

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 1855 “С” 2020.11.25. 020 ПЗ

ОНУФРАН ЄВГЕН ОЛЕГОВИЧ

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

Конструювання та дизайну _____

УДК 621.431.73.004
ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету

Завідувач кафедри

Конструювання та дизайну

Надійності техніки

(назва факультету)

(назва кафедри)

Ружило З.В. Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ) (підпис) (ПІБ)
2021 р. 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення надійності нерухомих фланцевих з'єднань
сільськогосподарської техніки використанням наноструктурованих
герметиків»

Герметиків»

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма

«Машини та обладнання сільськогосподарського
виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

Ромасевич Ю.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи:
К.Т.Н. доцент Банний О.О.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав:

Онуфран Є.О.

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ - 2021

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ФНІ) _____

Конструювання та дизайну _____

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Надійності техніки
(назва кафедри)
к.т.н., доцент Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ___ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Онуфран Євген Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Машини та обладнання сільськогосподарського
виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: «Підвищення надійності нерухомих фланцевих
з'єднань сільськогосподарської техніки використанням наноструктурованих
герметиків»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 25 листопада 2020р.
№ 1855 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2021.10.15

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: Наноструктурні герметики, фланцеві
з'єднання двигунів, картерів та інш.. В ролі дослідженої деталі обрано
фланцеві з'єднання сільськогосподарської техніки.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати аналіз існуючих анееробних та нанокмпозиційних герметиків.
2. Визначити параметричні залежності експлуатаційних показників в
залежності від режимів технологічного процесу відновлення.
3. Розробити математичну модель процесу відновлення і визначити
оптимальні технологічні режими.

Дата видачі завдання “15” жовтня 2020 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Банний О.О.

(ПІБ)

Онуфран Є.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... 7

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ... 12

1.1 Класифікація та конструкції ущільнювальних з'єднань 12

1.2 Конструкції нерухомих фланцевих з'єднань та причини зниження їх герметичності..... 20

1.2.1 Конструкції нерухомих фланцевих з'єднань 20

1.2.2 Причини зниження герметичності нерухомих фланцевих з'єднань 23

1.3 Ущільнювачі нерухомих фланцевих з'єднань 27

1.3.1 Ущільнювачі із традиційних матеріалів..... 27

1.3.2 Ущільнювачі з герметиків..... 35

Висновки за розділом 1. Мета та завдання дослідження 48

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ НЕРУХОМИХ ФЛАНЦЕВИХ СПОЛУК..... 51

2.1 Забезпечення герметичності нерухомих фланцевих з'єднань за відсутності ущільнювача..... 51

2.2 Забезпечення герметичності нерухомих фланцевих з'єднань 56

2.3 Довговічність нерухомих фланцевих з'єднань з ущільнювачами з герметиків..... 63

Висновки за розділом 2..... 71

ГЛАВА 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 72

3.1 Загальна програма дослідження 72

3.2 Вибір та коротка характеристика об'єктів дослідження 74

3.3 Методика змішування герметиків та нанонаповнювачів в ультразвуковому полі 75

3.4 Методика дослідження герметичності нерухомих фланцевих з'єднань ... 77

3.5 Методика дослідження деформаційних властивостей герметиків 81

3.6 Методика дослідження робочих температур ущільнювальних вузлів автотракторної техніки..... 85

НУБІП України

3.7 Методика дослідження термомеханічних характеристик ущільнювачів	87
3.8 Методика дослідження теплостійкості ущільнювачів	88
3.9 Методика дослідження коефіцієнта теплопровідності ущільнювачів	89

НУБІП України

3.10. Методика дослідження коефіцієнта теплового розширення ущільнювачів	91
3.11 Методика оцінки адгезійних властивостей герметиків і наноконструкцій	94

НУБІП України

3.11.1 Оцінка адгезійних властивостей за нормальним руйнівним напруженням	94
---	----

НУБІП України

3.11.2 Оцінка адгезійних властивостей за дотичною руйнівною напругою	98
--	----

НУБІП України

3.12 Методика дослідження фреттинг-стійкості нерухомих фланцевих з'єднань з прокладками з герметиків та наноконструкцій на їх основі	100
--	-----

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

104

НУБІП України

4.1 Вплив часу полімеризації анаеробних та силіконових складів на герметичність фланцевих з'єднань	104
--	-----

НУБІП України

4.2 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від контактної тиску на поверхні фланців	105
--	-----

НУБІП України

4.3. Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від товщини ущільнювача	108
--	-----

НУБІП України

4.4 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від способу нанесення герметиків	111
--	-----

НУБІП України

4.5 Вплив способу підготовки поверхонь фланців на герметичність нерухомих фланцевих з'єднань	112
--	-----

НУБІП України

4.6 Вплив способів та режимів складання нерухомих фланцевих з'єднань на їх герметичність	114
--	-----

НУБІП України

4.7 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від кількості розбірно-складальних операцій	116
---	-----

НУБІП України

4.8 Визначення впливу товщини прокладок на герметизуючу здатність наноконструкцій	117
---	-----

НУБІП України

Висновки за розділом 4	120
------------------------------	-----

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ 121

5.1 Розрахунок вартості основних виробничих фондів 121

5.2. Розрахунок собівартості ремонту 122

5.2.1. Визначення річної оптової ціни 124

5.3. Прибуток підприємства 124

5.4. Рентабельність підприємства 125

5.5. Коефіцієнт фондівіддачі 125

5.6. Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого 125

5.7 Випуск продукції на 1м² площі 125

5.8 Визначаємо величину річної економії 125

5.9 Річний економічний ефект 126

5.10. Окупність капіталовкладень 126

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 128

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 130

ДОДАТКИ 141

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НФЗ - нерухомі фланцеві з'єднання;

РР - робочі рідини;

НС - наноструктури;

ВН - вуглецеві нанотрубки;

КТ - коефіцієнт теплопровідності;

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУВБІП України

ВСТУП

Актуальність проблеми. Недостатня забезпеченість с.-г. підприємств

необхідною технікою призводить до систематичного порушення технології виконання робіт, агротехнічних термінів збирання, зростання собівартості продукції, і як наслідок – до зниження валового виробництва [6]. В умовах основними шляхами збереження парку техніки є збільшення обсягів і підвищення якості її ремонту. Тому особливу увагу необхідно приділяти розробці та освоєнню нових способів відновлення деталей та з'єднань, що не потребують наявності складного технологічного обладнання та дозволяють не лише знизити витрати фінансових та трудових ресурсів, а й збільшити надійність відремонтованих машин.

Питаннями підвищення надійності та вдосконалення технології ремонту

с.-г. техніки займалися академіки М.М. Єрохін, А.І. Селіванов, В.І.

Чорноіванів, а також професора О.М. Батищев, А.І. Бойко, В.І. Балабанов, І.Г.

Голубев, О.М. Дідманідзе, В.Ф. Карпенков, С.П. Казанців, В.В. Курчаткін, І.С.

Левитський, Р.І., В.П. Лялякін, А.М. Михальченко, Є.А. Пучин, О.М.

Скороходов, В.В. Стрільцов, В.М. Юдін та багато інших.

На довговічність та ефективність використання с.-г. техніки значний вплив герметичність ущільнень, підвищенням якої займалися А.М. Баусов, В.В. Березніков, В.В. Буренін, В.М. Водяків, Г.В. Голубев, Л.А. Кондаков, М.Є. Кричевський та інші вчені. Проблема герметизації і нині стоїть гостро, оскільки внаслідок аварійних розливів та витоків під час експлуатації с.-г.

техніки щорічно втрачається близько 220 тис. т паливо змащувальних

матеріалів, виводиться з користування до 2 тис. га родючої землі, втрачається

понад 5 тис. т с.-г. продукції [7]. За даними фірми Loctite (США) втрати

робочих рідин через недосконалість ущільнень в агрегатах автомобілів

досягають 30% [8]. Нафта і нафтопродукти належать до основних техногенних

забруднювачів ґрунту. Тому для покращення екології ґрунту та економії

паливо змащувальних матеріалів необхідно забезпечити високий ступінь

герметизації фланцевих сполук сільськогосподарської техніки. Проте

спостереження показують, що з тракторів різних марок понад 50 % несправностей пов'язані з незадовільною герметичністю сполук. Так, 60 %

тракторів мають дефекти ущільнень двигунів, 44 % – коробок передач, 69 % – гальмівних камер, 22...31 % – гідравлічних систем [7, 9]. Через порушення

герметичності з'єднань погіршуються умови змащення сполучених поверхонь, що труться, мастильні матеріали засмічуються абразивними частинками, що збільшує інтенсивність зношування і знижує довговічність деталей.

Підвищення ступеня герметичності з'єднань сприяє зниженню витрати паливно-мастильних матеріалів, підвищенню ресурсу деталей та зменшенню негативного впливу машин на екологічну обстановку.

Донедавна як ущільнювачі нерухомих фланцевих з'єднань (НФЗ) використовувалися прокладки з традиційних матеріалів (азбест, пароніт,

картон, гума, фторопласт та ін.). На жаль, вони не завжди забезпечують

необхідну герметичність через невисоку якість поверхонь, що з'єднуються, і недостатню затяжку різьбових з'єднань. Новим перспективним напрямом в

області герметизації фланцевих з'єднань є застосування герметиків, які повністю заповнюють макро- і мікро нерівності ущільнюваних поверхонь,

забезпечують простоту складання фланців, мають хімічну стійкість, не

вимагають високих контактних тисків і дозволяють розширити допустимі параметри поверхонь, що сполучаються по їх макро- і мікрогеометрії.

Герметики за своєю природою бувають кількох видів. У машинобудуванні найбільшого поширення набули силіконові та анаеробні

склади, представлені величезним достатком не лише за функціональним призначенням, а й за кількістю фірм-виробників. Від правильного вибору

ущільнювальних матеріалів залежить надійність та безпека роботи машин та обладнання, а також витрати на їх експлуатацію. Проте, достовірних

відомостей про переваги та недоліки силіконових та анаеробних герметиків вітчизняного та імпорного виробництва відсутні.

Практичний досвід показує, що герметизуюча здатність ущільнювачів в процесі їх експлуатації знижується в результаті фізико-хімічних процесів, що

НУБІП УКРАЇНИ

протікають в самих герметиках під впливом вологості, агресивності герметизуючого середовища, перепадів температур і вібраційних навантажень.

НУБІП УКРАЇНИ

Тому проблема підвищення надійності фланцевих з'єднань до сьогодні залишається актуальною. В даний час одним з перспективних напрямків у галузі розвитку полімерної індустрії є створення нанокompозитів, що формуються шляхом введення наночастинок у полімерну матрицю [10]. В результаті виходять абсолютно нові матеріали з властивостями, що значно перевершують властивості вихідних складів.

НУБІП УКРАЇНИ

Мета роботи. Підвищення надійності нерухомих фланцевих з'єднань с.-г. техніки використанням нанокompозитів на основі силіконових та анаеробних герметиків, розробка технології герметизації фланцевих з'єднань та рекомендацій щодо застосування наноструктурованих складів.

НУБІП УКРАЇНИ

Предмет дослідження. Нерухомі фланцеві з'єднання с.-г. техніки, прокладки, плівки та покриття з герметиків та нанокompозитів на їх основі.

НУБІП УКРАЇНИ

Об'єкт дослідження. Встановлення залежностей між механічними властивостями нанокompозицій, конструкційними особливостями фланців, технологічними та експлуатаційними параметрами фланцевих з'єднань та їх надійністю.

НУБІП УКРАЇНИ

Наукова новизна: отримані теоретичні залежності впливу конструкційних, технологічних та експлуатаційних факторів на герметичність та довговічність нерухомих фланцевих з'єднань з різними ущільнювачами;

НУБІП УКРАЇНИ

вперше створені математичні моделі для визначення мінімальної товщини шару герметика та величини взаємного переміщення фланців, при яких гарантовано зберігаються властивості міцності ущільнювача;

НУБІП УКРАЇНИ

розроблено нові нанокompозиційні матеріали на основі анаеробних та силіконових складів для герметизації нерухомих фланцевих з'єднань;

НУБІП УКРАЇНИ

обґрунтовано вплив нанопоповнювачів на фізико-механічні властивості герметиків та підтверджено наноструктурним аналізом.

Практична значимість. Розроблено технологічний процес герметизації нерухомих фланцевих сполук нанокпозиціями на основі герметиків та рекомендації щодо їх застосування.

Основні положення магістерської роботи, що виносяться на захист: аналітичні вирази для визначення технологічних параметрів при герметизації НФЗ нанокпозиціями на основі анаеробних та силіконових складів, дифузійної проникності робочих рідин (РР) через матеріал ущільнювача та довговічності НФЗ;

теоретичне обґрунтування мінімальної товщини шару герметика та максимальної величини взаємного переміщення фланців; методика визначення адгезійної міцності герметиків; результати досліджень деформаційних властивостей, термомеханічних

характеристик, теплостійкості, герметизуючої здатності, теплопровідності, теплового розширення, адгезійної міцності, стійкості до РР, старіння та вібраційних навантажень, а також наноструктури герметиків та нанокпозицій на їх основі; рекомендації щодо застосування та результати розрахунку економічного

ефекту від впровадження у виробництво розробленого технологічного процесу герметизації НФЗ с.-г. техніки.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідані та обговорені на.

Міжнародні науково-практичні конференції: «Сучасні проблеми технічного сервісу в агропромисловому комплексі»

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та рекомендацій, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок машинописного тексту, у тому числі 130 сторінок основного тексту, 152 рисунка та 23 таблиці.

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація та конструкції ущільнювальних з'єднань

Якісні показники машин та допустимі умови їх застосування дуже часто визначають можливості ущільнювальних сполук, які застосовуються практично у всіх галузях промисловості для поділу середовищ з різними фізичними параметрами: у трубопроводах, насосах, запірній та регулюючій апаратурі, автогакторній та військовій техніці, вакуум-насосах та інших агрегатах, що працюють в умовах змінних величин тиску та температури, в агресивних (кислоти, луку, окислювачі) та неагресивних (пар, сухі гази) середовищах. Більшість таких сполук прості за конструкцією, але виконують виключно відповідальні функції.

У роботі [1] зазначено, що працездатність будь-якої ущільнювальної сполуки залежить від великої кількості факторів, які можна об'єднати в декілька груп:

- конструкція вузла, в якому встановлюється ущільнювальне з'єднання (матеріал та маса деталей, геометричні розміри та форма);

- технологічні умови виготовлення та складання ущільнювального вузла (точність виготовлення, правильний порядок складання, спосіб обробки робочих поверхонь);

- властивості герметизованого середовища (температура, тиск, в'язкість, хімічна активність);

- умови експлуатації (температура, наявність вібрацій, умови зберігання та транспортування);

- властивості матеріалів фланців (фізико-механічні, теплофізичні, релаксаційні);

- дотримання правил та умов експлуатації (періодичність оглядів, дотримання режимів експлуатації).

Досвід показує, що не менш важливими є і такі фактори, як властивості докільця, його токсичність і хімічна агресивність, режими роботи

ущільнювача, межі витоку з герметизованого вузла РР, ресурс і загальний

термін експлуатації [12]. У зв'язку з такою кількістю значущих факторів

використання для герметизації відповідальних об'єктів простих пристроїв

ущільнювачів не завжди ефективно, тому для підвищення працездатності

часто створюють комбіновані ущільнення, що включають ущільнювачі

декількох видів, а також складні комплекси ущільнювачів.

Тому номенклатура ущільнень дуже широка, а умови експлуатації та

технічні вимоги досить різноманітні. Доказом цього є той факт, що до цього

часу відсутня єдина повна класифікація ущільнювальних сполук.

У загальносоюзному класифікаторі продукції (ЗКП) [13] визначено

структуру кодування деяких видів ущільнень за категоріями. Існує також

розподіл ущільнень на підкласи в універсальній десятковій класифікації

(УДК).

У роботі [14] запропоновано класифікацію за принципом дії

ущільнювального з'єднання, відповідно до якої встановлюються такі категорії

ущільнень:

- класи (за механізмом герметизації);
- підкласи (за основними експлуатаційними особливостями);
- типи (за призначенням з'єднання, що герметизується);
- групи (за особливостями механізму герметизації);
- підгрупи (за основними конструктивними ознаками);
- види (за конкретними конструкціями).

За механізмом герметизації ущільнення бувають контактні, безконтактні та розділові. Ущільнення одного класу мають загальні експлуатаційні характеристики та структурні схеми.

Контактні ущільнення (рисунок 1.1) мають ущільнювач, що щільно

підтискується спеціальним силовим елементом до поверхонь, що

герметизуються. Через відсутність зазору між поверхнею, що герметизується,

НУБІП України

і ущільнювачем забезпечується хороша герметичність, але в рухомих з'єднаннях розвивається значне тертя. Під впливом силового елемента 2

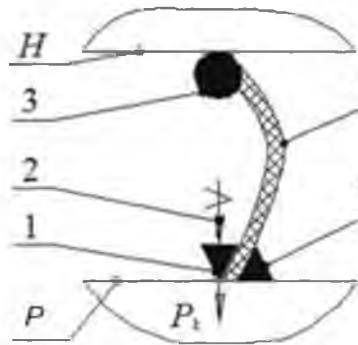
ущільнювач 1 контактує з рухомою поверхнею ущільнювача P , а допоміжне ущільнення 3 - з нерухою ущільнюючою поверхнею H . Конструктивна

НУБІП України

реалізація принципової схеми залежить від матеріалу і форми ущільнювача. В ущільненні можуть бути мембранні або каркасні допоміжні деталі 4. У комбінованих ущільненнях крім ущільнювача 1 часто використовують

захисну манжету 5.

НУБІП України



НУБІП України

Рисунок 1.1 Принципова схема контактної ущільнення:

- 1 – ущільнювач; 2 – силовий елемент; 3 – допоміжне ущільнення;
- 4 – мембранна або каркасна допоміжна деталь; 5 – захисна манжета;

P і H - рухома і нерухома ущільнюючі поверхні

НУБІП України

За основними експлуатаційними особливостями контактні ущільнення поділяються на еластичні, пластмасові, комбіновані, композиційні, механічні, набивні та камерні [15, 16].

Еластичні (гумові) ущільнення в залежності від конструктивних ознак і матеріалу ущільнювача поділяють на прокладки, кільця, манжети, кільця та манжети з пружинами, затвори, клапани, брудознімачі та різні комбіновані ущільнення, що включають декілька елементів. Завдяки високо еластичним властивостям ущільнювача здійснюється щільне контактування поверхонь при незначному контактному тиску. Різновидом цієї групи є гумометалеві ущільнення, що поєднують у собі переваги еластомерів з міцністю та зносостійкістю металів.

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Пластмасові ущільнення створюють переважно з матеріалів на основі фторопласту-4, що має хороші характеристики тертя і має унікальну стійкість до впливу агресивних середовищ.

НУБІП УКРАЇНИ

Комбіновані ущільнення складаються з різних типів ущільнювачів, кожен з яких виконує певну функцію. У зв'язку з тим, що ці ущільнення мають підвищену надійність, їх використовують у конструкціях, що працюють у важких умовах експлуатації.

НУБІП УКРАЇНИ

Композиційні ущільнювачі складаються з декількох матеріалів і дозволяють найбільш повно використовувати властивості кожного з них (гумовотканинні, металополімерні та ін.).

НУБІП УКРАЇНИ

Механічні ущільнення [17, 18] є кільцевим ущільнювачем у вигляді деталі або пари тертя з металу, кераміки, пластмаси або інших твердих тіл,

НУБІП УКРАЇНИ

контактні поверхні яких практично не повинні мати відхилень від заданої форми, що забезпечить мінімальний зазор при дотику поверхонь. Назва цих ущільнень походить від характеру їх виробництва на механічних заводах (поршневі кільця двигунів та компресорів).

НУБІП УКРАЇНИ

Набивні ущільнення мають спеціальне в'язкопружне набивання, що складається з основи, антифрикційних матеріалів і рідкого просочення.

НУБІП УКРАЇНИ

Набивання притискається до ущільнюваних поверхонь контактним тиском за допомогою силового елемента.

НУБІП УКРАЇНИ

Камерні (оболонкові) ущільнення застосовують як аварійні ущільнення періодичної дії, силовим елементом яких служить газ або рідина, що

НУБІП УКРАЇНИ

подаються в камеру під надлишковим тиском при необхідності включення в дію.

НУБІП УКРАЇНИ

У безконтактних ущільненнях герметизація здійснюється рідким, газоподібним або композиційним ущільнювачем, що заневолює зазор між поверхнями, що ущільнюються. Такі ущільнення використовують переважно

НУБІП УКРАЇНИ

в рухомих з'єднаннях з метою зменшення тиску, втрат на тертя та зношування основного ущільнення.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

Структурна схема безконтактного ущільнення наведено малюнку 1.2!

Робоче середовище P прагне поринути у довкілля A під впливом перепаду тисків цих середовищ Δp . На шляху витoku розташовується ущільнення з середовищем ущільнювача B , в якій створюється тиск Δp_y , що перешкоджає течії середовища P

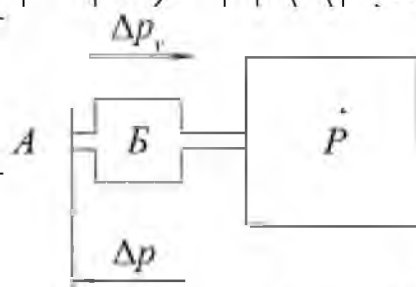


Рисунок 1.2 - Структурна схема безконтактного ущільнення:

P , A і B - відповідно робоче, навколишнє та ущільнювальне середовища;

Δp - перепад тисків між робочим та навколишнім середовищем;

Δp_y - перепад тисків між робочим та ущільнювальним середовищами

Залежно від герметичності безконтактні ущільнення поділяють на високогерметичні (гідрозатвори, динамічні з насосним ефектом, магніторідинні [19], де $\Delta p_y = \Delta p$) та проточні (лужні, лабіринтні), для яких характерна низька герметичність. У таких ущільненнях для зменшення витоків підвищують опір гідравлічний за допомогою відповідної форми поверхні зазору.

Роздільні або діафрагмові ущільнення (рисунок 1.3) є діафрагмами, які мають сильно розвинену поверхню і форму, що забезпечує велику деформацію під дією перепаду тисків середовищ. Ці ущільнення мають найвищий рівень герметичності, але обмежують перепади тиску між середовищами, а також можливі переміщення елементів.

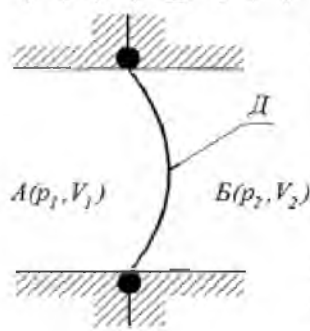


Рисунок 1.3 – Структурна схема діафрагмового ущільнення:

p_1 та p_2 - тиск, МПа; V_1 і V_2 - об'єм, м³;

А і Б - середовища, що розділяються; Д - діафрагма

Гидрозділ ущільнень на класи має умовний характер, оскільки є комбіновані ущільнення, у яких поєднуються елементи різних класів.

Існує також кілька зарубіжних класифікацій ущільнень [20...24],

найчастіше у тому числі використовується класифікація, представлена на рисунку 1.4. Проте, вона також позбавлена недоліків, оскільки у ній групи і підгрупи ущільнень не рівномірні за змістом.

Відповідно до цієї класифікації нерухомі з'єднання з прокладками та герметиками займають окреме місце у загальній структурі ущільнень.

Нерухомими фланцевими називають з'єднання зі спеціальними поясками - фланцями, герметичність яких забезпечується шляхом стиснення ущільнювальних поверхонь безпосередньо один з одним або через розташовані між ними прокладки з більш м'якого матеріалу, стиснутих деталями кріплення, контактний тиск між якими створюють затяжкою болтів (гвинтів, шпильок) [12].

Відхилення реальної поверхні фланців від номінальної (шорсткість, мікродфекти, хвилястість) призводять до того, що між сполученими поверхнями утворюються мікроканали, якими відбувається витік РР. Тому герметичність НФЗ без проміжних елементів досягається шляхом збільшення фактичної площі контакту шліфуванням або притирання поверхонь, що контактують [15].

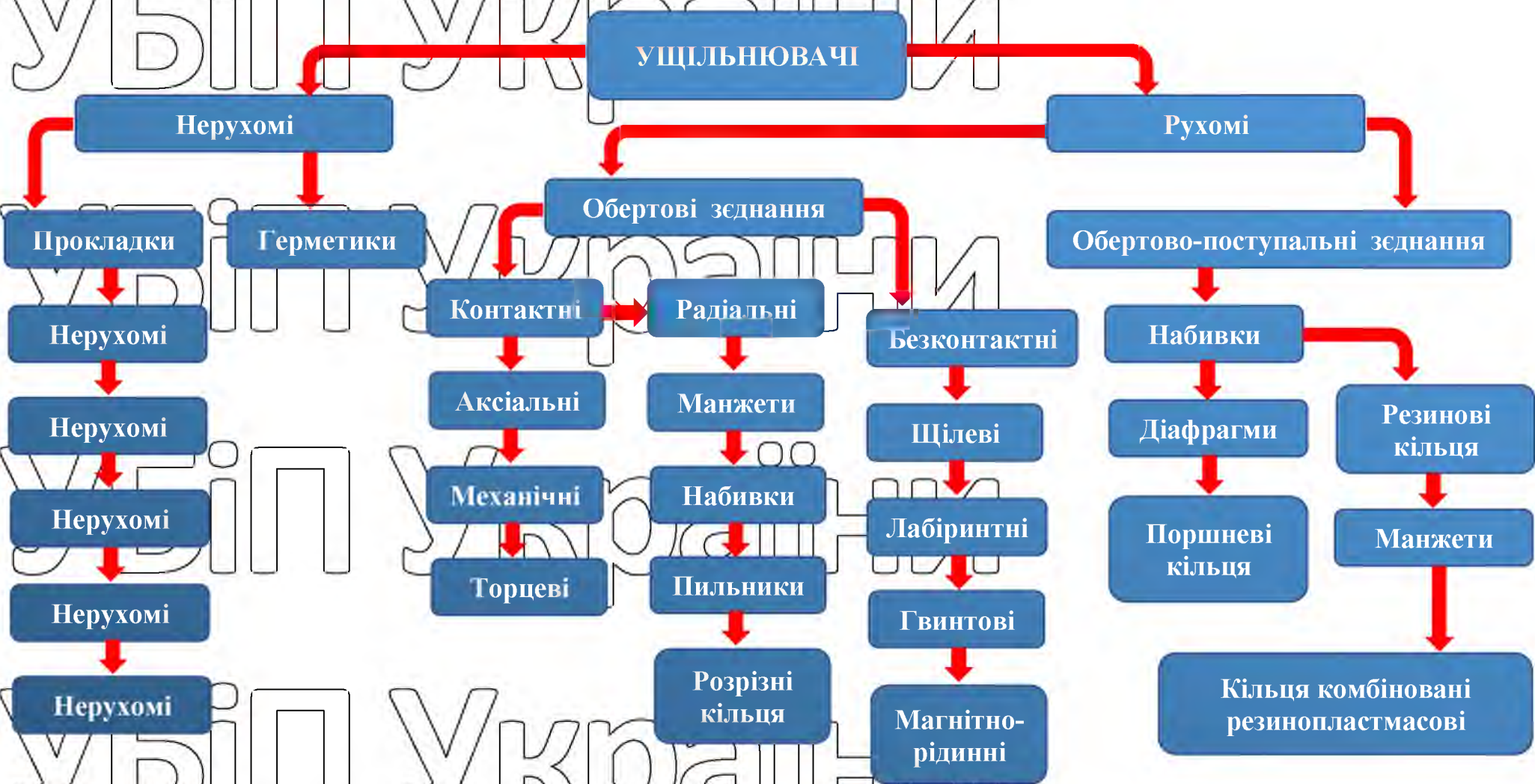


Рисунок 1.4- Класифікація ущільнень

НУБІП України

Такі сполуки забезпечують герметичність при тиску робочих середовищ до 5 МПа, причому вони не допускають багаторазових розбирань, виникнення ризиків і подряпин на поверхнях, що контактують, у зв'язку з чим мають обмежену область застосування. Найчастіше герметичність фланцевих з'єднань забезпечують шляхом збільшення фактичної площі контакту за рахунок заповнення ущільнювачем западин мікронерівностей [25].

НУБІП України

Ущільнення за ступенем герметичності поділяють на абсолютно герметичні, через які витік газу або рідини не допускається, і негерметичні, де допускається проникнення певної кількості газу або рідини за певний період [26].

До НФЗ з ущільнювачами висуваються такі вимоги [16]:

- забезпечення необхідного ступеня герметичності;
- забезпечення довговічності та безвідмовності;
- стійкість до дії РЩ;
- працездатність у необхідному діапазоні температур та тисків робочого та навколишнього середовища;
- відсутність корозійного на прилеглих деталях;
- простота монтажу та заміни;
- стійкість до екстремальних умов, наприклад, до ударних навантажень;
- мінімальний контактний тиск для герметизації з'єднання при складанні;
- екологічна безпека (обмеження витоків внаслідок токсичності, вибухотави пожежонебезпечності);
- гарантований термін служби у встановленому режимі.

НУБІП України

Таким чином, через складність та різноманітність ущільнювальних пристроїв, у світі немає єдиної їх класифікації. Окреме місце серед ущільнень займають НФЗ.

НУБІП України

1.2 Конструкції нерухомих фланцевих з'єднань та причини зниження їх герметичності

1.2.1 Конструкції нерухомих фланцевих з'єднань

На безвідмовну роботу, отже, і ресурс НФЗ істотно впливає його тип. У загальному випадку фланець є плоским кільцем або диском з рівномірно розташованими отворами для болтів і шпильок, що міцно з'єднують деталі, які поділяють навколишнє і робоче середовище з різним тиском і/або температурою.

Основними характеристиками корпусів фланців є:

- матеріал;
- діаметр та просвіт перерізу;
- приєднувальні розміри;
- розміри та виконання ущільнювальних поверхонь.

Вибір матеріалу для виготовлення фланців здійснюється в залежності від робочих температур експлуатації з'єднання, діапазон яких досить широкий (від -150 до $+1000$ °C), а також від агресивності РР (наприклад, моторне масло або розчини сірчаної кислоти). В основному фланці виготовляють з вуглецевих, легованих і неРРавіючих сталей марок: сталь 35, 40Х, 09Г2С, 15Х5М, 14Х17Н2, 20ХН3А, 25Х2М1Ф, 12Х18Н10Т3, 16Т2, 2Т2, 16Т2, 16Х2, 16Х2Х17, 16Х2Х17, 16Х2Х17, 10Х2Х17 [38]. Сталь є певною мірою пластичним і довговічним матеріалом, що найбільш підходить для виготовлення фланців. Але при великих перерізах труб сталеві фланці через досить високу пластичність не можуть працювати при значних навантаженнях і тиску. При низьких температурах робочого та навколишнього середовища (умови крайньої півночі) такі фланці також не можна використовувати, оскільки сталь втрачає свої механічні властивості і стає крихкою, що може призвести до аварії. Тому сталеві фланці використовуються для систем трубопроводів середнього та малого діаметра. Фланці з неРРавіючої сталі незамінні в харчовій або хімічній апаратурі, що контактує з агресивними середовищами. Чавунні фланці застосовуються в системах водопостачання та

НУБІП України

каналізації, у трубопроводах з великим та середнім перетином. Як правило, чавунні фланці відливаються разом із трубопровідною арматурою [37, 38].

Фланці класифікуються за стандартами ГОСТу, а також DIN (Німецький промисловий стандарт), ANSI (Американський Інститут стандартів) та ASME (Американське товариство інженерів-механіків).

