівня вібрації після запуску установки склало  $V_{\text{ef.1}}=1.21$  мм/с, а наступне вимірювання, проведене 06.11.02 р., дало наступні результати  $V_{\text{ef.2}}=1.43$  мм/с, тобто за 132 доби експлуатацій спостерігається незначна зміна ефективного значення віброшвидкості вібрації установки ( $\Delta V_{\text{ef}}=0.22$  мм/с). Це вказує на те, що процес зносу робочих органів розвивається повільно. На свердловині № 197 Гнідинці при відпрацюванні установки ЕВН 5-50-1200 з серійними робочими органами № секції 2252, 95078, ЗЕД 32-103 № 507, починаючи з 28.11.98р. початкове значення ефективної віброшвидкості склало  $V_{\text{ef}}=1.28$  мм/с. Проведені через 92 доби вимірювання ефективної віброшвидкості вібрації дали наступні результати  $V_{\text{ef}}=1.87$  мм/с. Незважаючи на менший на 40 діб період напрацювання різниця склала  $\Delta V_{\text{ef}}=0.59$  мм/с, що на 27.9% (табл.5.1) більше в порівнянні з вібростаном експериментальних секцій, і вказує на зростання зносових процесів. Серійна установка пропрацювала ще 151 добу і демонтована 02.08.98 р. Дефектація секцій показала повне спраювання робочих органів насоса.

Установка ЕВН 5-50-2400 з експериментальними секціями №№ секцій 202645, 012156 та ЗЕД 45-103 № 1525 була запущена в експлуатацію на свердловині № 27 Матлахи 15.08.2002 року. Початкове значення ефективної віброшвидкості склало  $V_{\text{ef.1}}=1.18$  мм/с. Установка пропрацювала до 09.02.02 р. і була демонтована. Дефектація показала, що перше колесо забите механічними домішками. Після ремонту установка була відправлена на іншу свердловину, тому можна порівнювати лише початкові значення ефективної віброшвидкості. Аналогічна установка ЕВН-5-50-1800 № секцій 97525, 97527 ЗЕД 45-103 № 210 була запущена в експлуатацію 13.01.98р. на свердловині № 36 Матлахи. Початкове значення склало  $V_{\text{ef.1}}=1.12$  мм/с. Установка пропрацювала 141 добу і вийшла з ладу з причини пробою ізоляції.

Виміряне через 89 діб значення ефективної віброшвидкості становило  $V_{\text{ef.}}=1.65$  мм/с, а різниця склала  $\Delta V_{\text{ef.}}=0.53$  мм/с.

Таблиця 5.1

**Результати промислових досліджень зносостійкості установок ЕВН на родовищах НГВУ «Чернігівнафтогаз»**

№ свердловини	Родовище	Тип насоса, № секції	Двигун, зав. №	Період напрац., діб	Значення $V_{\text{ef.}}$ , мм/с		Різниця		Різниця між експерим. і серійним, %
					початкове	кінцеве	мм/с	%	
98	Гнідинці	5-50-1400 експеримент. №01181, №011627	ЗЕД32- 103 №1525	132	1.21	1.43	0.22	18.2	27.9
197	Гнідинці	5-50-1200 серійні №2252, №950578	ЗЕД32- 103 №507	92	1.28	1.87	0.59	46.1	
27	Матлахи	5-50-2400 експеримент. №202645, №97527	ЗЕД45- 103 №152	38	1.18	1.21	0.03	2.5	47.3
36	Матлахи	5-50-1800 серійні №97525 №97527	ЗЕД45- 103 №210	141	1.12	1.65	0.53	47.3	
78	Богдани	5-125-1000 експеримент. №083146, №100636	ЗЕД32- 103 №1518	82	1.19	1.37	0.18	15.1	23.9
84	Богдани	5-125-800 серійні №93218, №81128	ЗЕД32- 103 №01197	96	1.23	1.71	0.48	39.0	

На свердловині № 78 Богдани 16.08.2002р. була запущена в експлуатацію установка ЕВН 5-125-1000 № секцій 083146, 100636 ЗЕД 32-103 №1518 (секції експериментальні). Виміряне початкове значення ефективної віброшвидкості становило  $V_{\text{ef.}}=1.19$  мм/с. Проведене 06.11.02 року вимірювання  $V_{\text{ef.}}$  склало  $V_{\text{ef.}}=1.37$  мм/с, тобто різниця становить  $\Delta V_{\text{ef.}}=0.18$  мм/с, що вказує на наявність зносів процесів (табл.5.1).

У вересні 1996р. була запущена в експлуатацію на свердловині № 84 Богдани установка ЕВН 5-125-800 № сек. 93218, 91128, ЗЕД 32-103 № 01197. Початкове значення ефективної віброшвидкості становило  $V_{\text{ef}}=1.23$  мм/с. Після 96 діб експлуатації виміряне значення  $V_{\text{ef},2}=1.71$  мм/с. Різниця  $\Delta V_{\text{ef}}=0.48$  мм/с, що на 23.9% більше в порівнянні з експериментальними секціями (табл.5.1).

Приведені результати досліджень вібраційного стану установок ЕВН оснащених як серійними, так і експериментальними робочими органами показують, що він відрізняється початковим значенням ефективної віброшвидкості для одних і тих же типів ЕВН. Це обумовлено як початковим вібростаном установок ЕВН, що залежить від технічного стану їх робочих органів, оскільки використовувалися як нові, так і ремонтні насоси, а також профілями свердловини.

У даному випадку важливим є той факт, що числові значення ефективної віброшвидкості вібрації установок ЕВН з колоною НКТ виміряні на початку їх експлуатації і через визначений період, в основному – 3 місяці, вказують на тенденцію до її зростання. Причому, значення  $V_{\text{ef}}$  за вказаний період експлуатації більше для серійних секцій насосів в порівнянні з експериментальними. Вказане характеризує протікання процесу зношення робочих органів, тобто робочі органи серійних насосів зношуються швидше, ніж експериментальних, які володіють підвищеною зносостійкістю, що підтверджують результати наведені в розділі 5.3.

### Висновки до розділу

1. Розроблена методика проведення промислових експериментів по дослідженню ЕВН з експериментальними робочими органами на зносостійкість, яка дозволяє оперативно провести весь комплекс запланованих експериментів на нафтових родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз” з малою трудоемністю.

2. Розроблені пристрій і конструкція вимірювальної муфти для контролю вібраційного стану ЕВН дозволяють отримувати оперативну і вірогідну інформацію про технічний стан робочих органів насоса.

3. Результати проведених експериментальних досліджень робочих органів ЕВН виготовлених з модифікованого церієм чавуну, отриманого за розробленою технологією та підібраними парами тертя показали, що :

- довговічність робочих органів (робочих коліс, направляючих апаратів) в 2-3 рази перевищує довговічність серійних;
- опорні шайби з композиту ПК70Н2Д2 (залізно-графітний порошок з вмістом до 2% нікелю та міді) забезпечують, порівняно з серійними із текстоліту, 2-3 кратне підвищення довговічності;
- довговічність захисних втулок вала з ЛО-90-1 перевищує довговічність серійних захисних втулок з Л63 в 1,5-1,6 рази;
- довговічність захисних втулок вала з плазмовою наплавкою її робочої поверхні порошком ПН55Т45 в 1,6-2 рази вища серійної.

4. Враховуючи результати проведених лабораторних досліджень зносостійкості робочих органів ступеня насоса з модифікованого церієм чавуну загартованих на твердість 45-47 HRC та пар тертя, а також промислові випробування ЕВН з секціями, оснащеними експериментальними ступенями, слід очікувати не двократного підвищення стійкості ступеней, яка вже підтверджена, а 2,5-3,0 кратного, що дозволить, відповідно, підвищити їх економічну ефективність.

5. Результати промислових досліджень вібраційного стану ЕВН з експериментальними робочими ступенями, проведених на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” показали, що їх вібростан, який визначається критерієм – ефективним значенням вібрації, на 24,0%-28,0% кращий від ЕВН, оснащених серійними робочими ступенями. Останнє вказує на більш інтенсивні процеси зношення серійних робочих органів в порівнянні з експериментальними.



## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі виконаних досліджень було вирішене важливе наукове і практичне завдання – забезпечення кратної довговічності робочих ступеней установок ЕВН конструктивними та технологічними шляхами.

1. Встановлені закономірності зношування робочих органів ЕВН, обумовлені типорозмірами ЕВН, глибиною підвіски, характеристиками свердловинної рідини нафтових родовищ НГВУ “Чернігівнафтогаз” та визначена їх довговічність.

2. З метою ефективного проведення досліджень по підвищенню довговічності робочих органів ЕВН розроблено:

- методичне забезпечення, яке дозволяє здійснити весь комплекс стендових і промислових досліджень;

- технічне забезпечення - стендову установку для зношувальних випробувань, яка моделює свердловинні умови та режими роботи ЕВН; пристрій і вимірювальну муфту для контролю вібростану ЕВН, що дозволяє отримати вірогідну і оперативну інформацію про зміну технічного стану ЕВН, обумовленого зносом його робочих органів в процесі експлуатації.

3. Розроблена трьохвимірною модель робочого колеса і досліджено вплив величини його зносу і діючих осьових навантажень на зміну НДС та зміну робочих характеристик установки ЕВН (напору, подачі, к.к.д. тощо), що дозволило запропонувати конструкцію робочого ступеня насоса підвищеної довговічності.

4. Встановлені емпіричні залежності приросту розмірів діаметрів робочих органів ЕВН від їх номінальних значень при різних методах термообробки, та розроблено метод виготовлення зносостійких робочих органів з сірого чавуну, який модифікується при литві рідкоземельним металом (ітрієм, церієм), а деталі перед термічною обробкою проходять кінцеву механічну обробку з від’ємними допусками.

5. За результатами проведених досліджень на зносостійкість рекомендовані до серійного виробництва направляючі апарати і робочі колеса з модифікованого чавуну, композитів ПН55Т45, ЛО-90-1 і ПК70Н2Д2, які приблизно в 3-5 разів більш

зносоустійкі в порівнянні з серійними, а також шайби з ПК70Н2Д2, які хоча менш зносоустійкі (6,2%) по відношенню до шайб, виготовлених з матеріалів на базі бронзи (4,2%) і міді (5,0%), однак в 10 разів дешевші.

6. За результатами проведених досліджень розроблені:

- комбінована конструкція робочого ступеня ЕВН з поліамідним робочим колесом і металополімерним направляючим апаратом та запропоновані окремі конструктивні рішення по з'єднанню поліамідної проточної частини апарату з металевим корпусом;

- технологічні маршрути, обладнання та процеси для серійного виготовлення захисних втулок вала і опорних шайб із композитів ЛО 90-1, ПК 70Н2Д2, а також захисних втулок вала з плазмовим напиленням робочої (зовнішньої) поверхні зносоустійким порошковим матеріалом ПН 55Т45.

7. Проведені промислові випробування ЕВН з серійними секціями та з секціями, обладнаними експериментальними робочими органами на нафтопромислах НГВУ "Чернігівнафтогаз", підтвердили двократне підвищення довговічності робочих органів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Надійність техніки. Терміни та визначення. ДСТУ 2860-94. Держстандарт України. – Київ, 1995. – 92с.
2. Замиховский Л.М. Повышение эксплуатационной надёжности погружных электроустановок для добычи нефти / Автореф. дис. докт. техн.наук.- Ивано-Франковск: ИФИНГ, 1994. – 32 с.
3. Жидецька О.Л., Зікратий С.В. Умови виникнення і аналіз поступових відмов установок ЕВН // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія.: Методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ. – 2001. Вип.38(т.8) 20. – С. 201-209.
4. Насосы погружные центробежные модульные ЭЦНМК. ТУ 26-06-1485-87.- М.: Миннефтепром, 1987. – 100 с.
5. Установки погружных центробежных насосов. Каталог. ЦИНТИХИМнефтемаш, Москва, 1989.
6. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти. – М.: Недра, 1968. – 272 с.
7. Агеев Ш.Р., Исследования рабочего процесса отводов ступеней низкой и средней быстроходности погружных центробежных насосов для добычи нефти. Тезисы докладов на Всес. науч.-тех. конф. по гидромашиностроению “Проблемы и направления развития гидромашиностроения”. – М., 1978.
8. Агеев Ш.Р., Златкис А.Д., Карелина Н.С. и др. Перспективы развития погружных центробежных насосов для добычи нефти. Обзорная информация, серия ХМ-4. “Насосостроение”, – М.: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1985, 50 с.
9. Ярёмченко О.В. Испытания насосов.- М.: Машиностроение, 1976.
10. Внедрение импортных УЭЦН на промыслах АООТ “Пурнефть” /Н.М. Байков, А.Н. Грищенко и др. Нефтяное хозяйство, 1995. №8. – С.58- 61.
11. Cahboues S. Tips for. Checking Pump Performanse, Metal Stamping, 1986, Gune, P.3,4,6,8.

12. Жидецька О.Л., Мойсеєнко В.М., Писарчук М.О. Конструкція ступеня ЕВН з поліамідною робочою частиною // Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ: Сер. Методи і засоби технічної діагностики – Івано-Франківськ. – 1999. – Вип.36 (т.8). – С.347-353.

13. Гринштейн Н.Е. Погружные центробежные насосы для добычи нефти с открытыми штампованными рабочими колёсами. / Тез. докл. на Всес. науч.-техн. конф. по гидромашиностроению “Проблемы и направления развития гидромашиностроения”, – М., 1978.

