

027.176.55
3-26

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

В.С.

Заміховська Олена Леонідівна

УДК 621.67-213.32(047)

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ
ВИДОБУТКУ НАФТИ

Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
Дата <u>03 09 07</u>
Реєстр. № <u>46-24 115</u>

Івано-Франківськ – 2007

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Петрина Юрій Дмитрович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, завідувач кафедри технології
нафтогазового машинобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Становський Олександр Леонідович,
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри нафтогазового та хімічного
машинобудування



доктор технічних наук, професор
Дрогомирецький Ярослав Миколайович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, професор кафедри
зносостійкості і відновлення деталей машин

спеціа
націон
Івано-

Івано-
адресс

на засіданні
ранківському
око: 76019,м.

й бібліотеці
фти і газу за

нута О.В.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 м³/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 сцендове та методичне забезпечення експериментальних досліджень з підвищення довговічності РО УЕВН;

– встановити вплив конструктивних і технологічних факторів на довговічність РО УЕВН;

– змоделювати 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 змоделювати 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 рухомих 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 стенової 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 міцністими 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв’язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто сучасний стан і шляхи підвищення довговічності робочих органів УЕВН. Аналіз особливостей конструкції СН, його роботи та технології виготовлення показав, що СН для УЕВН різних виконань відрізняються матеріалами робочих органів, пар тертя і деякими конструктивними

елементами та забезпечує максимально можливий напір ступеня при відносно малих його діаметральних габаритах. Враховуючи, що кількість СН в УЕВН нараховується сотнями, одним з найбільш складних технологічних завдань є виготовлення масових деталей СН.

Аналізуючи переваги і недоліки чавунів різних марок з точки зору конструктивних особливостей СН, встановлено, що проблему підвищення зносостійкості РК та НА необхідно вирішувати одночасно і для інших робочих органів СН.

Результати статистичної обробки даних з відмов УЕВН по НГВУ “Чернігівнафтогаз” (проаналізовано відмови по 328 УЕВН) дозволили встановити закономірності їх напрацювання до відмови по нафтових родовищах у вигляді гістограм (рис.1) і емпіричних залежностей та розрахувати показник довговічності (середній ресурс) (рис.2).

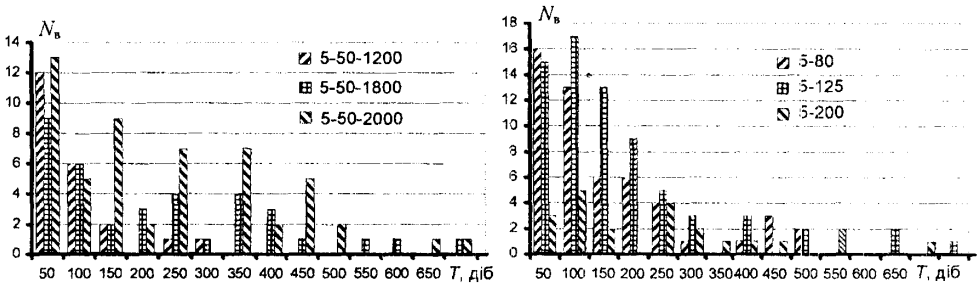


Рисунок 1 – Порівняльні гістограми розподілу кількості відмов N установок ЕВН різних типорозмірів від часу напрацювання T

Встановлено, що в цілому по НГВУ “Чернігівнафтогаз” середній ресурс складає 198,1 діб, його значення по нафтових родовищах змінюється від 167,4 діб для Богданівського родовища і до 230 діб – для Талалаївського родовища незалежно від типорозміру УЕВН. Найменший середній ресурс мають найбільш розповсюджені установки ЕВН-5-80, зокрема по Талалаївському родовищу, що пояснюється високим значенням обводненості продукції свердловин (90,7%) та значним вмістом механічних домішок.

Огляд сучасних методів зміцнення деталей стосовно підвищення довговічності робочих органів ЕВН показав, що жоден з них не придатний для вирішення поставленої задачі. Відмічено, що використання для виготовлення робочих органів УЕВН нових матеріалів з підвищеними зношувальними характеристиками, зокрема, сірого чавуну перлітного класу, модифікованого рідкоземельними матеріалами (ітрій, церій), та поліаміду дозволить вирішити проблему підвищення довговічності ступенів УЕВН.