НУБІП України

Розміри фланців визначаються видом і призначенням систем, що герметизуються, і відповідно до ГОСТу випускаються діаметром від 6 до 3000 мм. Приєднувальні розміри фланців залежать від діаметра труби або арматури, що прикріплюється, і визначаються виходячи із зовнішнього і внутрішнього діаметра фланця, умовного проходу, його товщини, умовного робочого тиску, а для приварних в стик фланців визначальними є кількість отворів і їх номінальний діаметр. Розміри та кількість болтів визначаються згідно з ГОСТ

НУБІП України

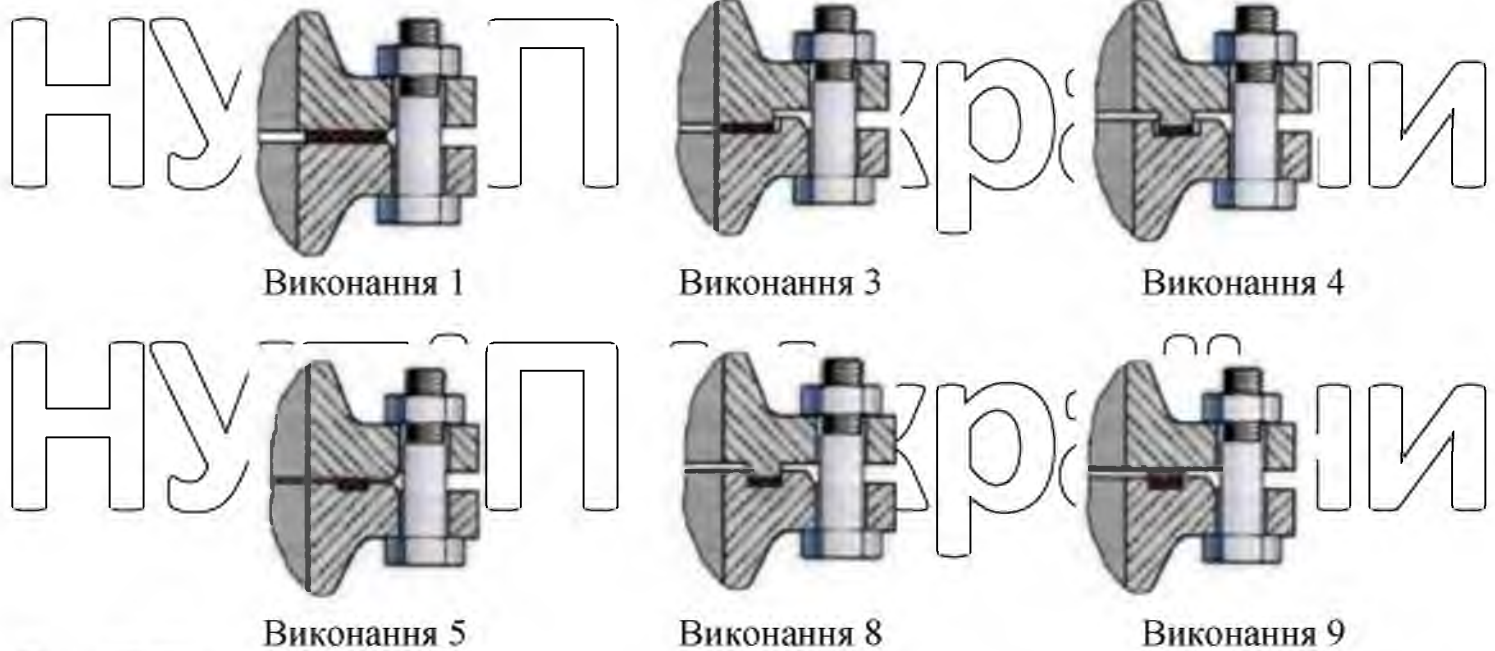
залежно від робочого тиску середовища, а також внутрішнього діаметра труби або патрубка. Розміри та виконання ущільнювальних поверхонь фланців визначаються тиском РР або газу, профілем та матеріалом прокладки. Гладкі ущільнювальні площини [27...33] з прокладками з картону, гуми та пароніту використовуються при тисках до 4 МПа, площини з виступом на одному фланці та западиною на іншому [39...46] з металевими та паронітовими прокладками - при тисках до 20 МПа, фланець з конічною поверхнею ущільнювача - при тисках вище 6,4 МПа. Відповідно до ГОСТ 12815-80 ущільнювальні поверхні фланців бувають декількох виконань (рисунки 1.5).

НУБІП України

За способом приєднання до труби фланці бувають комірні, плоскі та різьбові [27...29, 40, 41]. Комірні фланці приварюються в стик з трубою і виготовляються таким чином, що внутрішній діаметр фланця збігається з діаметром проходу труби (діапазон робочих тисків до 20 МПа). Плоскі фланці встановлюються на трубу, а на задній поверхні проводиться зварювання (діапазон робочих тисків до 2,5 МПа). Різьбові фланці накручуються на трубу і застосовуються при незначних тисках робочого середовища. Фланці можуть випускатися привареними до труб на заводі-виробнику, вільними на приварному кільці та приварними в стик. У другому та третьому випадках

НУБІП України

фланець приварюється до труби безпосередньо перед монтажем з'єднання!
Особливості конструкції фланців не впливають на матеріал, з якого вони виготовляються.



НУБІП України

Рисунок 1.5 - Деякі виконання ущільнювальних поверхонь фланців

За способом з'єднання один з одним фланці бувають болтові та скобові.

З'єднання фланців може бути однорідним (просто приєднання фланців) або різнорідним (фланці прикріплюються у поєднанні один з одним). Фланці також бувають опорними, накідними та нерухомими. Виходячи з тиску робочого середовища, фланці випускаються як високого тиску [27.. 41], так вакуумних установок [42].

Залежно від умов експлуатації фланці можуть випускатися індивідуально окремих галузей, наприклад, для суднобудування [43, 44]. Для захисту підземних трубопроводів від блукаючих струмів, і як наслідок, від корозії та передчасного виходу їх з ладу випускають ізолюючі фланці [45]. За технологічними характеристиками фланці можуть бути круглими та квадратними, використання яких залежить від виду труб та запірної арматури [46]. Для різних фланцевих з'єднань випускається відповідне кріплення [47.. 49]. Конструктивні ж характеристики фланців формуються лише

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

відповідно до стандартів, поширених та діючих на території Російської Федерації.

1.2.2 Причини зниження герметичності нерухомих фланцевих з'єднань

НУБІП УКРАЇНИ

Відхилення фактичної поверхні фланців від заданої (номінальної) призводить до витоків РР через мікро- та макроканали. Мікроканали утворюються внаслідок шорсткості, а макроканали – хвилястості.

Герметичність з'єднання досягається заповненням всіх мікронерівностей і дефектів контактної поверхні фланців матеріалом ущільнювача, який повинен бути стиснутий деякою силою, що створює в поверхневих шарах напругу, достатню для їх деформації до заповнення нерівностей. У випадку зближення поверхонь під впливом контактної тиску відбувається у кілька стадій. На першій стадії відбувається впровадження найбільших виступів та зближення поверхонь до контакту виступів заввишки, приблизно рівної Y_0 , з утворенням системи западин та капілярів довільної форми. На другій стадії в результаті заповнення регулярних мікронерівностей, що є слідами механічної обробки, відбувається основна герметизація з'єднання. На третій стадії заповнюються западини-дефекти.

НУБІП УКРАЇНИ

Проте, частина мікроканалів залишаються наскрізними, у результаті відбувається витік РР через них. Таким чином, чим більша величина шорсткості фланців, тим більше необхідно створити контактний тиск на поверхні для повного перекриття мікроканалів. Високий контактний тиск у свою чергу обмежує термін служби ущільнювача, так як виступи мікронерівностей є концентраторами напруг, що призводять до руйнування ущільнювачів втомі при впливі вібраційних навантажень, циклічно повторюваних змін перепадів тиску РР і температури навколишнього середовища. Таким чином, значення шорсткості поверхні НФЗ безпосередньо впливає на герметизуючу здатність і довговічність ущільнювача. Діяльність

НУБІП УКРАЇНИ

[50] зазначено, що з поверхонь, оброблених точенням до 5.0/10, витік на порядок більше, ніж для поверхонь із 4...5. Встановлено, що при збільшенні

НУБІП України

щорсткості з 6 по 9 клас на порядок знижується ресурс рухомих ущільнювальних сполук [51].

Герметизуюча здатність НФЗ підвищується, якщо сліди обробки робочих поверхонь перпендикулярні потоку витоку і зменшується при збігу їх напрямків [14]. Герметичність також може бути підвищена за рахунок створення на робочих поверхнях фланців організованого (регулярного) мікрорельєфу, який створюється поверхнево-пластичним деформуванням [52...54], наприклад, вібраційним обкатуванням поверхонь контргіл.

Результати експериментальних досліджень [55, 56] підтвердили високу ефективність такого способу для ущільнювальних сполук. Позитивний ефект досягається при електроіскровій обробці поверхонь [57...61].

Витоку масла з мастильної системи двигуна обумовлені в 53,0% випадків самовідгвинчуванням і недостатнім зусиллям затягування болтових з'єднань, в 38,5% - дефектами ущільнюваних поверхонь деталей, похибкою їхньої геометричної форми і розмірів, і в 8,5% - неякісним складанням [62].

Однією з причин недостатнього зусилля затягування різьбових з'єднань є низька якість виготовлення різьблення, що створює в ряді випадків ослаблення такого з'єднання і призводить до самовідгвинчування болтів.

Цьому також сприяє вібрація двигуна та використання болтів та гайок, що були в експлуатації, і мають деформований та зношений профіль різьблення.

Ці фактори призводять до зменшення контактного тиску на поверхні фланців та зниження герметичності з'єднання.

Недостатнє зусилля затягування різьбових з'єднань при складанні НФЗ пов'язане з відсутністю на ремонтних підприємствах динамометричних ключів, а зусилля, що розвивається пневматичним гайковертом, внаслідок відсутності належного контролю за інструментом, часто буває недостатнім для створення необхідного контактного тиску та забезпечення необхідної герметичності з'єднання.

Ризики, вибоїни, раковини та інші ушкодження на поверхнях фланців призводять до зниження герметичності НФЗ. Імовірність їх появи обернено пропорційна якості обробки сполученої поверхні - чим грубіше призначена

НУБІП УКРАЇНИ

обробка поверхні, тим менший контроль здійснюється за нею [63]. Крім подібних дефектів велику роль відіграють забруднення між поверхнями ущільнювача та посадкових місць (волокна та стружки аналогічні великим

наскрізним ризикам). Такі дефекти можуть бути виявлені та усунуті тільки при дорогих приймальних випробуваннях. Тому набагато раціональніше запобігати дефектам поліпшенням обробки та очищення деталей.

Великий вплив на герметичність сполук має відповідність розмірів ущільнювача та елементів посадкового місця у фланці [64]. Часто зустрічається заниження чи завищення розмірів канавки під ущільнювач, викликане або неправильними розрахунками при конструюванні вузла, або неякісним виготовленням деталей через порушення технології виготовлення чи зносу виробничого устаткування. Збільшення розмірів канавки призводить

до перекочування і перекручування ущільнювача, а зменшення її розмірів викликає тиск набухання ущільнювача. Розмір ущільнювача є одним з визначальних факторів надійності фланцевого з'єднання. Максимальні терміни служби ущільнювачів досягаються за мінімальних їх розмірів [65].

Збільшення величини площі контакту ущільнювача з робочою поверхнею фланця сприяє підвищенню герметичності [14, 66]. Крім того, ущільнювачі з меншою площею поперечного перерізу частіше виходять з ладу [67], що пояснюється принципом об'ємно-часової суперпозиції, згідно з яким збільшення розмірів випробуваних зразків призводить до зменшення швидкості релаксаційних процесів [63]. Для забезпечення надійної герметичності необхідна початкова ширина ущільнювача контакту з поверхнею фланця не менше 1,5 мм [14].

Герметичність фланцевих з'єднань знижується через неплотинність фланців. Контроль партії піддонів картерів двигунів показав, що їхня площинність становить 0,30...1,80 мм, а зазор між піддоном картера і блоком двигуна досягає 0,25 мм. Недостатня жорсткість деталей та їх деформація при експлуатації також значно впливає на герметичність НФЗ. Так, після пробігу 70 тис. км автомобілем ГАЗ-24 в результаті відхилення форми деталей двигуна

НУБІП УКРАЇНИ

та їх взаємного розташування підтікання олії у з'єднанні блок циліндрів - кришка штовхачів спостерігалось у 90 % та у з'єднанні блок циліндрів - піддон картера - у 56 % обстежених двигунів 68]. При зазорі 0,16 мм виток олії у цих сполуках досягають 50 г/год.

НУБІП УКРАЇНИ

Відомо, що жорсткі поверхні, еластомери, пластмаси або композиційні матеріали із твердою поверхнею мають різний характер контакту. Але слід зазначити, що матеріал прокладки завжди має більшу пластичність та меншу

НУБІП УКРАЇНИ

твердість у порівнянні з матеріалом фланця. Тому збільшення тривалості контакту прокладки з матеріалом фланця сприяє збільшенню їх фактичної площі контакту за рахунок релаксаційної природи деформації матеріалу прокладки, а в ряді випадків - збільшенню сил адгезії прокладки до металевої поверхні фланців [69...72]. Аналогічні процеси відбуваються і в рухомих

НУБІП УКРАЇНИ

ущільнювальних сполуках [73, 74]. Проте, внаслідок вібрацій, деформацій від впливу перепадів температури та тиску, періодичних розбирально-складальних операцій, ефект впливу сил адгезії на працездатність ущільнювальної сполуки значно знижується [75].

НУБІП УКРАЇНИ

Загалом, герметизація НФЗ - це результат заповнення мікронерівностей та перекриття наскрізних каналів між робочими поверхнями фланців.

НУБІП УКРАЇНИ

Заповнення нерівностей прокладкою відбувається у часі [63], і що пластичніше матеріал прокладки, то швидше досягається повна герметизація з'єднання. У разі використання герметиків заповнення мікронерівностей відбувається миттєво, але максимальна герметичність досягається після повної полімеризації герметиків. А вибір матеріалів фланця та ущільнювача в

НУБІП УКРАЇНИ

першу чергу здійснюється виходячи із сумісності з робочим середовищем. І лише після цього до уваги беруться робочий тиск та температура експлуатації НФЗ.

НУБІП УКРАЇНИ

1.3 Ущільнювачі нерухомих фланцевих з'єднань

1.3.1 Ущільнювачі із традиційних матеріалів

Герметичність НФЗ визначається переважно пружністю ущільнювача і якістю робочих поверхонь. Пружність ущільнювача залежить від його фізико-механічних властивостей (деформаційної, динамічної в'язкості, межі міцності при розтягуванні, модуля пружності). Для герметизації робочих середовищ при високому тиску рекомендується використовувати ущільнення з більшою твердістю, ніж серед при низьких тисках. Якість поверхонь фланців визначається їхньою шорсткістю, макрогеометрією та фізико-механічними властивостями.

Для герметизації фланцевих з'єднань використовують такі ущільнювачі з традиційних матеріалів:

- плоскі (листові) прокладки з металевих, неметалевих та композиційних матеріалів;
- комбіновані прокладки;
- кільця та прокладки фасонного поперечного перерізу з металевих та неметалічних матеріалів;
- лінзові та гребінчасті прокладки.

Матеріал прокладки, вибраний виходячи з умов сумісності з робочим та навколишнім середовищем, повинен відповідати вимогам безвідмовності, довговічності, механічної міцності, здатності зберігати задану герметичність з'єднання протягом певного часу при коливаннях температури та тиску РР або газу, забезпечувати зручність монтажу [89].

Найчастіше як ущільнювачі НФЗ с.-г. техніки застосовують плоскі прокладки, які виготовляють з матеріалів, що легко деформуються (алюміній, латунь, нікель, свинець, мідь, азбест, пароніт, картон, шкіра, пробка, фібра, гума, фторопласт).

Прокладка повинна мати здатність до деформацій, що компенсують деформації фланцевого з'єднання при зміні режимів роботи, мати низьку вартість і просту конструкцію.

Металеві прокладки виготовляють з алюмінієвого сплаву, латуні, нікелю, свинцю, міді та сталі, модулі пружності яких становлять від $1,6 \cdot 10^4$

до $1,2 \cdot 10^5$ МПа [90]. Прокладки з алюмінієвих сплавів та цинку стійкі до впливу кислот та інших агресивних середовищ завдяки захисній плівці на їх поверхні, а прокладки з нікелю та його сплавів добре протистоять корозійним середовищам та зберігають герметичність сполук у діапазоні температур від -271 до $+650$ °С. Мідні та латунні прокладки застосовують для герметизації з'єднань, температура яких не перевищує $+250$ °С.

Однак основним недоліком металевих прокладок є необхідність створення високого тиску на поверхні фланців. Для надійної герметизації з'єднання потрібні масивні болти та фланці. Мінімальний контактний тиск на прокладку з міді становить 90 МПа, латуні - 85 МПа та алюмінієвих сплавів -

60 МПа, а тиск обтискання відповідно 160, 150 та 100 МПа. Прокладки з низьковуглецевої сталі застосовують для сполук, що експлуатуються у середовищі водяної пари та нафтопродуктів при температурах до $+600$ °С. Для ущільнення фланців трубопроводів, циліндрів клапанів, що працюють у контакті з горючими, токсичними та хімічно небезпечними середовищами при температурах до $+800$ °С та тиску до 100 МПа використовуються зубчасті

металеві прокладки, які виготовляють із нерівної сталі. Вони знайшли широке застосування у хімічній та нафтопереробній промисловості, теплоенергетиці та інших галузях. До їх переваг можна віднести:

- простий та швидкий монтаж;
- висока хімічна стійкість рН 0...14;
- висока стійкість до тиску до 40 МПа;
- можливість повторного використання при заміні м'якого шару, що ущільнює;
- можливість виготовлення перегородок, зокрема теплообмінників;
- захист від точкової корозії на фланцях

НУБІП УКРАЇНИ

Азбестові прокладочні матеріали випускаються у вигляді шнурів та ниток (ГОСТ 1779-83), тканин (ГОСТ 6167-78), стрічок (ГОСТ 14256-78), картону (ГОСТ 2850-80) та пароніту (ГОСТ 481-80).

НУБІП УКРАЇНИ

За хімічним складом азбестові матеріали є водними силікатами магнею та натрію. Прокладки з азбесту використовують у з'єднаннях, що працюють за високих температур. Хризотил-азбест є основним матеріалом для виготовлення прокладних матеріалів – армованого полотна, азбестового картону та пароніту.

НУБІП УКРАЇНИ

Армоване азбестове полотно (ГОСТ 2198-66) застосовується для виготовлення прокладок товщиною 0,6, 0,7 та 1,1 мм, що працюють у середовищах води, мінеральної олії та бензину при температурі до +250 °С та тиску до 6 МПа, залишкова деформація яких при контактному тиску 40 МПа становить 31...50%.

НУБІП УКРАЇНИ

Азбестовий картон марки КАП застосовується для ущільнень, що працюють при температурі до +260 °С та тиску до 7 МПа. Його бензо- та маслопоглинання не перевищують відповідно 17 і 15 %, водопоглинання - 7%. Залишкова деформація при тиску 25 МПа становить 13...32%.

НУБІП УКРАЇНИ

Основним недоліком таких прокладок можна вважати наявність у них азбесту, забороненого в багатьох зарубіжних країнах у зв'язку з тим, що він є неескологічним матеріалом та шкідливий для здоров'я людини.

НУБІП УКРАЇНИ

Пароніт є найбільш універсальним матеріалом прокладки, що виготовляється з суміші азбесту, синтетичного каучуку, наповнювачів і вулканізуючих агентів. Марки, умови застосування та якості пароніту регламентує ГОСТ 481-80. Прокладки з пароніту випускають завтовшки

НУБІП УКРАЇНИ

0,4...7,0 мм. Залежно від призначення та умов роботи промисловістю випускається кілька видів прокладочних матеріалів з пароніту, поданих у таблиці 1.1.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 1.1 - Прокладочні матеріали з пароніту

№ п/п	Марка пароніту	Герметизуюче середовище	Температура, °С
1	ПОН, ПОН-1, ПОН-Б	- вода, водні розчини солей - природний газ, повітря, аміак - спирт, антифриз, нафтопродукти - рідкий кисень, азот	до +150 до +150 до +150 до +180
2	ПМБ, ПМБ-1	- тяжкі і легкі нафтопродукти - коксовий газ - газоподібний кисень	до +250 до +450 до +150
3	ПК	- кислоти, луги, агресивні гази - органічні розчинники	до +250 до +150
4	ПА	- вода, пара, повітря, нафтопродукти	до +450
5	ПЕ	- луги, кисень, азотна кислота, аміак	до +180
6	ПС, ВП-1	- луги, окисники, агресивні гази, органічні розчинники	до +250

Крім листових прокладок з пароніту виготовляють спірально-навиті прокладки СНП, що є спіралью навитою в кільце комбінованою стрічкою, що складається з металеві стрічки та стрічки з азбестового паперу або пароніту. Основною перевагою таких прокладок є велика пружність, що дозволяє експлуатувати з'єднання за умов високих температур і динамічних навантажень. Їх застосовують переважно у суднобудуванні, енергетичній та хімічній промисловості. При монтажі допускається відносна деформація прокладки трохи більше $\epsilon = 0,25$.

Таким чином, прокладки з пароніту можуть працювати при температурі від -180 до +450 °С [91]. Для забезпечення герметичності з'єднання в залежності від товщини прокладки створюють контактний тиск 20...80 МПа.

Найбільш дешевими та доступними прокладочними матеріалами є кабельний папір, картон прокладки, пергамент, фібра і пробка.

Кабельний папір (ГОСТ 645-89Е) і напівватман після обробки латексним просоченням застосовуються в середовищі води, масел і бензину при низькому тиску робочого середовища. У чистому вигляді їх використовують для ущільнення пило- та бризкозахисених сполук [14].

Прокладний картон порівняно бензостійкий і випускається промисловістю завтовшки від 0,2 до 1,5 мм. Відповідно до ГОСТ 9347-74

НУБІП України

картон випускають двох марок: А, АС – просочений проклеювальними речовинами, призначений для виготовлення прокладок, що забезпечують герметичність у бензині до +90 °С, маслі - до +120 °С, та воді - до +110 °С; Б – непрочитаний, стійкий до нафтопродуктів.

НУБІП України

Прокладки для паливних та масляних систем авіаційних двигунів виготовляють з картону, просоченого желатиногліцериновими сумішми та касторовою олією. Межа міцності при розтягуванні картонного прокладки досягає 2...4 кПа, пружна деформація якого після зняття навантаження становить не менше 85 % [92, 93].

НУБІП України

Пергамент - прозорий, вологостійкий, масло-і жиронепроникний папір, одержаний шляхом обробки непроклеєного паперу сірчаною кислотою з подальшою її нейтралізацією розчином лугу.

НУБІП України

Фібра - матеріал, що виготовляється з паперу, просоченого розчином хлористого цинку [14], має обмежену водопоглинання і легко піддається штампуванню. Фібра не розчиняється в гасі, бензині, ацетоні, сірчаній, азотній та соляній кислотах. Теплостійкість фібри становить +60...70 °С, модуль пружності - 5800...8000 МПа. При контактному тиску 40 МПа та ширині фланців 8... 12 мм прокладки з фібри здатні герметизувати з'єднання при тиску робочого середовища до 15 МПа [12]. Матеріали на основі паперу мають порівняно низьку герметизуючу здатність і теплостійкість.

НУБІП України

Коркові прокладочні матеріали використовують для герметизації фланцевих з'єднань, що працюють у контакті з водою або нафтопродуктами при низьких тисках. Прокладки виготовляють пресуванням кори коркового дуба.

НУБІП України

Широке застосування для виготовлення прокладок знайшли термопластичні матеріали – поліуретани та фторопласти. Целіуретани мають високі фізико-механічні властивості, які можна змінювати у широких межах, варіюючи пропорціями компонентів [89].

НУБІП України

У машинобудуванні часто застосовують фторопласт-4. Він стійкий до дії кислот, лугів, розчинників, не набухає у воді та не горить. Діапазон робочих

температур фторопласту-4 знаходиться в інтервалі від -195 до $+200$ °С, відносно подовження при розриві - не менше ніж 350 %, межа міцності при розтягуванні - 22...25 МПа, модуль пружності - 470...850 МПа. З'єднання з

прокладками з фторопласту-4 при контактному тиску 25 МПа здатні витримувати тиск РР до 15 МПа [94, 95].

Різновидом ущільнювачів із фторопласту-4 є пористий джгут (Ф-4, РТРЕ). Він використовується в харчовій, хімічній, фармацевтичній та нафтогазопереробній промисловості, мережах опалення та водопостачання та застосовується для ущільнення як сальникових камер, так і нерухомих фланцевих та різьбових з'єднань трубопроводів при позапланових ремонтах (у польових умовах) Його перевагою є висока надійність за рахунок м'якості та еластичності матеріалу, можливість формування прокладки за місцем необхідного ущільнення. Діапазон його робочих температур становить від -50 до $+150$ °С, а короткочасно - до $+200$ °С.

Пластмасові прокладки застосовують за невисоких температур середовища. Прокладку з поліетилену використовують при температурі від -60 до $+50$ °С, полівініл-хлоридного пластикату - від -15 до $+40$ °С.

Гумові плоскі прокладки використовують для герметизації з'єднань, що працюють при тиску до 4 МПа та температурі від -40 до $+100$ °С. Виготовляють прокладки вулканізацією гумових сумішей (каучук, вулканізуючий агент, наповнювачі, стабілізатори, пом'якшувачі та інші інгредієнти). Міцність гум при розтягуванні коливається від 2 до 60 МПа, відносно подовження - від 100 до 800%, твердість Шору А - від 30 до 95 уел. од. Властивості гум значною мірою визначаються різновидом каучуку, що використовується. Завдяки високій еластичності прокладки гуми забезпечують герметичність з'єднань до 50 МПа при порівняно малому контактному тиску на поверхні фланців.

Для герметизації сполук використовують гуми (таблиця 1.2), які класифікуються на 12 груп [12, 96...98]. Залежно від величини твердості вони поділяються на м'які, середньої та підвищеної твердості. Оскільки надмірний

НУБІП України

стиск погіршує властивості гум, їх деформацію необхідно обмежити до 30...50 % від допустимої.

Таблиця 1.2 - Групи, властивості та умови застосування гум

Група	Найменування	Властивості і умови використання
1	М'які масло-, бензо-, морозо- та водостійкі гуми на основі СКН-18	Незначний тиск робочого середовища
2	М'які масло-, бензо- та морозостійкі гуми на основі СКН-18	Обмежені перепади тисків
3	Середньотверді маслостійкі гуми на основі СКН-18	Тиск середовища до 50 МПа
4	Середньотверді маслостійкі гуми на основі СКН-26	Тиск середовища до 50 МПа
5	Морозостійкі гуми на основі композиції СКН-18 та СКМС-10	Тиск середовища до 50 МПа, температура -60 до +150 °С
6	Маслобензостійкі гуми на основі СКН-40	Тиск середовища до 50 МПа, незначне набухання у нафтових рідинах
7	Теплостійкі та стійкі до агресивних середовищ гуми на основі ЦКФ	Висока теплостійкість, висока стійкість до олій, палив, лугів, кислот
8	Тепломорозостійкі та стійкі до синтетичних РР гуми на основі СКТФ	Незначний тиск робочого середовища, температура від -70 до +170 °С
9	Тепломорозостійкі та стійкі до синтетичних негорючих РР гуми на основі СКЕП	Висока стійкість до озону, температура від -50 до +150 °С
10	Тепломорозостійкі гуми на основі СКТВ	Висока стійкість до озону, температура +250 °С
11	Зносостійкі у забруднених середовищах гуми на основі СКУ	Висока стійкість до мінеральних олій, температура від -30 до +100 °С
12	Маслопаливостійкі гуми на основі етилхлоргідринових каучуків	Висока стійкість до олій та палива, температура від -60 до +150 °С

НУБІП УКРАЇНИ

Плоскі прокладки з комбінованих матеріалів поєднують позитивні якості металевих та неметалічних матеріалів. Металева складова забезпечує міцність, а неметалічна – щільність прокладки. Найбільш поширені

НУБІП УКРАЇНИ

гумометалеві плоскі та кільцеві прокладки. У гумометалевих плоских прокладках до металевого каркасу міцно привулканізований тонкий шар еластомеру, що охоплює всі порожнини, що герметизуються.

НУБІП УКРАЇНИ

У гумометалевих кільцевих прокладках до металевого кільця міцно привулканізовано гумове кільце з двома губками, що ущільнюють. Металеве кільце сприймає великі зусилля затягування різьблення. Губки гумового кільця забезпечують високу герметичність при досить грубій обробці поверхонь, що ущільнюються, завдяки ефекту самоущільнення під дією тиску робочого середовища і вібрації. Такі прокладки при порівняно низьких

НУБІП УКРАЇНИ

контактних тисках поверхні фланців забезпечують герметичність з'єднання до 40 МПа.

НУБІП УКРАЇНИ

Для герметизації НФЗ трубопроводів, а також приєднувальних фланців арматури, машин, приладів, насосів та резервуарів у нафто- та газовидобутку, хімічній, нафтопереробній, металургійній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості використовуються прокладки з терморозширеного графіту, що не містить смол і неорганічних наповнювачів. Цей матеріал характеризується високою стійкістю до корозії при контакті з широким спектром кислот (за винятком азотної та сірчаної), лугів, розчинів солей, органічних речовин та теплоносіїв при тиску до 20 МПа та температурі робочого середовища від -200 до +560 °С.

НУБІП УКРАЇНИ

Прокладки виготовляються із графітової фольги або стрічки. Графітова фольга типу ГФ-Г використовується устаткування загальнопромислового призначення, ГФ-Д - для ядерної енергетики. Основною їх перевагою є робота при високих температурах.

НУБІП УКРАЇНИ

Крім плоских прокладок для герметизації фланцевих з'єднань застосовують прокладки та кільця фасонного поперечного перерізу, а також ущільнювальні гумові кільця круглого поперечного перерізу.

Для забезпечення заданого ступеня герметичності кільця фасонного поперечного перерізу (О, С, Е, Х, К - образні) вимагають у 10...12 разів меншу силу стиснення порівняно з плоскими металевими прокладками. Металеві

прокладки фасонного поперечного перерізу застосовують для герметизації сполук при високих тисках середовища, що ущільнюється.

Герметизація сполук, що працюють при тиску до 100 МПа і температурі до +900 °С, проводиться за допомогою лінзових прокладок з низьковуглецевих і легованих сталей, що є прокладками зі сферичними поверхнями, що контактують з конічними поверхнями фланців з кутом конуса близько 70°.

Принцип їх дії полягає у самоущільненні зарахунок розклинювання стику при деформації під дією тиску середовища, що призводить до збільшення контактного тиску на поверхні фланців та герметичності.

З'єднання, де неможливо створити високий тиск обтискання, герметизуються гребінчастими прокладками, які виготовляють із низьковуглецевих та високолегованих сталей, алюмінію та міді завтовшки 2...4 мм. Вони контактують із трикутними кільцевими виступами - гребінцями, розташованими на фланцях з кроком, рівним 1,5 мм та мають на вершинах майданчика шириною 0,15...0,23 мм. Гребінчасті прокладки використовують при тиску робочого середовища до 14 МПа та температурі до +570 °С.

1.3.2 Ущільнювачі з герметиків

Новим перспективним напрямом у сфері герметизації фланцевих з'єднань є застосування герметиків. Їх доцільно використовувати для герметизації нерухомих фланцевих та різьбових з'єднань, які не передбачено розбирати під час експлуатації [94]. Герметики в даний час використовують практично у всіх галузях промисловості: машино-, приладо- та автомобілебудуванні, сільському господарстві та інших галузях. Вони представлені величезним достатком не лише за функціональним призначенням, а й за кількістю фірм-виробників.

Через різноманітність герметиків їх систематизації використовують різні ознаки. Герметики часто класифікують за їх фізичним станом: тверді,

рідкі, пастоподібні, плівкові [94, 99]. На жаль, така класифікація не дає уявлення ні про природу складу, ні про технологію його застосування. Також

герметики класифікують за хімічною природою сполучного, наприклад, мономерні, олігомерні, силіконові, силоксанові, тіоколові, акрилатні,

епоксидні та інші. Проте така класифікація використовується, зазвичай, у спеціальній літературі, оскільки малозрозуміла кінцевих споживачів!

Найбільш зручною є класифікація герметиків за механізмом затвердіння, фізичними і технологічними властивостями, відповідно до якої вони

поділяються на висихаючі, невисихаючі, вулканізовані і подімеризуються [100, 101].

Висихають герметики є термопластичні матеріали, основними компонентами яких є бутадиєн-нітрильний каучук і еластоласти, розчинені в

органічних розчинниках. Їх використовують переважно для ущільнення фланцевих з'єднань. При нанесенні герметик знаходиться у в'язкотекучому

стані, а після нанесення та випаровування розчинника переходить у гумоподібне. Основним недоліком таких герметиків є повільне висихання, а також розм'якшення під дією нагріву, палива та олії.

Невисихаючі герметики (замазки) використовують в основному для герметизації нерухомих фланцевих та різбових з'єднань. Вони являють собою

високонаповнені до 50...70 % гумові суміші на основі поліізобутилену, етиленпропіленового каучуку, бутилкаучуку та поєднання цих каучуків [102, 103]. Для поліпшення фізико-механічних та технологічних властивостей до

складу герметиків можуть вводиться спеціальні добавки [104]. Невисихаючі герметики використовують для ущільнення з'єднань, температура яких не

перевищує +70 °С.

У процесі експлуатації вони знаходяться у пластичному або пластоеластичному стані і герметичність фланцевих з'єднань забезпечується

за рахунок збереження ними високої в'язкості [14]. Найбільшого поширення серед них набули герметики марок 51-Г-3, 51-Г-4М, 51-Г-6, 51-Г-7, У-20А, У-

22 [105... 110]. Замазки на основі поліізобутилену містять 5... 15 % полімеру,

50..75 % наповнювача (азбесту, крейди) та 12..15% нафтових масел для надання рідкої консистенції. Для підвищення адгезійних властивостей до їх складу додають каніфоль та епоксидну смолу.

Рідкі прокладки являють собою пастоподібні або в'язкі композиції на основі однокомпонентних олігомерів або каучуків, особливою властивістю яких є те, що вони не затверджуються в зазорах і зберігаються при експлуатації в рідкому стані [111]. Перед збиранням вузла поверхні очищають і знежирюють, після чого на них наносяться композиції рівномірним шаром.

Рідка ущільнююча прокладка ГПК-242 надійно герметизує сполуки, що стикаються з кислотами, лугами, парами води, агресивними газами та витримує тиск 8, 10 та 15 МПа при температурах експлуатації +150, +80 та +20 °С відповідно. При великих проміжках її рекомендується застосовувати в комбінації з твердою прокладкою [112]. Максимальний зазор з'єднання, що ущільнюється, не повинен перевищувати 0,15 мм [113].

Рідка ущільнююча прокладка ГПК-244 є сумішшю бутадієн-акрилонітрильного каучуку і цільових добавок. Вона призначена для ущільнення сполук, що працюють у контакті з водою, паром, повітрям, інертними газами, оліями та паливом. За температури +150 °С вона забезпечує герметичність робочого середовища до тиску 8 МПа, а при +10 °С - до 15 МПа [114].

Рідка ущільнююча прокладка ГПК-245 (ТУ 6-05-251-68-78) призначена для герметизації сполук, що працюють при температурах від -250 до +90 °С і контактують зі зрідженими газами - гелієм, киснем, воднем та азотом [115].