14. Рабочие органы погружных насосов из порошковых материалов на основе железа. ТУ 3631- 001-24004238- 94. – М.: Миннефтепром, 1994 – 80 с.

15. Анциферов В.Н. и др. Порошковая металлургия и напылённые покрытия. Под ред. Б.С. Митина. – М.: Металлургия. 1987. – 792 с.

16. Порошковые материалы рабочих органов погружных центробежных насосов //Перельман О.М., Горохов В.Ю., Безматерных Н.В. и др. / Нефтепромысловое оборудование, №6, 1996, С.46- 50.

17. Жидецька О.Л., Жидовцев М.О. Комплексні дослідження по кратному підвищенню міжремонтного періоду роботи ЕВН // Науковий вісник Івано-Фран. нац. техн. у-ту нафти і газу. – 2003. – № 1(5). С.

18. Филиппов В.А. Надежность установок погружных центробежных насосов для добычи нефти. – М., 1983 – 50с. (Обзор. информ./ ЦИНТИ химнефтемаш; Сер. ХМ-4: Насосостроение).

19. Замиховский Л.М., Гринив П.П., Савюк Л.А. Условия возникновения и развития неисправностей УЭЦН // Методы и средства технической диагностики / Фирма «Контакт». – Ивано-Франковск, 1992. – С. 19-32.

20. Каплан Л.С. Мощность погружного центробежного насоса, работающего на однородных жидкостях в водонефтяных смесях // Машины и нефтяное оборудование: РНТС ВНИИОЭНГ. – 1980. – №3. – С.15-16.

21. Филиппов В.Н. Обоснование технологических режимов работы нефтяных скважин с погружными центробежными насосами на базе использования

адаптивных моделей / Автореф. дис. канд. техн. наук. – М: ВНИИнефть, 1986. – 20 с.

22. Чичеров Л.Г. Нефтепромысловые машины и механизмы. – М.: Недра, 1976. – 99 с.

23. Гоник А.А. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры её предупреждения. – М: Недра, 1976. – 192 с.

24. Виноградов В.Н, Сорокин Г.М, Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.

25. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Доценко В.Н. Абразивное изнашивание бурильного инструмента. – М.: Недра, 1980. – 206 с.

26. Литвинов В.М. Повышение надежности нефтепромысловых насосов. – М.: Недра, 1978. – 191 с.

27. Виноградов В.Н, Сорокин Г.М., Абашев А.Ю. Изнашивание при ударе. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.

28. Кисилев Г.И. Износостойкость металлов в гидроабразивной среде. “Вестник машиностроения”. – 1971.-№ 12.-с. 11-12.

29. Максимов В.П. Эксплуатация нефтяных месторождений в осложнённых условиях. – М.: Недра, 1976. – 189 с.

30. Генералов И.В. и др. Особенности эксплуатации скважин ЭЦН на поздней стадии разработки Самотлорского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №10. – С. 72-73.

31. Nolen K.B. How to match submersible pumps to well performance // World oil. – 1985. – Vol. 200. – №2. – P/ 41- 45/

32. Эксплуатационная надёжность электрооборудования установок ЭЦН / Новосёлов Ю.Б., Лобова А.П., Комисаров Г.С. и др. // Эксплуатационная надёжность электрооборуд. нефт. промыслов Зап. Сибири. – М., 1977. – С. 39- 46. – (Обз. инф. ВНИИОЭНГ; Сер.Машины и нефт. Оборуд.).

33. Локтев А.В., Долгов И.Д., Гибадуллин А.Г. Влияние механических примесей на работу механизированного фонда нефтяных скважин // Нефтепромысловое дело: РНТС ВНИИОЭНГ. – 1992. – Вып. 6. – С. 5- 9.

34. Замиховский Л.М. Анализ отказов системы «УЭЦН-КНКТ» / Ивано-Франк. ин-т нефти и газа.- Ивано-Франковск, 1993. – 27 с. – Рук. деп. в ГНТБ Украины, №2273 – Ук 93.

35. Пустовалов М.Ф., Чакин А.А. Применение коррозионностойких УЭЦН на месторождениях ТПП “Ураинефтегаз” //Нефтяное хозяйство. – 2000. – №10. – С. 126-129.

36. Калявин В.П, Мозгалеvский А.В., Галка В.Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики: Учебник. – СПб.: Элмор, 1996. – 296 с.

37. Методы и средства упрочнения деталей нефтяного оборудования / Обзор информ. Сер. «Машины и нефтяное оборудование», – М: ВНИИОЭНГ, вып. 13(38), – 1983, – 42 с.

38. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977.

39. Куницкий Ю.А., Коржик В.Н., Борисов Ю.С. Некристаллические металлические материалы и покрытия в технике. – К.: Техника, 1988. – 198 с.

40. Газотермическое напыление покрытий из порошковых материалов. Справочник./ Ю.С. Борисов, Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардатовская Е.Н. – К.: Наукова думка, 1987. – 544 с.

41. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, плавкой и пайкой. – М.: Транспорт, 1994. – 256 с.

42. Ковнеристый Ю.К., Осипов Э.К., Трофимова Е.А. Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов. – М.: Наука, 1983. – 144 с.

43. Дехтярь Л.И., Игнатков Д.А., Андрейчук В.К. Выносливость валов с покрытиями. – Кишинёв: Штиинца, 1983. – 175 с.

44. Дехтярь Л.И., Андрейчук В.К. Остаточные напряжения в неоднородных деталях сельскохозяйственной техники. – Кишинёв. Сельскохозяйственный институт – 98 с.

45. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. /Спиридонов Н.В., Куприянов И.Л.; под ред. В.Н.Чачина. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 155 с.

46. Голубец В.М., и др. Влияние лазерной обработки на изнашивание деталей в абразивно-масляной среде. // Физика и химия обработки материалов. 1972. – №4. – С. 114-115.

47. Обработка поверхности и надёжность материалов. / Под ред. Дж.Ф.Вайса. – М.: Мир, 1984. – 192 с.

48. Лазерная обработка конструкционных материалов в машиностроении: Обзор. / Щеглов М.Е., Лурье Э.С., Нечаев В.А., Хахалев А.Д. – М.: ЦНИИТЭтяжмаш, 1990. – 24 с.

49. Коваленко В.С. Лазерная технология. –К.: Высшая школа. 1989. – 280 с.

50. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. / Коваленко В.С., Верходубов А.Д., Головкин Л.Ф., Подчерняева И.А. – М.: Наука, 1986. – 276 с.

51. Акулина Г.А., Цырлина Э.С. Лазерная закалка деталей машин. – М.: НИИмаш, 1984. – 64 с.

52. Упрочнение деталей лучом лазера. / В.С.Коваленко, Л.Ф.Головкин, Г.В.Меркулов и др. – К.: Техника, 1981. – 132 с.

53. Ohmuru E. Hardening in Caser processiong: Pocht. Tesis/ Osaka Univ. Osaka, 1984. – 64 p.

54. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

55. Методы определения оптимальных режимов лазерной закалки сталей и контроля её качества. / Бративник Е.В., Великих В.С., Гончаренко В.П., и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1982. – №9. – С. 36-38.

56. Горленко О.А. Износостойкость поверхностей, упрочнённых лазерной обработкой. // Трение и износ. –1981. – Т.11. – №1. – С. 27-31.

57. Влияние лазерного термоупрочнения на износостойкость металлов при граничном трении. / Литвинов В.Н., Михин Н.М., Козлов Г.И., и др.// Трение и износ. – 1983. – Т.4. – №2. – 341 с.

58. Исследование влияния лазерного излучения на физико-механические характеристики поверхностных слоёв деталей и их износостойкость при абразивном

изнашивании. / Михин Н.М., Обищенко Л.Н., Козлов Г.И., и др.// Трение и износ. – 1983. – Т.4. – №4. – 648 с.

59. Буренин В.В. Применение неметаллических материалов в конструкциях центробежных насосов.-М., 1988-35 с. (Обзор. информ. / ЦИНТИ химнефтемаш; Сер. ХМ-4: Насосостроение).

60. Кащиельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы: свойства и примечания. Справочник.-Л.: Химия, 1982, 317 с..

61. Зеленов Ю.В. Современные проблемы прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных материалов. Пластические массы, 1986, №11, С. 3-4.

62. Сорокин Г.М. Вопросы методологии при исследовании изнашивания абразивом//Трение и износ. – Т.9. – №5. – 1988. – С. 779-786.

63. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.

64. Сорокин Г.М. Прочности как основа максимума износостойкости сталей при абразивном изнашивании // Вестник машиностроения. – 1986. – №5. – С. 12-15.

65. Аходов Г.Г., Курбенов Э.Т. Повышение износостойкости деталей нефтепромыслового оборудования. // Химическое и нефтяное машиностроение, №6, – 1992. – С. 30-32.

66. Новиков О.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.

67. Петросянц А.А., Белоусов В.Я., Саркисов В.С. Повышение долговечности деталей газонефтепромыслового оборудования. М.: "Недра", 1976. – 107 с.

68. Белоусов В.Я. Новые материалы в газонефтепромысловом машиностроении, АТС, "Химическое нефтяное машиностроение", 1977, №3, – С. 18-20.

69. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание, М., "Наука", 1970. – 252 с.

70. Юзвенко Ю.А., Гаврин В.А. Установка для оценки износостойкости наплавленного металла при газоабразивной эрозии. "Автоматическая сварка", 1972, № 6, – С. 73-74.



71. Голуб М.В., Харланенко В.И. Твердосплавные пары трения торцевых уплотнений и способ их изготовления. РНТС "Машины и нефтяное оборудование", М., ВНИИОЭНГ, 1970, №1, — С. 13-15.

72. Жидецька О.Л. Дослідження по оцінці зносостійкості робочих органів та вибору пар тертя ступеней електровідцентрових насосів для видобутку нафти./ У зб. праць XVI Міжн. міжвуз. школи-семінару "Методи і засоби техн. діагностики". — Фірма "Прут • Принт", — Снятин. — 1999, — С. 249-257.

73. Жидецька О.Л., Жидовцев М.О., Мойсеенко В.М. Визначення типу і складу чавуну для виготовлення зносостійких робочих органів ЕВН. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. — Івано-Франківськ, 1999. — Вип.36 (т.8). — С. 354-359.

74. Жидецька О.Л., Жидовцев М.О. Спосіб виготовлення зносостійких тонкостінних деталей із сірого перлітного чавуну //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ (Івано-Франківськ, — 2002.-№ 4(5)). — С. 28-30.

75. Жермен П. Курс механики сплошных сред. — М.: Высшая школа, 1983. — 399 с.

76. Кузьменко А.Г., Гладкий Я.Н. Изнашивание как процесс зарождения и развития трещин. // Проблемы трибологии. — 1997. — С. 46-64.

77. Гладкий Я.М. Науково-прикладні основи підвищення зносостійкості інструментальних матеріалів шляхом використання прогресивних технологій. Автореф. дис. д-ра техн. наук. — Хмельницький, 1998. — 34 с.

78. Paris P.,Erdogan F.A critical analysis of crack propagation laws // Trans. ASME.J. Basic Eng. — 1963. — 85,№ 4. — p.525-534.

79. Paris P.S. The fracture mechanics approach to fatigue // Fatigue.- An Interdisciplinary Approach. — Syracuse (N.Y.): Syracuse Unit. Press, 1964. — p. 107-132.

80. Rooke D.R. Jones D.A. Stress intensitors in fretting fatigue // Strain anal. — 1979. — 14, N 1. — p. 1-

81. Романив О.Н., Ткач А.Н. Структурный анализ кинетических диаграмм усталостного разрушения конструкционных сталей // Физ-хим. механика материалов. — 1987. — №5. — С. 3-16.

82. Красовский А.Я., Калайда В.В., Крамаренко И.В. Циклическая трещиностойкость чугунов с шаровидным графитом // Пробл. прочности. – 1985. – №5. – С.12-18.

83. Рост усталостной трещины в чугунах. I: Чугун с шаровидным графитом / О.Н. Романив, А.Н. Ткач, Т.Я. Юськив, и др.// Физ-хим. механика материалов. – 1989. – №4. – С.73-79.

84. Luyendijk T., Nieswaag H. Crack growth and fracture toughness in nodular cast iron // Solidification Technol. Foundry and Cost House. – London, 1983, – p. 569-574.

85. Hirose Y., Yajima Z. And Nanaka K. X-ray examination of fatigue fracture surfaces of nodular cast iron // Mech. Behov. Mater.: Proe. 5th Int. Conf. (Beijing, 3-6 June, 1987). – Oxford. – 1988. – Vol.1. – p. 551-558.

86. Андрейко І.М. Підвищення міцності та циклічної тріщиностійкості холодностійких високоміцних чавунів шляхом оптимізацій структури. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Львів, 1998. –18 с.

87. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: в 4-х т./ Под. ред. В.В. Панасюка.-т.4.: Усталостная и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов // О.Н. Романив, С.Я. Ярема, И.Н. Никифорчин и др. – Киев: Наук.думка, 1990. – 680 с.

88. РД50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы и механические испытания металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении.

89. Ост 190268-78. Металлы. Методы определения скорости роста усталостной трещины. – М.: Изд-во стандартов. – 1978. – 75 с.

90. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов. – М.: Металлургия, 1986. – 294 с.

91. Rice J.R. Mechanics of crack tip deformation and extension by fatigue // Fatigue Crack Propagation.- Philadelphia, 1967. – p. 247-309. – (Amer. Soc. Test and Mater.; ASTM STP415).