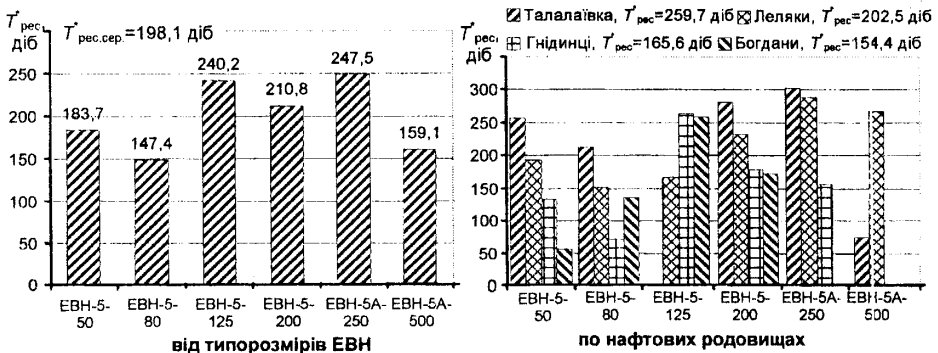


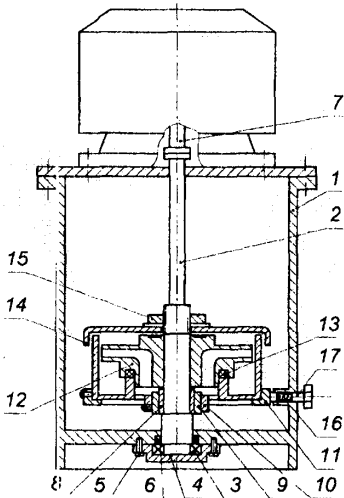
Рисунок 2 – Гістограми розподілу середнього ресурсу роботи установок ЕВН по НГВУ «Чернігівнафтогаз»

У другому розділі розглянуто питання розробки стендового і методичного забезпечення досліджень з підвищення довговічності робочих органів УЕВН. На рис. 3 наведено конструкцію розробленої стендової установки для проведення випробувань на зносостійкість. З метою наближення умов досліджень СН до свердловинних умов обґрунтовано режими роботи установки та характеристики рідини. Технічна характеристика установки забезпечила проведення всього комплексу запланованих досліджень (частота обертання вала – $48,3с^{-1}$, радіальне навантаження на ЗВ вала $P_p=20,0Н$. За свердловинну рідину використано нафтовий флюїд (80% нафти та 20% розчину NaCl), а вміст механічних домішок моделювався вмістом кварцевого піску розміром $<100мкм$, який складав – 6% від об'єму нафтового флюїду в ємності і міг змінюватися в процесі експериментальних досліджень).

Базуючись на результатах теоретичних і експериментальних досліджень матеріалів з підвищеними зношувальними і корозійностійкими характеристиками, за основний об'єкт досліджень на зносостійкість було прийнято взірці, виготовлені із сірого чавуну, модифікованого рідкоземельними металами (церієм, ітрієм). Він має високі ливарні якості, низьку схильність до відбілювання, однорідну стабільну структуру, широкий діапазон твердості 160–1880 HRB та добре піддається механообробці. Після термообробки (гартування в маслі з відпуском) зазначений чавун має однорідну дрібногловку мартенситну основу з рівномірно розподіленим графітом (твердість 480-500 HRB) та високу зносостійкість.

Випробування проводили за експрес-методикою на гідроабразивне зношування протягом однієї години. Досліджували серійну і сім експериментальних пар тертя вузла «НА-ЗВ», складених з різних матеріалів, одним з яких є модифікований чавун. А саме: сірий чавун-латунна втулка (серійна пара тертя); модифікований чавун-латунь; модифікований чавун-напилений шар з матеріалу

ПР-Н73Х16СЗП34; модифікований чавун-модифікований чавун; модифікований чавун-напилений шар з порошку ПН55Т45; модифікований чавун-напилений шар з порошку ПН70Ю30 на базі міді; модифікований чавун-композит ЛО-90-1 (морська латунь); модифікований чавун-композит ПК70Н2Д2.



- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 1 – циліндрична
ємність; | 8 – захисна втулка; |
| 2 – вал; | 9 – посадочна втулка; |
| 3 – упорний
підшипник; | 10 – обойма; |
| 4 – кришка; | 11 – напрямна; |
| 5 – болти; | 12 – робоче колесо; |
| 6 – сальник; | 13 – робоча шайба; |
| 7 – вал привідного
електродвигуна; | 14 – відбійна кришка; |
| | 15 – притиска гайка; |
| | 16 – пружина; |
| | 17 – болт |

Рисунок 3 – Конструкція стенової установки для зношувальних випробувань

Експерименти показали, що при діаметрі зрізів понад $\varnothing 20$ мм зміни розмірів деталей після термічної обробки підпорядковуються прямолінійній залежності. Отримано аналітичну залежність об'ємного приросту виливків з чавуну в процесі термообробки від їх розмірів:

$$\Delta = Nk = [\Delta_{20} + \Delta_1(d-20)]k, \quad (1)$$

де $N = [\Delta_{20} + \Delta_1(d-20)]$; Δ_{20} – приріст розмірів виробу $\varnothing 20$ мм ($\Delta_{20} = 0,06$ мм); Δ_1 – приріст розміру виробу $\varnothing 80$ мм при зміні його на 1% ($\Delta_1 = 0,0027$ мм); d – дійсний розмір виробу; k – узгоджувальний коефіцієнт, що враховує інші фактори ($k = 1,25 \div 1,3$).