Вулканізовані герметики - термореактивні матеріали, які тривалий час знаходяться у в'язкотекучому стані при ізоляції їх від зовнішніх факторів навколишнього середовища, і після нанесення на герметизовану поверхню під дією теплоти, вологи та вулканізуючих агентів піддаються незворотним фізико-хімічним змінам, перетворюючись з 99, 102]. Основні компоненти таких герметиків - низькомолекулярний каучук з інгредієнтами та вулканізуючий агент. Іноді в герметики вводять смоли надання їм адгезійних

НУБІП УКРАЇНИ
властивостей. Після нанесення та вулканізації герметики утворюють еластичну плівку, що має вібропоглинаючі властивості. Вулканізовані

герметики поєднують властивості прокладок і клеїв, проте їх адгезія значно нижча за адгезію клеїв, тому фланцеві з'єднання з прокладками з герметиків легко розбираються [92, 104, 116...118].

НУБІП УКРАЇНИ
Фізико-механічні властивості герметиків, що вулканізуються, обумовлені в основному властивостями каучуку, тому їх називають за типом каучуку: уретанові, тіололові (полісульфідні), фторкаучукові, фторсилоксанові, силоксанові, силіконові та інші.

НУБІП УКРАЇНИ
Уретанові герметики використовують для герметизації сполук, що працюють у контакті з водою та мінеральними маслами при температурі від -70 до +70 °С. До них відносяться герметики УГ-2, УГ-3, УГ-5, УГ-6. Відносне подовження уретанових герметиків становить 300...500%, міцність при розтягуванні - 10...28 МПа.

НУБІП УКРАЇНИ
Тіололові герметики на основі рідких полісульфідних каучуків використовуються в машинобудуванні для герметизації сполук, що працюють серед слабких кислот і нафтопродуктів при температурі від -40 до +100 °С. До них відносяться герметики марок У-30М, У-30МЕС-5, УТ-31, 51УТ-37 та інші. Вони вулканізуються на повітрі за температури +20 °С, переходячи з в'язкотекучого в тупоподібний стан. Їхнє відносне подовження становить 150...500 %, а міцність при розтягуванні 1,2...4,0 МПа. Тіололові склади використовують для герметизації вузлів із сталі та алюмінієвих сплавів, для мідних та латунних деталей вони не придатні [14].

НУБІП УКРАЇНИ
Фторкремнійорганічні герметики стійкі до дії нафтопродуктів, води, гарячих газів та прачездатні у діапазоні робочих температур від -60 до +300 °С. Їхня міцність при розтягуванні становить 1...6 МПа, відносне подовження - 200...600 %. Основними недоліками цих герметиків є повільна вулканізація (до 14 діб), двокомпонентність та велика усадка. Найбільшого поширення набули герметики наступних марок: 51-Г-1, 51-Г-2, 51-Г-9, 51-Г-15, 51-Г-16, ВГФ-1 та ВГФ-2 [99, 119, 120].

Вітчизняна промисловість випускає силіконові герметики марок ВАТ-3, КЛТ-75Т, КЛ-4, КЛТ-30 та еластосил-1 [119]. Найбільшого поширення набула рідка прокладка ВАТТ-3, що відрізняється високою в'язкістю і малим

часом вулканізації. Залежно від величини зазору та температури нагрівання час її вулканізації становить 20...50 хв, відносно подовження - 170%, міцність при розтягуванні - 2,8 МПа, температурний діапазон експлуатації - від -60 до +300 °С та герметизуюча здатність - до 6,2 МПа. Максимальний зазор з'єднання, що ущільнюється, не повинен перевищувати 0,3 мм [121].

Силіконові герметики - це кремнійорганічні сполуки, які бувають однокомпонентними, отверджуєми під впливом вологості повітря, і двокомпонентними, отверджуєми від каталізаторів. Вони є найбільш універсальними в застосуванні з усього спектра герметиків, що вулканізуються, і мають:

- стійкістю до УФ-випромінювання;
- стійкістю до погодних умов, температурних перепадів та практично будь-яких агресивних середовищ;
- температуроустойчивості (після полімерізації зберігають пружно - еластичні властивості в діапазоні температур від -70 до +360 °С);
- широким інтервалом температур застосування (наносяться на поверхню при температурі від -30 до +80 °С).

Вітчизняною промисловістю випускаються силіконові герметики таких марок: автогерметик-прокладка (Автогерметик) [122], клей-герметик силіконовий автогермес (Автогермес) [123, 124], «Віксинт» (ТУ 38.303-04-04-90), ЕЛАСІЛ 137-83 (ТУ 6-02-1267-83), ВГО-1 (ТУ 34.30 04-90), високотемпературний силіконовий клей-герметик Пентеласт-1110, Пентеласт-1143 та інші.

Автогерметик використовується для усунення течі води, антифризу та олії в роз'ємних з'єднаннях при температурі від -50 до +200 °С. Він не токсичний, вогневибухобезпечний і є сумішшю поліорганосилоксану і добавок.

НУБІП України
Автогермесил призначений для герметизації НФЗ за температури від -50 до +250 °С. Герметизуюча здатність становить 100 балів, міцність при зсуві – не менше 1 МПа.

НУБІП України
«Віксинт» - серія герметиків, призначених для поверхневої герметизації металевих з'єднань та апаратури, що працюють на повітрі при температурі від -60 до +300 °С під впливом вібраційних, ударних та знакозмінних навантажень у різних кліматичних умовах.

НУБІП України
ЕЛАСИЛ 137-83 - силіконовий клей-герметик, що є однорідною пастоподібною масою від білого до світло-сірого кольору. Час висихання поверхневої плівки при +20 °С не менше 1 година, міцність при розтягуванні – 2 МПа, відносьне подовження при розриві – 200 %.

НУБІП України
ВГО-1 використовується для поверхневої герметизації приладів у радіоелектронній, авіаційній та космічній промисловості за температури від -60 °С до +300 °С. За міцністю, стійкістю та клеючими властивостями перевершує всі відомі силіконові та акрилові герметики. Герметик не викликає корозії алюмінієвих сплавів, срібних покриттів та різних сталей.

НУБІП України
Високотемпературний силіконовий герметик Пентеласт-1110 призначений для склеювання металевих та неметалічних поверхонь, герметизації швів, що контактують з гарячими поверхнями у печах, двигунах, герметизації апаратури, що працює в середовищі повітря та в умовах вібрації. Герметик зберігає експлуатаційні властивості при температурі від -60 до +250 °С, а протягом 50 годин можлива короткочасна експлуатація до +300 °С.

НУБІП України
Крім герметиків вітчизняного виробництва авторемонтними підприємствами широко використовуються полімерні склади різних іноземних фірм, таких як Loctite, Dow Corning, ABR0 та ін [126... 128]. Автомобільною промисловістю найбільше широко використовуються силіконові герметики фірми Loctite [126], представлені в таблиці 1.3.

НУБІП України
Під маркою Dow Corning випускаються такі види силіконових герметиків [127]: Dow Corning Silicone AP; Dow Corning® 730; Dow Corning Q3-1566; Dow Corning® HM-2500 (таблиця 1.4)

НУБІП України

Компанією ABRO виробляються такі види герметиків для герметизації фланцевих з'єднань [128]: герметик силіконовий високотемпературний ABRO прозорий SS-2400, силіконовий герметик ABRO чорний/прозорий SS-1200, багатоцільові герметики Blue, Red, Clear, Black і Grey.

Таблиця 1.3 – Области використання силіконових герметиків Loctite

Марка герметики	Область використання	Температура експлуатації, °С
Loctite Superflex	З'єднання з металів, скла та кераміки, захист електричних контактів	-60...+250°С
Loctite 598*	НФЗ двигунів і КПП, що контактують з моторними оліями	-54...+205°С
Loctite 5910	НФЗ двигунів, що контактують з моторними оліями	-60...+325°С
Loctite 5920	НФЗ двигунів та КПП, що контактують з моторними та трансмісійними маслами	-60...+350°С
Loctite 5926	НФЗ двигунів, гідромеханізмів та водяних насосів	-60...+250°С
Loctite 5699**	НФЗ двигунів та КПП	-60...+205°С

* - має високу адгезію;

** - розроблено спеціально для японських автомобілів.

Таблиця 1.4 - Области застосування силіконових герметиків Dow Corning

Марка герметика	Области застосування
Dow Corning® Silicone AP	Герметизація НФЗ компресорів, насосів та редукторів
Dow Corning® 730	Герметизація НФЗ паливопроводів, паливних баків та розподільників
Dow Corning® Q3-1566	Герметизація НФЗ, що працюють при температурах до +350 °С і контактують з моторними оліями та хімічними середовищами
Dow Corning® HM-2500	Герметизація вузлів, що вимагають миттєвої адгезії та високої міцності

НУБІП УКРАЇНИ

Герметик силіконовий АВРО чорний/прозорий 88-1200 має широку сферу застосування, зокрема використовується для герметизації НФЗ. Після полімеризації залишається еластичним та водонепроникним.

НУБІП УКРАЇНИ

Герметик силіконовий високотемпературний АВЯО прозорий 88-2400 використовується для герметизації піддонів двигуна, кришки клапанів. Працездатний при температурах до $+343^{\circ}\text{C}$ і стійкий до вливу більшості РР двигуна.

НУБІП УКРАЇНИ

Багатоцільові герметики Blue, Red, Clear, Black, Grey призначені для ремонту або заміни майже всіх прокладок, що зустрічаються в автомобілі. Вони легко приймають будь-яку форму і витримують навантаження на стиск, розтяг і зсув, мають високу стійкість до бензину, автомобільних масел, охолоджувальної та гальмівної рідин. Герметики Blue, Clear та Black використовуються при температурах до $+260^{\circ}\text{C}$, а герметик Red – при температурах до $+343^{\circ}\text{C}$.

НУБІП УКРАЇНИ

Незважаючи на широкий спектр силіконових герметиків найбільшого поширення при герметизації НФЗ автотракторної техніки набули вітчизняні склади Автогерметик, Автогермесил [124] та зарубіжні герметики фірми Loctite [125].

НУБІП УКРАЇНИ

Для герметизації НФЗ, що працюють в умовах вібраційних та знакозмінних навантажень, а також у контакті з бензином, дизельним паливом та іншими агресивними РР, використовують анаеробні герметики – рідкі склади, здатні тривалий час залишатися у вихідному стані та швидко затверджуватися у вузьких зазорах між металевими поверхнями відсутність контакту з киснем повітря [129, 130]. На відкритій поверхні герметики залишаються у в'язкотекучому стані, що є їхньою гідністю, тому що при цьому вони не закривають робочі канали та дорожки, а надлишок герметика легко видаляється з вільної поверхні після герметизації [131, 132].

НУБІП УКРАЇНИ

Основою анаеробних складів є здатні до полімеризації сполуки акрилового ряду, найчастіше диметакрилові ефіри поліалкіленгліколів. До їх складу входять інгібуючі та ініціюючі системи, що забезпечують тривале

зберігання та швидке затвердіння в зазорах з обмеженим надходженням повітря, а також загусники, модифікатори, барвники та інші добавки [133, 134]. Анаеробні герметики після затвердіння мають високу термічну та

хімічну стійкість. Швидкість затвердіння та час досягнення максимальної міцності складу залежить від температури навколишнього середовища. При температурі нижче +15 С полімеризація складів різко уповільнюється.

Швидкість затвердіння анаеробних герметиків залежить від матеріалів фланців, які за цією ознакою можуть бути активними, нормальними та пасивними. Активні метали (маловуглецеві сталі, нікель, сплави міді) прискорюють затвердіння полімеру, нормальні (вуглецеві сталі, залізо, цинк) - не впливають на швидкість затвердіння, і пасивні (високовуглецеві сталі, алюмінієві сплави, золото, титан та його сплави, покриттями, пластмасові вироби) - уповільнюють затвердіння.

Основним виробником вітчизняних герметиків є ФДУП «НДІ хімії та технології полімерів імені академіка В. А. Каргіна в дослідним заводом» [135], на якому організовано промисловий випуск герметиків для забезпечення виробництва легкових та вантажних автомобілів (ВАЗ, ГАЗ, КамАЗ, УАЗ, БелАЗ, КрАЗ), ракетно-космічної техніки (Протон-М, Салют, Світ, Прогрес) та багатьох виробів сільгоспмашинобудування, залізничного транспорту та суднобудування.

Анаеробні герметики поділяються на просочуючі, низькоміцні, середньоміцні, високоміцні та термостійкі високоміцні.

Просочують герметики (таблиця 1.5) призначені для усунення негерметичності, мікропор і мікротріщин в зварних швах, навкодошовній зоні, лиття, прокаті, штампованих і пресованих виробах, а також для герметизації і стопоріння дрібних різьблень і являють собою рідкі склади, здатні металевих поверхнях виробів розміром до 0,1 мм і затвердіти з утворенням міцного полімеру.

Таблиця 1.5 – Властивості пропитування герметиків

Марка герметика	В'язкість, мПа·с	Межа міцності при зсуві, МПа	Температура експлуатації, °С	Максимальний зазор, мм
Анаерм-1у	8...15	8...12	-196...+150	0,1
Анаерм-ПК80*	7...12	-	-60...+150	0,1
Анаерм-50у	40...60	5...9	-60...+150	0,1
Анаерм-50уф**	40...60	2...8	-60...+150	0,1

* - затверджується в порах за +95... +100 °С;

** - твердіє на поверхні виробів під дією УФ-випромінювання.

Низькоміцні анаеробні герметики призначені для ущільнення та герметизації розбірних гладких фланцевих з'єднань, а також для фіксації та герметизації розбірних різьбових з'єднань (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 - Властивості низькоміцних герметиків

Марка герметика	В'язкість, мПа·с	Межа міцності при зсуві, МПа	Температура експлуатації, °С	Максимальний зазор, мм
Унігерм-2М**	100...300	3...6	-60...+150	0,2
Анаерм-17М	2000...6000	0,5...3	-60...+150	0,4
Анаерм-8К***	15000...30000	2...4	-60...+150	0,45
Анаерм-501	>100 000	2...5*	-60...+150	0,5

* - межа міцності при відриві;

** - здатний затвердіти при низьких температурах;

*** - може наноситися на замаслену поверхню.

Середньоміцні анаеробні герметики призначені для контролю та ущільнення розбірних різьбових з'єднань, фіксації та герметизації розбірних гладких фланцевих та циліндричних з'єднань (таблиця 1.7).

Високоміцні та термостійкі анаеробні герметики призначені для герметизації нероз'ємних гладких (фланцевих) і циліндричних з'єднань, а

НУБІП України

також нерозбірних різбових з'єднань, що піддаються процесі експлуатації впливу ударних навантажень, вібрації, агресивних середовищ і підвищених температур (таблиця 1.8).

НУБІП України

Таблиця 1.7 – Властивості середньоміцних герметиків

Марка герметика	В'язкість, мПа·с	Межа міцності при зсуві, МПа	Температура експлуатації, °С
Унігерм-6	2000...2400	10...14	-60...+150
Унігерм-10	2000...3500	12...15	-60...+150
Унігерм-11*	400...700	10...14	-60...+150
Анагерм-6К	15000...30000	10...12	-60...+150

* – здатний затвердіти при низьких температурах.

НУБІП України

Таблиця 1.8- Властивості високоміцних герметиків

Марка герметика	В'язкість, мПа·с	Межа міцності при зсуві, МПа	Температура експлуатації, °С
Анагерм-103	900... 1400	25...35*	-60...+150
Анагерм-105	2000... 2500	30...35	-60...+150
Анагерм-110	400... 1200	25...35	-60...+150

* – межа міцності при аксіальному зрушенні.

НУБІП України

Термостійкі високоміцні герметики призначені для герметизації сполук, що працюють при температурі від -196 до +250 °С та високих вібраційних та знакозмінних навантажень (таблиця 1.9).

НУБІП України

Таблиця 1.9 - Властивості термостійких високоміцних герметиків

Марка герметика	В'язкість, мПа·с	Межа міцності при зсуві, МПа	Залишкова міцність після дії температури +300 °С на протязі 10 год, %	Максимальний зазор, мм
Анагерм-260	100...300	14...17	40	0,15
Анагерм-117	800...1500	17...21	46	0,20
Анагерм-117ВМ	2000...6000	17...19	75	0,30

НУБІП України

НУБІП України

Герметики підбирають по в'язкості в залежності від зазору в з'єднанні. Вони мають високу стійкість у воді, мінеральних оліях, бензинах та дизельних паливах.

НУБІП України

Анаеробні герметики також виготовляються вітчизняною компанією ТОВ «Техно-Базис». Для герметизації нерухомих з'єднань на цьому підприємстві випускають анаеробний герметик-прокладку «Лікар». Він призначений для ущільнення та герметизації: фланців паливного насоса,

НУБІП України

помпи, клапанної кришки, піддону картера, кришки заднього моста, різбових з'єднань та працюєдатний у середовищі машинного масла, дизельного палива, бензину, етиленгліколю та води при температурі до $+150^{\circ}\text{C}$.

НУБІП України

Ремонтні підприємства використовують анаеробні герметики численних зарубіжних фірм Norton, Nokia Corporation, Loctite, Permabond і Chester,

НУБІП України

найбільшою з яких є Loctite [136...138]. Цією фірмою для герметизації НФЗ виробляються герметики [139] Loctite-510, Loctite-518, Loctite-574 та інші, які є однокомпонентними, тиксотропними анаеробними складами, що полімеризуються за відсутності повітря в невеликих зазорах між металевими

НУБІП України

поверхнями. Типові сфери їх застосування включають ущільнення жорстких фланцевих з'єднань, у тому числі литих деталей коробок передач, двигунів і корпусів насосів. Loctite-518 та Loctite-574 застосовуються для герметизації

НУБІП України

з'єднань, що працюють при температурах до $+150^{\circ}\text{C}$, Loctite-510 - до $+200^{\circ}\text{C}$. Товщина ущільнюваних ними проміжків становить 0,25...0,50 мм. Герметики захищають герметизований метал від корозії, мають високу адгезію та

НУБІП України

стійкість до більшості рідин, що використовуються в автомобільній промисловості (моторне масло, неетильований бензин, вода та тосол).

НУБІП України

Під маркою Permabond випускаються однокомпонентні анаеробні продукти високої в'язкості, що складаються зі смол акрилового ряду, до переваг яких відносяться велика швидкість затвердіння та стійкість до корозії та високих температур [140].

НУБІП України

Для герметизації НФЗ випускаються анаеробні ущільнювачі марок А136, LH197, MH196 і MH199, що мають міцність на зсув від 5 до 12 МПа, яка

НУБІП України
досягається через 24 год після складання і залежить від зазору, що герметизується, а для LH197 A136, MH196 та MH199 - 0,5 мм.

Прокладки з анаеробних складів Permabond A136, LH197, MH196 та MH199 розроблені для локальних герметичних з'єднань металевих поверхонь. Дані продукти не всихають і не розм'якшуються після затвердіння, мають хімічну інертність і стійкість до високих температур: A136 і LH197 - до +150°C, MH196 і MH199 - до +200°C.

НУБІП України
Під торговою маркою Chester для ущільнення фланцевих і різбових з'єднань випускаються анаеробно-стильбазольні герметики Chester Molecular групи S, що є однокомпонентними тиксотропними складами, які після полімеризації утворюють нерозчинну, тверду пластмасу з попередньо заданими характеристиками міцності. Герметики запобігають витоку рідини або газу зі з'єднань, що знаходяться під впливом динамічних навантажень та вібрацій. Для різбових з'єднань момент відкручування становить від 6 до 24 Нм, міцність на зсув від 6 до 14 МПа, а максимальна температура експлуатації досягає +200 °С. З малоактивними матеріалами та при низьких температурах застосовується активатор [141].

НУБІП України
За ступенем фіксації герметики поділяються на чотири групи: слабкої фіксації – група S1 (жовтого кольору), середньої – групи S2 (помаранчевого кольору) та S3 (червоного кольору) та сильної – група S4 (зеленого кольору). Міцність залежить від зазору між деталями, що герметизуються, максимальна величина якого для герметиків групи S1 не повинна перевищувати 0,2 мм, групи S2 - 0,4 мм, групи S3 - 0,5 мм та групи S4 - 0,6 мм. Повної хімічної міцності сполуки досягають протягом 3 діб.

НУБІП України
Таким чином, використовуючи нанонаповнювачі, можна отримати абсолютно нові матеріали, що відрізняються високою довговічністю та властивостями, що значно перевершують властивості вихідних полімерів.

НУБІП України

Висновки за розділом 1. Мета та завдання дослідження

Однією з найпоширеніших несправностей сільськогосподарської техніки є порушення герметичності сполук. Через недосконалість ущільнень втрати робочих рідин протягом усього терміну служби машин сягають до 30 %, внаслідок чого щорічно втрачається до 220 тис. т паливно-мастильних матеріалів, виводиться з користування до 2 тис. га родючих земель, втрачається понад 5 тис. т сільськогосподарської продукції. Низька герметичність з'єднань призводить до погіршення мастила поверхонь, що труться, збільшення інтенсивності їх зношування, і в результаті - зниження довговічності деталей машин.

Матеріал та геометричні параметри ущільнювальних сполук підбирають залежно від умов їх експлуатації - тиску, агресивності, температури та виду робочого та навколишнього середовищ. Для підвищення надійності часто створюють комбіновані ущільнення, що включають ущільнювачі декількох видів, а також складні комплекси ущільнювачів.

Контакт нерухомих фланцевих з'єднань з робочими рідинами, а також тепловий, радіаційний, електричний та механічний вплив призводять до прискорення процесів старіння матеріалів ущільнювачів та фреттинг-корозії робочих поверхонь фланців, а, отже, до зниження їх надійності та терміну служби.

Прокладки з листових і формованих матеріалів не завжди забезпечують необхідну герметичність фланцевих з'єднань через недостатню якість поверхонь, що з'єднуються, порушення макроегеометрії деталей у процесі їх експлуатації, а також неможливості створення необхідного контактного тиску. Герметики позбавлені цих недоліків, так як повністю зановнюють макро-і мікронерівності герметизованих поверхонь фланців, не вимагають високих контактних тисків, мають високу механічну міцність і еластичність.

У машинобудуванні найбільшого поширення набули силіконові та анаеробні герметики, що мають високу герметизуючу здатність у широкому

діапазоні тисків і температур. Силіконові герметики стійкі до води, пари, антифризу, тосолю та мінеральних масел, анаеробні - до бензину та дизельного палива. Слабкою стороною герметиків є їхня недостатня довговічність у порівнянні з нормативним терміном служби автотракторної техніки.

Для поліпшення фізико-механічних, теплофізичних і деформаційних властивостей, а також зниження вартості композиції полімерні склади вводять наповнювачі, основним недоліком яких є той факт, що домагаючись поліпшення одних властивостей, погіршують інші властивості полімерної композиції, що обмежує їх застосування.

Введення в полімерну матрицю наночастинок, завдяки малим розмірам та високій поверхневій енергії останніх, дозволить отримати абсолютно нові наноконпозиційні матеріали з високою довговічністю та властивостями, що значно перевершують властивості вихідних полімерів.

Достовірні відомості про переваги та недоліки силіконових та анаеробних герметиків вітчизняного та імпорного виробництва, рекомендації щодо їх використання для герметизації нерухомих фланцевих з'єднань у літературних джерелах відсутні. Актуальною є проблема підвищення надійності фланцевих з'єднань шляхом використання як ущільнювачів наноконпозиційних матеріалів на основі герметиків.

Висновки з цього розділу дозволили сформулювати такі мету та завдання досліджень.

Метою цієї роботи є підвищення надійності нерухомих фланцевих з'єднань с.-г. техніки використанням наноконпозицій на основі силіконових та анаеробних герметиків, розробка технології герметизації фланцевих з'єднань та рекомендацій щодо застосування наноструктурованих складів.

Завдання досліджень:

- теоретично обґрунтувати вплив конструкційних, технологічних та експлуатаційних параметрів на надійність фланцевих з'єднань з прокладками з герметиків та наноконпозицій;

НУБІП України

- розробити наноконпозиції на основі анаеробних і силіконових герметиків, які мають максимальну герметизуючу здатність;

- дослідити вплив технологічних факторів на герметичність фланцевих

з'єднань з герметиками та розробленими наноконпозиціями;

НУБІП України

- вивчити деформаційні властивості, термомеханічні характеристики, теплостійкість, коефіцієнти теплопровідності та теплового розширення, а також адгезійну міцність досліджуваних складів;

- дослідити фреттинг-стійкість фланцевих з'єднань, а також стійкість

герметиків та наноконпозицій до робочих рідин, вібрації та старіння;

НУБІП України

- проаналізувати наноструктури полімерних складів;

- розробити технологічний процес герметизації нерухомих фланцевих з'єднань наноконпозиціями;

- визначити економічний ефект від запровадження запропонованої

технології у виробництво.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ НЕРУХОМИХ ФЛАНЦЕВИХ СПОЛУК

2.1. Забезпечення герметичності нерухомих фланцевих з'єднань за відсутності ущільнювача

Як зазначалося, основне призначення фланцевих з'єднань - виключити взаємне проникнення через них РР. Герметизація НФЗ здійснюється за рахунок зближення поверхонь фланців, яке відбувається у три стадії. На першій стадії при незначному контактному тиску відбувається зближення до контакту найбільших виступів заввишки, що дорівнює приблизно Δg . При цьому створюється система западин, що утворюють каніляри. Поперечні канали, як правило, або не заглушені, або з'єднуються з наскрізними мікроканалами. На другій стадії зі збільшенням контактного тиску відбувається заповнення регулярних мікрощілин і основна герметизація фланцевого з'єднання в результаті перекриття мікроканалів. Третя стадія характеризується заповненням западин-дефектів [125, 149].

Як правило, витік РР через мікроканали відбувається у ламінарному режимі. Якщо виділити в обсязі цієї рідини елемент зі сторонами $5x$, $8y$, $5z$ і замінити дію на нього решти рідини реакціями зв'язку - тиском p і дотичною напругою τ , гравітаційної, відцентрової та інших масових сил, рівнодіє яких J , віднесена до маси $m = \rho \cdot 5x \cdot 8y \cdot 5z$, має розмірність прискорення і зворотний напрямок. За умови, що всі змінні безперервні, можна виразити рівність системою трьох диференціальних рівнянь Нав'є - Стокса у проекціях на координатні осі, спрощених винятком квадратичних членів інерції) зважаючи на ламінарну течію рідини в мікроканалах близьких до паралельних траєкторій [14].

З урахуванням рівняння нерозривності, що виражає закон збереження маси, і рівняння, що встановлює залежність між тиском p , щільністю ρ і в'язкістю μ , отримаємо вираз:

$$\frac{dv_x}{dt} = j_x - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{d^2 v_x}{dx^2} + \frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right); \quad (2.1)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = j_y - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dy} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{d^2 v_y}{dx^2} + \frac{d^2 v_y}{dy^2} + \frac{d^2 v_y}{dz^2} \right); \quad (2.2)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = j_z - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dz} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{d^2 v_z}{dx^2} + \frac{d^2 v_z}{dy^2} + \frac{d^2 v_z}{dz^2} \right); \quad (2.3)$$

де j_x, j_y, j_z - складові прискорення масових сил, що діють на виділений елементарний об'єм рідини;

v_x, v_y, v_z - складові швидкості у напрямку координатних осей x, y, z .

У випадку, коли рідина тече в одному напрямку, маємо:

$$\frac{dp}{dy} = \frac{dp}{dz} = 0; \quad (2.4)$$

$$v_y = v_z = 0; \quad (2.5)$$

$$\frac{dp}{dx} = \frac{p_1 - p_2}{l}; \quad (2.6)$$

де p_1, p_2 - тиск робочого та зовнішнього середовищ у фланцевому з'єднанні, Па;

l - довжина мікроканалу, мм.

Якщо знехтувати масовими силами, система рівнянь 2.1...2.3 прийме вигляд:

$$\frac{d^2 v_x}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta p}{l}; \quad (2.7)$$

де μ - в'язкість, Па·с.

НУБІП України

Інтегруючи отримане рівняння припустивши, що витік рідини відбувається під дією перепаду тисків Δp отримаємо вираз, що характеризує розподіл швидкості потоку по мікроканалі:

$$v_x = \frac{1}{2\mu} \frac{\Delta p}{l} \left[\frac{\delta^2}{2} - y^2 \right], \quad (2.8)$$

де δ - висота мікроканалу, м.

Загалом витік PP , Q , м³/с, через фланцеве з'єднання розраховується за формулою [14]:

$$Q = \frac{P_2 - P_1}{\Delta t}, \quad (2.9)$$

де P_1 - тиск всередині з'єднання в момент часу t_1 , Па;

P_2 - тиск усередині з'єднання в момент часу $t_1 + \Delta t$, Па;

V - об'єм внутрішньої порожнини фланцевого з'єднання, м³.

Витік PP , Q_1 , м³/с через мікроканал у фланцевому з'єднанні за рахунок перепаду тисків переміщується і зовнішнього середовища складає:

$$Q_1 = \frac{B_1}{12l_1} \cdot \frac{\Delta p}{\mu} \delta_1^3, \quad (2.10)$$

де B_1 , l_1 і δ_1 - ширина, довжина та висота i -го мікроканалу, м;

Δp - перепад тисків, Па.

Механізм витіку через мікроканали визначається закономірностями ламінарного перебігу в'язкої рідини через макрозазори. У нерухомих щільних ущільненнях відповідно до рівняння (2.10) витрата пропорційна ширині та висоті мікроканалів, а також перепаду тисків.

У реальних умовах роботи НФЗ піддаються вібраційним та динамічним навантаженням, а під впливом тиску та температури відбувається їх деформація та зміна в'язкості PP , що значно ускладнює та робить громіздкими математичні обчислення. Тому для практичних розрахунків доцільно використовувати рівняння, отримані шляхом введення в рівняння (2.10)

безрозмірного коефіцієнта форми ψ , що залежить від співвідношення ширини мікроканалів B_1 до їх довжини l_1

$$\psi = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n \eta_i \frac{B_1}{l_1} \delta_1^3, \quad (2.11)$$

де η – коефіцієнт, що враховує середні статистичні залежності параметрів.

У цьому випадку вираз (2.10) набуде вигляду:

$$Q_1 = \psi \frac{B_1 \Delta p}{\mu l_1} \delta_1^3, \quad (2.12)$$

Коефіцієнт форми характеризує провідність мікроканалів і залежить стану поверхні фланців і контактного тиску з їхньої поверхні, напрямки слідів обробки, властивостей матеріалу фланця. Він враховує наявність мікроканалів, утворених регулярними слідами механічної обробки ψ_p і цілком випадкових дефектів $\psi_{ед}$ на поверхні – рисок, раковин, частинок забруднення і т.д.:

$$\psi = \psi_p + \psi_{ед}. \quad (2.13)$$

В теоретичних дослідженнях попередників [67] встановлено, що:

$$\psi_p = \psi_0 e^{-3 p_k / kE}, \quad (2.14)$$

де ψ_0 і k – коефіцієнти, що характеризують якість обробленої поверхні;
 E – модуль пружності контактуючих поверхонь фланцевого з'єднання

Па;

P_k – контактний тиск на поверхні фланців, Па.

У ряді випадків розміри дефектів перевищують розміри регулярних мікронерівностей, тому для їх заповнення ущільнювачем необхідно більший контактний тиск. За інших рівних умов частота появи дефектів прямо пропорційна розмірам контактної поверхні фланців, а їх вплив на герметичність обернено пропорційно ширині ущільнення.

НУБІП України

У рівняння (2.12) підставимо функцію форми $\psi = \psi_0 e^{-3 p_k / (kE)} + \psi_{CD}$.

При $p_k > kE$ отримаємо вираз

$$\psi_{CD} = \frac{1}{12} \sum \frac{B_D}{B} \left(\frac{\delta_D}{R_z} \right), \quad (2.15)$$

де B_D і δ_D - відповідно ширина та висота дефекту, м;

B - середній крок нерівностей профілю по вершинах, м;

R_z - шорсткість поверхні, м.

Підставивши рівняння (2.14) і (2.15) у вираз (2.13), отримаємо результуючий вираз визначення коефіцієнта форми:

$$\psi = \psi_0 e^{-3 p_k / kE} + \frac{1}{12} \sum \frac{B_D}{B} \left(\frac{\delta_D}{R_z} \right). \quad (2.16)$$

Загальний витік, Q , м³/с, РР через фланцеве з'єднання становить

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i, \quad (2.17)$$

де Q_i - витік через наскрізний мікроканал, м³/с;

m - кількість мікроканалів, шт.

Підставивши вираз (2.12) (2.17), отримаємо рівняння для визначення загального витоку РР через фланцеве з'єднання при відсутності між фланцями ущільнювального елемента:

$$Q = \psi \frac{B \Delta p}{\mu l} \delta^3. \quad (2.18)$$

Таким чином, нульові витоку РР через фланцеве з'єднання можна забезпечити мінімізацією величини ширини і висоти мікроканалів, перепаду тисків герметизується та зовнішнього середовища за рахунок контактного тиску на поверхні фланців. Зв'язок між величиною контактного тиску та розмірами мікроканалів визначається із співвідношень [14]:

$$\delta = R_e e^{p_k / kE}, \quad (2.19)$$

НУБІП України

$$B_1 \approx \left(\frac{l}{k_1} \right) e^{-p_k/kE}, \quad (2.20)$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує середні статистичні залежності параметрів.

Якщо врахувати вищеописані залежності розмірів мікроканалів від контактного тиску, то вираз (2.18) набуде вигляду:

$$Q = \psi_0 \frac{B \Delta p}{\mu l} R_z^3 e^{-p_k/kE}, \quad (2.21)$$

З рівняння (2.21) видно, що з підвищенні контактного тиску p_k до величини kE ($k \approx 0,1 \dots 0,3$) виток зменшуються приблизно на два порядки.