92. Прерис А.М. Solid Works 2005/2006. Учебный курс Питер Принт. 2006. – 528 с.
93. Алярмовский А. А. Solid Works / Cosmos Works. Интегральный анализ методом конечных элементов. Сер. «Проектирование», – М.: ДМК Пресс. – 2004. – 432 с.
94. Заміховська О.Л. Дослідження фізичної моделі робочого колеса установки електровідцентрового насоса для видобутку нафти. Восточно-Европейс. журнал передових технол.
95. Жидецька О.Л. Моделювання впливу стану робочих органів установки ЕВН на їх характеристики. НТЖ Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ. – 2003. №10. – С. 75-79.
96. Жидецька О.Л., Петрина Ю.Д. Дослідження модифікованого сірого чавуну на зносостійкість // Розвідка і розр. нафт. і газов. родов. Сер.: “Методи і засоби техн. діагностики”. – Івано-Франківськ, 2000. – Вип.37(т.8). – С.231-235.
97. Жидецька О.Л. Вплив методу термічної обробки робочих органів ЕВН з сірого чавуну модифікованого церієм // Розвідка і розр. нафт. і газов. родов. Сер.: “Методи і засоби техн. діагностики”. – Івано-Франківськ, 2001. – Вип.38 (т.8). – С. 252-255.
98. Петрина Ю.Д., Жидецька О.Л., Борушак Б.О. Технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи захисної втулки електровідцентрових насосів // Вісник нац. ун-ту “Льв. політех”: Львів. – 2002. – №442. – С. 60-68.
99. Жидецька О.Л. Виготовлення захисних втулок вала підвищеної зносостійкості /Наукові вісті Івано-Франківського інституту менеджменту і економіки. – Івано-Франківськ. – 2002. – №2. – С. 220-226.
100. Замиховский Л.М., Кирод В.Р., Маряк С.Г. Нормирование вибрации погружных электроцентробежных насосов на стадии ремонта // Методы и средства виброакустической диагностики / Облполиграфиздат. – Ивано-Франковск, 1990. – С. 37-43.

101. Замиховский Л.М., Гидзяк И.Л., Иванов В.Н. Вибродиагностика технического состояния УЭЦН в условиях Западной Сибири // Тез. докл. науч.-техн. конф. "Вибрация и диагностика машин и механизмов". – Челябинск, 1990. – С. 44-46.

102. Замиховський Л.М., Гаркот В.С., Маряк С.Г. Підвищення експлуатаційної надійності електроустановок для видобутку нафти // Нафтова і газова промисловість. – 1994. – №3. – С. 37-40.

103. Замиховский Л.М. Задачи диагностирования УЭЦН и этапы их решения // Методы и средства технической диагностики / Фирма "Контакт", –Ивано-Франковск, 1992. – С. 67-74.

104. Замиховский Л.М., Дженджеруха В.Н. Система контроля вибросостояния УЭЦН в процессе эксплуатации // Методы и средства виброакустической диагностики / Фирма "Контакт", – Ивано-Франковск, 1992. – С. 62-67.

105. Замиховська О.Л. Розробка конструкції вимірювального модуля // Зб. праць XII Міжн. міжвуз. школи-семінару "Методи і засоби тех. діагностики"; – Івано-Франківськ, – 1995. – С. 121-124.

**ДОДАТКИ**

## Додаток А1

“УТВЕРЖДАЮ”

Генеральный директор

ТОО “Галс-К-Лтд”

Назаренко А.Я.

1996г.



“СОГЛАСОВАНО”

Директор

ИИПТ “Техномет”

Славицкий И.О.

1996г.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ**

*на поставку литых заготовок рабочих органов  
погружного насоса (ЭЦН).*

1. Размеры литых заготовок должны соответствовать требованиям чертежа заготовки а также чертежам деталей направляющего аппарата (УЭ155.056) й рабочего колеса (УЭ155.034) для ЭЦН5-80, (Э13-30 и Э13-31) для ЭЦН5-50, НМ 003.015 и НМ 003.016 для ЭЦН5-125.

2. Химический состав чугуна отливок должен соответствовать в %:

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr, Ni, V P</i>	<i>S</i>	<i>Ce</i>
3.8-4.2	2.6-3.0	0.6-0.9	0.4	исходные	0.03	0.01-0.015
чугуна						

3. Твердость отливок не должна превышать 170 НВ.

4. Микроструктура чугуна после отливки должна быть:

Графит гнездообразный ГГФ1, ПГФ2, ПГФУ, ПГД90, ПГР1, ПГ10, ПП2.

Металлическая основа: перлит зернистый ПТ2, перлит пластинчатый ПТ1, дисперсность ПДОЗ, ПД1.4.

5. Детали после отливки должны обязательно проходить дробеструйную обработку. Гидравлические каналы должны быть свободными от загрязнений, закупорок. Поверхности каналов не должны содержать остаточных следов полистирола, окалины, других загрязнителей и грубой шероховатости. На поверхности отливок не должно быть масляных пятен, трещин. Механических повреждений.

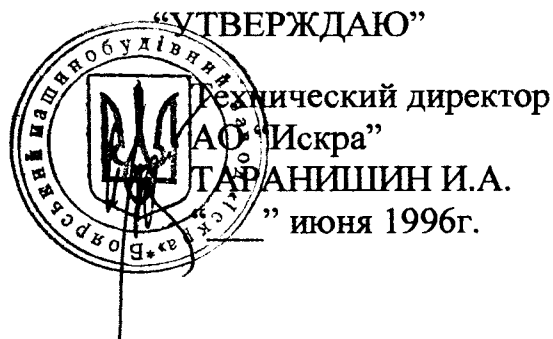
6. Литые заготовки должны передаваться Заказчику по накладной с сертификатом.

Составили

Жидовцев Н.А.

Заміховська Е.Л.

Додаток Б1

**А К Т**

*опробования термической обработки рабочих органов ЭЦН  
с применением для нагрева камерной KS-809 и  
вакуумной печи*

1. В соответствии с Договором № 3-95/УЗ от 28.10.95г. комиссией в составе:

начальника инструментального цеха № 15 Боярского завода "Искра"  
-Черняка Д. И.,  
технолога цеха № 15 Петренко И. И.  
и представителей Заказчика - Жидовцева Н.А.  
- Замиховской Е.Л.

в июне 1996г. проведена термическая обработка (закалка в масло, отпуск) деталей погружного насоса ЭЦН5-80 (направляющего аппарата УЭ155.056 и рабочего колеса (УЭ155.034)) с использованием для нагрева камерной KS-809 и вакуумной печи. До и после термообработки по 10 контрольных изделий подвергались инструментальному обмеру по регламентированным размерам.

2. Режим термообработки:

- 1). Нагрев под закалку  $860 + 10^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 60 минут.
- 2). Охлаждение с погружением в индустриальное масло.
- 3). Отпуск при температуре  $T = 180^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 180мин. и охлаждением в печи до  $t = 20^{\circ}\text{C}$ .

3. Обмер ( таблица) и исследование деталей показали:

3.1. Детали (направляющие аппараты и рабочие колеса ЭЦН5-80 из модифицированных церием чугуна имеют хороший вид. Коробление, растрескивание и окалина на поверхности отсутствуют.

3.2. Структура: равномерное распределение гнездообразного и пластинчатого графита ПГФ2, ПГФ4, ППО, ПГ180, с металлической основой - отпущенный мартенсит.

3.3. Твердость 43-45 HRS.

4. Прирост размеров после термообработки (таблица) с нагревом в камерной печи KS-800 в среднем составляет 0,375 % и колеблется от 0,31 (для  $d=80\text{мм}$ ) до 0,06 мм (для  $d=17\text{мм}$ ), а для вакуумной печи соответственно 0,346%, 0,31 и 0,06%. Стабильность прироста размеров при нагреве в вакуумной печи несколько выше чем в камерной печи.

5. Разброс прироста в основном находится в поле допусков на соответствующие размеры (по чертежу) и существенно зависит от химсостава чугуна. Для получения надежного результата прироста размеров необходимо строго контролировать химсостав каждой плавки.

## ВЫВОДЫ

1. Термообработка рабочих органов ЭЦН с применением камерных и вакуумных печей обеспечивает получение деталей требуемого качества (металлическая основа - отпущенный мартенсит, твердость 43-45 HRS).

2. Прирост размеров рабочих органов в среднем составляет 0,37% и в основном укладывается в поле допусков по чертежам на соответствующие размеры направляющего аппарата и рабочего колеса.

3. Прирост размеров зависит от постоянства химсостава чугуна при каждой плавке. При несоблюдении химсостава наблюдаются случаи выхода их за пределы допуска (по чертежу), что не желательно. Необходим строгий контроль качества литых заготовок.

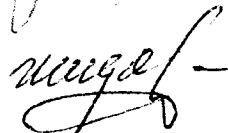
Начальник цеха № 15 з-да "Искра"

Технолог цеха № 15

Представители Заказчика

 Черняк Д.И.

 Петренко И.И.

 Жидовцев Н.А.

Замиховская Е.Л.



**Загальні значення приросту розмірів робочих органів ЕВН5-80  
при їх термічній обробці**

Розмір по кресленню і допуски	Нагрів в камерній печі		Нагрів в вакуумній печі	
	Зміни приросту розмірів			
	В ММ	В %	В ММ	В %
$\varnothing 80_e$ <sup>-0.06</sup> <sub>-0.0134</sub>	0,34	0,43	0,33	0,41
$\varnothing 75 H8$ <sup>+0.046</sup>	0,33	0,44	0,3	0,4
$\varnothing 75 H8$ <sup>-0.046</sup>	0,34	0,45	0,32	0,43
$\varnothing 36 H11$ <sup>+0.151</sup>	0,14	0,39	0,13	0,36
<b>24,5</b> $\pm 0.03$	0,063	0,26	0,07	0,29
<b>21,5 H11</b> <sup>+0.13</sup>	0,062	0,29	0,065	0,31
$\varnothing 21 H8$	0,065	0,31	0,065	0,31
$\varnothing 46 H9$ <sup>+0.039</sup>	0,17	0,37	0,16	0,35
$\varnothing 36 d9$ <sup>-0.080</sup> <sub>-0.142</sub>	0,13	0,36	0,13	0,36
$\varnothing 32 H8$	0,1	0,32	0,11	0,33
$\varnothing 17 E9$ <sup>-0.075</sup> <sub>0.032</sub>	0,06	0,35	0,06	0,35

Середнє 0,362

0,353

Таблиця Б2.2

**Результати вимірювань розмірів направляючого апарата і робочого колеса  
до і після термічної обробки з нагрівом в камерній печі PS-800**

№ п/п	Розмір по крес- ленню і допуску	НОМЕРА ЗРАЗКІВ												Середнє значення зміни розмірів зразків										
		1				2				3						4				5				6
Результати вимірів до і після термообробки																								
		до	після	зміни	до	після	зміни	до	після	зміни	до	після	зміни	до	після	зміни	до	після	зміни	до	після	зміни	В мм	В %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
1	Ø80 -0,06 e-0,0134	79,65	79,99	0,34	79,6	79,95	0,35	79,64	79,98	0,34	79,59	79,97	0,35	79,68	79,99	0,31	79,62	79,97	0,35	0,34	0,43			
2	Ø75 H8 <sup>+0,04</sup> e	74,13	74,96	0,24	74,7	75,06	0,36	74,11	74,99	0,28	74,15	75,04	0,29	74,12	75,03	0,31	74,4	74,08	0,32	0,33	0,44			
3	Ø75 H8 <sup>-0,04</sup> e	74,7	74,98	0,28	79,67	74,99	0,32	74,64	74,98	0,34	74,11	75,06	0,35	74,12	74,99	0,27	74,7	75,0	0,3	0,34	0,45			
4	Ø46 H9 <sup>+0,039</sup> e	45,81	45,97	0,16	45,83	45,96	0,16	45,89	46,03	0,14	45,84	45,99	0,15	45,88	46,04	0,16	45,82	46,0	0,18	0,168	0,38			



Таблиця БЗ.1

Результати замірів розмірів направляючого апарату Ø 80мм і Ø 21мм відлитої різними методами із чавуну різного хімічного складу та термооброблених з нагрівом під загартування і відпуск в камерній печі

Розмір по кресленню	Технологія литва, хімічний склад	% приріст розміру	Розмір з врахуванням прирісту	НОМЕРА ЗАМІРІВ, мм											
				1				2				3			
				до	після	змін.	до	після	змін.	до	після	змін.	до	після	змін.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
-0,06	Литво за моделями, які виплаваються	0,62	79,5	79,58	79,85	0,27	79,5	79,86	0,36	79,51	79,83	0,32			
Ø 80 e9		0,5	79,60	79,51	79,86	0,35	79,53	79,87	0,34	79,56	79,85	0,29			
-0,134	C=3,8% Mn Mn=0,6%	0,36	79,70	79,68	80,02	0,34	79,6	79,9	0,3	79,58	79,89	0,31			
Ø 80 e9		0,335	79,73	79,7	79,98	0,28	79,72	79,94	0,32	79,72	79,99	0,27			
	Si=2,7%														