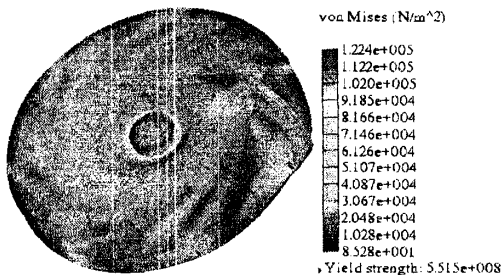
Залежність (1) дозволяє визначити від'ємні допуски РК і НА, що компенсують величину приросту їх розмірів при термічній обробці. Це дозволило відмовитися від кінцевої механічної обробки.

Базуючись на переході від кінетичної діаграми втомного руйнування до рівнянь інтенсивності розвитку тріщини, розроблено методику оцінки зносостійкості чавуну, модифікованого церієм, за швидкістю росту втомної тріщини. Використання методики зменшує обсяг складних традиційних досліджень на зносостійкість.

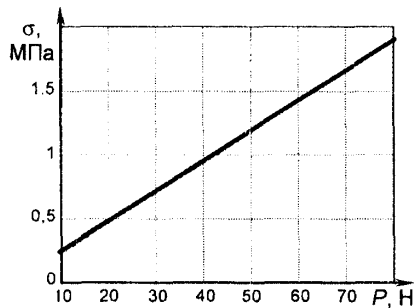
Третій розділ присвячено дослідженню впливу конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на довговічність робочих органів СН.

З метою дослідження впливу осьового навантаження у торцевій парі тертя і величини зношення РК на зміну його НДС та інтенсивності зношування РК на зміну характеристики ЕВН розроблено його тривимірну модель. При цьому використано пакети програмних продуктів Solid Works і Cosmos Works. Моделювання впливу прикладеного навантаження на лопаті РК за наявності в ньому дефекту, зумовленого зношенням частини верхнього диску (рис. 4 а), на зміну епюри розподілу статичних вузлових напружень по його тілу показало, що вони носять лінійний характер (рис. 4 б).

Результати моделювання впливу зміни геометричних розмірів РК на характеристику УЕВН показали, що напір H і подача Q залежать від кутів α_2 , β_2 , які визначають геометрію лопатей робочого колеса і змінюються в процесі їх зношування, а також геометричних розмірів РК.



а)



б)

Рисунок 4 – Епюра розподілу (а) і графік зміни статичних вузлових напружень (б) по тілу робочого колеса при зміні прикладеного навантаження

На рис. 5 наведено графічні залежності подачі Q насоса від діаметра D_2 (а) і кута β_2 (б) для зношених РК трьох типорозмірів: взірець А ($b_2=0,0045$ м, $S_2=0,0013$ м; $z=7$; $\beta_2=24^\circ$); взірець В ($b_2=0,007$ м, $S_2=0,002$ м; $z=8$; $\beta_2=25^\circ$); взірець С ($b_2=0,004$ м, $S_2=0,001$ м; $z=7$; $\beta_2=22^\circ$), де S_2 , b_2 – товщина і висота лопаті, z – число лопатей.

Зроблено висновок про те, що взірець В, в якого кут β_2 є найбільшим, а отже, РК є найменш зношеним, має найвищу подачу, яка лінійно залежить від зміни D_2 (рис. 5,а). При зменшенні β_2 показники РК погіршуються (рис. 5,б), це зумовлено зношуванням його напрямних. Збільшення величини зношування, яке призводить до зміни β_2 понад 30% спричинює явище гідродинамічного удару та відриву потоку рідини. Зміна товщини лопаті (її зменшення внаслідок зношення) призводить до зменшення подачі насоса, хоча і в незначній мірі (до 5.0%). Для розрахунку характеристик УЕВН була розроблена блок-схема програми, яка реалізувалася за допомогою програмних пакетів MathCAD, MathLAB,

Проведені дослідження на зносостійкість пари тертя “НА-ЗВ” (рис. 6) дозволили рекомендувати для серійного виробництва цієї пари тертя композицію

матеріалів “модифікований чавун-композит ПН55Т45”, яка в 10,4 рази є більш зносостійкою у порівнянні із серійною. Зносостійкість пар “модифікований чавун-композит ЛО-90-1” і “модифікований чавун-композит ПК70Н2Д2” приблизно в 3-5 разів є вищою у порівнянні з серійною парою, і відповідає стійкості робочих органів ЕВН.