Однак, через великі значення модуля пружності матеріалів фланців ($E = 70000 \dots 210000$ МПа) [56, 90], для запобігання витоку РР слід забезпечувати значний контактний тиск на поверхні фланців ($p_k = 1000 \dots 6000$ МПа), що може призвести до їхньої деформації.

Тому для повного запобігання витоку РР слід використовувати проміжні ущільнювальні елементи з невеликим модулем пружності.

2.2 Забезпечення герметичності нерухомих фланцевих з'єднань

Для герметизації НФЗ застосовують ущільнювачі традиційних матеріалів, основним недоліком яких є низька довговічність. Перспективним напрямом у галузі герметизації НФЗ є використання герметиків, які повністю заповнюють усі нерівності та мікроканали, що утворюються при складанні фланців. Розглянемо механізм герметизації НФЗ із використанням ущільнювача з герметика. Зближення поверхонь фланців відбувається за допомогою контактного тиску p_k до їх поверхні, що виникає за рахунок дії зусилля обтиснення $P_{обт.}$, Н:

НУБІП України

$$P_{обш} = P_B n, \quad (2.22)$$

де P_B – навантаження на болт, Н;

n – число болтів, шт.

НУБІП України

Відповідно до ГОСТ 52857.4-2007 [243] розрахункове навантаження на болти при складанні фланцевих з'єднань (P_B^M , Н) визначається з виразу:

$$P_B^M = \max(P_{B1}, P_{B2}), \quad (2.23)$$

де P_{B1} - розрахункове навантаження на болти при затягуванні, необхідна

НУБІП України

для забезпечення робочих умов тиску на прокладку, достатнього для герметизації фланцевого з'єднання, Н;

P_{B2} – розрахункове навантаження на болти при затягуванні, необхідна

для забезпечення обтиснення прокладки та мінімального початкового натягу болтів (приблизно дорівнює зусиллю обтиснення ущільнювача), Н.

НУБІП України

З урахуванням того, що зовнішній згинальний момент у фланцевих з'єднаннях автотракторної техніки практично дорівнює нулю, значення розрахункового навантаження P_{B1} можна визначити з виразу:

$$P_{B1} = \max \left[l'(Q_D + F) + R_n; a(Q_D + F) + R_n - Q_T \right], \quad (2.24)$$

НУБІП України

де l' - плече зусиль у болтах, м;

Q_D - рівнодіюче навантаження від тиску робочого середовища, Н;

F - зовнішня осьова сила (розтягує сила береться зі знаком плюс, стискаюча сила - зі знаком мінус), Н;

R_n - зусилля на ущільнювачі в робочих умовах, необхідне забезпечення

НУБІП України

герметичності фланцевого з'єднання, Н;

Q_T - навантаження, спричинене температурними деформаціями, Н;

В умовах експлуатації робоче навантаження на болти фланцевих з'єднань без урахування зовнішнього згинального моменту (P_B^P , Н)

НУБІП України

визначається з виразу:

НУБІП України

$$P_B^P = P_F^M + (1-a)(Q_M + E) + Q_C \quad (2.25)$$

Розрахункові напруги в болтах при затяжці (σ_{B1}) і в робочих умовах

(σ_{B2}) обчислюють відповідно за формулами:

НУБІП України

$$\sigma_{B1} = \frac{P_F^M}{A_B}, \quad \sigma_{B2} = \frac{P_B^P}{A_B} \quad (2.26)$$

де A_B - сумарна площа січення болтів, м²

Отримані розрахункові значення напруги залежать від матеріалу і температури експлуатації фланцевих з'єднань і повинні бути меншими за допустимі.

НУБІП України

Зусилля болтів створює середній контактний тиск (p_{k0}). Число болтів (n) для забезпечення більш рівномірної затяжки стиків має бути кратне чотирьом (4, 8, 12, 16). Відстань між осями болтів приймають зазвичай при малих тисках

НУБІП України

($P < 3 \text{ МПа}$) $a = (5..7) \cdot d$, при великих тисках ($P > 3 \text{ МПа}$) $a = (2,5..4) \cdot d$ де d - діаметр болта, м [49, 44].

Середній контактний тиск Па.

$$q_0 = \frac{P_{обт}}{S}, \quad (2.27)$$

НУБІП України

де S - площа поверхні фланців, м².

Деформація стиснення ущільнювача:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_0}{h}, \quad (2.28)$$

де h - товщина ущільнювача, м;

НУБІП України

Δh_0 - абсолютна деформація ущільнювача, м.

Межі відносної деформації стиснення ущільнювача вибирають з урахуванням тривалості його роботи та становлять від 15 до 35 % [45, 46].

При навантаженні фланцевого з'єднання тиском PP виникає сила, що віджимає.

НУБІП України

$$P_{от} = PS_{A_2}, \quad (2.29)$$

НУБІП України

де P – тиск РР, МПа;

S_A – площа, яку діє тиск РР, м.

Внаслідок дії віджимної сили відбувається подовження болтів та зниження контактного тиску до p_{KF} . При цьому відносна деформація стиснення прокладки зменшується до ε_0 .

З умови сумісності початкової та додаткової деформацій болтів Δl_B ($\Delta l'_B$), фланців Δl_Φ ($\Delta l'_\Phi$) та прокладки $\Delta h_{УП}$ ($\Delta h'_{УП}$) випливає, що

$$q = q_0 - \omega P \frac{S_A}{S}, \quad (2.30)$$

де ω – відносна податливість [17].

$$\omega = \frac{\lambda_B}{\lambda_B + \lambda_\Phi + \lambda_{УП}}, \quad (2.31)$$

де $\lambda_B, \lambda_\Phi, \lambda_{УП}$ – податливості відповідно болтів, фланців та ущільнювача, м/Н.

$$\lambda_B = \frac{l_B}{E_B + S_B}, \quad (2.32)$$

де l_B – ефективна довжина болта, м;

E_B – модуль поздовжньої пружності болта при температурі 20 °С, МПа;

S_B – площа поперечного перерізу стрижня болта, м

Ефективна довжина болта (l_B) або шпильки ($l_{Ш}$) обчислюються

відповідно за формулами [47]:

$$l_B = l_{B0} + 0,28d, \quad (2.33)$$

$$l_{Ш} = l_{B0} + 0,56d, \quad (2.34)$$

де l_{B0} – відстань між опорними поверхнями гайки та головки болта або опорними поверхнями гайок, м;

d – зовнішній діаметр болта, м;

НУБІП України

НУБІП України

$$\lambda_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{E_{\phi} S_{\phi}}, \quad (2.35)$$

де l_{ϕ} – висота фланця, м;

НУБІП України

E_{ϕ} – модуль пружності матеріалу фланців, МПа;

S_{ϕ} – площа поверхні фланців, м²;

Відповідно до ГОСТ 52857.4-2007 [43]:

$$\lambda_{уцц} = \frac{h_{уцц} K_{обт}}{E_{уцц} \pi D_{уцц} b_{уцц}}, \quad (2.36)$$

НУБІП України

де $h_{уцц}$ – товщина ущільнювача, м;

$K_{обт} = 0,09 \dots 1,0$ – коефіцієнт обтиснення ущільнювача;

$E_{уцц}$ – модуль пружності матеріалу ущільнювача, Па;

НУБІП України

$D_{уцц} = D_3 - b_0$ – розрахунковий діаметр ущільнювача, м;

D_3 – зовнішній діаметр ущільнювача, м;

$b_0 = b_{уцц}$ при $b_{уцц} \leq 15 \text{ мм}$; $b_0 = 3,8 \sqrt{b_{уцц}}$ при $b_{уцц} > 15 \text{ мм}$ – ефективна

ширина ущільнювача, м;

$b_{уцц}$ – ширина ущільнювача, мм.

НУБІП України

У роботі [14] показано, що абсолютна зміна розмірів болтів, фланців та ущільнювача у фланцевому з'єднанні становитиме:

$$\Delta l_B = \lambda_B P_B, \quad (2.37)$$

$$\Delta l_{\phi} = \lambda_{\phi} p_{K0} S_{\phi}, \quad (2.38)$$

НУБІП України

$$\Delta h_{уцц} = \lambda_{уцц} p_{K0} S_{уцц}, \quad (2.39)$$

Підставивши вирази (2.37), (2.38) і (2.39) відповідно (2.33), (2.35) та (2.36), отримаємо рівняння:

$$P_B = \frac{E_B S_B \Delta l_B}{l_B}, \quad p_{K0\phi} = \frac{E_{\phi} \Delta l_{\phi}}{l_{\phi}}, \quad p_{K0уцц} = \frac{E_{уцц} \Delta h_{уцц}}{h_{уцц}}, \quad (2.40)$$

НУБІП України

Рівняння (2.40) ще раз підтверджують, що величини затягування болтових з'єднань і контактного тиску на поверхні фланців прямо пропорційно залежать від модулів пружності матеріалів, і пропорційно - від розмірів болтів, фланців і ущільнювачів. Тому для герметизації фланців слід використовувати шар герметика з мінімальною товщиною.

Внаслідок значних труднощів, що виникають при розрахунку деформацій складових елементів фланцевих з'єднань, на практиці набувають табличного значення відносної податливості, експериментальне значення якої для м'яких матеріалів становить $\omega = 0,9$ і для сталі - $\omega = 1,0$.

Ущільнювач вибирають із умов сумісності з робочим середовищем. Зазвичай ширину фланця вибирають рівною $(0,06...0,10) D_T$ (D_T - внутрішній діаметр фланця, м). Товщину традиційних прокладок для відкритих фланців приймають рівною 10...20 % від її ширини.

Ущільнювач у фланцевому з'єднанні обтискається силою [48]:

$$P_{обт} = 0,5 D_{ущ} b_0 q_0 \quad (2.41)$$

При цьому його товщина зменшиться до h_0 :

$$h_0 = (1 - \varepsilon_0) h, \quad (2.42)$$

де $\varepsilon_0 = q_0 / (E_{ущ} + q_0)$ - деформація стиснення ущільнювача.

При збільшенні тиску робочого середовища до критичної позначки ($P = P_{кр}$), в результаті подовження болтів під дією сили $P_{обт}$, зменшення контактного тиску до допустимого ($p_k = p_{кнш}$) і зменшення деформації стиснення ущільнювача ($\varepsilon = \varepsilon_{кр}$), у разі відсутності адгезії ущільнювача до фланця відбувається розкриття мікроканалів і настає розгерметизація фланцевого з'єднання:

$$P_{кр} = \frac{E_{ущ} S_{ущ}}{S_{БІЧ}} \left(\frac{\varepsilon_0}{1 - \varepsilon_0} \left[\frac{\varepsilon_{кр}}{1 - \varepsilon_{кр}} \right] \right), \quad (2.43)$$

де $S_{БІЧ}$ - площа бічної поверхні, на яку діє тиск робочого середовища, м²

НУБІП УКРАЇНИ

Зазвичай деформація стиснення ущільнювача $\varepsilon_0 = 0,25 \dots 0,35$. Критичне значення деформації ущільнювача у разі відсутності його адгезії до матеріалу фланця $\varepsilon_{кр} = 0,02 \dots 0,03$ [49].

НУБІП УКРАЇНИ

Видавлюванню прокладки тиском робочого середовища із зазору між фланцями перешкоджає сила тертя $P_f = 2fP_A$. При цьому тиск середовища на початку видавлювання ущільнювача розраховуватиметься за рівнянням:

$$P_{\text{ВИД}} = \frac{2fP_A}{\pi D_{\text{ВН}} (1 - \varepsilon_{\text{КР}}) h} \quad (2.44)$$

НУБІП УКРАЇНИ

де P_A – сила стиснення прокладки, Н;

f – коефіцієнт тертя;

$D_{\text{ВН}}$ – внутрішній діаметр прокладки, м.

НУБІП УКРАЇНИ

Коефіцієнт тертя полімерних матеріалів має подвійну молекулярно-механічну природу та включає складові, обумовлені втратами на подолання міжмолекулярних зв'язків та втратами при деформуванні та навіть руйнуванні поверхонь мікронерівностей [49...51].

У роботах [25, 52, 53] зазначено, що коефіцієнт тертя f полімерних

матеріалів включає адгезійну $f_{\text{АДГ}}$ і гістерезисну $f_{\text{ГІСТ}}$ складові:

$$f = f_{\text{АДГ}} + f_{\text{ГІСТ}} \quad (2.45)$$

Адгезійна складова:

$$f_{\text{АДГ}} = k_{\text{ТР}} \frac{E'}{q} \text{tg} \delta \quad (2.46)$$

НУБІП УКРАЇНИ

де $k_{\text{ТР}}$ – константа, яка залежить від умов тертя;

E' – динамічний модуль пружності (відношення компоненти напруги до компонента деформації);

q – контактний тиск, МПа;

$\text{tg} \delta$ – тангенс кута механічних втрат.

НУБІП УКРАЇНИ

r – показник ступеня.

НУБІП України

Гістерезисна складова

$$f_{ГСТ} = k_{Г} \left(\frac{q}{E'} \right)^n \operatorname{tg} \delta, \quad (2.47)$$

де $k_{Г}$ - константа, яка залежить від матеріалу ущільнювача.

n - показник ступеня.

Результуючий вираз для коефіцієнта тертя матиме вигляд:

$$f = \left[k_{Г} \left(\frac{q}{E'} \right)^n + k_{ТР} \frac{E'}{q'} \right] \operatorname{tg} \delta. \quad (2.48)$$

Відомо, що анаеробні та силіконові герметики мають набагато більшу адгезію до поверхні фланців, ніж традиційні ущільнювачі. Тому для розрахунку сили тертя герметиків до поверхні фланців прийнятне рівняння, в якому враховується адгезійна складова як окремий компонент [48, 54]:

$$P_{Г} = A + fP_{A}, \quad (2.49)$$

Адгезійну складову коректніше визначати по иктомій роботі адгезійного руйнування склеювання [55] з виразу:

$$A = \psi(S, nt_1, U_1), \quad (2.50)$$

де S - площа поверхні контакту, м;

nt_1 - число зв'язків i -го типу на одиницю поверхні, що встановилося на час початку руйнування;

U_1 - енергія одного адгезійного зв'язку i -го типу, Дж.

Таким чином, герметизуюча здатність НФЗ з ущільнювачем зростає зі збільшенням сили стиснення прокладки, її пружних властивостей, коефіцієнта тертя та адгезії до поверхні фланця.

2.3 Довговічність нерухомих фланцевих з'єднань з ущільнювачами

з герметиків

При експлуатації в матеріалі ущільнювача проходить релаксаційні процеси, які призводять до погіршення його герметизуючих властивостей.

Релаксаційними називаються процеси встановлення статистичної рівноваги у фізичній системі, швидкість якого пов'язана з ймовірністю переходу системи з одного стану рівноваги в інший. Ймовірність переходу розраховують згідно з рівнянням Больцмана [81]. Величину, обернену цієї ймовірності [25] називають часом релаксації процесу (τ' , с):

$$\tau' = \tau_0 e^{\frac{U}{RT'}}, \quad (2.51)$$

де τ_0 - період коливання атомів, рівний 10^{-3} с.
Внаслідок релаксаційних процесів контактний тиск (p'_{K_0}) змінюється відповідно до виразу [49]:

$$p'_{K_0} = (p_{K_0} - p_{K_\infty}) e^{-t/\tau'} + p_{K_\infty}, \quad (2.52)$$

де p_{K_∞} - контактний тиск при рівноважному стані, Па.
Контактний тиск в результаті фізичного процесу релаксації напруги ущільнювача спочатку швидко зменшується до p'_{K_0} , потім відбувається повільний процес зниження тиску внаслідок старіння матеріалу, що триває кілька років [82].

Старіння полімерів - сукупність фізико-хімічних процесів, що протікають у матеріалі при зберіганні, переробці та експлуатації, і що призводять до зміни його властивостей, зростання локальних напруг, виникнення мікротріщин і зрізів, вимивання компонентів, деградації полімерного матеріалу [62]. Зростання таких змін залежить від часу експлуатації та зберігання ущільнювачів. Процес старіння матеріалів визначається впливом різних факторів, що постійно діє з яких є теплова енергія. У динамічних умовах діють механічна енергія деформації та хвильова механічна енергія, що виникає при вібрації. В результаті відбувається зміна характеристик міцності матеріалу, в ущільнювачі виникають і накопичуються

НУБІП УКРАЇНИ

пошкодження) - мікро- і макротріщини, що знижують його герметизуючі властивості [45].

Для опису механізму старіння застосовують поняття енергії активації U процесів. Це надмірна енергія макромолекули, коли він перебуває у активному стані і здатна вступати у хімічну реакцію.

НУБІП УКРАЇНИ

Одним із переважних факторів, що впливають на час старіння полімерного матеріалу, є температурний режим його експлуатації.

Середня температура експлуатації об'єкта становить [85]:

$$T' = T_0 + \Delta T', \quad (2.53)$$

де T_0 - температура навколишнього середовища (визначається за ГОСТ 16350-80 [86] залежно від кліматичного району експлуатації об'єкта), К;

$\Delta T'$ - температура, що враховує місцевий перегрів вузла, К.

На швидкість старіння ущільнень крім температурних впливів значний вплив мають динамічні навантаження, агресивні середовища та радіаційне випромінювання. З точки зору молекулярно-кінетичної активаційної теорії довговічність матеріалу пов'язана з температурою та напругою рівнянням

НУБІП УКРАЇНИ

Журкова [87, 88]:

$$t_p = t_0 e^{\frac{U - \gamma \sigma}{RT'}}, \quad (2.54)$$

де $t_0 \approx (10^{-2} \dots 10^{-13})$ - період коливань ковалентного зв'язку в полімері, с;

γ - елементарний активаційний об'єм, м³/моль;

σ - напруга в матеріалі ущільнювача, Па.

Вираз (2.92) справедливо для більшості полімерів, структура яких змінюється у процесі деформації. Для еластомерів справедлива термофлуктуаційна теорія, відповідно до якої довговічність матеріалу пов'язана з температурою та напругою рівнянням Бартенєва:

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

$$t_p = \frac{aT'}{\sigma} e^{\frac{U-\gamma\sigma}{RT'}} \quad (2.55)$$

де a – комплекс молекулярних параметрів.

Старіння ущільнювача можна оцінити порівнянням його фізико-механічних параметрів до випробувань з початковими значеннями. Найбільш точною є методика прогнозування термінів експлуатації та зберігання полімерних ущільнювачів на підставі експериментального визначення залишкової деформації зразків, що випробовуються [63].

Зменшення контактного тиску (p_K) у процесі старіння описується рівнянням:

$$p_K = p'_{K_0} e^{-K\tau} \quad (2.56)$$

де K - константа швидкості старіння; τ - час старіння, год.

τ - час старіння, год

Енергія активації U і константа швидкості старіння K мають узагальнений характер, інтегрально відбиваючи безліч процесів, що відбуваються при старінні. Константа швидкості старіння залежить від температури і визначається за рівнянням Арреніуса [66]:

$$K = Ae^{-U/RT'} \quad (2.57)$$

де A - постійна, яка залежить від природи матеріалу, c^{-1} .

З виразу (2.95) слід, що більше енергія активації, тим менше константа швидкості старіння.

Співвідношення між зміною контактного тиску $F(p'_{K_0}/p_K)$ часом t

температурою T' описується рівнянням:

$$\ln t = F \left(\frac{p'_{K_0}}{p_K} \right) + \frac{1}{T'} \frac{U}{RT'} \quad (2.58)$$

Це співвідношення використовується для побудови лінійних номограм

д координатах $\ln t - 1/T'$ при p'_{K_0} / p_K

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Експериментальне визначення p_K пов'язане зі значними труднощами, тому замість p'_{K0} / p_K використовують величину накопиченої відносної залишкової деформації $\varepsilon_{OCT}, \%$

НУБІП УКРАЇНИ

$$\varepsilon_{OCT} = \frac{(h_0 - h_2)}{(h_0 - h_1)} \cdot 100\%, \quad (2.59)$$

де h_0 - товщина ущільнювача до деформації, м;

h_1 - товщина ущільнювача при деформації під навантаженням м;

h_2 - товщина ущільнювача після розвантаження, м.

НУБІП УКРАЇНИ

Відношення часу t_{i+1} / t_i досягнення певної величини p'_{K0} / p_K або ε_{OCT} при температурах T'_i і T'_{i+1} :

$$\frac{t_i}{t_{i+1}} = \frac{K_i}{K_{i+1}} = e^{\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T'_i} - \frac{1}{T'_{i+1}} \right)}. \quad (2.60)$$

НУБІП УКРАЇНИ

Відповідно до ГОСТ 9.713-86 [290] енергія активації в інтервалі температур $T'_i \dots T'_{i+1}$ визначається за виразом:

$$U_i = 4,6 \frac{T'_i \cdot T'_{i+1}}{T'_i - T'_{i+1}} \lg \frac{t_i}{t_{i+1}}. \quad (2.61)$$

НУБІП УКРАЇНИ

Криві падіння напруг та накопичення залишкової деформації при старінні полімерів у різних умовах є дзеркальним відображенням один одного [81, 91]. У зв'язку з цим на номограмі (рисунок 2.1) прямі, відповідні

$F(p'_{K0} / p_K) = const$ замінені прямими, відповідними $\varepsilon_{OCT} = const$.

НУБІП УКРАЇНИ

Для побудови номограми визначають величину відносної накопиченої залишкової деформації ε_{OCT} залежно від часу старіння, не менше ніж для трьох температур, наприклад 323, 343 і 363К (рисунок 2.2), і для кожного інтервалу відповідно до ГОСТ 9.029-74 [46] підраховують енергію активації.

НУБІП УКРАЇНИ

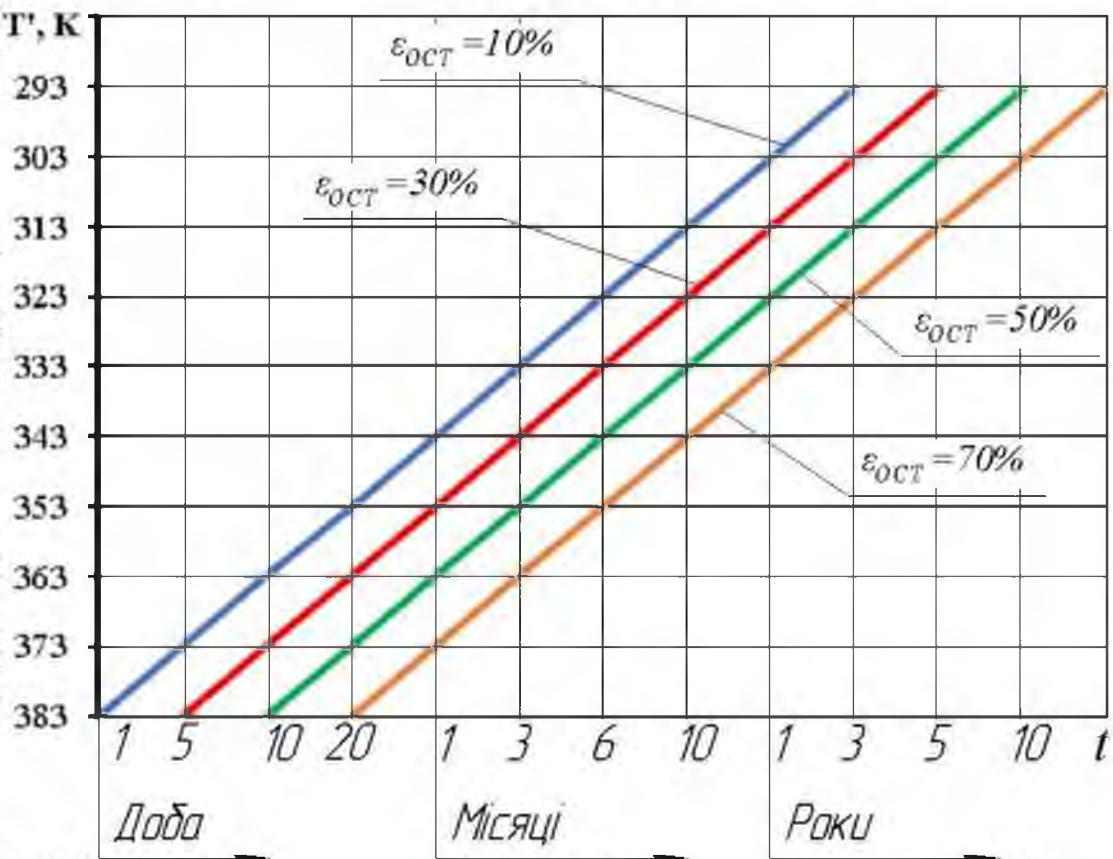


Рисунок 2.1 - Номграма визначення часу накопичення заданої залишкової деформації від температури

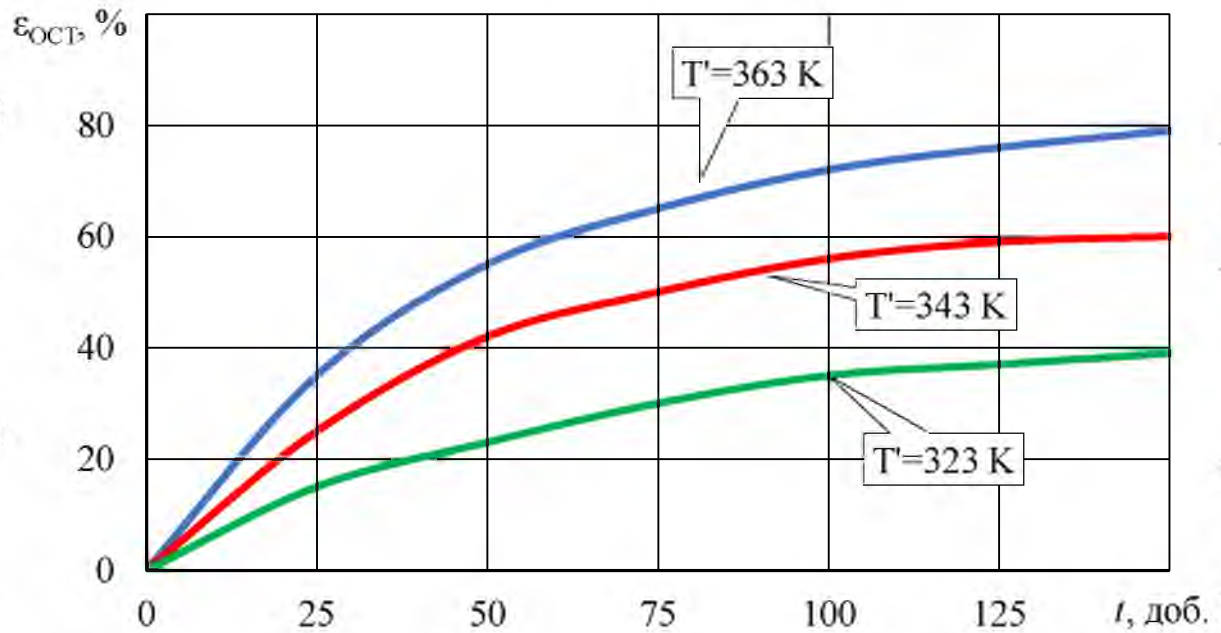


Рисунок 2.2 - Кінетичні криві накопичення залишкової деформації

НУБІП України

Для більшої зручності час старіння ущільнювача розраховують за сумісною кривою (рисунок 2.3), на якому по осі абсцис відкладені масштаби часу для різних інтервалів температур, а по осі ординат відносна залишкова

НУБІП України

деформація $\epsilon_{ост}$. Сумішену криву залежності $\Delta T'$ від t будують для кожної марки ущільнювача. Граничним значенням $\epsilon_{ост}$ при якому припиняється експлуатація ущільнень, $\epsilon_{кр} = 80\%$ [92]. У той же час у роботах [63, 70, 93] наводяться дані, згідно з якими герметичність фланцевих з'єднань зберігалася навіть при $\epsilon_{ост} = 80\%$ в умовах адгезійної взаємодії ущільнювача з металом..

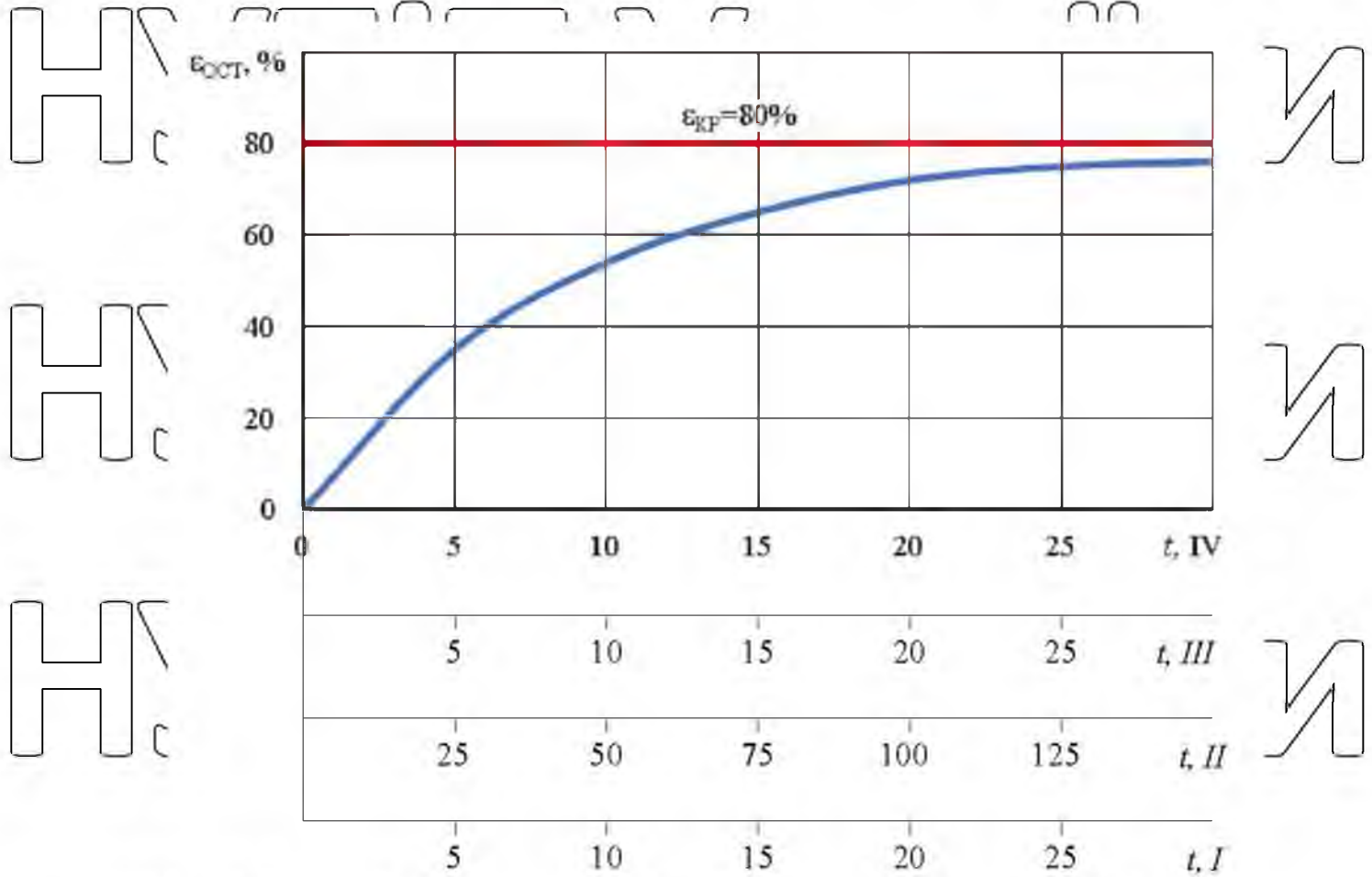


Рисунок 2.3 – Поєднана крива накопичення залишкової деформації:
I – доба при 383 К; II – доба при 343 К;
III – місяці при 323 К; IV – роки при 298 К

Контактний тиск на поверхні фланців при низьких температурах, $p_{км}$, Па

може знижуватися до значення, яке з умови забезпечення герметичності приблизно становить 0,1 МПа [66, 94] і розраховується за формулою:

НУБІП України

НУБІП України

$$p_{KM} = p_K K_B \quad (2.62)$$

де $K_B = 0,2 \dots 0,3$ - коефіцієнт відновлення полімеру.

Для зручності розрахунків визначають еквівалентну температуру $T'_{екв}$,

при якій старіння протягом року призводить до такої зміни властивостей матеріалу, як і в реальних умовах експлуатації.

$$T'_{екв} = \frac{U_{CP}}{\lg \sum P(t) e^{-U_i/RT'_i}} \quad (2.63)$$

де U_{CP} і U_i - енергія активації відповідно середня та в інтервалі температур $T'_i - T'_{i-1}$;

$P(t)$ - ймовірність появи температури T'_i протягом року.

Внаслідок механічних впливів прискорюються процеси старіння ущільнювача [65, 96], що можна врахувати, ввівши коефіцієнт (K_σ), величина якого зменшується від 1,0 до 0,6 при зміні характеру навантажень від статичних до ударних в поєднанні з вібраційними. В результаті мінімальний контактний тиск на поверхні фланців повинен становити не менше:

$$p_{Kmin} = \frac{p_{KM} K_S}{K_B K_\sigma} \quad (2.64)$$

де $K_S = 1,5$ - коефіцієнт запасу, що враховує розкид параметрів ущільнень.

При зниженні контактного тиску до величини, меншої, ніж p_{Kmin} відбувається розгерметизація фланцевого з'єднання. Тому за величиною p_{Kmin} можна будувати висновки про термін його експлуатації.