Продовження таблиці БЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-0,06	Литво за моделями, які випалюються	0,5	79,6	79,61	79,85	0,24	79,6	79,87	0,27	79,53	79,79	0,26
-0,134	C=3,8% Mn Mn=0,55 %	0,36	79,71	79,70	79,97	0,27	79,68	79,98	0,26	79,65	79,9	0,34
Ø 80 e9	Si=2,6 %	0,335	79,73	79,7	80,02	0,32	79,74	80,02	0,32	79,75	80,15	0,35
+0,033	Литво за моделями, які виплавляються	0,36	20,924	20,92	20,98	0,06	20,91	20,96	0,05	20,92	20,97	0,06
Ø 21НВ	C=3,8% Mn Mn=0,6 % Si=2,7 %	0,5	20,9	20,9	21,0	0,1	20,91	20,98	0,07	20,9	20,97	0,06
	C=3,6% Mn Mn=0,5 % Si=2,4 %	0,36	20,924	20,93	21,01	0,08	20,94	21,06	0,09	20,92	21,02	0,1
	Литво за моделями, які випалюються	0,5	20,9	20,9	20,98	0,08	20,9	20,98	0,08	20,91	20,99	0,08
	які випалюються	0,36	20,924	20,91	21,0	0,09	20,92	21,0	0,08	20,92	21,0	0,08

Продовження таблиці БЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-0,06	Литво за моделями, які випаляються	0,62	79,5	79,55	79,82	0,27	79,5	79,85	0,35	1,57	0,323	0,41
-0,134		0,5	79,60	79,60	79,95	0,35	79,54	79,86	0,32	1,65	0,33	0,41
Ø 80 e9	C=3,8% Mn Mn=0,6 %	0,36	79,70	79,69	79,91	0,22	79,66	79,97	0,31	1,5	0,3	0,38
Ø 80 e9	Si=2,7%	0,335	79,73	79,76	80,05	0,29	79,70	80,03	0,33	1,46	0,292	0,37
Середнє (0,41+0,41+0,38+0,37) 6,18 0,312 0,892												
-0,06	Литво за моделями, які випаляються	0,5	79,6	79,62	79,85	0,23	79,5	79,86	0,31	1,31	0,262	0,33
-0,134		C=3,8%Mn Mn=0,55 %	0,36	79,71	79,67	79,94	0,27	79,62	79,98	0,36	1,50	0,3
Ø 80 e9	Si=2,6 %	0,335	79,73	79,73	80,0	0,23	79,74	80,15	0,41	1,63	0,326	0,41
Середнє (0,33+0,39+0,41):3 1,13 0,322 0,38												

Продовження таблиці БЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
+0,033 Ø 21НВ	Литво за моделями, які виплавляються	0,36	20,92	20,94	21,01	0,07	20,92	21,02	0,08	0,35	0,07	0,33	
		4	4										
	С=3,8%Mn Si=2,7 %	0,5	20,9	20,94	21,01	0,06	20,93	21,02	0,09		0,39	0,07	0,37
	Литво за моделями, які випалюються	0,36	20,92	20,91	20,99	0,08	20,93	21,03	0,1	0,45	0,09	0,43	
		4	4										
		Середнє (0,37+0,33+0,43) 1,13 0,079 0,38											
		0,5	20,9	20,9	20,95	0,05	20,90	20,97	0,07	0,36	0,072	0,34	
		0,36	20,92	20,91	20,97	0,06	20,9	20,97	0,07	0,38	0,076	0,362	
			4	5	5								
		Середнє (0,34+0,36) 0,74 0,074 0,35											

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

(временная, для опытно-промышленного опробования)

## Отработка технологии литья

С целью отработки технологии литья и получения результатов при литье деталей ЭЦН следует провести ряд экспериментальных плавов.

На АЗПЭН были проведены эксперименты с целью получения чугуна с перлитной структурой и вельликулярным графитом без существенных изменений технологического процесса и состава исходного чугуна. Разработанная технология литья позволяет полностью исключить литейный брак и отбел модифицированного чугуна.

Отличительной чертой технологии литья является то, что модификатор вводится в исходный чугун не в миксере или разливочном ковше, а равномерно подается непосредственно в струю металла при заливке в форму, что обеспечивает получение стабильной однородной структуры. Кроме того, резко снижается расход модификатора из-за полной его усваиваемости.

Для внутрiformенного модифицирования была изготовлена порошковая проволока, заполненная модификатором. Для равномерной подачи проволоки в струю металла был разработан и изготовлен подающий механизм с регулируемой скоростью подачи проволоки.

1. В целях обеспечения точности химсостава и чистоты жидкого металла по примесям и неметаллическим включениям для выплавки чугуна используются печи типа ИТС с кислой футеровкой.

### 2. Шихтовый материал

- 1) Чугун передельный ПЛ-1, ПЛ-2 групп II, III класс А, категория I, II ГОСТ 805-80;
- 2) Чугун литейный ЛР6, ЛР7 группа II, класс А, категория 1, 2 ГОСТ 4832-80;
- 3) Высечка стальная из углеродистых сталей 08, 10, 15, 20 любой степени раскисления, ГОСТ 1050-74, кузнечные отходы и обрезки проката из этих же марок стали;
- 4) Возврат литниковых систем и собственный брак из чугуна предыдущих плавов соответствующего состава;
- 5) Ферросилиций ФС 75Л ГОСТ 1415-78
- 6) Лигатура CeSi марок ФС 40Ц20, ФСЦ40Ц30 с содержанием Ce - 28...35%, Mg < 1,0% клас А. ТУ 14-141-100-90;



- 7) Ферромарганец ФМН75. ФМН70 ГОСТ 4755-80;
- 8) Бой электродный ЭТ-0 ГОСТ 4426-80 или графит в зернах ТУ0118-68.
- 9) Медь марки М4 ГОСТ 859-66.

### 3. Плавка и внутриформенное модифицирование чугуна CeSi лигатурой

3.1. Плавку чугуна производить в индукционных печах.

3.2. Взвешивание шихтовых материалов производить на весах с помощью кранового динамометра.

3.3. Загрузить в рабочее пространство печи мелкую часть шихты, затем уложить чушковый чугун, возврат, обрезь стали.

3.4. Включить печь. После расплавления и перегрева чугуна тщательно скачать шлак.

3.5. На зеркало печи ввести медь.

3.6. Взять пробу на химический и спектральный анализ, проверить жидкий металл на содержание углерода, кремния, марганца.

3.7. Первичное модифицирование ферросилицием марки ФС75.

Ферросилиций раздробить на куски размером не более 10-15 мм, количество вводимого ФС75 в зависимости от толщины сечения отливки и скорости охлаждения отливки. Перед вводом ферросилиция нагреть металл до  $t = 1500^{\circ}\text{C}$ . Ввод осуществлять в промежуточный ковш в струю металла. Выдержать металл в ковше до полного растворения - исчезновения блеска.

3.8. Вторичное модифицирование CeSi лигатурой. Лигатуру раздробить на куски размером не более 5 мм. Количество вводимой лигатуры от 0,01 до 0,05% в пересчете на Ce, в зависимости от толщины сечения отливки и скорости охлаждения. Ввод произвести непосредственно внутрь формы.

### 4. Химический состав чугуна. Структура и твердость.

4.1. Химический состав чугуна выдерживать по табл. .

Химический состав в %

Таблица 1

C	Si	Mn	Cu	Cr, Ni, V, P	S	Ввод по Ce
3.8-4.2	2.6-3,0	06-09	0,4	исходные чугуна	0,03	0.01

4.2. Твердость отливок 140-160 НВ

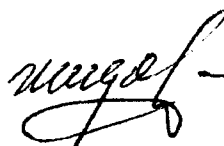
4.3. Микроструктура чугуна

Структура: графит гнездообразный ПГФ1, ПГФ2, ПГФУ, ПГД90 - ПГД350; ПГР1, Пгр5, ПГ10, ПП2.

Металлическая основа: перлит зернистый ПТ2, перлит пластинчатый ПТ1, дисперсность ПД0,3, ПД1.4.

5. Расчет шихты  
(см. табл. 2)

Д.т.н. профессор



Жидовцев Н.А.

К.т.н. с.н.с.



Орлов В. А.

Инженер

Замиховская Е. Л.

Таблица 2

№	Шихтовый материал	C		Si		Mn		Cu		Cr	Ni	V	Лигатура CeSr	%
		исх.	расч.	исх.	расч.	исх.	расч.	исх.	расч.	исх.	исх.	исх.	%	В шихте
1	Чугун ПЛ12	4,3	3,05	0,8	0,57	0,2	0,14	-	-	0,03	0,05	0,08	0,02	70,93
2	Сталь СТЗ	0,3	-	0,4	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	0,68
3	Остаток металла в	3,8	0,95	2,4	0,6	0,4	од	-	-	-	-	-	-	2,5
4	ФС75	-	-	75	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4
5	ФМ78	-	-	-	-	78	0,46	-	-	-	-	-	-	0,59
6	Медь М4	-	-	-	-	-	-	100	0,4	-	-	-	-	0,4
7	Хим. состав	-	3,8	-	2,7	-	0,6	-	0,4	-	-	-	-	-
8	Угар в %	5,0	0,2	10	0,27	20	0,12	-	-	-	-	-	-	-
9	В шихте	-	4,0	-	2,97	-	0,7	-	0,4	-	-	-	-	100

Примечание: Расход модификатора в зависимости от толщины отливки и скорости охлаждения равен 0,01-0,05 по Се.

## Додаток В2

**ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ**

(Тимчасова, для дослідно-промислового опробування)

**Термічна обробка робочих органів заглибного насоса****I. ЗАГАЛЬНЕ ПОЛОЖЕННЯ**

1.1. Ця інструкція призначена для термічної обробки деталей заглибного насоса (апарат направляючий, робоче колесо) в електропечах з пульсуючим подом і з захисною атмосферою СІЗА 6.40.1/3.

1.2. Деталі, які надходять на термообробку, повинні мати маршрутну або обмінну карту якості.

**II. ПІДГОТОВКА ОБЛАДНАННЯ**

2.1. Перед початком роботи майстер дільниці і пірометрост повинні перевірити працездатність устаткування, контрольовано-вимірювальних приладів і термопар.

2.2. Прилади теплового контролю повинні мати клас точності показів –0,5.

2.3. Термічна обробка деталей проводиться під наглядом майстра або технолога цеху і контролера ВТК.

2.4. При роботі на агрегатах з захисною атмосферою не частіше одного разу на добу відбирати одну пробу із кожної печі і визначати вміст  $\text{CO}_2$ , а із кожного генератора одну пробу на вміст  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ . Склад захисної атмосфери, яка надходить із генератора в піч: 16-20 %  $\text{CO}$ ; 36-40 %  $\text{H}_2$ ; до 1,5%  $\text{CH}_4$ , 38-48 %  $\text{N}_2$ ; 1 %  $\text{CO}_2$  визначається один раз на тиждень.

**III. НАГРІВ ПІД ЗАГАРТУВАННЯ**

3.1. Загартування промислової партії деталей заглибних насосів виконувати тільки після налашки режимів, шляхом пробного загартування деталей (не менше 10 штук) з баластом і з відміткою в журналі експрес-лабораторії.

3.2. Температура нагріву, завантаження, час нагріву, спосіб загартування повинні відповідати картам типових технологічних процесів термічної обробки.

3.3 Діаграма нагріву під загартування деталей з вказівкою типу деталі, дати, номери плавки зберігати протягом 2-х років в БТК цеху.

3.4. Нагрів поетапно з витримкою в трьох зонах: 1-а  $840^\circ \text{C}$ ; 2-а  $850^\circ \text{C}$ ; 3-я  $860^\circ \text{C}$ . Загальна витримка в печі 40 хвилин.

**IV. ОХОЛОДЖЕННЯ**

4.1. Охолодження деталі здійснюється в індустриальному маслі 11-12 А і 11-20 А по ГОСТ20799-75.

4.2. Температура загартованого масла повинна бути в межах  $30-60^\circ \text{C}$ .

4.3. Контроль масла на вміст кубового залишку виконувати не частіше 1 разу в тиждень.

4.4. Вода в загартованому маслі не допускається.

4.5. Терміст протягом зміни зубов'язаний слідкувати за показами термометра, який показує температуру масла.

4.6. Охолодження деталей заглибного насоса виконується вільним падінням через жолоб печі.

4.7. Деталь після виходу із загартованого масла охолоджується на конвеєрі баку для загартування, а потім в миючих машинах.

4.8. Температура деталей перед відпуском повинна бути не вищою 25° С.

## V. ВІДПУСК

5.1. Відпуск деталей заглибних насосів виконується не пізніше 2-х годин після загартування.

5.2. Відпуск провадиться при температурі  $150 \pm 10^\circ\text{C}$  в електропечах з примусовою циркуляцією повітря. Тривалість відпуску 3 години.

5.3. Допустимі коливання температури в повітряно-відпускних печах  $\pm 10^\circ\text{C}$ . Контроль температури виконується електричними потенціометрами з записом на дискову діаграму.

5.4. Завантаження деталей в повітряно-відпускні електропечі виконується шаром не більше 200мм.

## VI. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ І КОНТРОЛЬ

6.1. Початкова структура деталей заглибного насоса перед загартуванням повинна відповідати: графіт гніздоподібний ПГФ1, ПГФ2, пластинчатий графіт ПГФ4, ПГД-90-ПГД350; ПГр1, ПГр5, ПГ10, ПП2.

Металева основа: перліт зернистий ПТ2, перліт пластинчатий ПТ1 – дисперсність ПДО, 3, ПДО, 4.

6.2. Деталі перед загартуванням повинні бути сухими і чистими без бруду, оливи, прилиплої стружки. На поверхні не повинно бути волосин, глибоких рисок, забиття, ум'ятин, іржі.