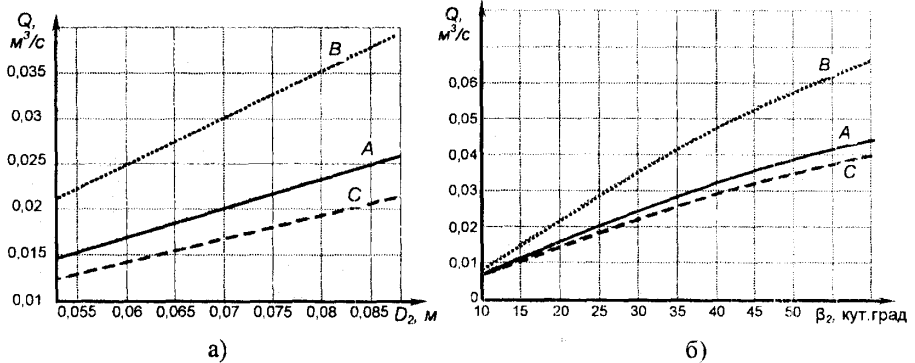


Рисунок 5 – Графіки зміни: а) $Q=f(D_2)$; б) $Q=f(\beta_2)$

Результати досліджень на зносостійкість матеріалів пари тертя “НА-ОШ” показали (табл.1), що в серійних робочих органах доцільніше використовувати шайби, виготовлені з композиту ПК70Н2Д2, який хоча і є менш зносостійким (до 6,2%) по відношенню до серійних шайб, виготовлених з матеріалів на базі бронзи (4,2%) і міді (5,0%), проте в 10 разів дешевший.

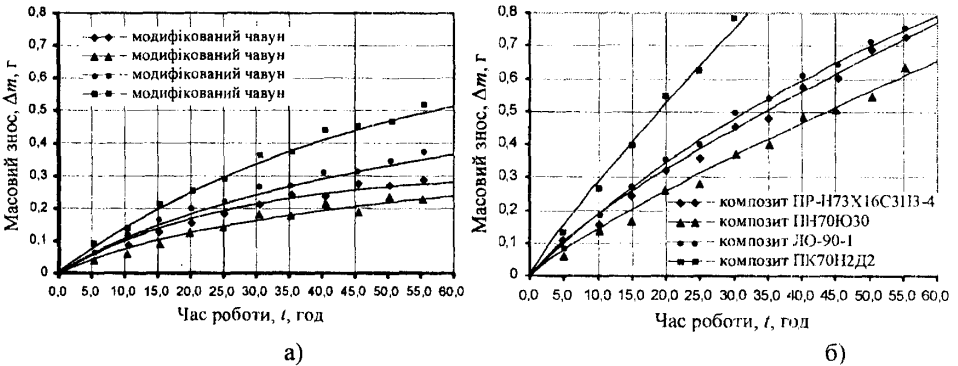


Рисунок 6 – Графіки зміни величини масового зношення Δm в часі t : а) направляющего аппарата, б) захисної втулки вала, виготовлених з різних матеріалів

Результати досліджень на зносостійкість пари тертя “модифікований чавун-модифікований чавун”, яка в 2,0 рази є більш зносостійкою, ніж серійна пара “сірий

чавун–текстоліт”, вказують на можливість створення безопорної конструкції ступені УЕВН, деталі якої виготовлені з одного матеріалу.

Дослідження впливу швидкості росту тріщини на зносостійкість чавуну, модифікованого церієм та ітрієм, показали, що інтенсивність його зношування при всіх значеннях контактних тисків суттєво зменшується у порівнянні з чавуном, модифікованим церієм та бором. При збільшенні контактного тиску ефект від модифікації церієм та ітрієм зростає.

Таблиця 1

Результати зношування ОШ пар тертя “направляючий апарат-опорна шайба ”

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

Експериментальні дослідження впливу термічної обробки на зміну розмірів виливки РК і НА з сірого модифікованого чавуну показали, що збільшення їхніх розмірів при термообробці складає в середньому 0,34-0,35% і коливається від 0,28мм (для Ø80,0 мм) до 0,055 (для Ø17,0 мм). Знання відхилень розмірів дозволяє при механічній обробці відразу ж задавати розміри РК і НА з урахуванням компенсації зміни розмірів при термообробці, тобто враховувати цю зміну мінусовим допуском, рівним 0,34% від розміру деталі. На основі експериментальних даних отримано емпіричні залежності приросту розмірів виливок РК і НА від їх номінальних значень при різних методах термообробки (рис.7), які дозволяють розрахувати необхідну величину від’ємного допуску на механічну обробку виливків до їхньої термообробки:

$$\Delta_1 = 0,01 + 0,0031d; \quad (2)$$

$$\Delta_2 = -0,02219 + 0,004296d; \quad (3)$$

$$\Delta_3 = -0,04058 + 0,004643d, \quad (4)$$

де Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 , – величини приросту розмірів при термообробці в печі з рухомих подом, камерній і вакуумній печах, відповідно, мм.