При цьому розрахункове значення відносної накопиченої залишкової деформації до кінця експлуатації складатиме:

$$\varepsilon_{ост} = 1 - \frac{p_{Kmin}}{p'_{K0}} \quad (2.65)$$

НУБІП України

НУБІП України

Знайшовши $\varepsilon_{ост}$ по суміщеній кінетичній кривій (рисунок 2.11), визначають гарантований час експлуатації ущільнення.

Висновки за розділом 2

Герметичність нерухомих фланцевих з'єднань за відсутності ущільнювачів забезпечується мінімізацією розмірів мікроканалів за рахунок створення контактного високого тиску на поверхні фланців. Для повного запобігання витoku робочого середовища слід використовувати проміжні ущільнювальні елементи з невеликим модулем пружності.

Герметизуюча здатність ущільнювача прямо пропорційно залежить від його деформаційних властивостей, модуля пружності, ширини, коефіцієнтів тертя та адгезії до поверхонь фланців, сили стиснення і обернено пропорційно - від його товщини та внутрішнього діаметра.

Для зменшення витоків робочих рідин внаслідок дифузійного проникнення через ущільнювач слід використовувати герметики з меншим ступенем набухання та енергією активації. Зі збільшенням температури, зіткнення з робочими рідинами і зменшенням ширини ущільнювача дифузійна проникність зростає, що необхідно враховувати при проектуванні фланцевих з'єднань з герметиками.

В результаті отриманих теоретичних залежностей визначено мінімальну товщину шару герметика, при якій контактні тиски на поверхні фланців будуть знаходитися в межах його пружності. Встановлено, що зі збільшенням товщини та модуля пружності герметика зростають його властивості міцності, а відповідно і довговічність фланцевого з'єднання.

Термін експлуатації та зберігання ущільнювача визначається швидкістю старіння, яка залежить від температури експлуатації, енергії активації, механічної енергії деформації та тертя, хвильової механічної енергії та константи швидкості старіння. За гарантований термін приймається час, коли залишкова деформація ущільнювача збільшується до 80 % і контактний тиск на поверхні фланців досягає свого мінімального значення.

НУБІП України

ГЛАВА 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Загальна програма дослідження

На підставі вивчення стану проблеми та теоретичних передумов відповідно до поставлених завдань розроблено програму, загальну та приватні методики досліджень.

Програма досліджень передбачає:

- дослідження герметичності НФЗ із прокладками з герметиків, нанокomпозицій на їх основі та традиційних матеріалів;
- дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості герметиків та нанокomпозицій;
- дослідження робочих температур ущільнювальних вузлів автотракторної техніки;
- дослідження коефіцієнтів теплопровідності та теплового розширення, а також адгезійної міцності герметиків та нанокomпозицій;
- дослідження фреттинг-стійкості НФЗ з прокладками з герметиків та нанокomпозицій
- дослідження стійкості герметиків та нанокomпозицій до РШ;
- дослідження стійкості НФЗ з прокладками з герметиків та нанокomпозицій до вібрації та старіння;
- дослідження та аналіз напоструктури герметиків та нанокomпозицій;
- визначення технологічних режимів та розроблення технологічного процесу герметизації НФЗ;
- проведення експлуатаційних випробувань НФЗ, запровадження розробленої технології герметизації на ремонтних підприємствах сільського господарства та розрахунок економічного ефекту.

Для виконання програми експериментальних досліджень розроблено загальну методику досліджень, представлену на рисунку 3.1.

НУБІП України

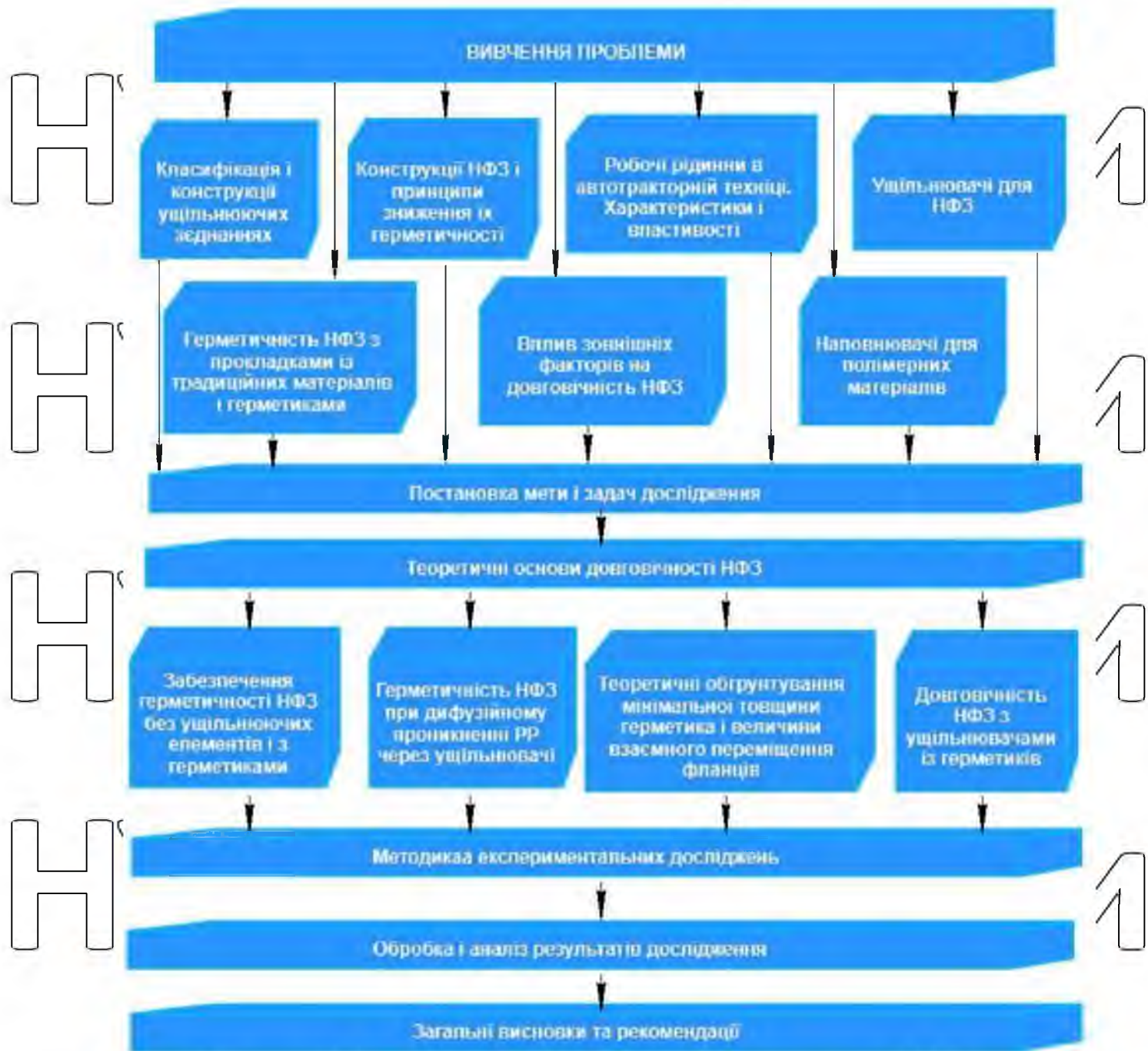


Рисунок 3.1 – Загальна схема досліджень

Під час обробки експериментальних даних використовували комп'ютерну програму Microsoft Excel [97]. Оптимізація досліджень виконана відповідно до теорії планування експериментів, теорії ймовірності та

математичної статистики. При цьому використовували комп'ютерну систему планування експерименту STATGRAPHICS Plus 5.1, за допомогою якої було

обрано оптимальні плани проведення експериментів, зроблено факторний аналіз експериментальних даних та отримано оптимальний склад наноконпозицій. Під час оформлення роботи використовувалися комп'ютерні програми Word [98], Компас-графік LT [99], Corel Draw [100].

3.2 Вибір та коротка характеристика об'єктів дослідження

Аналіз показав, що для герметизації НФЗ, що контактують з водою, тосолом, гальмівною рідиною та моторним маслом використовуються силіконові герметики, а для герметизації сполук, що контактують з бензином та дизельним паливом - анаеробні. Вітчизняні виробники для герметизації

НФЗ тракторів та автомобілів широко використовують силіконові герметики Автогерметик, Автогермесил, та анаеробні – Анатерм-501 та Анатерм-505.

Автовиробники технічно розвинених країн світу найбільше часто використовують продукцію міжнародної компанії Loctite, яка входить до складу корпорації Henkel Group. Фірма Loctite випускає продукцію преміум класу, яка проходить 100 % контроль якості. Герметики цієї фірми застосовують практично всі дилерські станції з ремонту та технічного обслуговування імпортованих технічних засобів у Росії.

На сьогоднішній день гостро стоїть питання щодо впровадження у ремонтній сфері наноконпозиційних матеріалів та технологій, які приходять на зміну традиційним методам ремонту деталей, вузлів та механізмів.

Зарубіжною та вітчизняною промисловістю випускається досить широкий спектр нанонаповнювачів: наночастинки та нанопорошки металів та оксидів металів, вуглецеві нанотрубки, керамічні наночастинки, фулерени, ультрадисперсні алмази [199]. Найбільш поширеними та доступними є

вуглецеві нанотрубки, а також наночастинки та нанопорошки металів та оксидів металів.

Тому об'єктами досліджень служили НФЗ з прокладками з анаеробних герметиків Анатерм-501 і Loctite -518, силіконових герметиків Автогерметик, Автогермесил, Loctite -598 і Loctite -5920, нанокмпозицій на основі герметиків А наноструктур (НС) та вуглецевими нанотрубками (ВН), а також покриття, полімеризовані на балочках і сталевих дисках діаметром 30 мм, плівки розмірами 0,2x50x50 мм, 0,5x10x100 мм, виготовлені з вищеназваних герметиків та нанокмпозицій.

3.3 Методика змішування герметиків та нанонаповнювачів в ультразвуковому полі

При механічному змішуванні герметиків з наночастинками, останні завдяки високій поверхневій енергії мають велику можливість агрегуватися один з одним або з іншими частинками, що призводить до утворення досить великих грудок, які складно роз'єднати. Це створює умови для отримання композиційних наноматеріалів із властивостями, відмінними від тих, які від них очікували.

Вплив ультразвукового поля забезпечує появу однорідної композиції. Ультразвук являє собою хвилеподібний коливальний рух частинок середовища, що поширюється, і характеризується рядом відмінних особливостей порівняно з коливаннями чутого діапазону. У ультразвуковому діапазоні частот порівняно легко одержати спрямоване випромінювання; ультразвукові коливання добре піддаються фокусуванню, внаслідок чого підвищується їх інтенсивність у певних зонах впливу.

Для отримання кращої дисперсії частинок відразу після змішування герметиків з нанонаповнювачами композицію обробляли ультразвуковим полем протягом 60 с. Для цього використовувалася ванна УЗВ-12 з магнітострикційним випромінювачем, що перетворює енергію магнітного поля в механічні коливання ультразвукової частоти (рисунок 3.20). Джерелом

НУБІП України

живлення перетворювача служить ультразвуковий генератор ГУ-300-1 (рисунок 3.3) із частотою 22 кГц.

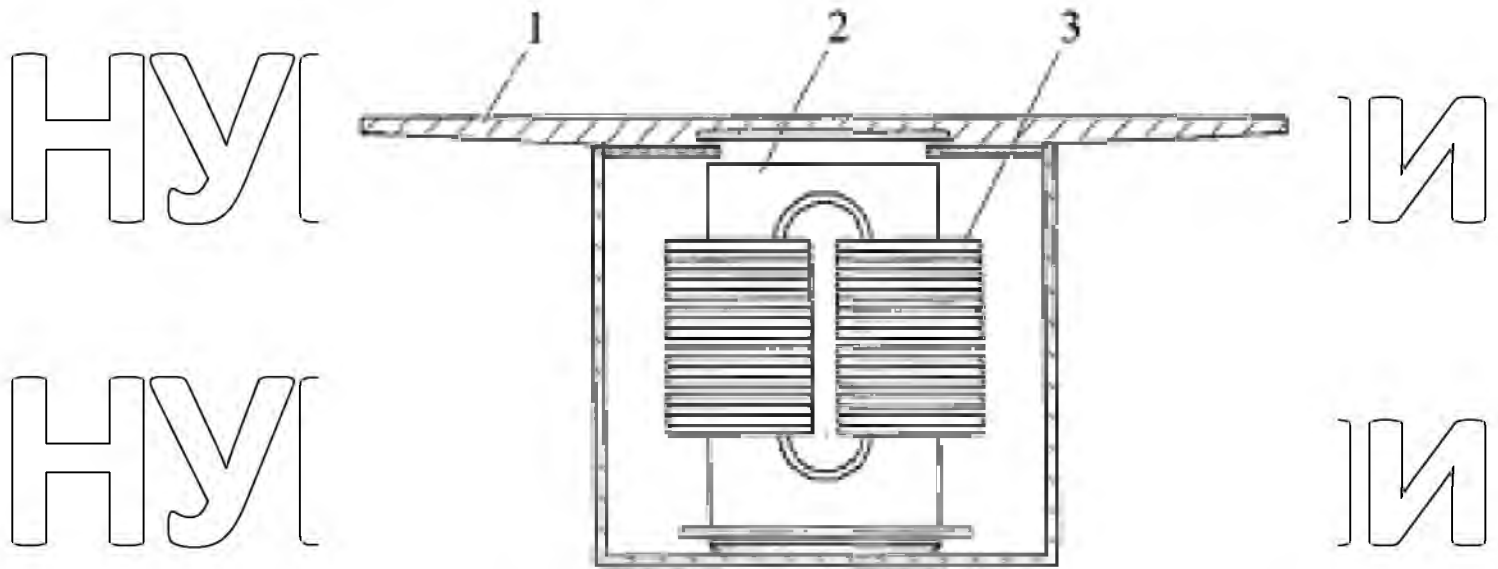


Рисунок 3.2 - Плоский магнітострикційний випромінювач:

1 - діафрагма; 2 - пакет пластин; 3 - обмотка пакету

НУБІП України

Магнітострикційні випромінювачі є вібраційними пристроями, що складаються з магнітопроводу, виготовленого з тонких ізольованих один від одного пластин товщиною 0,1...0,3 мм, покритих нікелем. При пропусненні по

НУБІП України

обмотці змінного струму відповідної частоти виникає магнітне поле і відбувається деформація магнітопроводу його поздовжньої осі. Утворюються ультразвукові коливання, розмах яких збільшується, коли випромінювач працює в умовах резонансу збуджуваних частот та власних коливань стрижня.

НУБІП України

У процесі обробки композиції ультразвукові хвилі, що проникають у неї, викликають змінні цикли стиснення та розрядження, ступінь яких залежить від частоти ультразвуку. Внаслідок цього процесу наночастки рівномірно розподіляються в композиції.

НУБІП України



Рисунок 3.3 - Ультразвуковий генератор ТУ-300-1

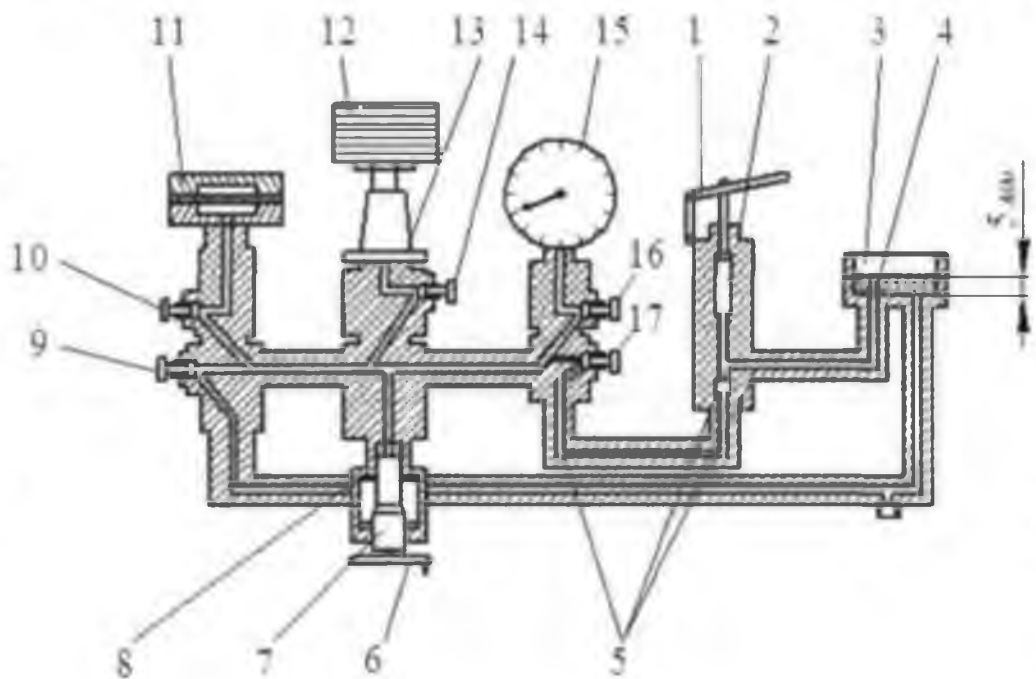
Після обробки ультразвуком готова композиція одразу наносилася на підготовлену поверхню зразків.

3.4 Методика дослідження герметичності нерухомих фланцевих з'єднань

Герметизуючу здатність прокладок досліджували на установці, загальний вигляд (а) та схема (б) якої показано на рисунку 3.4. Установа складається з манометра вантажопоршневого типу МП-600, гідропресу, вимірювальної колонки та фланцевого з'єднання.

Фланцеве з'єднання 11 встановлювали на місце манометра, що випробовується, вимірювальну колонку відключали перекриттям вентиля 14.

Бачок 3 заповнювали моторним маслом так, щоб його рівень був вище фільтра 4 на 5... 10 мм.



б

Рисунок 3.4 - Загальний вигляд (а) та схема (б) установки для дослідження герметизуючої здатності прокладок з герметиків

1 - важіль, 2 - насос, 3 - бачок, 4 - фільтр, 5 - кулька, 6 - маховик, 7 - гвинт; 8 - шток поршня; 9, 10, 14, 16, 17 - запірний вентиль; 11 - фланцеве з'єднання з прокладкою; 12 - гирі; 13 - шток поршня; 15 - манометр

НУБІП України

Для видалення повітря з гідравлічної системи установки відвертали напрямну плунжера насоса 2, розшпінтовували і виймали важіль 1,

послаблювали гайку сальникового ущільнення плунжера, виймали плунжер,

заливали масло в отвір гайки сальникового ущільнення, сальникового ущільнення, вставляли важіль з віссю і зашпінтовували.

НУБІП України

Після закриття вентиля 9 і відкритих вентилям 16 і 17 обертанням маховика 6 проти стрілки годинника виводили гвинт 7 в крайнє положення.

Ручним насосом 2 з внутрішніх порожнин установки витісняли повітря і створювали тиск в системі не більше 5 МПа. Потім закривали вентиль 17 і

НУБІП України

обертанням маховика 6 за годинниковою стрілкою поршнем 8 створювали тиск у системі до пробної прокладки фланцевого з'єднання 11. Максимальний робочий тиск, що створюється на установці, становив 60 МПа [124].

Герметизуючу здатність прокладок визначали на фланцевих з'єднаннях з шириною фланця 10 мм, внутрішнім діаметром 70 і зовнішнім 90 мм [149], загальний вигляд одного з яких показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Загальний вид фланцевого з'єднання

На поверхню нижнього або одночасно нижнього і верхнього фланців наносили анаеробні ущільнювачі Анатерм-501 і Loctite -518. Силіконові

НУБІП України

НУБІП України

герметики Автогерметик, Автогермесил, Loctite -598, Loctite -5920, а також композиції з вищеназваних.

Для визначення впливу підготовки поверхні на здатність герметизувати прокладок поверхні фланців перед нанесенням герметика механічно очищали, промивали розчином синтетичного миючого засобу МС-37, знежирювали ацетоном або залишали замасленими.

З метою встановлення впливу ступеня полімеризації ущільнювачів на їх герметизуючі властивості фланці з нанесеними покриттями витримували певний час у розібраному вигляді при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Контактний тиск на ущільнювач створювали шістьма болтами М12х1,75 мм з моментом затягування від 10 до 70 Нм. Контроль затягування проводили за показаннями динамометричного ключа. В результаті зміни

затягування та використання з'єднань з різною шириною фланців контактний тиск на ущільнювач змінювали від 10 до 90 МПа. Товщину прокладок регулювали за допомогою сталевих щупів при постійному моменті затягування болтів 50 Нм.

З метою визначення впливу температури на герметизуючу здатність герметиків та наноконпозицій фланцеве з'єднання після збирання та витримки до повної їх полімеризації, заповнювали моторним маслом і нагрівали в сушильно-стерилізаційній шафі ШСС-80п протягом 1 год. Температуру змінювали від $+40$ до $+0$.

Зібране та заповнене моторним маслом фланцеве з'єднання 1Г (рисунок 3.4) монтували на установці, підвищували тиск, що визначається за манометром 15, до пробою прокладки та за його величиною оцінювали герметизуючу здатність.

Використовувані у дослідях фланцеві сполуки мали товщину фланців 20 мм. При зовнішньому діаметрі 90 мм вони затягувалися шістьма болтами М12х1,75 мм. Такі з'єднання можна вважати абсолютно жорсткими, хоча в с.-г. техніці вони зустрічаються дуже рідко. Більшість фланцевих з'єднань машин мають значно меншу жорсткість. Тому для визначення впливу жорсткості

НУБІП України

НФЗ на герметизуючу здатність прокладок з герметиків та інших матеріалів були проведені дослиди на кришці клапанів двигуна Д-37М.

Замість головки циліндра двигуна було виготовлено сталеву плиту товщиною 12 мм, на яку встановлювали кришку клапанів. Контактний тиск на прокладку між плитою та кришкою клапанів створювали затяжкою гайок двох шпильок М10, передбачених конструкцією цих двигунів. Як матеріали прокладок використовували традиційні прокладки, досліджувані герметики та нанокмпозиції на їх основі. Момент затягування гайок змінювали від 10 до 50 Нм. Зібраний пристрій заповнювали моторним маслом і на установці визначали тиск пробою прокладки при температурі +20 °С.

НУБІП України

3.5 Методика дослідження деформаційних властивостей герметиків

Деформаційні властивості анаеробних та силіконових герметиків, а також нанокмпозицій на їх основі досліджували на модернізованому твердомірі типу ТП [134], загальний вигляд та кінематична схема якого показані на рисунках 3.6 та 3.7.

Покриття термообробляли в сушильно-стерилізаційній шафі ШСС-80п з діапазоном температур, що автоматично підтримуються в робочій камері від +50 до +200 °С. Похибка стабілізації температури в опорній точці робочої камери в режимі, що встановився, при +50 °С становила не більше 5 °С.

Твердомір забезпечений циліндричним або кульковим індентором 1, індикаторною голівкою 9, масляною ванною 2, а також системою нагрівання та регулювання температури з електроконтактним термометром 12.

НУБІП України



Рисунок 3.6 – Загальний вид модернізованого твердоміра типу ТП

В якості зразків для дослідження деформаційних властивостей використовували сталеві циліндричні диски діаметром 30 і висотою 5 мм з покриттями з вищеназваних матеріалів товщиною 100 мкм. Покриття із силіконових герметиків та композицій на їх основі отримували шляхом нанесення на сталеві диски та витримки на повітрі, а з анаеробним герметиків та композицій на їх основі - шляхом полімеризації між двома сталевими дисками, на поверхню одного з яких наносили моторне масло. Час витримки нанесених покриттів за температури $+20^{\circ}\text{C}$ змінювалося від 0,5 до 36 год.

Зразок з покриттям товщиною 100 мкм встановлювали на опорному столі, який за допомогою маховика 5 і гвинта 6 піднімали до зіткнення нанесеного шару (прокладки) з індентором 1, закріпленому в шпинделі 7.

Момент зіткнення індентора з прокладкою визначали по загоряння сигнальної лампочки 8.

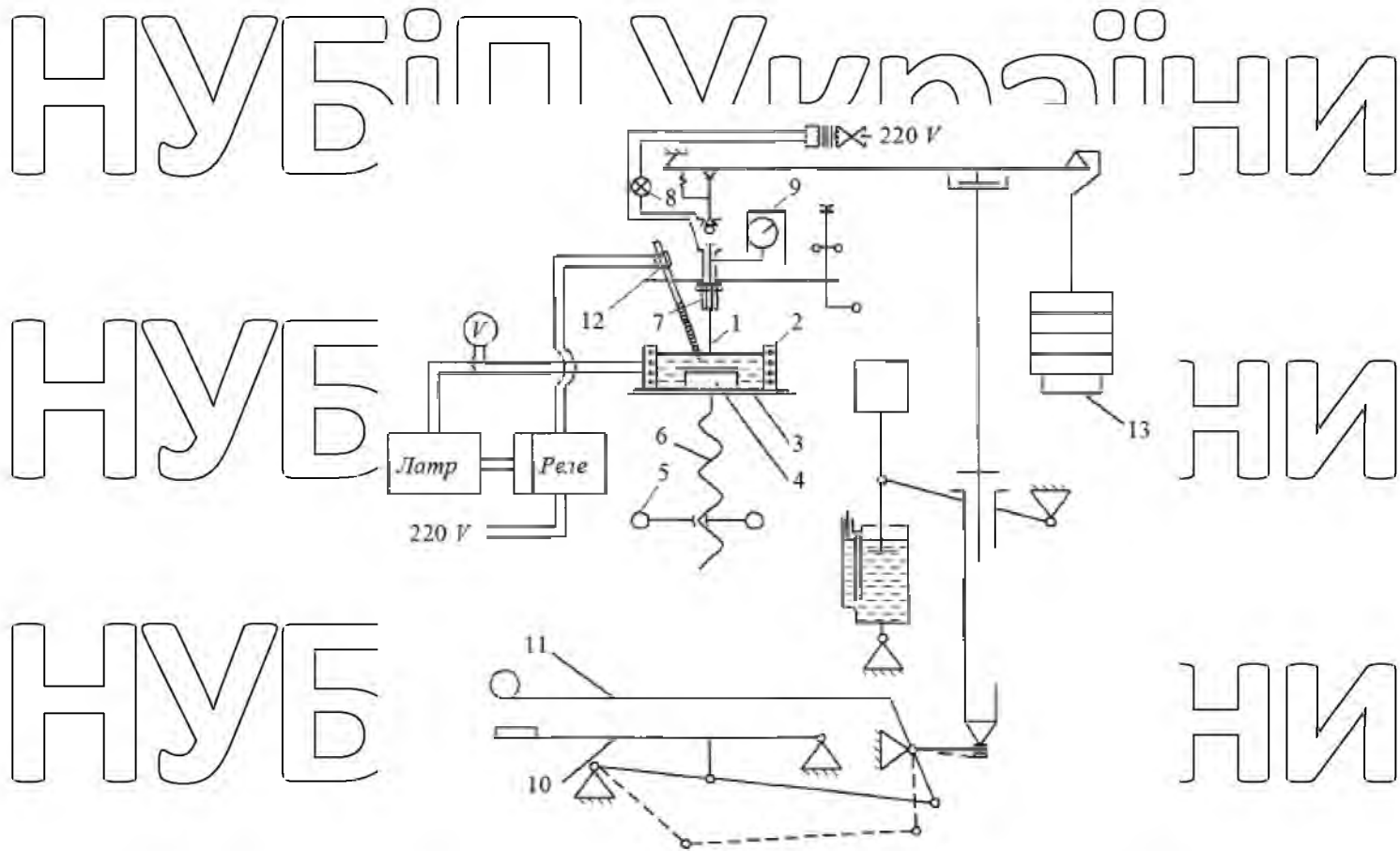


Рисунок 3.7 – Кінематична схема модернізованого твердоміра типу ТП:

- 1 – індентор; 2 – ванна; 3 – стіл; 4 – зразок; 5 – маховик; 6 – гвинт;
 7 – шпindel; 8 – лампочка; 9 – індикаторна голівка; 10 – педаль;
 11 – рукоятка; 12 – електроконтактний термометр; 13 – вантажі

Рукояткою 11 зводили механізм вантажного приводу, натискали на важіль спуску 10 і по секундоміру відраховували час застосування навантаження. За допомогою індикаторної голівки МІГ-1М з цною розподілу 0,001 мм, змонтованої на станині приладу і спирається на важіль, з'єднаний зі шпindelем 7, визначали товщину покриття до навантаження та в момент зняття навантаження. Час навантаження, яке становило 60 с, заміряли по секундоміру. Тиск 10 МПа на циліндричний індентор створювали за допомогою вантажів. Схема деформування нанесеного шару (прокладки) циліндричним індентором показана на рисунку 3.8.

Загальну деформацію визначаємо за рівнянням:

$$\Delta_0 = h_0 - h_1, \quad (3.1)$$

НУБІП УКРАЇНИ

де h_0, h_1 - товщина покриття до навантаження та під навантаженням, мкм.

Залишкова (необоротна) деформація:

$$\Delta_1 = h_0 - h_2, \quad (3.2)$$

де h_2 - товщина покриття після зняття навантаження.

Високоеластична (оборотна) деформація:

$$\Delta_2 = h_2 - h_1, \quad (3.3)$$

Результати дослідження деформаційних властивостей герметиків та нанокompозицій на їх основі порівнювали з аналогічними властивостями досліджених раніше у роботі [24] силіконових герметиків вітчизняного виробництва.

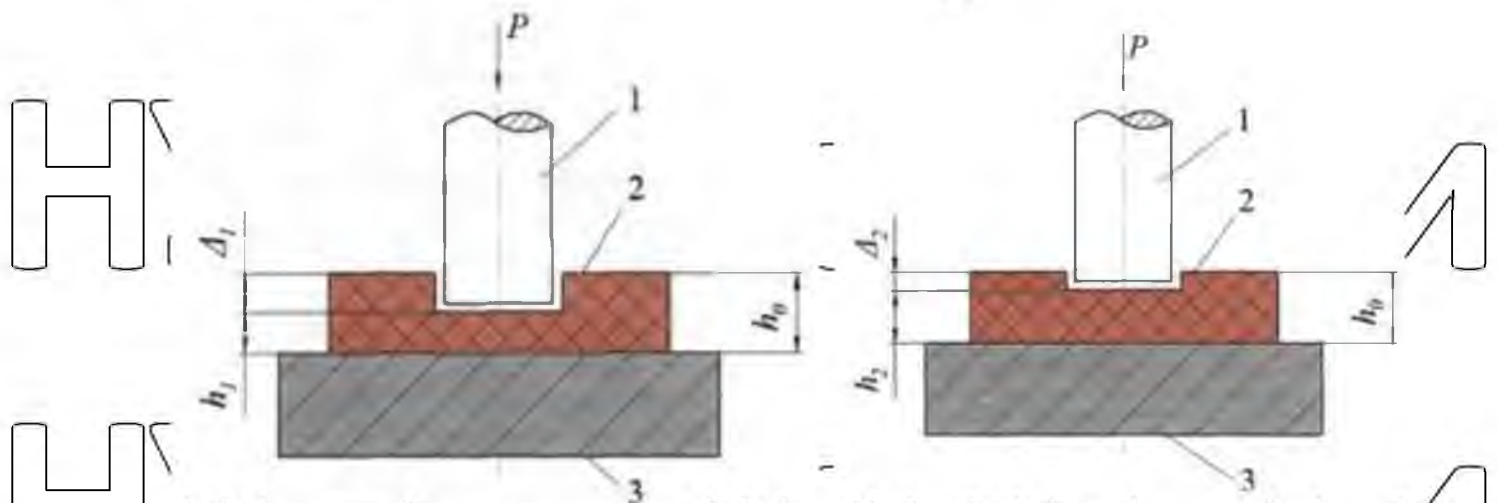


Рисунок 3.8 - Схема виміру деформації полімерного покриття під час навантаження (а) та після зняття навантаження (б) при дослідженні деформаційних властивостей:

1 - індентор; 2 - полімерне покриття; 3 - підкладка

Особливістю полімерних матеріалів, у тому числі і герметиків, є їх здатність пластично деформуватися в часі при дії постійних навантажень. Це явище отримало назву повзучості [82, 84], в результаті якої відбувається релаксація ущільнювача - повільне зменшення напружень за його постійної

деформації. Зниження напруги в ущільнювачі тягне зменшення контактного тиску, що є основним параметром, що визначає герметичність фланцевого з'єднання. Повзучість герметиків та нанокмпозицій на їх основі товщиною 200 мкм досліджували на модернізованому твердомірі (рисунок 3.6), створюючи протягом 120 годин тиск 10 МПа на циліндричний індентор діаметром 10 мм [124].

3.6 Методика дослідження робочих температур ущільнювальних вузлів автотракторної техніки

У автомобілях та тракторах налічується понад 200 НФЗ, кожне з них працює в умовах різних температур, діапазон яких коливається в помірній кліматичній зоні від -40 до +350 °С. Тим не менш, у літературних джерелах є лише відомості про температурні режими роботи вузлів та механізмів, дані про робочі температури НФЗ відсутні.

Для проведення досліджень використовували легковий автомобіль ГАЗ-3110, вантажний автомобіль КамАЗ-53215, трактори ВТЗ-2032, МТЗ-82.1 та John Deere-6920, а також двигун BRIGGS & STRATTON-DM950DT.