6.3. Перед термообробкою проводити контроль деталей за розмірам в кількості 3 % -5 % від партії з відміткою в журналі вхідного контролю.

6.4. Твердість деталей після загартування і відпуску перевіряється на приладі Роквелла. Твердість повинна відповідати 45-48 HRC.

6.5. Деталі після відпуску підлягають контролю на тріщини магнітно-люмінісцентним методом.

6.6. Структура металевої основи після загартування: мілкоголковий і голковий мартенсит, який переходить в тростосорбітну структуру навколо графіту плюс ліквати.

Д.т.н. професор  
К.т.н. с.н.с.  
Інженер

Жидовцев Н.А.  
Орлов В.А.  
Заміховська О.Л.

## Додаток ВЗ

**Розрахунок шихти для дослідної відливки 2000 комплектів робочих органів  
(направляючий апарат+ робоче колесо )**

Згідно креслення вага робочого колеса ЕВН5-80 складає 1,23 Н, а направляючого апарата – 2,8 Н, тобто комплект важить 3,97 Н. Враховуючи ливарний коефіцієнт 2, необхідна кількість чавуну для відливки 2000 комплектів складе:  $(3,97 \times 2000) \times 2 = 15,9$  кН. Приймаємо, з врахуванням витрат 16,17 кН. Тоді в шихті потрібен буде:

1. Чавун ливарний або переробний  $70,73\% \times 16,17 = 1,144$  кН.
2. Сталева висічка  $0,68\% \times 16,17 = 11,0$  кН.
3. Залишки металу в печі  $25\% \times 16,17 = 404,25$  кН.
4. Феросіцілій  $2,4\% \times 16,17 = 38,8$  кН.
5. Феромарганець  $0,59\% \times 16,17 = 9,54$  кН.
6. Мідь МЧ  $0,4\% \times 16,17 = 6,47$  кН.
7. СеFe  $0,02\% \times 16,17 = 0,32$  кН,  
або лігатура ФС 40Ц20, ФС 40Ц30 з вмістом Се28-35% ( $30\% = 10,8$ кН).

## Додаток В4

**Конструкція і принцип роботи установки для подачі модифікатора в розплав**

Конструкція установки для подачі модифікатора наведена на рис.В4.1. Вона складається із дроту з модифікатором – 1, касети – 2, гнучкої напрямної – 3, затискачів – 4,7,14, напрямних цанг – 5 і 6, притисних роликів – 8, подаючих роликів – 9, гайки – 10 для регулювання притиску, важеля – 11, напрямної – 12, телескопічного роз'єму – 13, підвіски до юнкеру – 15, передньої напрямної – 16 та пульта управління – 17.

Принцип роботи установки.

Заправляють дріт 1 у подаючий механізм, для чого змотують з касети 2 50-60см дроту і, уникаючи різних перегинів, охайно його розпрямляють. Потім звільняють затискач 4 і виймають гнучку напрямну 3 із затискача та заправляють дріт в 3 так, щоб його кінець виходив із напрямної цанги 5 на 20-25см., після чого кінець дроту разом з гнучкою напрямною 3 пропускають через затискач 4 між притиском 8 і подаючими роликами 9, заправляють його в напрямну цангу 6 (важіль 11 при цьому знаходиться у вертикальному положенні) і закріплюють цанги 5 і 6 в затискачах 4 і 7.

Вмикають механізм подачі і важелем 11 опускають притисні ролики. Якщо дріт проковзує в роликах, піднімають важіль 11 і гайкою 10 збільшують зусилля притиску. Потім опускають важіль і прикручують ролики до виходу дроту з передньої напрямної 16. Висуваючи передню напрямну 16 з телескопічного роз'єму 13 і центр струменя при розливі металу.

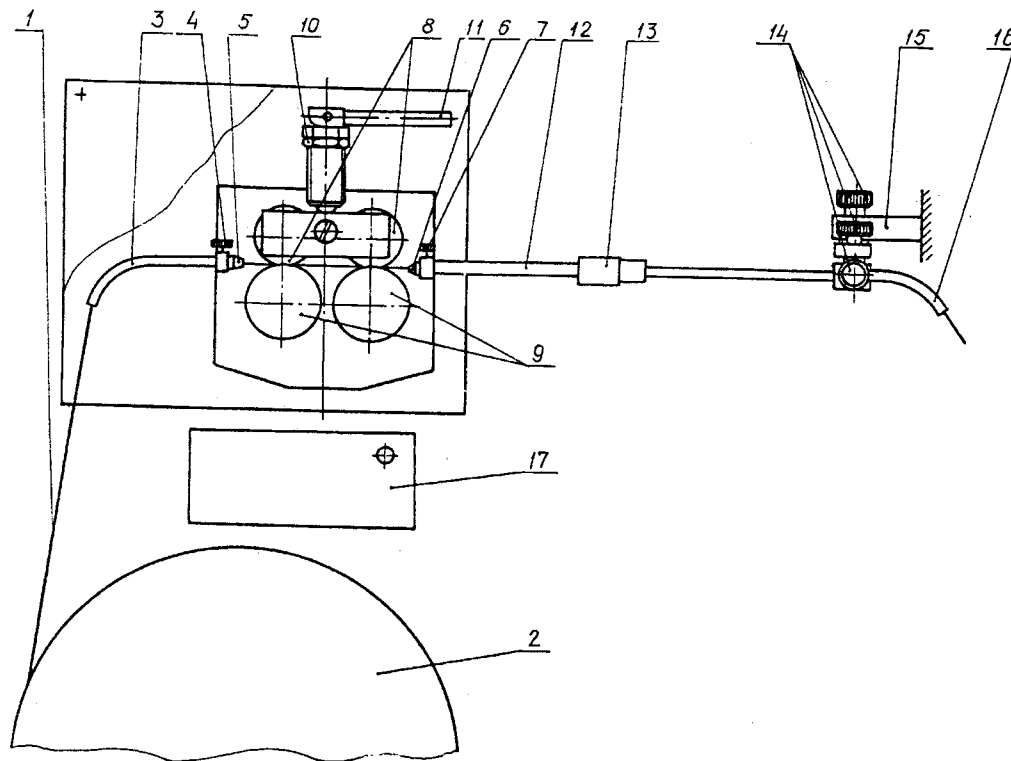


Рис. В4.1. Структурна схема установки для подачі модифікатора в розплав

Швидкість подачі дроту в струмінь металу змінюється в межах від 0 до 0,04 м/с. Регулювання швидкості подачі проводять у наступній послідовності:

- відмічають крейдою відстань 0,1 м на дроті 1 при вході в гнучку напрямну 3;
- секундоміром відмічають час, за який ділянка дроту ввійде в напрямну;
- повторюючи вказану операцію і змінюючи швидкість обертання роликів ручкою на пульті управління 17, встановлюють необхідну швидкість подачі дроту.

Відмітимо, що масова витрата модифікатора, який поступає в розплав, залежить від діаметра і коефіцієнта заповнення дроту (ці дані вказують у специфікації на дріт).

Наприклад: маємо дріт з масовим вмістом модифікатора, рівним  $4,9 \cdot 10^{-3}$  Н, тобто в кожному метрі дроту міститься 0,49 Н модифікатора. За технологією литва витрата модифікатора на одну форму складає 0,06Н. Час заливки форми – 8 с, тоді довжина дроту, який вводиться



$$l = \frac{P}{m}, \text{ м.}$$

Швидкість подачі дроту рівна

$$V = \frac{l}{t}, \text{ м/с,}$$

де  $P$  – загальна вага модифікатора, що вводиться в форму, Н;  $m$  – маса модифікатора в 1м дроту, Н/м;  $t$  – час заливки форми, с.

Для розглянутого випадку

$$l = 0,06 : 0,49 = 0,122 \text{ м;}$$

$$V = 0,122 : 8 = 0,015 \text{ м/с.}$$

З використанням внутріформового модифікування на автоматичній лінії «Дізаматі» була відлита дослідна партія робочих органів ЕВН в кількості 3000 пар.

Важливою відмінною властивістю нової технології є також те, що з метою виключення механічної обробки загартованих при термообробці деталей, ця операція вимкнена і замінена кінцевою механічною обробкою деталі із сірого чавуну до її термообробки. При цьому мехобробка проводиться з мінусовими допусками, які компенсують зміни розмірів при термічній обробці. Останні визначаються експериментальним шляхом або за допомогою запропонованого в розділі 3.7 аналітичного методу.

## Додаток В5

**Розрахунок річної потреби в захисних втулках вала по ВАТ «Альметьєвський завод електровідцентрових насосів – «АЛНАС»»**

При розрахунку необхідної кількості ліній плазмового напилення виходили з того, що максимальний вертикальний хід (робочий) плазмотрона складає 0,60м. Враховуючи висоту оправки на позиції напилення, відстань для виходу плазмотрона на режим, робочий хід плазмотрона становить 0,525 м.

При висоті втулки 0,0135м і товщині міжвтулочної шайби  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м отримаємо:  $525/(13.5+1.5)=35$  шт, тобто 35 втулок на одній оправі. Час напилення одної оправки складає 540 с, а 6-ти оправок (автоматизований комплекс має 6 позицій) відповідно  $3,2 \cdot 10^3$  с, тобто за 1 годину роботи можна напилити 233 втулки.

При 8-ми годинному робочому дні і двозмінній роботі кількість напилених втулок складає  $233 \cdot 8 \cdot 2=3728$  шт. за добу чи при 22 робочих днях – 82016 шт. в місяць, або 984192 шт в рік. Виходячи з того, що АТ АЗЗЕН “АЛНАС” кожен рік виготовляє приблизно 6000 ЕВН, а середнє число ступенів в насосі 350, потрібна кількість захисних втулок вала складатиме  $350 \cdot 6000=2.100.000$  шт., тобто 3 комплекси повністю забезпечать річну потребу у втулках.

Перелік обладнання для ділянки плазмового напилення з трьох автоматизованих комплексів, розміщених на площі  $100\text{м}^2$ , наведений нижче:

Комплекс плазмового опилення – 3 шт,

в тому числі:

- Автомати напилювальні – 3 шт.
- Джерело живлення – 3 шт.
- Пристрій запалювання дуги – 3 шт.
- Пристрій іраційний – 3 шт.
- Установка охолоджувальна – 3 шт.

- Блок живлення

в тому числі:

- змішувач газів – 1 шт;

- живлювачі порошкові – 2 шт;
- плазмотрон – 1 шт;
- установка миюча – 1 шт;
- установка піскоструменева (з пультом управління і блоком рукавних фільтрів) – 1 шт.

## Додаток В6

**Технологічна схема напилення захисної втулки  
композитом ПН55Т45**

Технологічна схема процесу одержання плазмового покриття залежить від конкретних умов, конструктивних особливостей виробів, виду покриття. Типова технологічна схема одержання плазмового покриття порівняно проста та представлена на рис.В6.1. В конкретних умовах можливе суміщення окремих прийомів та операцій.

При підготовці поверхні для нанесення будь-якого покриття деталі підлягають очистці, обезжиренню органічними розчинниками (бензин, уайт-спирт, ацетон, тетрахлор, етилен та ін.), миючими засобами, різними емульсіями. Слід мати на увазі, що від чистоти поверхні деталі в значній мірі залежить якість покриття. Наявність окисних плівок, бруду, плівок масла зменшує міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі.

Для активації та надання потрібної шорсткості поверхні, що напилюється, піддають струмино-абразивній обробці (абразивно-пневматичний, абразивно-відцентровий, абразивно-гравітаційний способи очищення поверхні). З цією метою нами був використаний абразивно-пневматичний спосіб, який є найбільш продуктивним і економічним та знайшов широке застосування в нафтовидобувній промисловості. Як зразок прийнято шліфований електрокорунд нормального ряду марки 14А із зернистістю 80Н (ОСТ 2МТ7-5-84).

У результаті взаємодії частинок електрокорунда з поверхнею втулки на ній утворюється новий мікрорельєф із пластичнодеформованим шаром.

Встановлено, що оптимальна відстань від сопла до поверхні втулки, яка обробляється, складає 0,10 – 0,15м. Тиск повітря в системі 0.25 – 0.35 МПа.

Попередньо проведені випробування (зносіві) показали, що найбільш зношувальними (із досліджених) якість володіють покриття із порошку марки ПН55Т45 (ТУ 14-1-3282-81) – титаново-нікелеві [72].