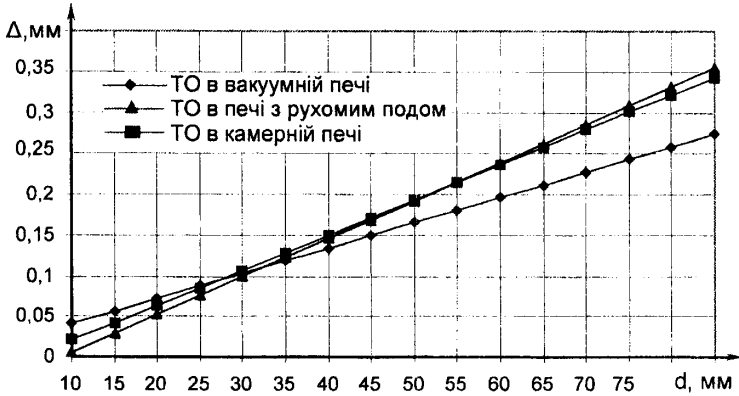
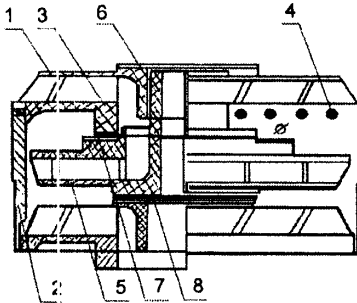


Рисунок 7 – Залежність приросту Δ розміру діаметрів робочих органів ЕВН від їх номінальних значень d при різних методах термообробки (ТО)

У четвертому розділі розглянуто питання розробки та виготовлення робочих органів СН підвищеної довговічності. За результатами експериментальних досліджень розроблено конструкцію ступені УЕВН з поліамідною робочою частиною (рис. 8), в якій корпус НА виготовлений металевим, а проточна частина – поліамідною.



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 ступені;
8 – верхня опора ступені

Рисунок 8 – Конструкція ступені робочого органу УЕВН

Проточні канали РК і НА, які відлиті з поліаміду володіють безсумнівними перевагами по відношенню до чавунних, насамперед за гідродинамічними характеристиками, а виконання ОШ і ЗВ вала як одне ціле з РК суттєво спрощує конструкцію СН. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють підвищити

довговічність СН за рахунок рівності всіх її елементів, зменшити гідродинамічні втрати та збільшити на 10,0-15,0% його потужність.

З урахуванням сформульованих вимог до технології виготовлення РК і НА, запропоновано метод отримання РК і НА підвищеної зносостійкості, суть якого полягає в наступному:

- РК і НА відливають з сірого чавуну перлітного класу, модифікованого при литві рідкоземельними металами (ітрієм, церій);
- кінцева механічна обробка деталі проводиться за спеціальною технологією з мінусовими допусками перед її термічною обробкою;
- деталі після механічної обробки піддаються термообробці за спеціальною технологією, після якої вони мають необхідні розміри і високу зносостійкість.

Запропоновано технологію литва чавуну, модифікованого рідкоземельними металами (церієм, ітрієм) з перлітною основою, відмінною особливістю якої є те, що модифікатор CeFe вводиться у вихідний чавун не в міксері чи в розливному ковші, а рівномірно подається в струмінь металу при заливці у форму. Це забезпечує стабільну однорідну структуру і суттєво знижує витрату модифікатора через його повне засвоєння. Для рівномірної подачі CeFe при внутрішньоформовій модифікації розроблено спеціальну установку для регулювання швидкості подачі дроту з модифікатором. Розроблено технологію серійного виготовлення ЗВ вала, ОШ (верхніх і нижніх) з композиту ПК70Н2Д2 (залізо-графітовий порошок з вмістом до 2% нікелю та міді). Проаналізовано технологічні шляхи забезпечення надійності і ефективності роботи ЗВ, у результаті чого складено принципово нові технологічні маршрути її виготовлення.

Розроблено технологію серійного виготовлення ЗВ вала з плазмовим напиленням, металевий остов якої виконують методом порошкової металургії з порошку ПН70Н2Д2. Для підвищення продуктивності процесу напилення виготовлено спеціальне обладнання.

П'ятий розділ присвячено промисловим дослідженням ефективності УЕВН з робочими органами підвищеної довговічності на нафтових родовищах НГВУ “Чернігівнафтогаз”. Розроблено методику проведення промислових випробувань УЕВН з експериментальними робочими органами на зносостійкість, яка дозволяє оперативно провести весь комплекс запланованих експериментів. Оцінено вібраційний стан установок з ЕВН у процесі експлуатації, за критерій якого було вибрано середньоквадратичне (ефективне) значення віброшвидкості поздовжніх коливань колони насосно-компресорних труб (НКТ). Для цього було сконструйовано вимірювальну муфту та пристрій контролю вібраційного стану ЕВН. Основним функціонально закінченим блоком пристрою є зовнішня плата вводу аналогового сигналу (ЗПВАС), під'єднання якої через USB-інтерфейс дозволило застосувати стандартне програмне забезпечення для вводу даних: про вібраційний стан УЕВН в ПЕОМ, в якій за допомогою програми Cool Edit Pro вони

записувалися на твердий диск у вигляді цифрового текстового файлу для подальшого аналізу.