Дослідження здійснювалися за допомогою інфрачервоного термометра Optis MS (MiniSight) та тепловізора Fluke Li32 (рисунок 3.9). Інфрачервоний термометр (пірометр) має прецизійну оптику для точного неконтактного вимірювання температури у діапазоні від -32 до +420 °С. Прилад забезпечує вимірювання температури об'єкта на будь-якій відстані менше 140 мм з похибкою не більше 1 °С. Сутність методу безконтактного визначення температури ось у чому. Інтенсивність інфрачервоного випромінювання, що випускається будь-яким нагрітим об'єктом, залежить від його температури та випромінювальних властивостей поверхні матеріалу. На приладі встановлено коефіцієнт випромінювання, характерний для полімерних матеріалів, рівний 0,95. Він характеризує досліджуваний матеріал, і визначає здатність тіла випромінювати інфрачервоне випромінювання - випромінювальну здатність.

НУБІП України

Температуру визначати на встановлених режимах роботи трактора та автомобіля.



Рисунок 3.9 – Прилади для визначення температури вузлів та агрегатів

автотракторної техніки: а – інфрачервоний термометр (пірометр) Opttris MS (MiniSight); б – тепловізор Fluke Ti32

НУБІП України

Тепловізор Fluke Ti32 є матричний приймач випромінювання з роздільною здатністю 320x240 елементів, що забезпечує чітке зображення в діапазоні температур від -20 до +600 °С. Похибка вимірювання приладу при температурі об'єкта +30 °С досягає 0,05 °С. Мінімальна відстань фокусування становить 46 см. Прилад працює в спектральному інфрачервоному діапазоні довгих хвиль від 7,5 до 14 мкм. З його допомогою можна швидко знаходити, усувати та підтверджувати наявність відхилень від заданої температури та своєчасно виконувати ремонтні роботи. Технологія Fluke DR-Fusion® у тепловізорі та у програмному забезпеченні для простоти ідентифікації зображення поєднує видиме та інфрачервоне зображення у повноекранному режимі або у режимі «картинка в картинці».

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

3.7 Методика дослідження термомеханічних характеристик ущільнювачів

Залежно від температури експлуатації полімерні матеріали можуть перебувати в різних фізичних станах: склоподібному, високоеластичному та в'язкотекучому. Тому з метою визначення області працездатного стану прокладок в умовах експлуатації потрібно досліджувати їх фізико-механічні властивості у широкому діапазоні температур. Області існування полімеру в тому чи іншому стані, температурний інтервал його використання визначають за термомеханічними кривими, що представляють графіки в координатах деформація - температура. Деформації визначають у заданому температурно-часовому режимі впливу постійної напруги.

Здатність покриття відновлювати вихідні розміри після зняття навантаження оцінювали коефіцієнтом відновлення, $K_{ВД}$, %.

$$K_{ВД} = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} \cdot 100. \quad (3.4)$$

Дослідження термомеханічних характеристик герметиків проводили на модернізованому твердомірі типу ТП, загальний вигляд та кінематична схема якого показані на рисунках 3.6 та 3.7, за методикою, аналогічною дослідженню деформаційних властивостей герметиків.

Випробування велися за тиску 10 МПа на індентор діаметром 10 мм. Зразок з покриттям товщиною 100 мкм поміщали у ванну з моторним маслом, встановлену на опорному столі з термостатировали при певній температурі протягом 15 хв. Полімерне покриття витримували під навантаженням за температури від +20 до +300 °С протягом 60 с.

Результати дослідження термомеханічних характеристик герметиків та нанокмпозицій порівнювалися з аналогічними властивостями досліджених раніше у роботі [124] складів.

3.8 Методика дослідження теплостійкості ущільнювачів

Теплостійкість є важливою експлуатаційною характеристикою полімерних матеріалів, яка визначає допустиму верхню температуру застосування того чи іншого матеріалу.

Цю характеристику для полімерів прийнято визначати за методом Мартенса або Віка, однак ці методи використовуються для дослідження теплостійкості зразків з розмірами 10 x 15 >> 120 мм або зразків товщиною не менше 3 мм. Тому для дослідження теплостійкості тонких покриттів ці методи не зовсім придатні, у зв'язку з чим її визначали зміни умовного модуля пружності полімерних плівок, який надалі називатимемо модулем пружності.

Розрахунок модуля пружності проводили за формулою Герца [14], виходячи з глибини занурення кульки індентора:

$$E = 0,795 \frac{P}{\Delta^{3/2} d^{1/2}}, \quad (3.5)$$

де P – навантаження на кульку, Н;

Δ – глибина занурення кульки полімерне покриття, м;

d – діаметр кульки, м.

При нагріванні полімерного покриття вище за температуру теплостійкості полімеру модуль пружності різко знижується. Визначення теплостійкості зміни модуля пружності більш показово, ніж зміни будь-яких інших властивостей полімеру при нагріванні. Його досліджували на модернізованому твердомірі типу ТП, загальний вигляд та кінематична схема якого показані на рисунках 3.6 та 3.7 за методикою, аналогічною дослідженню деформаційних властивостей герметиків.

Як зразки служили покриття з герметиків і нанокмпозицій на їх основі товщиною 200 мкм, нанесені на сталеві циліндричні диски діаметром 30 і висотою 5 мм. Навантаження на кульку індентора діаметром 10 мм визначали за формулою:

$$P = 0,5d^2. \quad (3.6)$$

НУБІП України

3.9 Методика дослідження коефіцієнта теплопровідності ущільнювачів

Вузли та механізми автотракторної техніки, як правило, працюють в умовах підвищених теплових навантажень. Для забезпечення їхньої безвідмовної та довговічної роботи необхідне відведення теплоти з робочих зон, яке утрудняється використанням матеріалів з різною теплопровідністю - здатністю матеріалу передавати через свою товщину тепловий потік, що виникає через різницю температур на протилежних поверхнях.

Низька теплопровідність полімерних матеріалів у порівнянні з металами створює небезпеку накопичення в періодично навантажуваних сполученнях теплових напруг, що прискорюють зношування та знижують їх конструктивну міцність. Тому одним із шляхів підвищення довговічності техніки є збільшення теплопровідності ущільнювачів.

Вплив виду та концентрації наповнювачів на теплопровідність герметиків та нанокмпозицій на їх основі досліджували методом температурного градієнта, сутність якого полягає у створенні постійного теплового потоку від обігрівача до холодильника через еталонний та випробуваний зразки. На рисунку 3.10 показані загальний вигляд та схема приладу для визначення теплопровідності зразків, що мають форму дисків діаметром 15,0 мм та товщиною 0,5 мм, виготовлених відповідно до ГОСТ 23630.2-79. Прилад складається з нижньої посудини 1 через яку протікає проточна холодна вода, і такої ж верхньої посудини 4, в якому встановлений нагрівальний елемент. Між судинами знаходяться три пластинки з міді марки М1 (ГОСТ 859-2001), товщиною 3 мм, з встановленими в них термометрами T_1 , T_2 і T_3 . Теплопровідність мідних пластинок відповідно до ГОСТ 23630.2-79 в інтервалі температур від 0 до +150 °С становить 375 ... 387 Вт / м К.

Між верхньою і середньою пластинками міститься шар зразка герметика 5, теплопровідність якого λ_1 необхідно визначити, а між середньою і нижньою пластинками - шар з кварцового скла 6 марки КВ (ГОСТ 15130-86), товщиною

3 мм. з відомою теплопровідністю λ_2 , яка відповідно до ГОСТ 23630.2-79 в інтервалі температур від 0 до +150 °С становить 1,31... 1,53 Вт/м К. Обидва

шари мають площу поперечного перерізу, рівну площі перерізу пластин S_1 , S_2

та S_3 . Показання терморпар T_1 , T_2 і T_3 через деякий проміжок часу з початку

експерименту стабілізуються і процес набуває вигляду стаціонарності. При

цьому кількість теплоти dQ_1 яка надходить до майданчику ΔS випробуваного зразка 5 від тіла з вищою температурою, буде дорівнює кількості теплоти dQ_2 ,

що від цього перерізу до тіла з нижчою температурою, тобто. до зразка 3

кварцового скла 6 із заздалегідь відомою теплопровідністю.



а

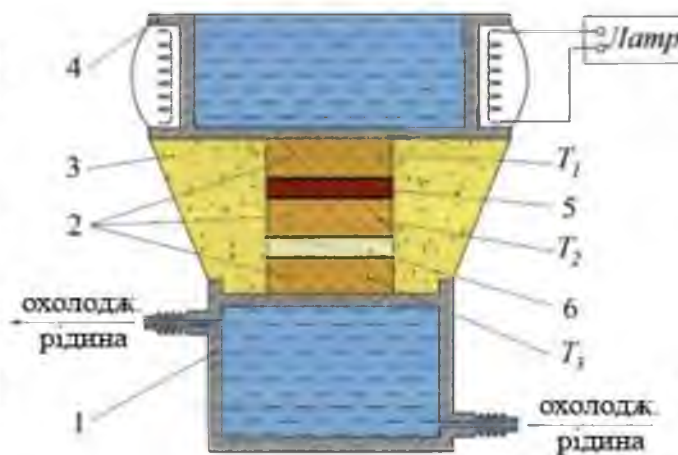


Рисунок 3.10 - Загальний вигляд (а) та схема приладу (б) для

визначення теплопровідності полімерних матеріалів: холодильник; 2 – мідні

пластини; 3 – теплоізоляція; 4 – нагривач; 5 – зразок; 6 - кварцове скло

Знаючи кількість теплоти, що проходить за час $d\tau$ через шар, що випробовується, 5 і кількість теплоти, що проходить за час через шар 6 з відомою теплопровідністю, можемо визначити шуканий коефіцієнт теплопровідності (КТ) зразка полімерної композиції [18]:

$$dQ_1 = \frac{\lambda_1 (T_1 - T_2) S d\tau}{l_1}, \quad (3.7)$$

$$dQ_2 = \frac{\lambda_2 (T_2 - T_3) S d\tau}{l_2}, \quad (3.8)$$

де l_1 і l_2 - відповідно товщина шару 5 і 6 м.

Прирівнюючи рівняння (3.7) та (3.8), отримаємо:

$$\frac{\lambda_1 (T_1 - T_2) S d\tau}{l_1} = \frac{\lambda_2 (T_2 - T_3) S d\tau}{l_2}, \quad (3.9)$$

звідки:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_2 l_1 (T_2 - T_3) S d\tau}{S d\tau l_2 (T_1 - T_2)} = \lambda_2 \frac{l_1 (T_2 - T_3)}{l_2 (T_1 - T_2)}, \quad (3.10)$$

3.10. Методика дослідження коефіцієнта теплового розширення ущільнювачів

Великі відмінності в коефіцієнтах теплового розширення (КТР) герметика та елементів НФЗ є однією з причин виникнення температурних напруг, які істотно впливають на фізико-механічні властивості полімерної композиції, а отже на герметичність і довговічність фланцевого з'єднання. Тому дослідження теплового розширення герметиків набуває особливого значення при розгляді механізму спільного навантаження елементів НФЗ температурним полем.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення характеризує відносне збільшення довжини зразка, викликане підвищенням його температури від

нижньої до верхньої межі інтервалу, віднесені до величини цього інтервалу!

КТР визначали за методикою, розробленою на підставі ГОСТ 15173-70 (СТ РЕВ 2899-81) , і передбачає визначення лінійного теплового розширення, не

пов'язаного зі зміною розмірів при нагріванні внаслідок зміни вмісту вологи, затвердіння, втрати пластифікатора або розчинника, зняття внутрішніх напружень та інших факторів, і тому є наближеною. Пристрій для проведення випробувань було сконструйовано таким чином, щоб виключити згинання

зразка і до мінімальних значень знизити можливість прилипання до стінок за рахунок вертикального розташування в зазорі відповідної форми.

Пристосування (рисунок 3.11) складається з базової корпусної деталі 1 висотою 150 і діаметром 55 мм, вздовж твірної якої виконана канавка 4 глибиною 15 і шириною 5 мм. Канавка виконана таким чином, щоб зразок 6 ,

що випробовується, при нагріванні міг вільно без вигину подовжуватися. У верхній частині корпусної деталі є два гвинти 3 із затискачами 5 для закріплення зразків 6 всередині канавки. Зразки 6 встановлюються в канавці врівень з передньою площиною корпусної деталі і фіксуються гвинтами 3. На передній частині корпусної деталі 1 нанесені риски 2 .

Як зразки використовували плівки довжиною 100 мм, шириною 10 мм і товщиною 0,5 мм. Плівки з силіконових складів отримували шляхом їх нанесення на пластини з фторопласту-4 і витримки на повітрі, а з анаеробних - шляхом полімеризації їх між двома сталевими пластинами на поверхню однієї з яких наносили моторне масло.

Пристрій із зразками поміщали в сушильно-стерилізаційну шафу ШСС-80п, в якій їх нагрівали від +20 до +150 °С і тримали температуру протягом 30 хв. При підвищенні температури реєстрували зміну довжини зразка шляхом отримання його електронних фотографій, їх збільшення та вимірювання довжини щодо рисок 2 .

НУБІП України

НУ

НУ



3

2

1

4

5

6

И

И

НУБІП України

Рисунок 3.11 – Загальний вид пристосування визначення коефіцієнта теплового розширення (КТР):

- 1 – базова корпусна деталь; 2 – різьки; 3 – гвинти; 4 – манівка; 5 – затискачі; 6 – зразок

За величиною Δl розраховували КТР за формулою:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad (3.11)$$

де Δl – збільшення довжини зразка в межах інтервалу температур, мм;

$\Delta T = T_2 - T_1$ – збільшення температури від T_1 до T_2 , °C;

T_1, T_2 – нижня і верхня межі інтервалу температур, °C;

l_0 – довжина зразка при $+20 \pm 2$ °C, мм.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

3.11 Методика оцінки адгезійних властивостей герметиків і нанокомпозицій

3.11.1 Оцінка адгезійних властивостей за нормальним руйнівним напруженням

НУБІП України

Прокладки з анаеробних і силіконових герметиків схильні до відшарування від робочих поверхонь фланців в процесі експлуатації НФЗ, що пов'язано з тим, що міцність адгезійна герметиків значно нижче, ніж у клеїв. Міцність зчеплення герметика з робочою поверхнею фланця є визначальним фактором довговічності НФЗ і залежить від безлічі факторів, таких як механічна та хімічна підготовка поверхонь фланців перед нанесенням, спосіб полімеризації, режим термообробки, природа герметика, вид і концентрація нанопоповнювачів, матеріал і шорсткість прокладки і т.д.

НУБІП України

Тому повне її дослідження досить об'ємне і може представляти самостійний працю. У зв'язку з цим у цій роботі досліджувався вплив лише кількох чинників на адгезійну міцність при постійних значеннях інших.

НУБІП України

Адгезійна міцність полімерних матеріалів може бути оцінена декількома методами [18, 20...22], найбільш широке поширення з яких набув метод визначення адгезії полімерів при відшаруванні їх від поверхні матеріалу. Тим не менш, дані методи не повною мірою характеризують процеси, що відбуваються між герметиком і поверхнею фланців, а основною областю їх застосування є визначення адгезії лакофарбових покриттів або герметиків, якими ущільнюють матеріал зовні (наприклад, закладення тріщин у корпусних деталях, усунення течі в радіатор і т.д.).

НУБІП України

Для визначення адгезії герметиків, що контактують з поверхнею НФЗ, найбільш прийнятним є метод визначення статичної міцності при рівномірному відриві сполук відповідно до ГОСТ 14760-69 [22], що є найбільш простим і точним. Сутність методу полягає у визначенні величини руйнівної сили при розтягуванні стандартного зразка склесеного встик з'єднання зусиллями, спрямованими перпендикулярно площині склеювання, а діаметр

НУБІП України

склеюваної поверхні зразків (рисунок 3.12 а) повинен становити 25 мм. У той самий час, у роботі [18] зазначено, що з визначення адгезії полімерних складів

найбільш точним є так званий метод штифтів. При дослідженні цим методом використовувалася прес-форма, виготовлена із сталі 45 (рисунок 3.12 б).

Діаметр робочої поверхні штифтів складав 5 мм.

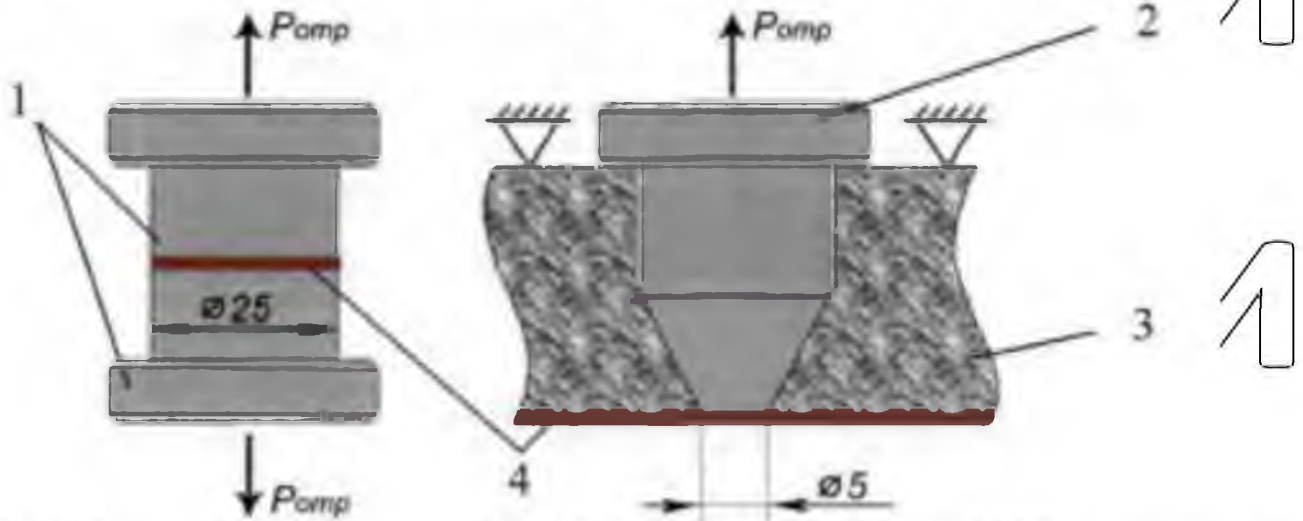


Рисунок 3.12 - Зразки визначення адгезійної міцності герметика з

основою:

а - за ГОСТ 14760-69; б - методом штифтів; 1 - половини зразків;

2 - штифт; 3 - металева матриця; 4 - шар герметика

Така різниця розмірів зразків, що випробовуються, може вплинути на точність досліджень, а через нижчі значення адгезії герметиків порівняно з

клеями, результати таких вимірювань можуть відрізнятися великим розкидом

даних. Тому при дослідженнях слід звертати увагу на багато факторів, які

можуть призвести до помітних спотворень, похибка вимірів, кваліфікація

лаборанта, конструкція приладу, а також розміри зразків, що випробовуються.

У цьому особливу роль вимірах грає правильно обраний розмір зразка.

З метою визначення оптимального діаметра поверхонь, що склеюються,

для дослідження були використані зразки діаметром 5, 10, 15, 20, 25 і 30 мм.

Відповідно до ГОСТ 14760-69 зразки з двох однакових половинок склеювали

НУБІП України

випробуваним складом таким чином, щоб їх діаметри відрізнялися один від одного не більше ніж на 0,1 мм, а взаємне зміщення не перевищувало 0,5 мм.

Робочі поверхні зразків виготовлялися плоскими і перпендикулярними до поздовжньої осі, а опорні поверхні головок - паралельними поверхням, що

НУБІП України

склеюються. Чистовим точенням досягалися оптимальна шорсткість поверхонь НФ3 Rz12,5...6,3 мкм по ГОСТ 2789-73. Перед випробуваннями поверхні механічно очищали та знежирювали ацетоном. Після нанесення

досліджувані склади витримували протягом 24 год і після їх повної полімеризації випробовували.

НУБІП України

Випробування проводили на розривній машині ІМ-4Р (рисунок 3.13). За допомогою спеціального пристосування забезпечувалося центрування зразка таким чином, щоб лінія зусилля збігалася з його поздовжньою віссю.

Навантаження поступово наростало зі швидкістю руху затиску машини 10 мм/хв до руйнування зразка. При цьому фіксували найбільше навантаження і

НУБІП України

знаходили середнє значення з 10 випробувань при визначенні оптимального діаметра зразка і 5 вимірювань - при визначенні величини нормальних напруг руйнівних герметиків при відриві.

Межу міцності при відриві склеєної сполуки ($\sigma_{відр}$ Па) визначали за

формулою:

$$\sigma_{відр} = P / F, \quad (3.12)$$

де P – руйнівна сила, Н;

F - площа склеювання, м².

НУБІП України

НУБІП України



Рисунок 3.13 – Випробувальна розривна машина ІМ-4Р

За результатами випробувань обчислювали середнє арифметичне значення межі міцності:

$$\bar{\sigma}_{\text{відр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{i_{\text{відр}}}, \quad (3.13)$$

де n – число випробуваних зразків, шт;

$\sigma_{i_{\text{відр}}}$ - значення межі міцності i -го зразка, Па.

Після руйнування обидві частини випробуваного зразка піддавали візуальному огляду визначення характеру руйнування, який оцінювали у відсотках від номінальної площі склеювання з похибкою трохи більше 10 %.

НУБІП України

3.11.2 Оцінка адгезійних властивостей за дотичною руйнівною напругою.

В основу методики для визначення руйнівних дотичних напруг герметиків використовувався метод визначення міцності клейових сполук при зсуві, заснований на ГОСТ 14759-69 [323], так як клеї та герметики мають одну і ту ж природу і приблизно однакові властивості, що відрізняються лише адгезією.

Випробування герметиків на зсув проводили шляхом визначення величини руйнівної сили при стисканні спеціально розробленого зразка, що складається з двох циліндрів, один з яких може вільно переміщатися всередині іншого (рисунок 3.15).

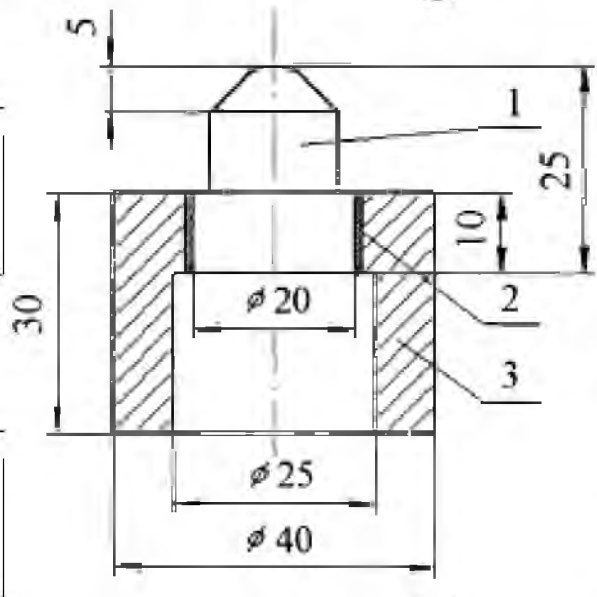


Рисунок 3.15 - Схема зразка визначення міцності при зсуві герметиків:

1 – внутрішня частина зразка; 2 - досліджуваний герметик; 3 - зовнішня частина зразка

Зовнішній діаметр циліндра, що охоплюється, становить $20_{-0,25}$ мм, а внутрішній діаметр охоплюючого циліндра - $20_{+0,25}$ мм. Внутрішня та зовнішня частини зразка селективно підбиралися таким чином, щоб математичне очікування товщини шару герметика, що випробовується між ними, становило $0,25$ мм. Ширина робочої поверхні зразків становила

10±0,3 мм. З метою забезпечення центрування зразка поверхня однієї з його циліндричних частин, на яку здійснювався тиск стиснення, виготовлялася у вигляді сферичної поверхні малого діаметра.

Випробування проводилися на розривній машині Р-5 (рисунок 3.16), що дозволяє вимірювати величину навантаження з похибкою трохи більше 1 %. Перед випробуванням зразки зачищали наждачним папером, знежирювали ацетоном, потім на робочу поверхню циліндричної частини, що охоплюється, наносили тонкий шар герметика, після чого її вставляли в другу частину зразка, здійснюючи при цьому рівномірні обертальні рухи однієї частини відносно іншої. Після формування шару герметика завтовшки 0,25 мм, зразки витримували протягом 24 год при температурі +20 °С, після чого їх випробовували.

Зразки зазнавали поступовим наростанням навантаження до повної руйнації. Швидкість руху преса машини становила 10 мм/хв. Фіксували найбільше навантаження, досягнуте під час випробування. Обидві частини випробуваного зразка піддавали візуальному огляду для визначення характеру руйнування: поверхнею герметика (адгезійне руйнування) або безпосередньо по самому герметику (когезійне руйнування). Характер руйнування оцінювали у відсотках від номінальної площі герметизації з похибкою трохи більше 10%.

Межу міцності герметика при зсуві ($\tau_{зсув}$, Па) визначали за формулою:

$$\tau_{зсув} = \frac{P}{lb}, \quad (3.14)$$

де P – руйнівна сила, Н;

b – ширина зони нанесення герметика на зразок, м;

$l = 2\pi R$ – довжина зони нанесення герметика на зразок, м.



Рисунок 3.16 - Розривна машина Р-5

За результат випробувань приймали середнє значення межі міцності із шести зразків.

$$\bar{\tau}_{зсув} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{зсув_i} \quad (3.15)$$

де n - кількість випробувань зразків, шт;

$\tau_{зсув_i}$ - руйнівна напруга i -го зразка, Па.

3.12 Методика дослідження фреттинг-стійкості нерухомих фланцевих з'єднань з прокладками з герметиків та нанокompозицій на їх основі

У процесі експлуатації НФЗ піддаються коливанням, які щільно контактують робочі поверхні - взаємним мікроперемещенням друг щодо друга. У умовах створюються несприятливі умови для фреттинг-кородування контактуючих робочих поверхонь.

НУБІП УКРАЇНИ

Мета досліджень полягала у визначенні впливу товщини шару ненаповнених герметиків та нанокпозицій на стійкість поверхонь фланців

до фреттинг-корозії. Методика досліджень вибиралася виходячи з основної вимоги, відповідно до якої імітація фреттинг-корозії в лабораторних умовах максимально наближена до цього виду руйнування в реальних умовах експлуатації.

НУБІП УКРАЇНИ

Випробування на фреттинг-стійкість НФЗ проводили на розробленій у Брянській ДСГА установці, загальний вигляд якої представлений на малюнку

3.17. Установка створена на базі стандартної тертя машини 77MT01, модернізованої за допомогою ексцентрика, індикатора годинного типу, лічильника числа оборотів і системи навантаження. Принцип роботи цієї установки ось у чому. Зразок здійснює зворотний поступальний рух, а його

НУБІП УКРАЇНИ

переміщення вимірюється індикатором годинникового типу. Навантаження на зразок передається через систему навантаження та індентор зі сталі ШХ15.

НУБІП УКРАЇНИ

Продукти зношування та розміри ураження корозією вивчали на мікротвердомірі ПМТ-3.

Амплітуда прослизання становила 40 мкм з похибкою трохи більше 5 мкм, при частоті 70 циклів на хвилину. Досліди проводилися протягом 60 хв

НУБІП УКРАЇНИ

при навантаженні 174 Н. Ці параметри у всіх дослідах зберігалися постійними, що дозволило отримати порівняльну фреттинг-стійкість робочих поверхонь фланцевих з'єднань з різними ущільнювачами [75, 76]. Дослідження проходили в лабораторних умовах, у режимі сухого тертя, за постійної частоти

коливань.

НУБІП України

НУБІП України



а

НУБІП України

НУБІП України

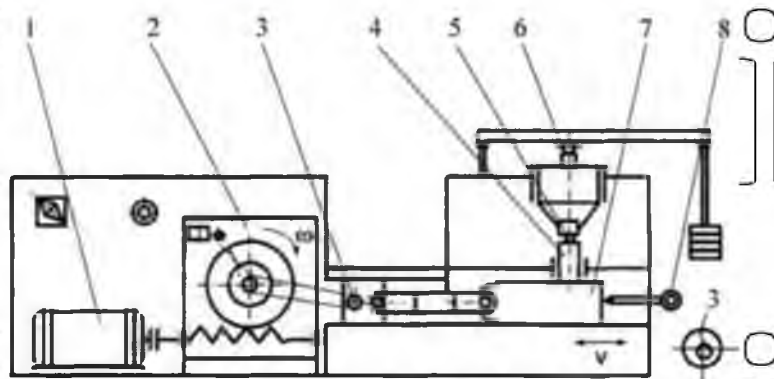


Рисунок 3.17 – Загальний вигляд (а) та схема (б) експериментальної установки для вивчення фреттинг-корозії:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – ексцентрик; 4 – зразок;

5 – індентор; 6 – система навантаження зразка; 7 – контрзразок;

8 – індикатор

В якості зразків використовували балочки діаметром 30 мм з сірого чавуну СЧ20 (сірий чавун), алюмінієвого ливарного сплаву АЛ9 (алюміній) і сталі 45 (сталь), з шорсткістю робочої поверхні $Rz = 12, 5 \dots 6,3$ мкм.

Відповідно до ГОСТ 23.211-80 зразки перед і після випробувань послідовно промивали в бензині АІ-92 і ацетоні, просушували протягом 4 год і зважували на вагах ВЛР-200 з точністю 10^{-5} г. Покриття з силіконових герметиків та композицій на їх основі отримували шляхом їх нанесення на поверхню зразка з подальшим видаленням надлишків шпателем та витримкою на повітрі складу, що залишився у западинах профілю робочої поверхні зразка.

НУБІП України

Таким чином, виходили покриття, що незначно перекривають виступи профілю поверхні зразка, при цьому повністю заповнюють всі западини

профілю цієї поверхні. Покриття з анаеробних складів та наноконпозицій на

їх основі створювалися шляхом їх полімеризації між робочою поверхнею

зразка та сталевим диском. Надлишки складу видалялися з поверхні зразка

видавлюванням при застосуванні навантаження на цей диск. Для порівняння

додатково проводилися випробування з покриттями товщиною 0,1 мм із

силіконових та анаеробних герметиків та наноконпозицій на їх основі. Час

полімеризації нанесених покриттів за температури +20 °С становив 24 год.

Таким чином, випробування були максимально наближені до реальних умов експлуатації.

Інтенсивність зношування оцінювали візуально за співвідношенням

корродованої та загальної площ робочої поверхні зразка, а також відповідно

до методики, запропонованої І.Г. Голубевим у роботі [76] з поправкою те що,

що у розрахунках враховувався лише знос зразка по формулі.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^k (m_1 + m_2)}{2\rho S A n k} \quad (3.16)$$

де m_1 і m_2 - маса зразка до і після випробувань, г;

ρ - щільність матеріалу зразка, г/мм³;

S - площа контакту, мм² ;

A - амплітуда коливань, мм;

N - кількість циклів випробувань, шт;

k - кількість випробуваних зразків, прим.

Випробування проводили у дві стадії. На першій стадії визначили розміри частинок фреттинг-корозії на зразках без плівок з ущільнювачів, а

також вибрали оптимальний спосіб оцінки інтенсивності зношування - за

втраченою масою або корродованої площі. На другій стадії проводили

випробування зразків з покриттями з герметиків та наноконпозицій на їх

основі. Отримані значення відповідають середньому із 5 випробувань.

4.1 Вплив часу полімеризації анаеробних та силіконових складів на герметичність фланцевих з'єднань

Серед численних чинників, що впливають на герметичність НФЗ, певне місце займає такий параметр, як час полімеризації герметика. Дослідження герметичності фланцевих з'єднань шириною 10 мм і моментом затягування болтового з'єднання 50 Н-м показали, що тиск пробою нанесених герметиків зростає зі збільшенням часу їхньої витримки після збирання (рисунк 4.1).

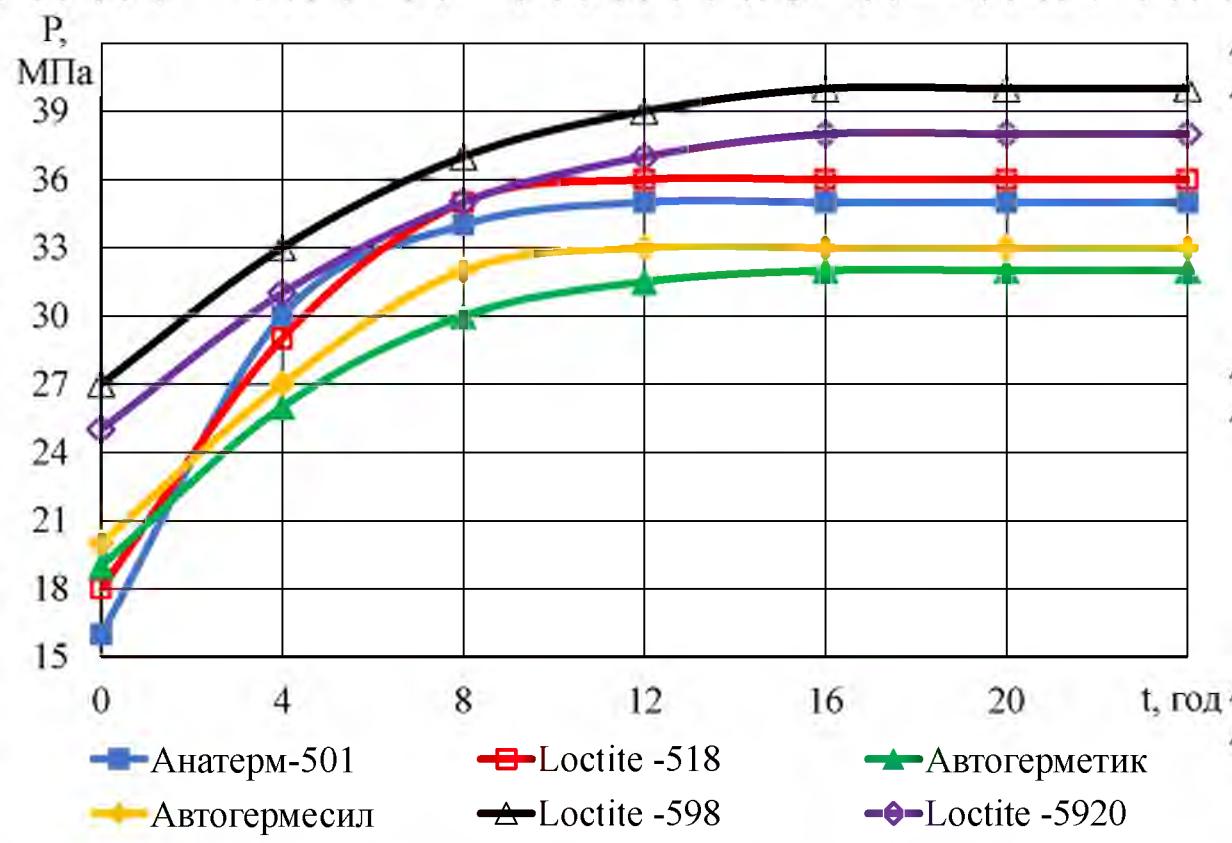


Рисунок 4.1 - Залежність тиску розгерметизації Р НФЗ від часу витримки герметиків

Так, для прокладок Анатерм-501 товщиною 0,01 мм герметизуюча здатність збільшується з 15,5 до 34,0 МПа протягом 8 год витримки. Подальша витримка з'єднання не істотно впливає на її зміну. Герметизуюча здатність прокладок з Loctite -518 після 10 год витримки збільшується з 17,5 до 36,0 МПа, а з Автогерметика та Автогермесу через 8 год витримки - відповідно з

НУБІП України

19,0 до 31,0 МПа і з 20,5 до 33,0 МПа. Стабілізація герметизуючої здатності прокладок з Loctite -598 і Loctite -5920 відбувається відповідно через 12 і 20 год, при цьому вона збільшуються відповідно з 27,5 до 40,0 МПа та з 25,0 до 37,5 МПа.