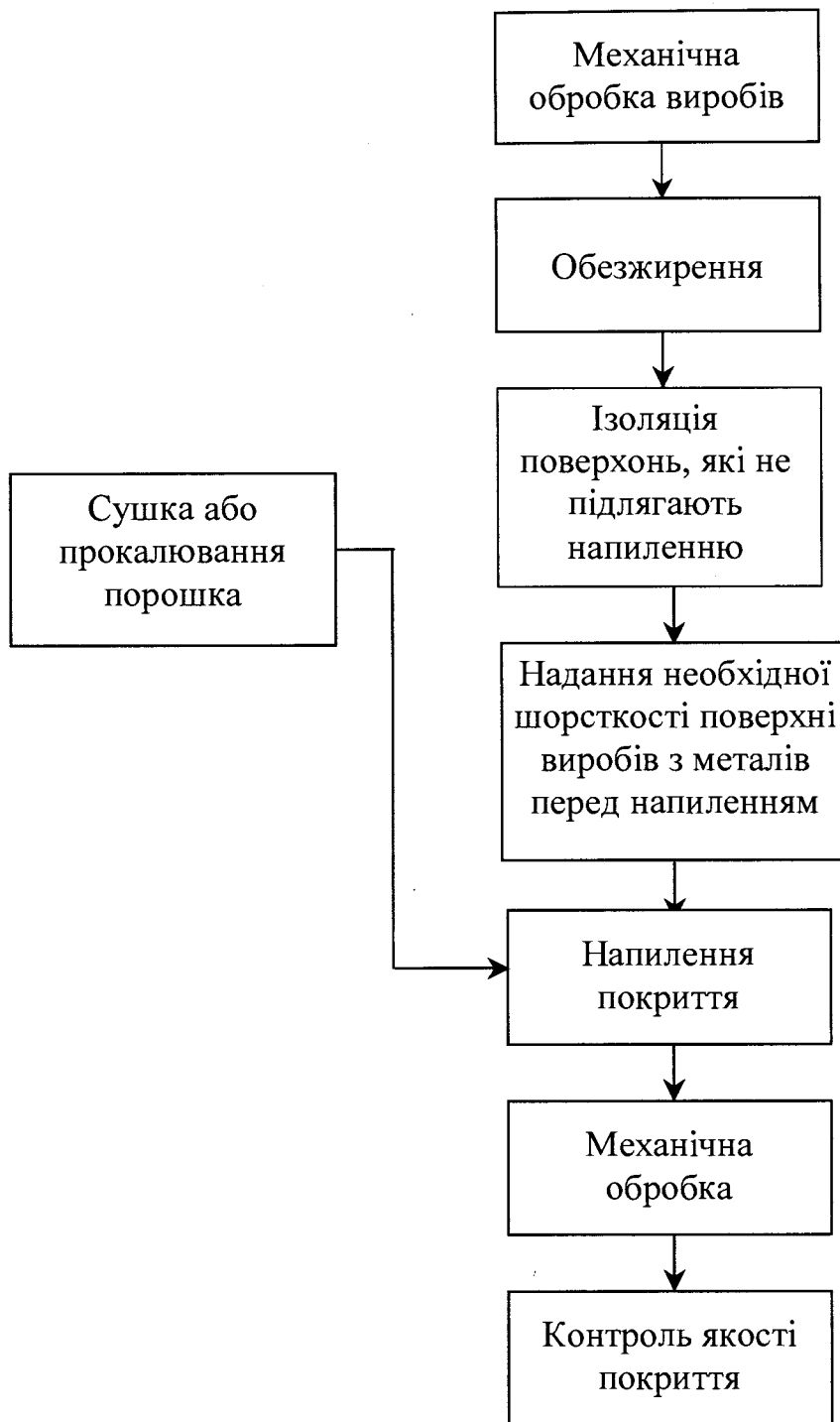


Рис.В6.1. Технологічна схема отримання плазмових покриттів

Цей порошок є інтерметалічною сполукою, що володіє рядом цінних переваг (висока зносостійкість, стійкість проти корозії, стійкість проти кавітації), що і дає можливість використовувати його для покриття робочої поверхні захисних втулок вала ЕВН. Останнє також підтверджено трирічною практикою експлуатації експериментальних насосів в НГВУ “Альметьєвськнафтогаз” [17].

Для підвищення текучості порошку перед напиленням порошок сушать у сушильній шафі при температурі 130 – 150°C протягом 1–2 годин, періодично перемішуючи в сталевих противнях. Ширина засипки не більше 0,02м.

При напиленні покриття можливі дефекти : відшарування напиленого шару, що свідчить про неправильну підготовку поверхності до напилення (мала шорсткість, жируватість) і її конфігурації (гострі кути, малі радіуси заокруглень). Усунення цих дефектів проводиться шляхом покращання підготовки поверхні до опилення, підвищенням тиску стиснутого повітря при струменевій обробці.

Поява на поверхні покриття великих крапель матеріалу покриття свідчить про утворення настилу матеріалу покриття на внутрішній стінці анода. Усувається такий брак шляхом регулювання витрат транспортуючого газу і порошка. Поява крапель міді на покритті свідчить про підвищену ерозію сопла-анода в результаті зносу сопла і погіршення водяного охолодження. Необхідно замінити соплоанод на нове, перевірити центровку електрода, перевірити витрату охолоджувальної рідини і, при необхідності, усунути причину.

## Додаток В7

**Розрахунок необхідної кількості порошку та оснастка для напилення втулки  
вала композитом ПН55Т45**

Враховуючи високу зносостійкість втулок з плазмовим напиленням (за результатами лабораторних досліджень [72] приблизно в 10 – 12 разів вищу ніж серійна пара “сірий чавун-латунь Л63” і результати промислових випробувань протягом 3 років [17], вважали за недоцільне робити товщину покриття 0.7 мм, як це було в експериментальній партії, а зменшити її до  $0,4 - 0,5 \cdot 10^{-3}$  м. В кінцевому варіанті товщину покриття прийняли рівну  $0,45 \cdot 10^{-3}$  м.

Для технологічного процесу був проведений орієнтовний розрахунок потреби порошку на одну втулку ЕВН 5–50, 80 ,125.

Розрахунок виконаємо, виходячи з різниці об’ємів напиленої втулки ( $S_H = 10,45 \cdot 10^{-3}$  м) і ненапиленої  $S = 0,01$  м, висота втулки  $H = 0,013$  м.

$$V_{\text{нап}} = 3.14 \times 10.45^2 \times 13.5 = 4629 \text{ мм}^3 = 4.69 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{ненап}} = 3.14 \times 10^2 \times 13.5 = 4239 \text{ мм}^3 = 4.24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{покр}} = 4.64 - 4.24 = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Щільність покриття з порошку ПН55Т45 рівна  $0,095 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^3$ . Вага покриття на одній втулці склала

$$P = 0.4 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \times 0.095 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^3 = 0.039 \text{ Н}.$$

При коефіцієнті використання порошку КВП = 0.6 (дані інструкції до плазмотрона ) потреба в порошку складатиме:

$$P = (0,039 \times 0,6) + 0,039 = 0,062 \text{ Н},$$

або на 1000 втулок 60,76Н.

Зазначимо, що КВП може бути значно збільшений за рахунок утилізації ненапиленого порошку. За металеву основу втулки в експериментальній партії

використовувалась газова цільнотягнута труба зовнішнім діаметром  $d_3=0,02\text{м}$  і внутрішнім діаметром  $d_в=0,017\text{м}$ , з якої нарізались втулки висотою  $0,0135\text{м}$ . На внутрішній поверхні втулки нарізався паз під шпонку глибиною  $0,8 \cdot 10^{-3}\text{м}$ , шириною  $1,6 \cdot 10^{-3}\text{м}$ . Однак, враховуючи дефіцит газової труби цього розміру, нами було прийнято рішення для серійного виробництва виготовляти металевий остов втулки методом порошкової металургії з порошку ПН70Н2Д2, з якого виготовлялись нижні опорні шайби для експериментальних ЕВН5-80 і які позитивно себе зарекомендували як при лабораторних дослідках [21], де вони в 1.63 рази виявились більш зносостійкими в порівнянні з серійною парою тертя “сірий чавун – текстоліт”. Необхідно відмітити, що цей металевий порошок не є дефіцитним та порівняно недорогий, що і стало основою для прийняття нами рішення про виготовлення при серійному виробництві втулок з плазмовим напиленням металевого остова необхідних розмірів ( $d_н=0,0195\text{м}$ ,  $d_в=0,017\text{м}$ , висотою  $0,0135\text{м}$ ) методом порошкової металургії з формуванням пазу під шпонку (шириною  $1,6 \cdot 10^{-3}\text{м}$ , глибиною  $0,8 \cdot 10^{-3}\text{м}$ ) в процесі пресування і спікання. Потім на зовнішню поверхню такої втулки здійснюється плазмове напилення товщиною  $0,45 \cdot 10^{-3}\text{м}$  із ПН55Т45.

Відмітим, що виробництво і поставку порошку ПН55Т45 проводить підприємство “Легированные порошки и сплавы” НВО “Тулачермет”.

Для підвищення продуктивності процесу напилення було виготовлено устаткування (рис.В7.1) у вигляді штоків (рис.В7.1 а).



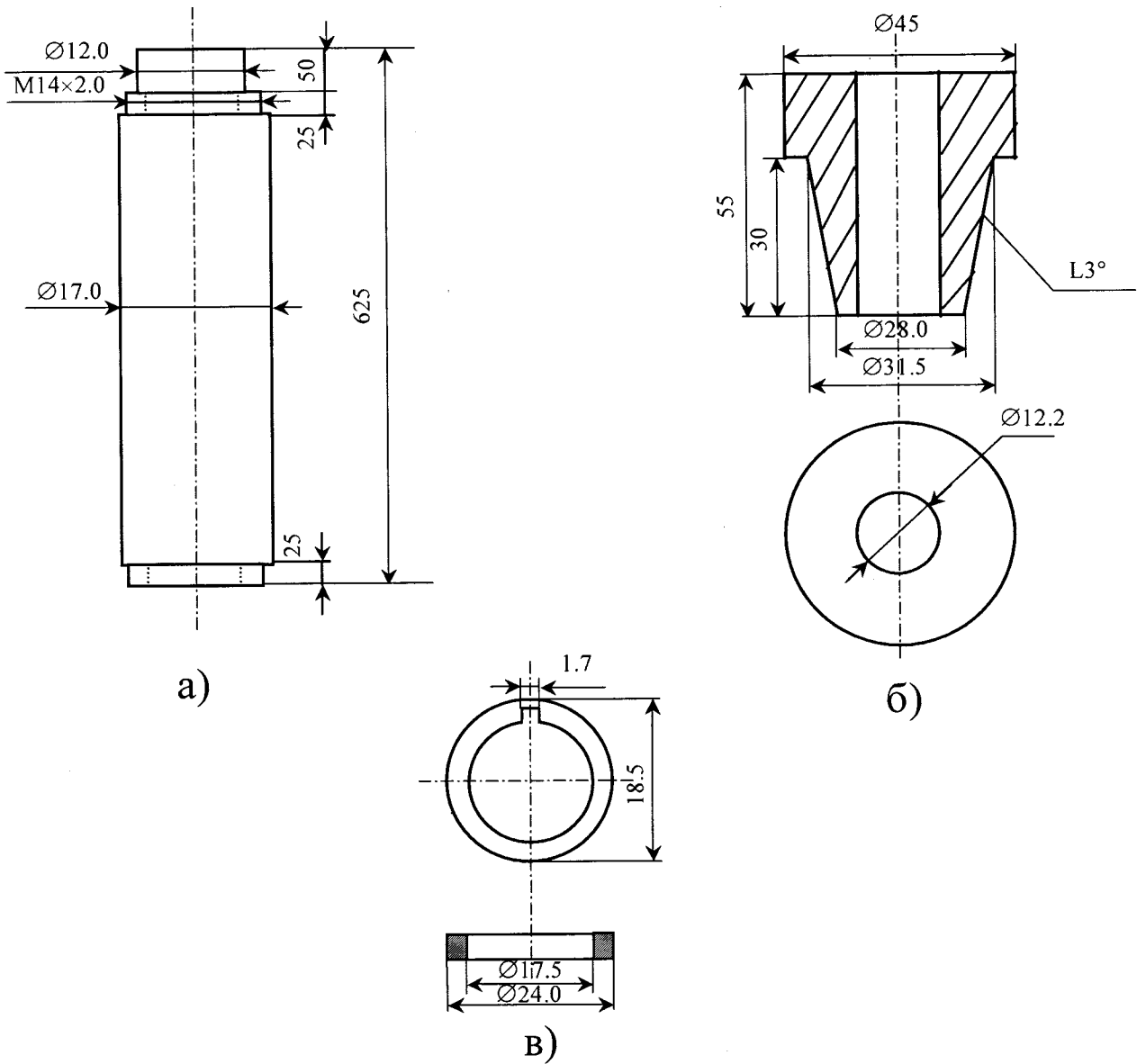


Рис.

В7.1 Оснастка для виготовлення захисних втулок  
а – шток, б – вставка, в – міжвтулкова прокладка

Для встановлення штоків на позицію наплення були виготовлені вставки (рис.В7.1 б). Для усунення злипання втулок у процесі наплення між ними ставлять міжвтулкові прокладки (рис.В7.1 в).

## Додаток В8

**Технологічна схема виготовлення захисних втулок вала ЕВН з композиту ЛО-90-1**

Композиційний антифрикційний матеріал ЛО 90-1 можна виготовляти за різними технологічними схемами. При виборі оптимальної технології керуються необхідними властивостями і економічністю. В нашому випадку відпрацьований технологічний процес показаний на рис.В8.1.

Розглянемо кожний з етапів технологічної схеми виготовлення захисних втулок.

*Підготовка порошкових матеріалів.* Порошок міді і латуні використовують в стані поставки.

Порошок олова перед змішуванням просушують при температурі  $110 \pm 10^\circ$  в сушильній шафі, грудки олова розтирають.

Порошок графіту для видалення вологи і летючих загартовують при температурі  $500-600^\circ$  протягом однієї години.

*Підготовка до змішування і змішування.* Суміш готують змішуванням компонентів у барабанних або шнекових змішувачах. Для кращого змішування в барабани завантажують сталеві ерші. Об'єм ершів рівний половині об'єму матеріалу, завантаженого в барабани. Барабан завантажують сумішею на  $2/3$  його об'єму.

При підготовці суміші компоненти зважують з точністю:

- порошок латуні і міді – 0,98Нг;
- олова, графіту, стеарату – 0,098Н;

Змішування проводять протягом однієї години.