Проведено дефектацію робочих органів ЕВН після демонтажу його з свердловини з детальним описом виявлених дефектів.

Результати промислових досліджень вібраційного стану УЕВН з експериментальними СН показали, що їхній вібраційний стан на 24,0%-29,0% є кращим від ЕВН, оснащених серійними робочими ступенями.

Результати дефектації серійних СН УЕВН і виготовлених з модифікованого церієм чавуну показали, що довговічність експериментальних робочих органів є вищою за серійні:

- РК, НА і опорних шайб з композиту ПК70Н2Д2 – в 2÷3 рази;
- захисних втулок вала, виготовлених з ЛО-90-1, – в 1,5÷1,6 рази;
- захисних втулок вала з плазмовим наплавленням її робочої поверхні порошком ПН55Т45– в 1,6÷2 рази.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації подано теоретичне узагальнення і нове рішення науково-технічного завдання, яке полягає у проведенні теоретичних і експериментальних досліджень з підвищення довговічності робочих органів УЕВН, розроблено технологію і методи виготовлення зносостійких деталей насоса.

1. Встановлено закономірності зношування робочих органів СН залежно від їхнього типорозміру, глибини підвіски, характеристик свердловинної рідини нафтових родовищ НГВУ “Чернігівнафтогаз” та визначено їхню довговічність.

2. З метою ефективного і оперативного проведення комплексу експериментальних досліджень на зносостійкість матеріалів пар тертя і робочих органів СН УЕВН, виготовлених з використанням запропонованих конструктивних і технологічних рішень, розроблено:

- методичне забезпечення для проведення комплексу стендових і промислових досліджень;
- технічне забезпечення – стендова установка для зношувальних випробувань, яка забезпечує реальні види зношування робочих елементів СН, моделює експлуатаційні режими роботи УЕВН з відповідними характеристиками свердловинної рідини;
- вимірювальну муфту і пристрій контролю вібраційного стану УЕВН, які дозволяють отримувати вірогідну і оперативну інформацію про його технічний стан безпосередньо в процесі експлуатації.

3. Розроблено тривимірну модель РК та проведено моделювання впливу осьового навантаження на інтенсивність зношування торцевої пари тертя, а також величини зносу РК на зміну його НДС і характеристик УЕВН, що дозволило створити конструкцію СН підвищеної довговічності.

4. Розроблено метод виготовлення зносостійких робочих органів СН УЕВН з сірого чавуну, який модифікується при литві рідкоземельним металом (ітрієм, церієм), а деталі перед термічною обробкою проходять кінцеву механічну обробку з від'ємними допусками, що компенсують величину приросту їхніх розмірів при термічній обробці. Остання проводиться шляхом нагрівання деталей (об'ємним методом або СВЧ) до температури мартенситного перетворення і гартування в маслі.

5. За результатами експериментальних досліджень отримано емпіричні залежності приросту розмірів діаметрів РК і НА УЕВН від їхніх номінальних значень при різних методах термообробки, які дозволяють розрахувати необхідну величину від'ємного допуску на механічну обробку виливків до їхньої термообробки.

6. Проведені дослідження на зносостійкість показали, що пари третя “модифікований чавун–композит ПН55Т45”, а також “модифікований чавун–композит ЛО-90-1” і “модифікований чавун–композит ПК70Н2Д2” в 10,4 і в 3-5 разів, відповідно, є більш зносостійкими, ніж серійна, їхня стійкість є майже еквівалентною до стійкості робочих органів СН УЕВН, і вони рекомендовані до серійного виробництва, як і шайби, виготовлені з композиту ПК70Н2Д2, зносостійкість яких є дещо нижчою (до 6,2%) по відношенню до серійних шайб, проте вони в 10 разів дешевші за них.

7. За результатами проведених теоретико-експериментальних досліджень розроблено:

- конструкцію СН ЕВН з поліамідним РК та металополімерним НА, в якому корпус є металевим, а проточна частина – поліамідною;
- технологічне обладнання для виготовлення ЗВ вала та ОШ (верхньої і нижньої) із композиційних матеріалів ЛО 90-1 і ПК 70Н2Д2;
- принципово нові технологічні маршрути і технологію виготовлення ЗВ вала з плазмовим напиленням робочої (зовнішньої) поверхні зносостійким порошковим матеріалом ПН 55Т45.

8. Результати проведених промислових випробувань УЕВН з серійними секціями та з секціями, обладнаними експериментальними СН, на нафтопромислах НГВУ “Чернігівнафтогаз” підтвердили двократне підвищення довговічності експериментальних секцій, а результати промислових досліджень вібраційного стану УЕВН з експериментальними робочими ступенями показали, що їхній вібростан, який визначається ефективним значенням віброшвидкості, на 24,0%-29,0% є кращим від УЕВН, устаткованих серійними робочими органами їхніх СН.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Жидецька О.Л., Мойсеєнко В.М., Писарчук М.О. Конструкція ступеня ЕВН з поліамідною робочою частиною //36.: Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ. -Сер. Методи і засоби тех. діагностики. - Вип.36 (т.8).- Івано-Франківськ, 1999.-С.347-353.