НУБІП України

В результаті вищевикладеного можна відзначити, що герметизуюча здатність підвищується до повної полімеризації герметика, при досягненні якої подальша витримка прокладки не істотно впливає на зміну тиску розгерметизації НФЗ. Слід зазначити, що вітчизняні склади поступаються імпортом у герметичності, проте перевершують їх у часі полімеризації.

НУБІП України

4.2 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від контактного тиску на поверхні фланців

НУБІП України

Відомо, що одним із параметрів технологічного процесу герметизації НФЗ є створення оптимального контактного тиску на поверхні фланців, що герметизуються. Дослідження герметичності НФЗ із шириною фланців 10 та 8 мм (Рисунки 4.2 та 4.3) показали, що зі збільшенням контактного тиску вона зростає. Так, зі збільшенням цього показника з 9,95 до 49,75 МПа (малюнок

НУБІП України

4.2) герметизуюча здатність Анагерм-501 зростає з 20,5 до 34,0 МПа, а Loctite-518 - з 25,0 до 36,0 МПа.

НУБІП України

За аналогічних умов герметизуюча здатність силіконових складів Автогерметика та Loctite -598 збільшилася відповідно з 12,0 до 31,0 МПа та з 19,0 до 40,0 МПа, а Автогермесила та Loctite -5920 - відповідно з 13,0 до 33,0

НУБІП України

МПа та з 16,0 до 37,5 МПа.

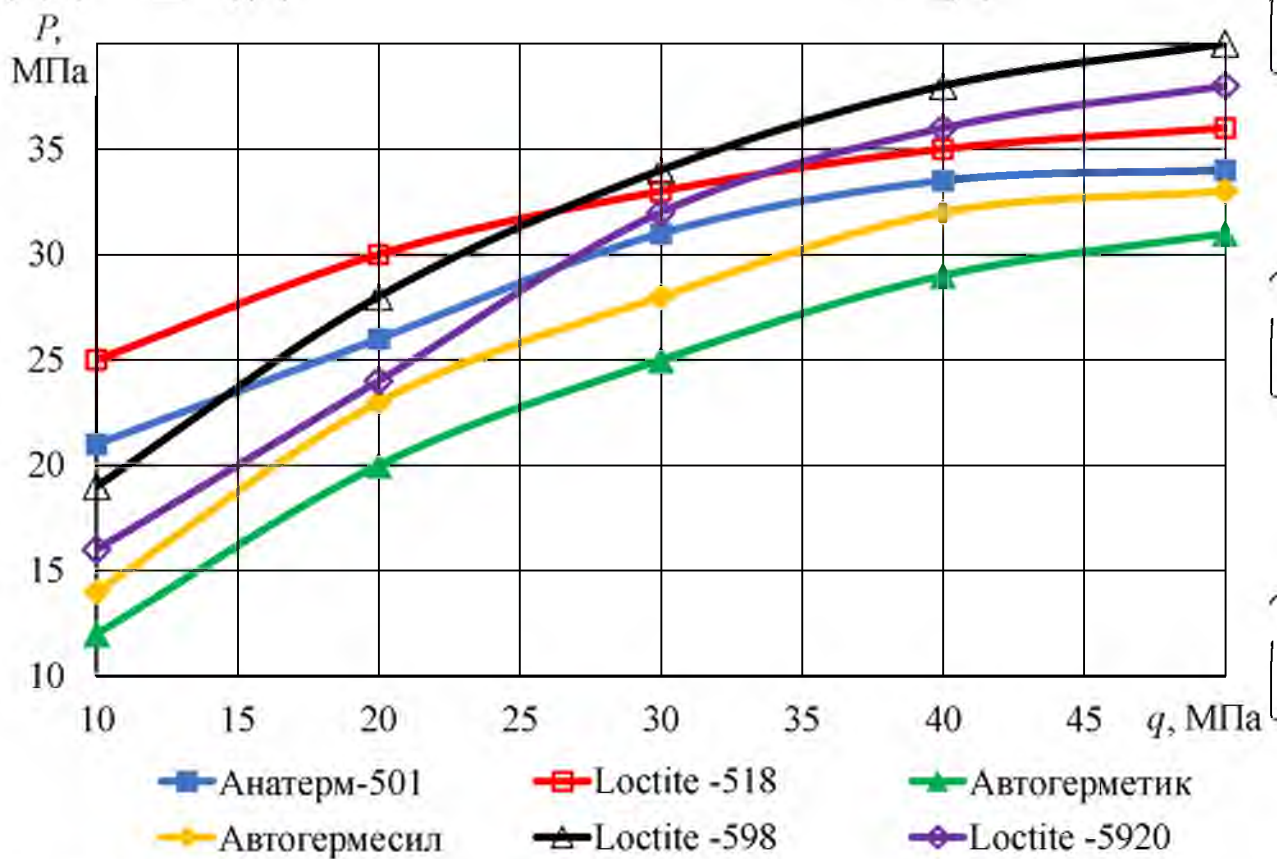


Рисунок 4.2 - Залежності герметизуючої здатності P анаеробних та силіконових складів від контактної тиску q на поверхні фланців шириною 10 мм:

Результати досліджень дозволили встановити, що при збільшенні контактної тиску на поверхні фланців в 5 разів, герметичність вітчизняних силіконових складів зростає в 2,5...2,6 рази, імпортованих силіконових складів - в 2,1...2,3 рази і анаеробних - у 1,4...1,7 разів. Очевидно це з тим, що герметики мають велику адгезійну міцність з поверхнями фланців, у меншій мірі залежить зміни контактної тиску з їхньої поверхні.

Герметичність НФЗ шириною 8 мм зі збільшенням контактної тиску з 17,8 до 88,0 МПа зростає аналогічним чином. Так, при використанні Анатерм-501 вона збільшилася з 26,0 до 54,0 МПа, Loctite -518 - з 33,5 до 56,5 МПа, Автогерметика - з 12,0 до 46,0 МПа, Автогермесу - з 16,5 до 49,0 МПа, Loctite -598 - з 27,5 до 59,5 МПа та Loctite -5920 - з 21,0 до 58,0 МПа.

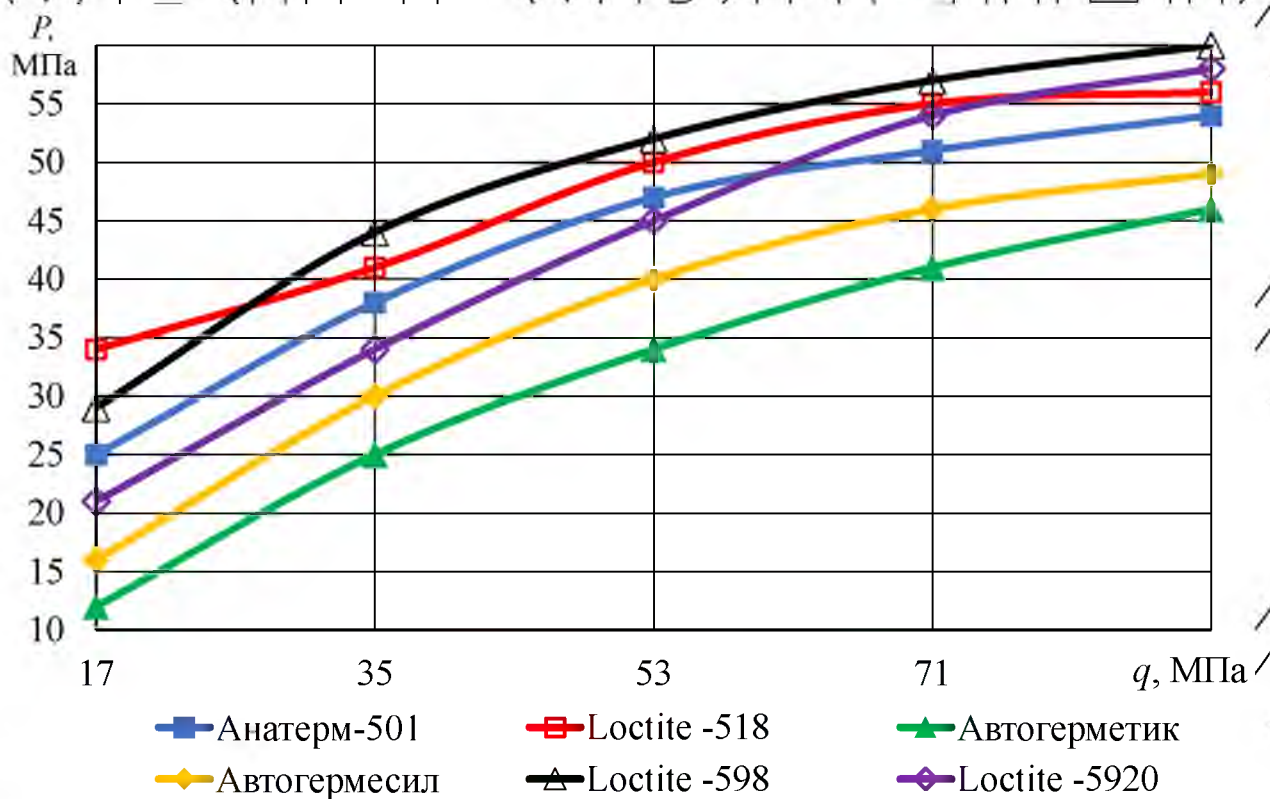


Рисунок 4.3 - Залежності герметизуючої здатності P анаеробних та силіконових складів від контактної тиску q на поверхні фланців шириною 8 мм:

Зміна тиску розгерметизації НФЗ шириною 10 мм має такий же характер, як і з шириною 8 мм. Тим не менш, при однаковому контактному тиску, герметичність фланців шириною 8 мм більша, ніж шириною 10 мм. Це зумовлено тим, що прокладки перебувають у стані гідростатичного стиснення між фланцями, при цьому збільшення площі деформуючого тіла призводить до зменшення загальної деформації прокладок. Тому між фланцями з шириною 10 мм формуються товстіші прокладки, що мають меншу герметизуючу здатність, ніж при ширині 8 мм.

Таким чином, контактний тиск істотно впливає на герметичність НФЗ з прокладками з анаеробних і силіконових складів. Зміною контактної тиску шляхом різного моменту затягування болтів можна регулювати герметичність фланцевих з'єднань.

Для подальших досліджень використовувалися зразки із шириною фланців 10 мм, т.к. при випробуванні фланців шириною 8 мм, максимальна

герметизуюча здатність досліджуваних складів досягала 59,5 МПа, що фактично відповідає межі випробувань установки, що дорівнює 60,0 МПа.

4.3. Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від товщини ущільнювача

Для герметизації НФЗ використовують прокладки різної товщини. Відомо, що герметизація великих зазорів у фланцевих з'єднаннях призводить до додаткової витрати герметиків, тому були проведені дослідження визначення оптимальної товщини герметика, що забезпечує необхідну герметизуючу здатність і мінімальний витрата матеріалу. Залежність тиску розгерметизації фланцевих з'єднань шириною 10 мм від товщини шару герметиків при затягуванні різьбових з'єднань моментом 50 Н·м представлені на рисунку 4.4. Дослідження показали, що при збільшенні товщини прокладок герметичність фланцевих з'єднань знижується при використанні всіх полімерних складів, що випробовуються.

Так, при збільшенні товщини прокладки з 0,01 до 0,50 мм тиск розгерметизації фланцевого з'єднання з анаеробними герметиками Анаерм-501 і Loctite -518 знижується відповідно з 34,0 до 20,0 МПа та з 36,0 до 19,5 МПа. Причому збільшення товщини шару до 0,2 мм призводить до незначної зміни герметичності складів. Інтенсивність зниження різко зростає зі збільшенням товщини з 0,2 до 0,5 мм. Було проведено додатковий експеримент щодо визначення герметизуючої здатності анаеробних та силіконових складів при товщинах від 0,6 до 1,0 мм. При товщині 0,6 мм герметичність анаеробних складів складає всього 11...13 МПа через неповну їх полімеризацію. При подальшому збільшенні товщини шару анаеробні герметики полімеризуються. Можливо, це пов'язано з тим, що кисень, що міститься у повітрі, перешкоджає цьому процесу.

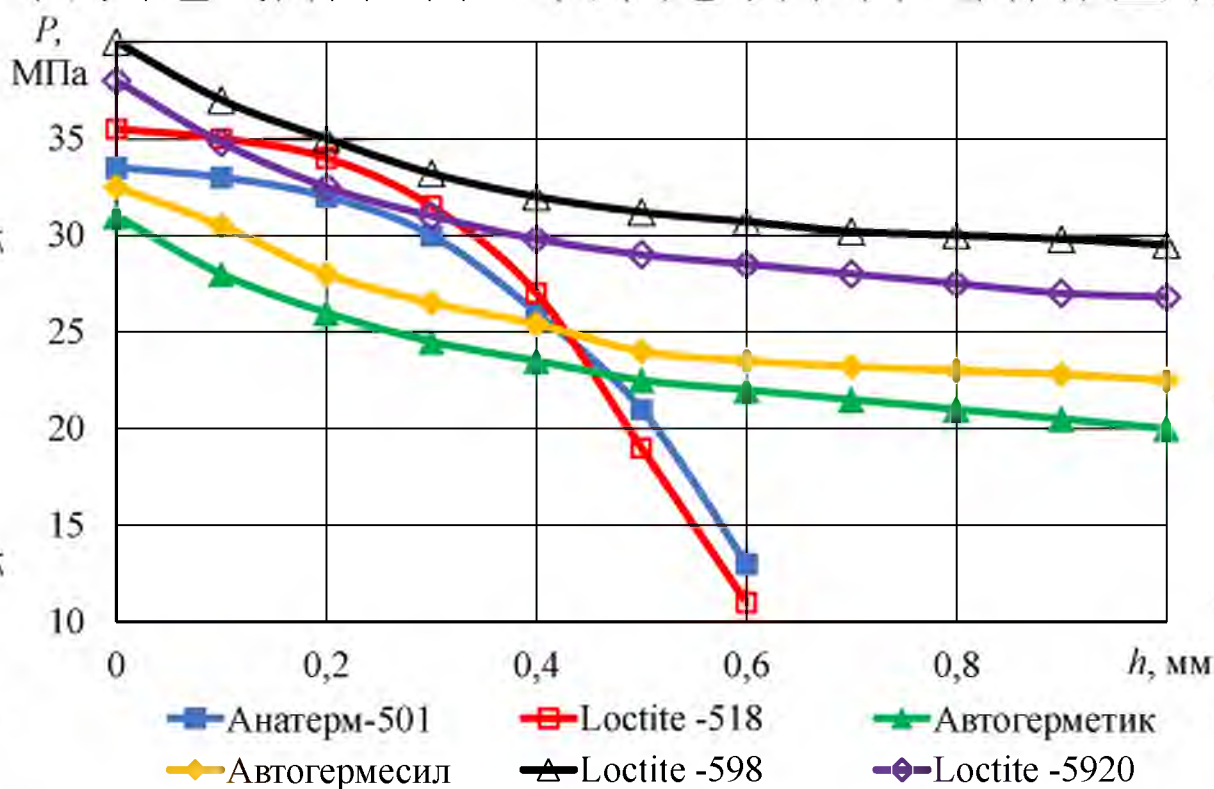


Рисунок 4.4 - Залежність тиску розгерметизації P фланцевих з'єднань від товщини шару герметика h .

Зниження герметизуючої здатності силіконових складів, на відміну анаеробних, відбувається менш інтенсивно. Так, зі збільшенням товщини силіконових складів з 0,01 до 0,50 мм їхня герметизуюча здатність знижується на 21...27 %, а при подальшому збільшенні до 1,0 мм - всього на 6...9%. При товщині 1,0 мм, герметизуюча здатність автогерметики становить 21 МПа, автогермесу - 23 МПа, Loctite -598 - 30 МПа і Loctite -5920 - 28 МПа.

Таким чином, товщина прокладок істотно впливає на герметичність НФЗ, так як сила, що видавлює, з боку герметизованого середовища пропорційна площі прокладки, яка визначається її внутрішнім периметром і товщиною. У зв'язку з цим, при тому самому тиску робочого середовища, але зі збільшенням товщини прокладки, герметичність фланцевих з'єднань буде зменшуватися. Тому за їх герметизації слід застосовувати прокладки з найменшою товщиною. Анаеробні герметики не рекомендується використовувати для герметизації зазорів товщиною понад 0,5 мм, тоді як

силіконові герметики можна використовувати для герметизації з'єднань із товщиною шару 1,0 мм.

Особливий інтерес представляло дослідження впливу контактного тиску на герметизуючу здатність анаеробних та силіконових складів зі збільшенням їх товщини. На малюнку 4.5 показано, що вона з підвищенням контактного тиску зростає у досліджуваних складів при товщині 0,5 мм. Підвищення контактного тиску з 9,95 до 49,75 МПа призводить до зростання тиску розгерметизації прокладок з Анатерм-501 з 17,0 до 20,0 МПа, Loctite -518 - з 18,0 до 20,0 МПа, Автогерметика - з 17,0 до 23,0 МПа, Автогермесила - з 18,0 до 24,0 МПа, Loctite -598 - з 26,0 до 32,0 МПа та Loctite -5920 - з 23,0 до 28,0 МПа.

Збільшення в 5 разів контактного тиску на поверхні фланців створює умови для зростання герметизуючої здатності складів всього на 11...35 % порівняно з 44...158% при товщині 0,01 мм ущільнювача. Очевидно, що при подальшому збільшенні товщини шару герметика вплив контактного тиску на зміну герметизуючої здатності істотно знизиться.

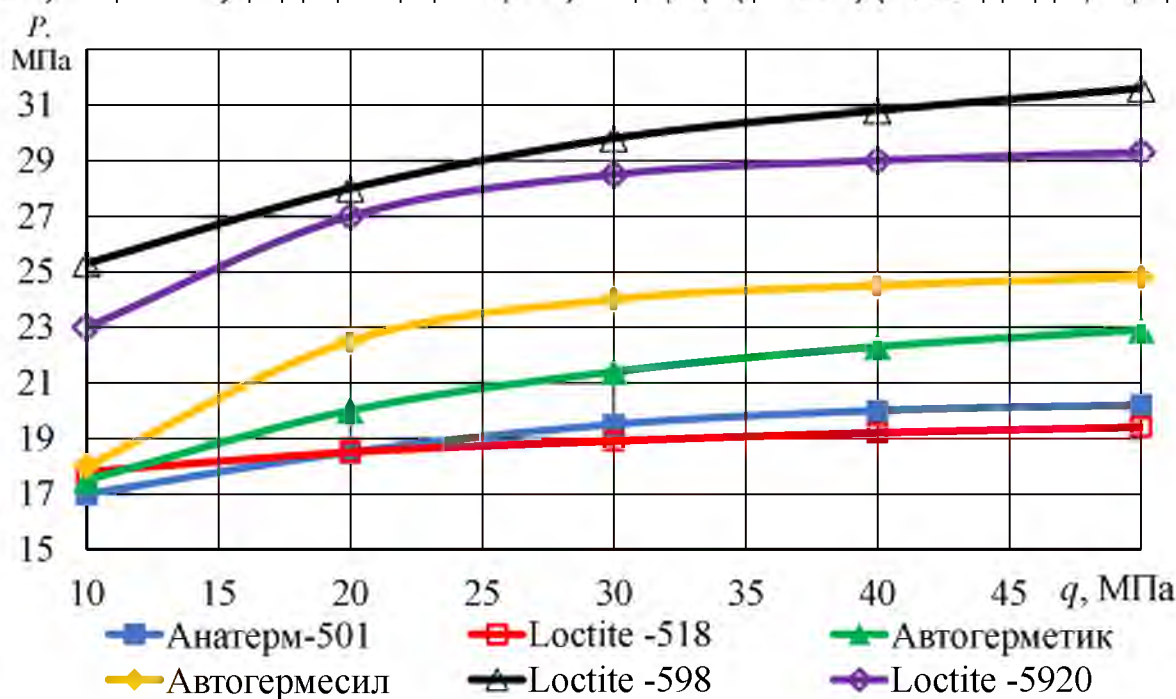


Рисунок 4.5 - Залежності герметизуючої здатності P анаеробних та силіконових складів від контактної тиску q на поверхні фланців шириною 10 мм та товщиною ущільнювача 0,5 мм:

НУБІП України

4.4 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від способу нанесення герметиків

У рекомендаціях щодо використання герметиків немає чітких вказівок щодо способу їх нанесення [100...115]. З одного боку, при нанесенні герметика однією поверхню НФЗ, можливий неповний його контакт з другою поверхнею. У той же час, нанесення герметика на дві поверхні, що з'єднуються фланцевого з'єднання призводить до додаткової його витрати. Тому було проведено дослідження впливу способу нанесення герметиків на герметичність фланцевого з'єднання (рисунок 4.6).

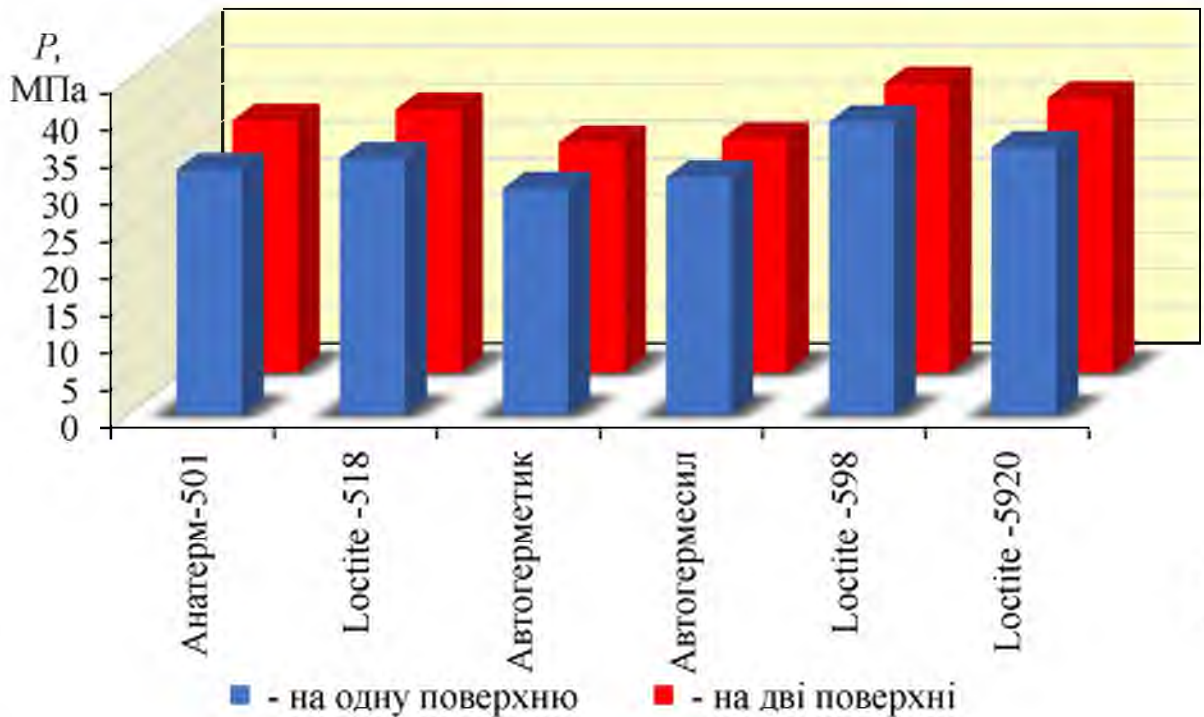


Рисунок 4.6 - Вплив способу нанесення герметика і часу розгерметизації P НФЗ.

В результаті досліджень з'ясувалося, що значення герметичності НФЗ, у яких склад наносився на одну поверхню, відрізняється всього на 1,3... 2,8 % як меншу, так і більшу від герметичності сполук, де він наносився на дві поверхні що знаходиться в межах припустимої помилки досвіду. Тому при герметизації

НФЗ немає необхідності наносити склад на обидві поверхні фланців, що герметизуються.

4.5 Вплив способу підготовки поверхонь фланців на герметичність нерухомих фланцевих з'єднань

Підготовка поверхні фланців є невід'ємною частиною технологічного процесу герметизації НФЗ. На рисунку 4.7 подано вплив підготовки поверхонь на тиск розгерметизації фланцевих з'єднань.

Перед нанесенням герметика поверхні готували одним із таких способів: очищали від старої прокладки механічним способом, промивали розчином МС-37, знежирювали ацетоном, очищені механічним способом поверхні покривали шаром моторного масла. Відповідно до результатів попередніх досліджень, герметик наносили на поверхню одного з фланців.

Герметичність з'єднань з прокладками Анатерм-501, нанесених на механічно очищену поверхню склала 31,5 МПа, змащену моторним маслом - 28,0 МПа, очищену 10-відсотковим розчином МС-37 - 26,5 МПа і знежирену ацетоном - 34. Порівняно з механічним очищенням тиск розгерметизації фланцевого з'єднання при знежиренні ацетоном зріс на 7,9 %, при нанесенні моторного масла та очищенні розчином МС-37 знизився відповідно на 11,1 % та 15,9 %.

Дослідження впливу підготовки поверхонь фланців на герметичність з'єднання з прокладкою з Loctite -518 показали аналогічні результати. Так, при механічному очищенні тиск розгерметизації становив 33,0 МПа, при знежиренні ацетоном він збільшився до 36,0 МПа, при нанесенні олії та при очищенні розчином МС-37 знизилося відповідно до 29,0 МПа та 26,0 МПа. Як і в попередньому випадку, при нанесенні моторної олії та очищенні розчином МС-37 тиск знизився відповідно на 12,1 і 21,2 %, при знежиренні ацетоном зріс на 9,1%. Зменшення герметизуючої здатності анаеробних складів при очищенні фланців розчином МС-37 пов'язано з тим, що на їх поверхнях після

НУБІП України

висихання залишається тонка плівка, що перешкоджає контакту герметика з металом фланця, який є каталізатором полімеризації.

Експерименти також показали, що герметизуюча здатність закордонного анаеробного герметика більшою мірою залежить від способу підготовки поверхні, ніж вітчизняного аналога.

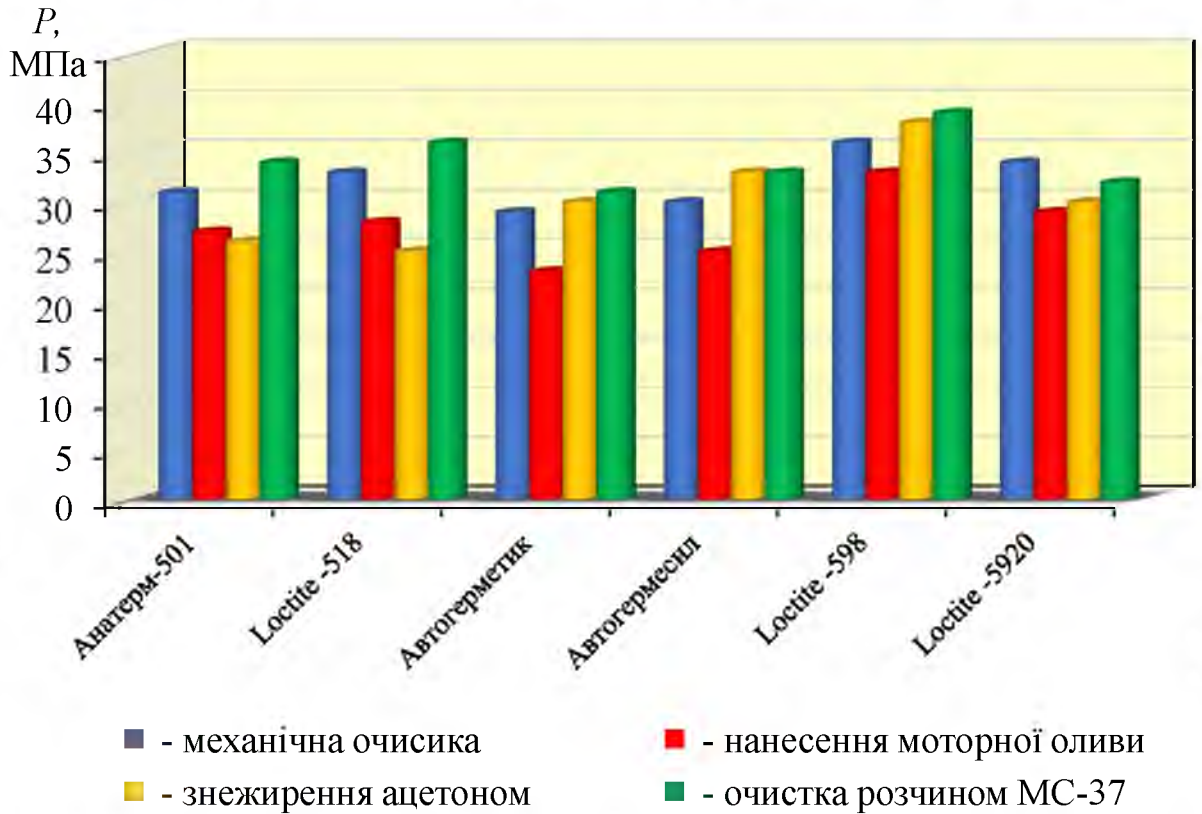


Рисунок 4.7 - Вплив підготовки поверхні на герметичність Р НФЗ із прокладками з герметиків:

Герметичність НФЗ із прокладками із силіконових герметиків меншою мірою залежить від підготовки поверхні, ніж із анаеробних. Так, тиск розгерметизації з'єднань з прокладкою з автогерметика при промиванні поверхні розчином МС-37 і знежиренні ацетоном збільшується відповідно на 5,2 і 6,9%, а при нанесенні моторного масла знижується на 17,2%. Для автогермесу при очищенні поверхні розчином МС-37 та знежиренні ацетоном збільшення герметичності становить 8,2 %, а при нанесенні моторного масла зниження до 14,8%.

Подібні результати отримані при дослідженні впливу підготовки поверхні на герметичність НФЗ з прокладками Loctite -598 Loctite -5920, найбільшу герметичність з яких мають фланцеві з'єднання з поверхнями, обробленими механічно (відповідно 36,0 і 34,0 МПа) очищеними розчином МС-37 (відповідно 39,5 та 36,0 МПа) та знежиреними ацетоном (відповідно 40,0 та 37,5 МПа), а найменше - на поверхні яких нанесено моторне масло (відповідно 33,0 та 29,5 МПа).

Видавлюванню твердої прокладки під впливом тиску робочого середовища перешкоджає сила тертя і опір розтягуванню, а видавлюванню герметиків додатково перешкоджає їхня адгезія до фланців. При очищенні поверхні перед нанесенням силіконових герметиків розчином МС-37 або знежирення ацетоном адгезія герметика зростає, отже, збільшується їхня герметизуюча здатність.

Таким чином, підготовка поверхонь фланців перед нанесенням герметиків істотно впливає на герметизуючу здатність НФЗ. Так, герметичність сполук, поверхні яких знежирені ацетоном, зростає на 21...29 % по відношенню до з'єднань, робочі поверхні яких замавлені.

Тому при використанні силіконових герметиків рекомендується очищення поверхонь фланців розчином МС-37 або знежирення ацетоном, а анаеробних герметиків - поверхні НФЗ рекомендується знежирювати ацетоном або спеціальними розчинниками, тому що їх очищення розчином МС-37 порушує процес полімеризації та знижує герметизуючу здатність.