Готову шихту зберігають в щільно закритих банках в сухому приміщенні, що провітрюється. Зберігання шихти більше 7 діб не допускається.

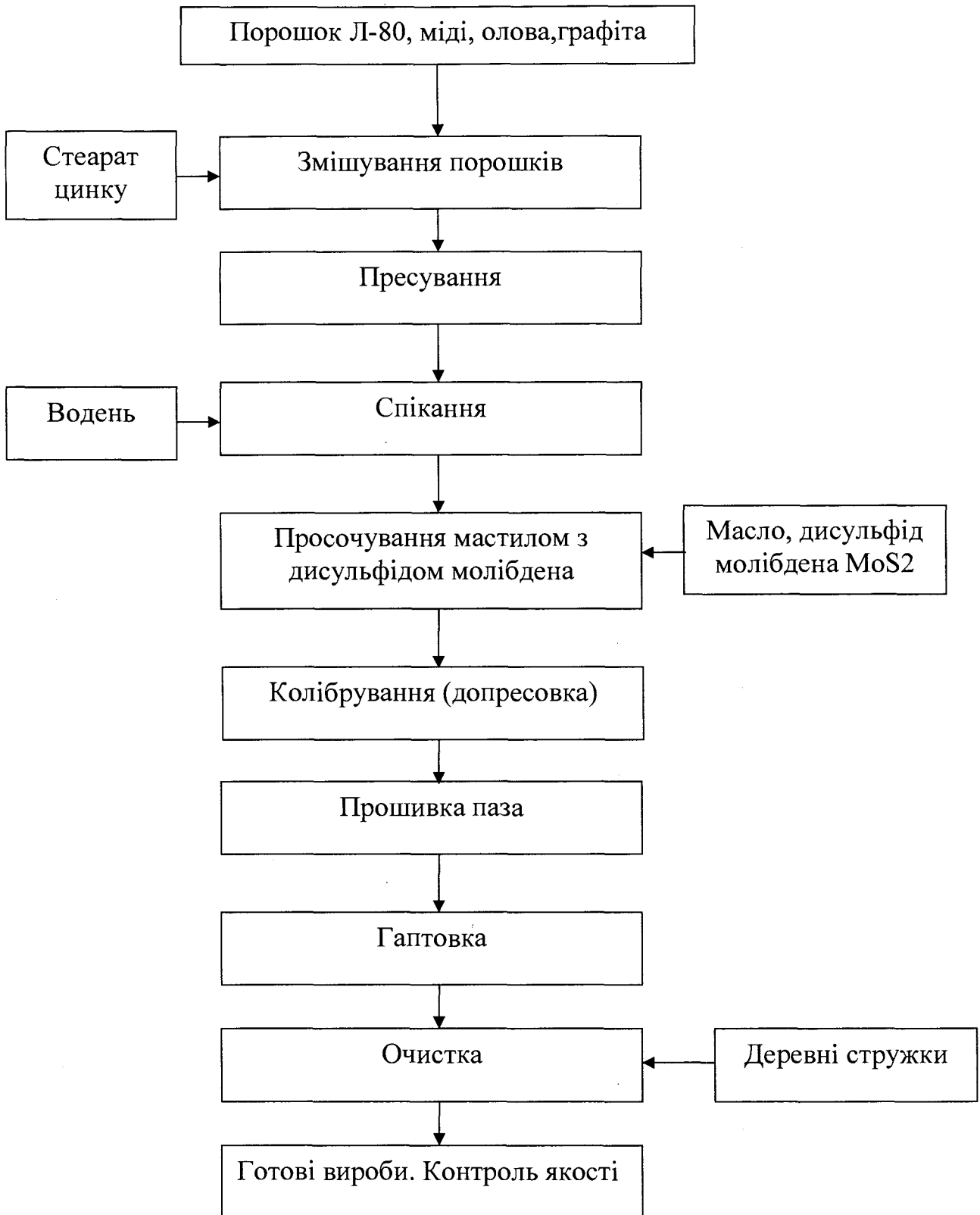


Рис.В8.1 Технологічна схема виготовлення втулок захисного вала із антифрикційного матеріалу ЛО-90-1

*Пресування.* Втулки захисні вала пресують на автоматичних пресах зусиллям  $156\text{кН/м}^2$  в сталевих загартованих прес-формах. Пресують втулки з пористістю 17-20% з припуском на калібрування по висоті  $+0,3\%$ .

Швидкість пресування 0,17-0,2 ходів за секунду. Пресування одностороннє.

Питомий тиск пресування  $14700\text{кН/м}^2$ . Дозування шихти об'ємне. Висота засипки шихти в порожнину матриці повинна бути приблизно в два рази більше висоти пресування підшипника.

*Розрахунок довіска.* Розрахункова вага підшипника  $Q$  в Н'ютонах визначається за формулою:

$$Q = V \cdot d_k \left( 1 - \frac{P}{100} \right),$$

де:  $V$  – об'єм пресування,  $\text{м}^3$ ;  $d_k$  – щільність теоретичного компактного матеріалу заданого складу,  $\text{Н/м}^3$ , рівна 86,24;  $P$  – пористість пресування у відсотках.

Пористість визначають за ГОСТ 18898-73.

При пресуванні контролюють висоту пресовки і її вагу. Зважування проводять з точністю до 0.01 %.

Пресування ведуть на двох типах пресів – одноходових КБ 0622 з зусиллями 16 тс і роторному ПРМ 160.

*Спінання.* Спінання ведуть в прохідній печі VSP 8000 в середовищі водню.

Температура спінання –  $840 \pm 10^\circ\text{C}$ .

Період штовхання – 420 с.

Упаковка пресовок підшипників для спінання полягає в наступному: в човник (графітовий) на дно кладуть лист тонкого асбеста, а на нього сталеву обпайку. На асбест вкладають пресовки на торець рядами з невеликими зазорами від краю до краю обпайки. Так закладають усю лодочку. Коли закладено перший шар, на нього укладають другий, на другий третій. Більше трьох шарів укладати небажано, створюється тиск верхніх деталей і два нижніх шари можуть припікатися і деформуватися. Після укладки деталі знову покривають листом асбесту. Човник готовий до проштовхування.

Після виходу із печі деталі висипають в контейнери і передають на віброгаптовку, де розбиваються деталі, що запеклися, і обкатуються та обтираються зовнішні поверхні.

*Просочування мастилом.* Просочування здійснюється в спеціальній підігрівальній ванні. Мастило для просочування турбінне ТП-22. Температура мастила – 90° С - 110° С. В мастило добавляють дисульфід молібдена. Якщо у ванні немає інтенсивного переміщування мастила, то дисульфідом молібдена обсипають деталі після занурення, добре перемішуючи їх в контейнері, поки вони не вистили.

*Калібрування або друга допресовка.* Вважаючи на те, що після запікання деталі мають поводки, деформації, необхідно їх правити, калібрувати.

Калібрування здійснюється на пресах моделей КБО – 034 в прес-формах.

Калібрування ведеться за трьома розмірами – зовнішньому і внутрішньому діаметрах та висоті.

Продуктивність калібрування – 25-30 тис. деталей за зміну.

*Прошивка паза.* Для прошивки паза виготовлені спеціальні прошивки.

Прошивка ведеться на спеціальному 5-ти тонному пресі вручну, по три деталі за один прохід.

Продуктивність прошивки 2 – 2,5 тис. деталей за зміну.

*Гаптовка.* Після калібрування і гаптовки на деталях залишаються заусини, гострі кромки. Для їх усунення деталі піддають другій гаптовці. Гаптовку ведуть у віброгаптовочних апаратах або гаптовочних барабанах. Час гаптовки – 600 – 900 с.

*Очистка.* Очистка проводиться з метою надання деталям товарного вигляду і очистки від металеві стружки, яка залишається на деталях після прошивки.

Очистку від стружки можна провести стиснутим повітрям, тоді деталі будуть в дисульфіді (чорні), який, як згадувалось вище, надає позитивний вплив на процес припрацювання спряження.

Для повної очистки використовують дерев'яну тирсу різної величини (тирсу зі стружкою від фуговки). В пластиковий барабан об'ємом 40 – 50 л закладають 196,0-245,0Н деталей і два таких об'єми стружки, але з умовою, що барабан

заповнений на  $\frac{2}{3}$  або  $\frac{3}{4}$  об'єма. В іншому випадку не відбувається перекачування і процес буде йти дуже довго.

Барабан кладуть на ролики і катають 900-1500с.

Перевіривши якість очистки, деталі відділяють від стружки на великих ситах, обдувають повітрям і висипають у транспортну тару.

## Додаток В9

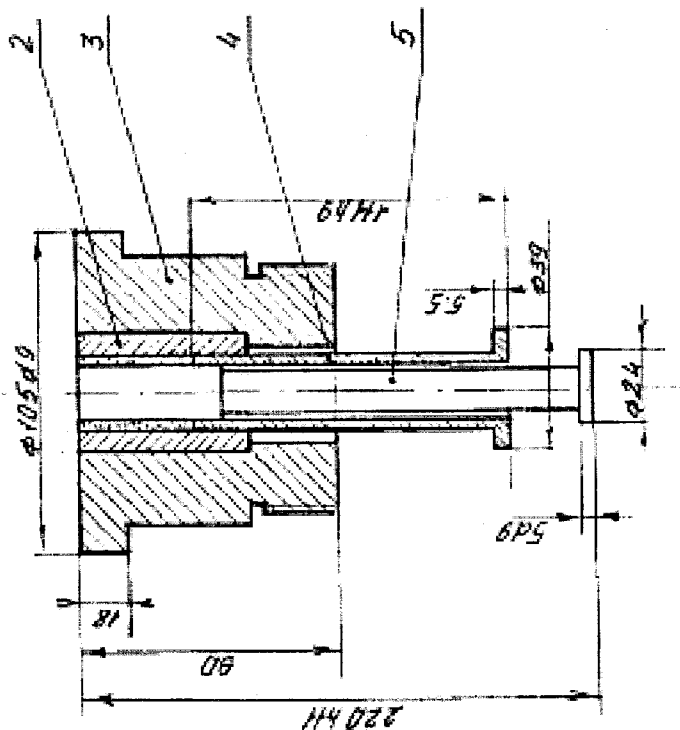
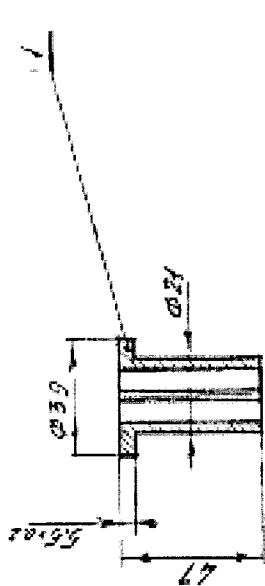
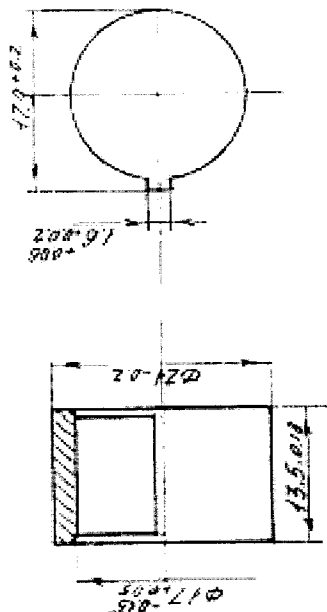
**Обладнання для виготовлення втулок вала ЕВН  
з композиту ЛО 90-1**

В розд. 4.5 було відмічено, що захисні втулки пресують на автоматичних пресах у сталевих загартованих прес-формах.

Виходячи з цього, для пресу типу КБ 0622 було виготовлено комплект автоматичної прес-форми згідно креслення ПФ 3931.00.000.36 (рис.В9.1), а для пресу типу ПРМ160 – комплекту автоматичних прес-форм згідно креслення ПФР 3831.00.000.36 (рис.В9.2). У комплект входить шість прес-форм, так як процес шестигніздний. Швидкість пресування 10-12 ходів за секунду на одне гніздо. Операція колібрування проводиться на пресах моделі КБО – 034 з використанням розроблених прес-форм згідно креслення ПФ 3989.00.000.36 (рис.В9.3). Прес-форма зроблена з точністю, що забезпечує допуск на радіальне биття в межах 0.06.