2. Жидецька О.Л., Жидовцев М.О., Мойсеєнко В.М. Визначення типу і складу чавуну для виготовлення зносостійких робочих органів ЕВН //3б.: Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ.- Сер.: Методи і засоби тех. діагностики.- Вип.36 (т.8).- Івано-Франківськ, 1999.-С. 354-359.

3. Жидецька О.Л., Петрина Ю.Д. Дослідження модифікованого сірого чавуну на зносостійкість //3б.: Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ.- Сер.: Методи і засоби тех. діагностики".- Вип.37(т.8).- Івано-Франківськ, 2000.-С.231-235.

4. Жидецька О.Л. Вплив методу термічної обробки робочих органів ЕВН з сірого чавуну модифікованого церієм //3б.: Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ.- Сер.: Методи і засоби тех. діагностики. -Вип.38 (т.8).- Івано-Франківськ, 2001.-С. 252-255.

5. Жидецька О.Л., Зікратий С.В. Умови виникнення і аналіз поступових відмов установок ЕВН // 3б.:Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ.- Сер.: Методи і засоби тех. діагностики. -Вип.38(т.8) - Івано-Франківськ, 2001. - С. 201-209.

6. Петрина Ю.Д., Жидецька О.Л., Борушак Б.О. Технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи захисної втулки електровідцентрових насосів // Вісник нац. ун-ту "Львівська політехніка".- Вип.442.-2002.- С. 60-68.

7. Жидецька О.Л. Виготовлення захисних втулок вала підвищеної зносостійкості /Наукові вісті Івано-Франк. ін-ту менеджменту і економіки.-Вип. 2. – Івано-Франківськ, 2002. - С. 220-226.

8. Жидецька О.Л., Жидовцев М.О. Спосіб виготовлення зносостійких тонкостінних деталей із сірого перлітного чавуну //3б.: Розвідка і розробка нафт. і газ. родовищ . -Вип. 4(5).-Івано-Франківськ,-2002.-С. 28-30.

9. 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. – Вип. 1(5). – 2003. С.73-76.

10. Жидецька О.Л. Моделювання впливу стану робочих органів установки ЕВН на їх характеристики // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ. – 2003.- №10 - С. 75-79.

11. Заміховська О.Л. Дослідження фізичної моделі робочого колеса установки електровідцентрового насоса для видобутку нафти // Восточно-Европейс. журнал передових технологій.- 2006.- № 6/1 (24)- С.11-14.

12. Жидецька О.Л. Дослідження по оцінці зносостійкості робочих органів та вибору пар тертя ступеней електровідцентрових насосів для видобутку нафти./ 3б. праць XVI Міжн. міжвуз. школи-семінару "Методи і засоби тех. діагностики". - Снятин.-1999.-С. 249-257.

13. Заміховська О.Л. Розробка конструкції вимірювального модуля // 3б. праць XII Міжн. міжвуз. школи-семінару "Методи і засоби тех. діагностики".- Івано-Франківськ.-1995.- С. 121-124.

АНОТАЦІЯ

Заміховська О.Л. Підвищення довговічності робочих органів електровідцентрових насосів для видобутку нафти. - Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2007.

Дисертація присвячена підвищенню довговічності РО УЕВН конструктивними та технологічними методами. Розроблено стендове і методичне забезпечення експериментальних досліджень з підвищення довговічності РО УЕВН. Створено тривимірну модель його РК і проведено імітаційне моделювання впливу прикладеного навантаження на лопаті РК та величини його зносу на розподіл статичних напружень по тілу РК і характеристики УЕВН. Проведено дослідження на зносостійкість вибраних пар тертя СН, виявлено вплив методу термічної обробки на зміну розмірів виливків РК і НА з сірого, модифікованого церієм чавуну та встановлено емпіричні залежності для визначення їхніх від'ємних допусків.

Розроблено комбіновану конструкцію СН УЕВН з поліамідною робочою частиною, виготовлено і випробувано ЗВ вала і ОШ підвищеної зносостійкості. Проведено промислові дослідження УЕВН з РО підвищеної довговічності, які підтвердили 2,0-2,5 кратне підвищення їхньої стійкості.

Ключові слова: відцентровий насос, ступінь насоса, зносостійкість, тривимірна модель, робоче колесо, моделювання, сірий модифікований чавун, виливки.

АННОТАЦИЯ

Замиховская Е.Л. Повышение долговечности рабочих органов электроцентробежных насосов для добычи нефти. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – Машини нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2007.

Диссертация посвящена повышению долговечности рабочих органов (РО) установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) конструктивными и технологическими методами.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и приложений.

Обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, поданы научная новизна и практическая ценность полученных результатов, отражены основные результаты работы.

Проанализировано современное состояние и перспективы повышения долговечности РО УЭЦН. Рассмотрены особенности конструкции ступени насоса

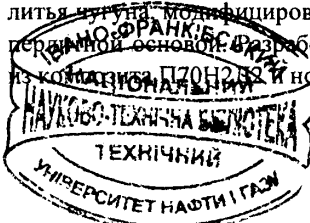
(СН). Отмечено, что СН различного выполнения различаются материалами РО, пар трения и некоторыми конструктивными элементами, а одним из наиболее сложных технологических заданий является изготовление массовых деталей СН, которые изготавливаются, в основном, из серого чугуна из-за чего они имеют низкую износостойкость. Отмечено, что решая вопросы повышения износостойкости РК параллельно необходимо решать вопросы повышения износостойкости других элементов СН. При этом желательно существенно не изменять технологию и стоимость изготовления СН.

Установлены закономерности наработки УЭВН до отказа по типоразмерам и месторождениям НГДУ «Черниговнефтегаз», а также определен их средний ресурс. Проанализированы методы упрочнения деталей применительно к РО УЭЦН. При этом отмечено, что применение серого чугуна, модифицированного редкоземельными металлами, и полиамида, разрешит проблему повышения долговечности СН.

Разработано стендовое и методическое обеспечения экспериментальных исследований по повышению долговечности РО УЭЦН. Разработана конструкция стендовой установки для проведения испытаний на износостойкость и приведены ее технические характеристики. Объектом исследований выбран серый чугун, модифицированный редкоземельными металлами (церием, иттрием), который имеет хорошие литейные качества, твердость 480-500 HRB после термообработки и высокую износостойкость. Отобраны пары трения по результатам исследования на гидроабразивное изнашивание на протяжении часа по разработанной экспресс-методике. Разработана методика оценки износостойкости чугуна, модифицированного церием, по скорости роста усталостной трещины, позволяющая сократить объем достаточно трудоемких и сложных традиционных исследований на износостойкость.

Исследовано, с использованием разработанной трехмерной модели РК, влияние приложенных к его лопастям нагрузок на изменение напряженно-деформируемого состояния (НДС) по телу РК, а также величины износа РК на изменение рабочих характеристик УЭЦН. Приведены результаты исследований на износостойкость пар трения «направляющий аппарат-защитная втулка вала» и «направляющий аппарат- опорная шайба». Установлена эмпирическая зависимость прироста размеров РК и НА от их номинальных значений при различных методах термообработки, позволяющая рассчитать необходимую величину отрицательного допуска на механическую обработку отливок до их термообработки.

Разработана конструкция СН с полиамидной рабочей частью, в которой корпус НА выполнен из металла, а проточная часть – из полиамида. Предложен способ получения РО УЭЦН повышенной износостойкости и отработана технология литья чугуна модифицированного редкоземельными металлами (церием, иттрием) с переносом основы. Разработаны технология серийного изготовления ЗВ вала, ОШ и новые технологические маршруты их изготовления.



Разработана методика проведения промысловых исследований, которая предусматривает оценку вибросостояния УЭЦН по уровню ее вибрации. Разработаны конструкция измерительной муфты и устройство для контроля уровня вибрации УЭЦН. Результаты промысловых исследований подтвердили 2,0-2,5 кратное повышение долговечности СН УЭЦН, оснащенных экспериментальными РО.

Ключевые слова: центробежный насос, ступень насоса, износостойкость, трехмерная модель, рабочее колесо, моделирование, серый модифицированный чугун, отливки.

THE SUMMARY

Zamikhovska O.L. The oil production electrical rotary pump labour body longevity increase. – Manuscript.

The thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.05.12 – Oil and gas industry machinery.- Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2007.

The dissertation is devoted to the electrical rotary pump labour body longevity increase by the constructional and technological means. The bench-top and methodical support for the experimental testing for the electrical rotary pump labour body longevity increase. The rotor wheel three-dimensional model is designed and the imitating modelling is made to investigate the influence of the imposed load on the wheel blade both with the one's wear on the static stresses distribution in the wheel body both with the work characteristics of the electrical rotary pump equipment. The pump stage selected tribological situation wearing capacity investigations was made, the influence of the thermal treatment method on the grey cerium modified cast iron-made pump stage element's formings dimensions change is discovered, the empirical dependence for the one's negative tolerance definition was received.

The combined construction of the electrical rotary pump stage with the polyamide-made test portion was designed, the protective shaft bushing and the increased wearing capacity support washer was produced. The industrial investigations of the electrical rotary pump equipment with the increased longevity working stages was carried out, it was shown the 2-2,5 multiple increasing of the pump stages durability.

Key words: rotary pump, pump stage, wearing capacity, three-dimensional model, rotor wheel, modelling, grey modified cast iron, foundry goods, tolerance.