Матеріал: ПК 70 Н2Д2 ГОСТ 28378-89

Прес-форма встановлюється на роторній автоматичній лінії зус. 16тс моделі ПРМ-160

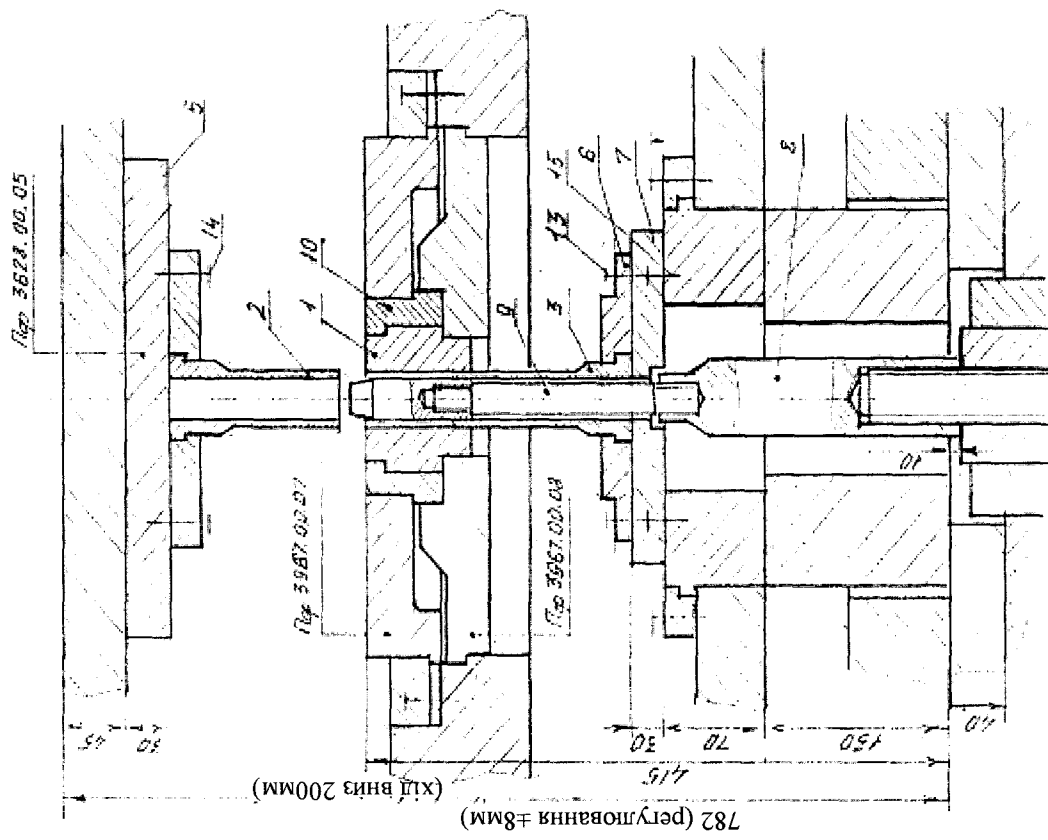
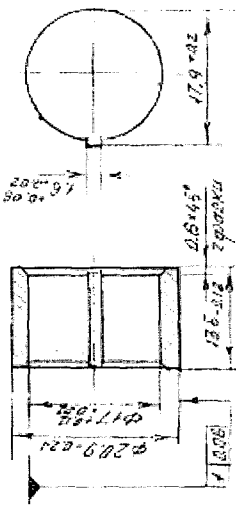
Формат	Зона	Поз	Позначення	Найменування	К-сть	Прим
11		1	Пф3831.00.001	Пуансон верхній	1	
11		2	Пф3831.00.002	Матриця	1	
11		3	Пф3831.00.003	Обойма	1	
11		4	Пф3831.00.004	Пуансон нижній	1	
11		5	Пф3831.00.005	Стержень	1	

Пф 3831.00.00036

Зм	Арк	№докум	Підп.	Дата	Прес-форма	Ліг	Маса	Масшт
Розроб.					Збірне креслення			1:2
Перев.								
Т.контр						Лист	Листів	
Н.контр								
Затв.								

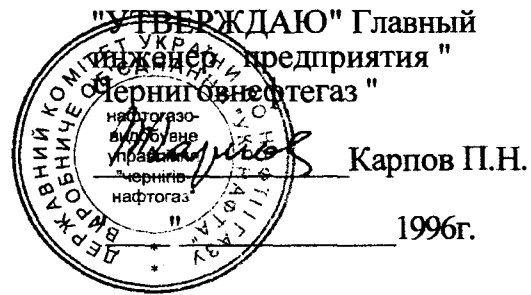
Рис.В9.2

Ескіз деталі "Втулка захисна валу"



Формат	Зона	Поз	Позначення	Найменування	К-сть	Прим
A4		1	Пф 3989.00.01	Матриця	1	
A4		2	Пф 3989.00.02	Пуансон верхній	1	
A4		3	Пф 3989.00.03	Пуансон нижній	1	
A4		4	Пф 3989.00.04	Стержень	1	
A4		5	Пф 3989.00.05	Фланець	1	
A4		6	Пф 3989.00.06	Фланець	1	
A4		7	Пф 3989.00.07	Прокладка	1	
A4		8	Пф 3989.00.08	Перехідник	1	
A4		9	Пф 3989.00.09	Перехідник	1	
A4		10	Пф 3989.00.10	Перехідник	1	
				Стандартні вироби		
		13	Болт М12×30.53 ГОСТ 7798-70		4	
		14	Болт М12×40.58 ГОСТ 7798-70		4	
		15	Винт М12-69×35 ГОСТ 11738-83		4	
Пф 39-89.00.0036						
Зм	Арк	Медокум	Підп	Дата	Літ	Маса
Розроб.						Масшт
Перев.						1:2
Т. контр					Лист	Листів
Н. контр						
Затв.						
				Прес-форма для калібрування деталей		
				Збірне креслення Прес КБО-034		
<b>Рис. В9.3</b>						

## Додаток Г1

**АКТ**

**обследования износа деталей ЭЦН5-80-1800  
с экспериментальными и серийными защитными втулками вала  
и опорными нижними шайбами.**

Комиссия в составе :

Председателя - начальника производственного отдела  
предприятия "Черниговнефтегаз" - Гаркот В.С.

и членов комиссии:

- начальника цеха ЭПУ	- Покормяк П.А.
- зам. начальника цеха ЭПУ	- Петренко Н.А.
- представителей "Галс-К Лтд"	- Жидовцев Н.А.
	- Рудминский С.Л.
	Замиховская Е.Л.

произвела обследование износа деталей насосов ЭЦН5 - 80 - 1800, отработанных на скважинах № 78 и № 25 Скороходы и поднятых из скважины по причине падения давления на приеме. Отработка насосов велась в скважинах, продукция которых содержит 0.8-1.5% мехпримесей.

### 1. ПРЕДМЕТ И ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

Испытанию на износ подвергались детали ЭЦН5- 80 -1800 (опорные нижние шайбы, изготовленные из композиционного материала ПК70Н2Д2 и защитные втулки вала, изготовленные из композиционного материала ЛО-90-1 (морская латунь), предложенных Украинской инженерной комиссией и ТОО "Галс-К -Лтд") в сопоставлении с серийными шайбами и втулками , изготовленными соответственно из текстолита и латуни Л63. Кроме того, в качестве серийных использовались защитные втулки из бронзы собственного изготовления ЭПУ, ремонтного размера  $d_n=21.6$  мм.

С целью получения более объективной оценки износостойкости насосы были собраны из двух серийных секций и одной (нижней) экспериментальной секции, что позволило исключить фактор условий работы. С этой же целью в экспериментальной секции № 91277 часть опытных рабочих колес с опытными шайбами чередовалась с рабочими колесами с нижними шайбами из текстолита. Условия отработки опытных насосов были идентичными с отработкой серийных насосов. При этом содержание в продукции механических примесей составляло 1.0-1.5%, обводненность продукции скважины составляла—38-46%. В виду того, что рабочие органы использовались в основном после ремонта, кроме того, в серийных секциях использовались втулки ремонтного размера  $d_n=21.6$  мм из бронзы, определяли лишь относительный сравнительный износ опытных и серийных деталей.

## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ВИЗУАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И ОБМЕРОВ

2.1 По экспериментальной секции № 95018, отработавшей на скважине № 25 Скороходы в период с 15.08.95г. по 26.01.96г., т.е. 164 суток:

- износ нижних шайб из ПК70Н2Д2 незначительный и не превышал 0.1 мм высоты шайбы. Все шайбы пригодны для дальнейшей отработку.

- износ защитных втулок вала из композиционного материала не равномерный по диаметру и по высоте втулки ( больше в нижней части, меньше в верхней части втулки) и составил в среднем по диаметру (как правило в нижней части ) 0.1- 0.20 мм. У втулок, расположенных в средней части 3-х метровой секции износ втулки в нижней части доходил до 0.3 мм, а в верхней части - до 0.15 мм.

- износ внутреннего отверстия в направляющем аппарате составил до 0.15 мм и вместе с износом втулки образует зазор 0.2-0.3 мм (серийная новая втулка свободно проходит, а ремонтная втулка не входит). Направляющие аппараты подлежат ремонту в комплектации с защитными втулками вала ремонтного размера.

2.2. По серийной секции, №931646 работающей в насосе совместно с экспериментальной секцией № 95018:

- износ нижних шайб из текстолита заметный ( до 0.6 мм или 25-30% от толщины шайбы) и практически равномерный по всей 5 метровой секции.

- все текстолитовые нижние шайбы подлежат замене. Следует заметить, что часть ( 15-20% ) рабочих колес имеют на валу радиальный люфт, что может привести в дальнейшем к прокручиванию колес.

- износ ремонтных (бронзовых) втулок односторонний, незначительный, но неравномерный по высоте втулки и ее диаметру. Средний износ в нижней части втулки составляет 0.12-0.20 мм.

- увеличение внутреннего отверстия в направляющем аппарате составляет 0.3-0.4 мм и совместно с изношенной втулкой образует односторонний зазор до 0.6 мм. Ремонтная новая втулка в отдельных случаях свободно входит в отверстие направляющего аппарата.

Направляющие аппараты к дальнейшему ремонту не пригодны.

2.3 По экспериментальной секции № 93678, отработавшей на

скважине №48 Скороходы с 5.09.95 до 15.11.95г., т.е. 60 суток:

- износ нижних шайб из ПК70Н2Д2 незначительный, в ряде случаев односторонний и не превышал 0.1 мм по толщине ( 6-10 % от высоты шайбы), причем в верхней части секции имелись лишь следы износа, в средней части до 0.1 мм, а в нижней части секции - до 0.15 мм. Это свидетельствует о работе вала с заметным эксцентриситетом. Практически все шайбы вместе с рабочими колесами пригодны к дальнейшей отработке.

- защитные втулки вала из ЛО-90-1 имеют неравномерный односторонний износ по длине секции и по высоте втулки, причем, в верхней части секции заметны лишь следы износа в нижней части втулки, в средней части секции износ доходил до 10-15% от толщины втулки в нижней ее части, а в нижней части секции до 30% толщины втулки. Две втулки имели даже сквозное протирание стенки в нижней ее части. Это свидетельствует о большом эксцентриситете в работе вала с увеличением волны сверху вниз.

- износ внутреннего отверстия вала в направляющем аппарате составил до 1.5-2.0 мм. (ремонтная втулка вала в большинстве аппаратов свободно проходит).

Направляющие аппараты и втулки к дальнейшей работе не пригодны.

2.4 По серийной секции № 92198, работавшей в насосе вместе с экспериментальной секцией № 93678:

- износ нижних шайб из текстолита составил до 60% от толщины шайбы.

Рабочие колеса заметного износа не имеют и после замены шайб пригодны к дальнейшей работе.

- износ бронзовых защитных втулок по всей длине секции односторонний и неравномерный по высоте секции, не превышал в средней части 25% от толщины втулки.

- износ внутреннего отверстия аппаратов составляет до 2 мм. (ремонтная втулка свободно проходит) и они к дальнейшей работе не пригодны.

2.5 По опытной 3-х метровой секции № 91277, отработавшей на скважине № 78 Скороходы в период с 16.11.95 по 26.01.96г., т.е. 71 сутки:

- износ нижних шайб из ПК70Н2Д2 незначительный (до 0.1 мм), т.е. имеются лишь следы износа и равномерный по всей длине секции.

- износ нижних шайб из текстолита, установленных в рабочих колесах чередованием с опытными в этой же секции более заметный и достигал 0.5-0.6 мм, т.е. до 30% от толщины шайбы, что в 4-5 раз больше, чем опытных.

- рабочие колеса с опытными шайбами все годны без замены шайб к дальнейшей работе, а рабочие колеса с серийными шайбами также годны к работе после замены шайб.

- износ защитных втулок вала односторонний, но равномерный по всей длине секции, и составляет в нижней части длины втулки до 0.1 мм в центре и в верхней части длины секции.

- увеличение внутреннего отверстия направляющих аппаратов составил до 0.15 мм. Вместе с износом втулки между втулкой и ступицей

аппарата образовался односторонний незначительный ( до 0.2 мм) зазор. Направляющие аппараты пригодны к дальнейшей работе.

Таким образом, проведенное обследование износа деталей насосов позволяет сделать предварительные выводы:

1. Материал нижних шайб ПК70Н2Д2 обеспечивает по сравнению с текстолитом повышение износостойкости опорных шайб минимум в 3 раза и его целесообразно внедрить в серийное производство.


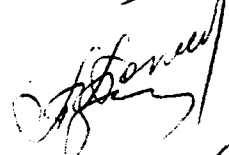

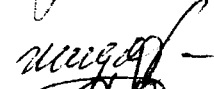


2. Материал опытных защитных втулок вала ЛО-90-1 по износостойкости не ниже бронзовых втулок, используемых при ремонте насосов, но выше серийных из Л63. Для количественной оценки его износостойкости опытных данных недостаточно.

Для получения надежных результатов необходимо опытные и серийные насосы или секции для испытаний собрать полностью из новых ступеней, так как применение рабочих органов после ремонта вносит существенные коррективы в получаемые результаты.

3. Рекомендовать изготовить опытную партию защитных втулок вала из материала ПК70Н2Д2, показавшего при испытаниях нижних шайб высокую износостойкость, и испытать их при работе погружного насоса.

Председатель комиссии

Члены комиссии:

 Гаркот В.С.  
 Покормяк П.А.  
 Петренко Н.А.  
 Жидовцев Н.А.  
 Рудминский С.Л.  
 Замиховская Е.Л.