4.6 Вплив способів та режимів складання нерухомих фланцевих з'єднань на їх герметичність

Певний інтерес представляло дослідження впливу способу збирання на герметичність НФЗ. Поверхні фланців механічно очищали, а потім знежирювали ацетоном. Герметик наносили на одну із поверхонь. При першому способі фланцеві з'єднання збирали відразу після нанесення герметиків. Герметизуючу здатність складів визначали після їх повної

полімеризації. При другому способі фланці з нанесеними на них силіконовими герметиками залишали на повітрі і збирали тільки після повної полімеризації

складів. Анаеробні склади цим способом не випробовували, так як вони мають

здатність полімеризуватися тільки при порушенні контакту з киснем повітря у

вузьких зазорах (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Вплив способу збирання на герметичність НФЗ

Герметик	Герметизуюча здатність, МПа	
	Складання відразу після нанесення герметика	Складання після полімеризації герметика
Анатерм-501	34,0	-
Loctite -518	36,0	-
Автогерметик	31,0	28,0
Автогермесил	33,0	29,5
Loctite -598	40,0	34,5
Loctite -5920	37,5	33,0

Згідно з даними таблиці 4.1 герметизуюча здатність силіконових складів знижується при другому способі збирання. Можливо, це пов'язано з тим, що

при вулканізації герметика на поверхні фланця, між ними виникає адгезійний

зв'язок. При складанні з'єднання після вулканізації герметика, адгезійна

складова між герметиком та іншою поверхнею фланця мінімальна. Крім цього,

при другому способі складання формується більш товста прокладка, яка при вичавлюванні частково руйнується, що призводить до зниження адгезійної

складової і з першою поверхнею фланця. Тому було проведено дослідження

щодо впливу режиму складання на герметичність сполук першим

вищеписаним способом (рисунок 4.8). Поверхні фланців механічно очищали

та знежирювали ацетоном. Герметик наносили на одну з поверхонь фланців і

з'єднання відразу збирали. При першому режимі на поверхнях фланців одразу

при складанні забезпечували номінальний контактний тиск затягуванням

болтів моментом 50 Н-м. При другому режимі болти спочатку затягували

моментом 10 Н-м, а після повної вулканізації - 50 Н-м.

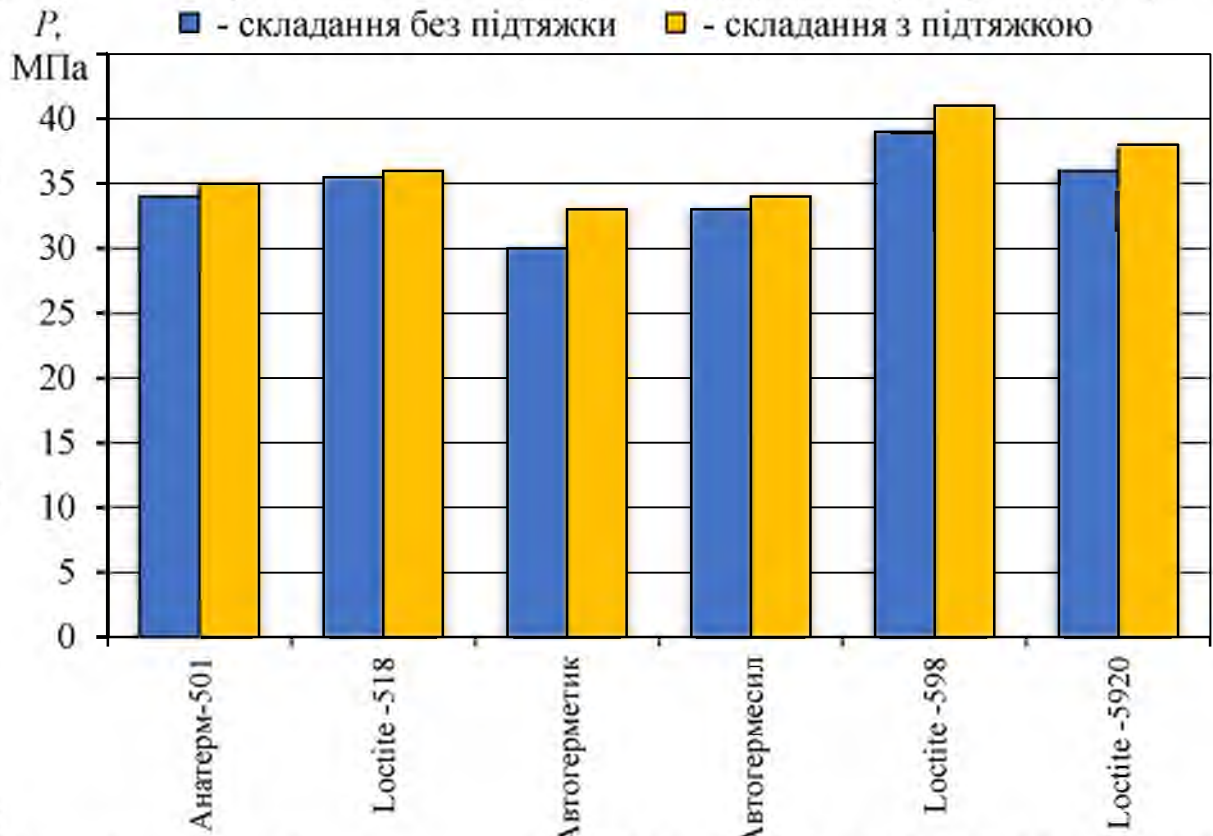


Рисунок 4.8 - Вплив на герметичність Р НФЗ режимів їхнього складання

Дослідження показали, що при додатковому підтисканні спостерігається стійка тенденція підвищення герметизуючої здатності у всіх досліджуваних складів на 2...7%, що, швидше за все, пов'язано зі збільшенням напруженого стану в шарі, що герметизується, і підвищенням контактного тиску на поверхні фланців. Зважаючи на те, що збільшення герметизуючої здатності незначне і знаходиться в межах припустимої помилки досвіду, НФЗ можна збирати без додаткового підтискання після полімеризації герметиків.

4.7 Залежність герметичності нерухомих фланцевих з'єднань від кількості розбірно-складальних операцій

Для оцінки можливості повторного використання герметиків визначали їхню герметизуючу здатність після кожної з п'яти розбірно-складальних

операцій при контактному тиску 2,97 МПа в з'єднанні «головка циліндра - кришка клапанів» двигуна Д-37М, відлитої з алюмінієвого сплаву ливарного

АЛ4 з товщиною стінки до 6 мм. Поверхня стику кришки мала механічні

ушкодження. Замість головки циліндра у дослідах використовували сталеву

плиту завтовшки 12 мм. Зі збільшенням числа розбірно-складальних операцій

герметизуюча здатність прокладок знижується, що спричинено їх

ушкодженнями (таблиця 4.2). Вже після першого розбирання герметичність

з'єднання в залежності від виду герметиків знизилася на 43...53%, а після п'яти

- на 73...94%.

Таблиця 4.2 - Залежність тиску розгерметизації (Р) НФЗ від кількості розбірно-складальних операцій

Кількість розбірально-складальних операцій	Тиск розгерметизації, МПа					
	Матеріал прокладки					
	Анатерм-501	Loctite-518	Авто-гермітик	Авто-гермесіл	Loctite-595	Loctite-5920
0	29,0	31,0	24,5	27,0	34,0	32,0
1	16,5	17,0	12,0	12,5	17,5	15,0
2	14,0	14,5	10,5	9,5	13,5	12,0
3	12,0	13,0	7,5	6,0	11,0	7,5
4	9,5	10,5	5,0	4,0	8,5	3,5
5	7,0	8,5	4,0	2,5	5,0	2,0

Оскільки після першого розбирання герметичність НФЗ з анаеробними та силіконовими складами зменшилася приблизно в 2 рази, їх слід

використовувати для герметизації з'єднань, які в процесі експлуатації не розуміються.

4.8 Визначення впливу товщини прокладок на герметизуючу здатність нанокомпозицій

Раніше проведеними дослідженнями було встановлено, що при товщині

прокладки, що дорівнює 0,01 мм, герметизуюча здатність анаеробних та

силіконових герметиків при механічному змішуванні залежно від виду

НУБІП України

наповнювача зростає на 7,4...30,0 %, а при подальшій обробці в ультразвуковому полі додатково збільшилося ще на 2,0...5,4 %. З метою

збереження встановлених заводами-виробниками розмірних ланцюгів, а також

внаслідок шорсткості, хвилястості, непаралельного та інших дефектів фланців,

НУБІП України

ушліфовальний шар між ними може мати різну товщину. Тому необхідно

було провести вивчення ступеня впливу наповнювачів на герметизуючу

здатність наноконпозицій від товщини прокладки.

Систематизація результатів попередніх досліджень показала, що при

механічному змішуванні компонентів наноконпозицій протягом 60 с і

подальшої їх обробкою в ультразвуковому полі протягом 60 с,

НУБІП України

герметизуюча здатність наноконпозицій в залежності від виду

наповнювача збільшилася на 12,8 ... 32,6 %: на основі Анатерм-501 – на

14,4...21,5%, Loctite -518 - на 12,8 ... 20,8 %, Автогерметика - на 21,6 ... 32,6%,

Автогермесу - на 20,0...30,3%, Loctite -598 - на 15,0...25,8% і Loctite -5920 - на

14,7...25,1% (рисунк 4.9 а).

НУБІП України

При збільшенні товщини прокладки до 0,5 мм герметизуюча здатність

наноконпозицій в залежності від виду наповнювача збільшилася на 16,1...32,9

%: на основі Анатерм-501 - на 16,1...28,8 %, Бос1 :е-518 - на 21,0...32,5 %,

Автогерметика - на 23,3...32,9%, Автогермесила - на 23,3...32,4%, Loctite -598

- на 17,9...29,9% та Loctite -5920 - на 19,1...30,9% (рисунк 4.9 б).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

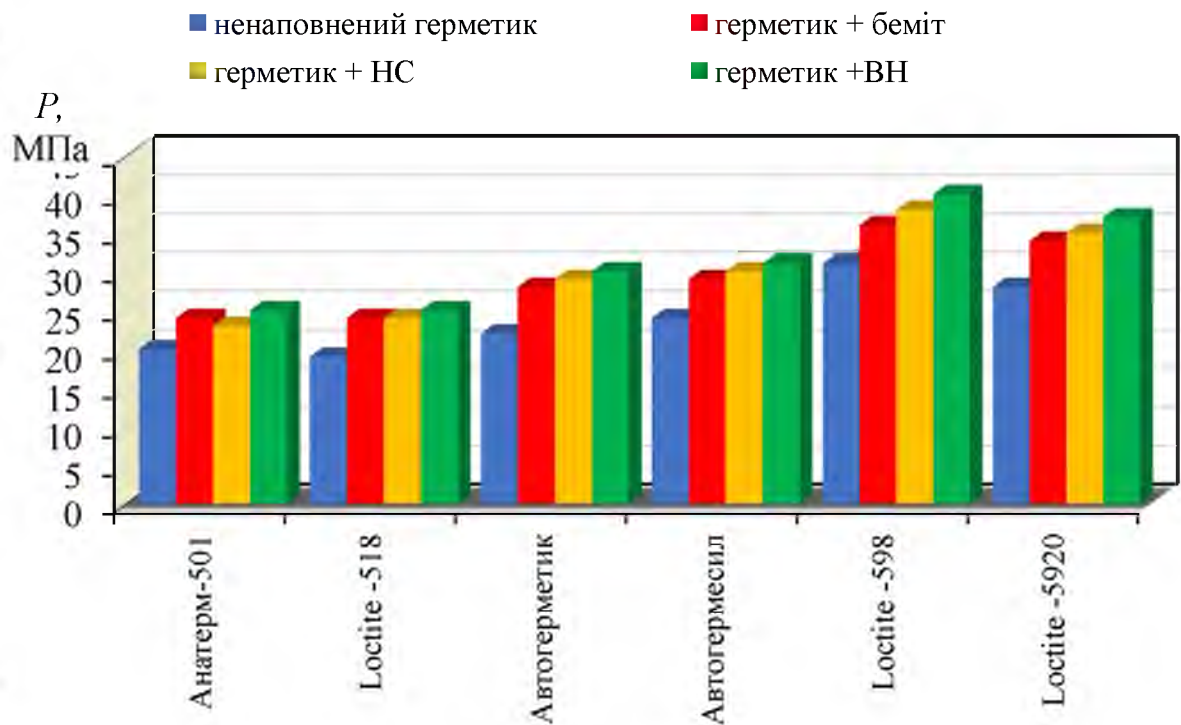
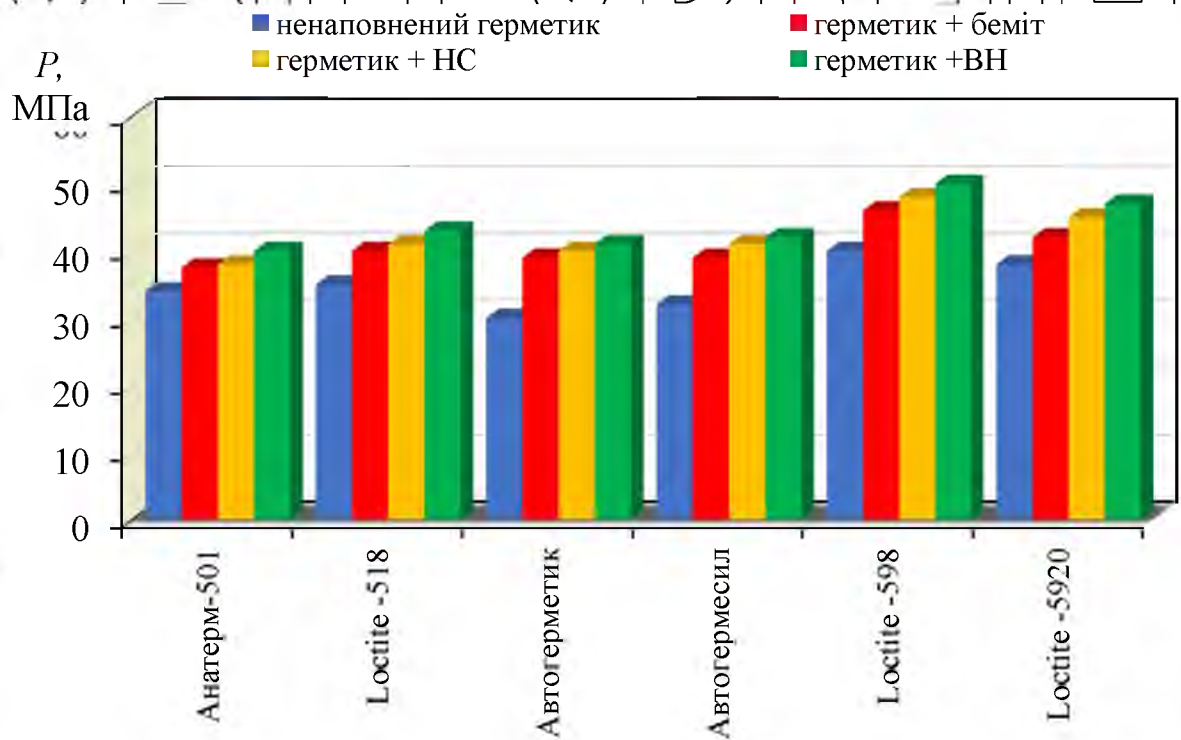


Рисунок 4.9 - Вплив наповнювачів на герметизуючу здатність Р анаеробних та силіконових складів:

а – товщина шару 0,01 мм; б – товщина шару 0,5 мм;

НУБІП України

Таким чином, при збільшенні товщини прокладок, ступінь впливу наповнювачів на підвищення герметизації наноконпозицій, зростає. Це можливо пов'язано із зміною деформаційних та інших властивостей наноконпозицій, які будуть вивчені у подальших дослідженнях.

НУБІП України

Висновки за розділом 4

1. Анаеробні та силіконові склади необхідно використовувати тільки для герметизації фланцевих з'єднань, які в процесі експлуатації не розбираються, оскільки вже після першої розбірно-складальної операції їхня герметичність знижується приблизно в 2 рази.

2. Збирати нерухомі фланцеві з'єднання слід відразу після нанесення герметиків. Знежирення поверхонь збільшує герметичність з'єднань на 21...29 % порівняно із замасленими фланцями. При складанні вузлів немає необхідності наносити склади на поверхні двох герметизованих фланців, виконувати їх додаткове підтискання після полімеризації складів, а також проводити термообробку.

3. Герметичність нерухомих фланцевих з'єднань після збирання підвищується в процесі полімеризації герметиків, що триває 8...20 год.

4. На герметичність нерухомих фланцевих з'єднань істотно впливає контактний тиск на поверхні фланців і товщина ущільнювача. Зміною цих параметрів можна регулювати тиск розгерметизації нерухомого фланцевого з'єднання.

5. Анаеробні та силіконові склади мають вищі герметизуючі здібності в порівнянні з традиційними прокладками. Їхня модифікація наночастинками сприяє підвищенню герметизуючої здатності до 33 %. Найкращий ефект спостерігається при використанні вуглецевих нанотрубок та наночастинок срібла.

6. Прокладки з герметиків менш чутливі до непаралельності поверхонь, ніж традиційних матеріалів. Силіконові склади стійкіші до непаралельності поверхонь, ніж анаеробні.

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Для оцінки економічної ефективності підвищення

сільськогосподарської техніки необхідно розрахувати техніко-економічні показники і порівняти їх з нині діючим.

Основними показниками економічної оцінки запропонованого методу: сума додаткових капіталовкладень, собівартість умовного ремонту, річний економічний ефект, час ступних додаткових капіталовкладень, річні продуктивності праці.

Собівартість продукції повинна бути нижчою ніж в діючій дільниці. Це досягається шляхом підвищення технічного рівня виробництва.

5.1 Розрахунок вартості основних виробничих фондів

Основні виробничі фонди розбирально-складальної дільниці включають вартість приміщення, виробничого обладнання, інструменту, пристосувань та оснастки.

Вартість основних виробничих фондів визначаємо за формулою:

$$C_{o.ф.} = C_{б.уд} + C_{o.б.} + C_{ин}, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де $C_{б.уд}$ – вартість існуючого приміщення, придатного для подальшої експлуатації, грн.;

$C_{o.б.}$ – вартість існуючого обладнання, грн.;

$C_{ин}$ – вартість інструменту, приладів, пристосувань.

Вартість існуючого приміщення розраховуємо за формулою:

$$C_{б.уд} = C'_{б.уд} \cdot S, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

де $C'_{б.уд}$ – середня вартість будівель-монтажних робіт, віднесених на 1 м²,

$$C'_{б.уд} = 750 \text{ грн/ м}^2;$$

S – площа розбирально-складальної дільниці, м²;

$$C_{б.уд} = 750 \cdot 287,8 = 215850 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Вартість існуючого обладнання складає 40% вартості будівлі:

$$C_{обл} = 0,40 \cdot 215850 = 86340 \text{ грн.}$$

Вартість приладів, пристроїв, інструментів складає 75% вартості обладнання:

$$C_{ин} = 0,075 \cdot 86340 = 6475,5 \text{ грн.}$$

Тоді, вартість основних засобів буде рівною:

$$C_{оф} = 215850 + 86340 + 6475,5 = 308665,5 \text{ грн.}$$

Основні фонди існуючої розбирально-складальної дільниці (до реконструкції) складають 184337,6 грн. Тоді додаткові капіталовкладення будуть становити:

$$\Delta = C_{оф} - C_{ф}, \text{ грн.},$$

$$\Delta = 308665,5 - 210008,2 = 95657,3 \text{ грн.}$$

5.2. Розрахунок собівартості ремонту

Собівартість відновлення однієї корпусної деталі визначаємо за формулою:

$$C_v = C_{з.п} + C_n + C_{п.в} + C_{ин}, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де $C_{з.п}$ – заробітна плата робочих з нарахуванням, грн.;

C_n – накладні витрати розбирального-складальної дільниці, грн.;

$C_{п.в}$ – поза виробничі витрати, грн.;

$C_{ин}$ – інші витрати, грн.

Структура заробітної плати має такий вигляд:

$$C_{з.п} = C_{о.з.п} + C_{д.з.п} + C_{н.з}, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

де $C_{о.з.п}$ – основна заробітна плата, грн.;

$C_{д.з.п}$ – допоміжна заробітна плата, грн.;

$C_{н.з}$ – нарахування на заробітну плату, грн.

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$C_{о.з.п} = \frac{C_{год}}{100} \cdot T_n, \text{ грн.} \quad (5.5)$$

НУБІП України

НУБІП України

де $C_{год}$ – середня тарифна ставка робітника зайнятого на розбирально-складальних роботах, становить 24,7 копійок;

T_n – норма часу на розбирання однієї сівалки, $T_n = 31,2$ год.;

НУБІП України

$$C_{о.з.п.} = \frac{24,7}{100} \cdot 31,2 = 7,70 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата визначається за формулою:

$$C_{д.з.п.} = (0,05 - 0,08) \cdot C_{о.з.п.}, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

де: $C_{о.з.п.}$ – основна заробітна плата.

$$C_{д.з.п.} = 0,07 \cdot 18,1 = 0,54 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Нарахування на заробітну плату визначається за формулою:

Отже заробітна плата буде становити:

$$C_{зн} = C_{озп} + C_{дзн} + C_{из}, \quad (5.7)$$

$$C_{зн} = 7,70 + 0,54 + 4,29 = 12,54 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Для капітального ремонту сівалки на оплату праці приходиться до 24% від вартості прямих затрат. За нормативними рекомендаціями визначаємо, що затрати на запчастини складають 51%, а матеріали 15%, інші витрати – 10%.

Виходячи з цього прямі витрати будуть становити: $C_{ин} = 245$ грн.;

Прямі витрати на розбирання двигуна будуть становити:

$$П_e = C_{зн} + C_{ин}, \text{ грн.};$$

$$П_e = 12,54 + 245 = 257,54, \text{ грн.}$$

Накладні витрати для дільниці будуть становити:

$$C_{н.в.} = C_{зн} + (K_y + K_z), \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де K_y – коефіцієнт для визначення цехових накладних витрат, приймаємо

$$K_y = 0,85;$$

K_z – коефіцієнт для визначення заводських накладних витрат, приймаємо $K_z = 0,5$;

$$C_{н.в.} = 12,54 (0,85 + 0,5) = 16,93, \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати будуть становити:

$$C_{п.в.} = 2\% (П_e + H_a), \text{ грн.}; \quad (5.9)$$

$$C_{п.в.} = 0,02 (257,54 + 16,93) = 5,5, \text{ грн.}$$

НУБІП України

НУБІП України

Тоді собівартість розбирання і складання однієї одиниці техніки буде становити:

$$C_v = C_{з.п} + C_{н.в} + C_{п.в} + H_v, \text{ грн.}; \quad (5.10)$$

$$C_v = 12,54 + 245 + 5,5 + 16,93 = 279,97 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Визначаємо повну собівартість ремонту за рік:

$$C_p = C_v * P_{р-р}, \text{ грн.};$$

$$C_p = 279,97 * 200 = 55994, \text{ грн.}$$

5.2.1. Визначення річної оптової ціни

НУБІП України

Для визначення річної оптової ціни потрібно враховувати такі відрахування:

- відрахування на науку;
- накопичення;
- податок на добавлену вартість.

Відрахування на науку становить:

НУБІП України

$$C_{\text{наук}} = 1\% * C_v, \text{ грн.}; \quad (5.11)$$

$$C_{\text{наук}} = 0,01 * 279,97 = 2,8, \text{ грн.}$$

Накопичення буде становити:

$$C_{\text{нак}} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}}), \text{ грн.}; \quad (5.12)$$

$$C_{\text{нак}} = 0,2 (279,97 + 2,8) = 56,55, \text{ грн.}$$

НУБІП України

ПДВ становить:

$$\text{ПДВ} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}}), \text{ грн.}; \quad (5.13)$$

$$\text{ПДВ} = 0,2 (279,97 + 2,8 + 56,55) = 67,86, \text{ грн.}$$

Звідси оптова відпускна ціна буде становити:

$$C_{\text{опт}} = C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}} + C_{\text{пдв}}, \text{ грн.}; \quad (5.14)$$

$$C_{\text{опт}} = 279,97 + 2,8 + 56,55 + 67,86 = 407,18 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Визначаємо річну програму в оптових цінах:

$$C_{\text{опт.р}} = 407,18 * 200 = 81436, \text{ грн.}$$

5.3. Прибуток підприємства

НУБІП України

Величину прибутку визначаємо за формулою:

$$\Pi = C_{\text{опт.р}} - C_{\text{впр}}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

НУБІП України

$$\Pi = 81436 - 55994 = 25442, \text{ грн.}$$

5.4. Рентабельність підприємства

Рентабельність підприємства визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\Pi}{C_{o.\phi}} \cdot 100\%; \quad (5.16)$$
$$P = \frac{25442}{308665,5} \cdot 100 = 8,24\%$$

5.5. Коефіцієнт фондівдачі

Коефіцієнт фондівдачі визначаємо за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{C_{ont.}}{C_{o.\phi}}; \quad (5.17)$$
$$K_{\phi} = \frac{81436}{308665,5} = 0,263$$

5.6. Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого

Розраховуємо за формулою:

$$B_{n.p} = \frac{C_{ont.p.}}{N_{роб}}; \quad \text{грн.}; \quad (5.18)$$

де $N_{роб}$ – кількість робітників на ділянці, чол.;

$$B_{n.p} = \frac{81436}{6} = 13572, \quad \text{грн.}$$

5.7. Випуск продукції на 1м² площі

Розраховуємо за формулою:

$$f_n = \frac{C_{ont.p.}}{F_o}; \quad \text{грн.}; \quad (5.19)$$

де F_o – площа ділянки, м².

$$f_n = \frac{81436}{287,8} = 282,9 \quad \text{грн.}$$

5.8. Визначаємо величину річної економії

Визначаємо за формулою:

$$E_p = (C_{ont.} - C_{ex}) N_{об}, \quad \text{грн.}; \quad (5.20)$$

НУБІП України

$$E_p = (407,18 - 279,97) \cdot 200 = 25442 \text{ грн.}$$

5.9 Річний економічний ефект

Визначення економічного ефекту від зниження собівартості ремонту за приведеними витратами для майстерні проводимо за наступними формулами:

$$E_{p.д.еф.} = (P_{з.іст.} - P_{з.рек.}) \cdot P_{ур.}, \text{ грн.}, \quad (5.21)$$

$P_{ур}$ – програма розбирально-складальної дільниці ремонтної майстерні.

$$P_{ур} = \frac{31,17 \cdot 200}{300} = 20,78 \text{ ум.рем.}$$

де 300 – трудомісткість одного умовного ремонту.

де $P_{рек.}$ – приведені затрати існуючої бази.

$$P_{рек} = C'_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{P_{ур}}, \text{ грн.}; \quad (5.22)$$

$$P_{рек} = 279,97 + 0,15 \cdot \frac{308665,5}{20,78} = 2508 \text{ грн.}$$

Після технічного переоснащення майстерні та обґрунтування організаційних параметрів розбирально-складальної дільниці майстерні по ремонту с-г техніки:

$$P_{ін} = C'_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{P_{ур}}, \text{ грн.}; \quad (5.23)$$

$$P_{ін} = 460 + 0,15 \cdot \frac{210008,2}{11,5} = 3199,24 \text{ грн.}$$

Після проведених розрахунків, для розбирально-складальної дільниці з ремонту комбайнів маємо:

$$E_{p.д.еф.} = (3199,24 - 2508) \cdot 20,78 = 14363,9 \text{ грн.}$$

5.10. Окупність капіталовкладень

Визначаємо за формулою окупність додаткових капіталовкладень:

$$T = \frac{\Delta C_{о.ф.}}{E_p}, \text{ рік} \quad (5.24)$$

НУБІП України

НУБІП України

$$T = \frac{95657.3}{25442} \approx 3,75 \text{ роки}$$

Таблиця 5.1

Техніко-економічні показники

№ п/п	Найменування	Значення
1	Річний випуск продукції:	
	- у натуральному обчисленні, шт.	200
	- в оптових цінах, грн.	81436
2	Повна собівартість продукції, грн.	55994
3	Основні фонди, грн.	308665,5
4	Загальна площа, м ² .	287,8
5	Загальна кількість працюючих, чол.	6
6	Прибуток	25442
7	Рентабельність	8,24
8	Коефіцієнт фондівдачі	0,263
9	Випуск продукції на 1м ² площі	282,9
10	Річний економічний ефект, грн.	14363,9
11	Окупність капіталовкладень, рік	3,75

Річний економічний ефект складає 14363,9 гривень. Витрати на реалізацію методу підвищення надійності сільськогосподарської техніки зможуть окупитися за 3,75 років

НУБІП України

НУБІП України

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз досліджуваної проблеми показав, що однією з поширених несправностей сільськогосподарської техніки є порушення герметичності фланцевих з'єднань внаслідок недосконалості їхньої герметизації прокладками з листових та формованих матеріалів. Основним напрямом вирішення цієї проблеми є використання ущільнювачів нанокompозицій на основі силіконових та анаеробних герметиків.

2. Теоретично обґрунтовано застосування нанокompозицій на основі герметиків, що володіють високими фізико-механічними властивостями, що забезпечують підвищену стійкість до робочих рідин, вібраційних навантажень, процесів старіння та фреттинг-корозії та мають підвищену довговічність.

3. Математично змодельовано процеси взаємодії мікровиступів поверхонь фланців та фреттинг-часток із матеріалом ущільнювача, що дозволяють обґрунтувати технологічні режими герметизації. Отримано теоретичні залежності визначення контактних тисків, глибини проникнення твердих частинок у поверхню від навантаження на частинку, що вдавлюється, і модуля пружності ущільнювача. Встановлено, що фреттинг-стійкість ущільнювача зростає зі збільшенням модуля пружності і товщини шару, мінімальна величина якої становить 4 мкм.

4. Удосконалено методику дослідження адгезійної міцності герметиків, що дозволяє зменшити розкиди дослідних даних до 48 % за рахунок вибору оптимального діаметра зразків, що становить 25 мм.

5. Експериментально визначено технологічні параметри герметизації фланцевих з'єднань. Доведено, що їхня герметичність залежить від товщини та температури експлуатації ущільнювача, контактного тиску, непаралельного™ та стану поверхонь фланців. Встановлено, що теплостійкість анаеробних герметиків становить 150...160 °C і силіконових - 180...340 °C.

6. Введення наночастинок у полімерну матрицю герметиків сприяє зниженню залишкової деформації до 33 %, часу полімеризації складів до 25 %, повзучості до 20 %, збільшення їх модуля пружності до 35 %, коефіцієнта відновлюваності до 26 % та теплостійкості до 25 %.

7. Найбільшу інтенсивність зношування при фреттинг-корозії мають зразки з алюмінієвого сплаву, найменшу - зі сталі та сірого чавуну. Найкращий захист від фреттинг-корозії забезпечують анаеробні герметики.

Нанонаповнювачі знижують інтенсивність фреттинг-корозії до 47%, максимальний ефект досягається у композицій, наповнених наночастинками срібла.

8. Для герметизації сполук, що контактують з бензином та дизельним паливом, рекомендується використовувати анаеробні герметики, а з моторною олією, гальмівною рідиною, тосолом та водою – силіконові. Стійкість наноконпозицій до процесів набухання та розчинення вище стійкості вихідних герметиків до 39%. Найкращі якості характерні для складів, наповнених вуглецевими нанотрубками та наночастинками срібла.

9. Анаеробні герметики при мінімальній товщині зазору мають більшу стійкість до вібраційних навантажень, ніж силіконові. У разі збільшення товщини стійкість герметиків до вібраційним навантаженням зростає. При товщині шару 0,5 мм силіконові герметики стійкіші до вібраційних навантажень, ніж анаеробні. Стійкість до таких навантажень у наноконпозицій вища, ніж у ненаповнених складів до 18%.

10. У процесі старіння герметизуюча здатність анаеробних та силіконових складів знижується на 12...34 %. Стійкість до старіння у наноконпозицій з наночастинками срібла та вуглецевими нанотрубками вища, ніж у ненаповнених складів до 15%. Беміт не робить істотного впливу на стійкість герметиків до старіння.

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сорокін, Н.Т. Забезпечення сільгоспвиробників

сільськогосподарською технікою та обладнанням [Текст]/Н.Т. Сорокін, Є.А.

Піменов, А.В. Щетников // Сільськогосподарські машини та технології. – 2011.

№ 5. – С. 3-7.

2. Чорноіванів, В.І. Відновлення деталей машин (стан та перспективи)

[Текст]/В.І. Чорноіванів, І.Г. Голубев. – К.: ФДНУ «Росінформагротех», 2010.

– 376 с.

3. Гайдар, С.М. Захист сільськогосподарської техніки від корозії та

зносу із застосуванням нанотехнологій [Текст]: дис. ... докт. техн. наук.

05.20.03 / Олександр Гайдар Сергій Михайлович. – М., 2011. – 433 с.

4. Аналіз надійності (безвідмовності) вітчизняних та зарубіжних

тракторів [Текст] / Д. Купрюнін [та ін.] - М.: ТОВ «Столична друкарня», – 96

с.

5. Агроінженерна наука Росії: становлення, стратегія розвитку (до 100-

річчя створення Бюро з сільськогосподарської механіки) [Текст]/За ред.

академіків Россільгоспакадемії Н.В. Краснощокова, Ю.Ф. Халуши, В.Д.

Попова. – К.: ФДНУ «Росінформагротех», 2007. – 624 с.

6. Спирін, А.П. Екологічні вимоги до сільськогосподарської техніки

[Текст]/О.П. Спирін, О.А. Сізов // Техніка сільському господарстві. – 1999. №2.

С. 19-22.

7. Баурова, Н.І. Полімерні матеріали для ремонту машин: методичні

вказівки [Текст]/Н.І. Баурова. - М: Вид-во МАДИ (ГТУ), – 46 с.

8. Наноінженерія поверхонь тертя деталей [Текст]/М.М. Срохін [та ін].

– К.: Росінформагротех, 2008. – 266 с.

9. Косаренко, Р.І. Вплив режимів прискореного старіння

композиційного полімерного матеріалу на працездатність металополімерної

трибосистеми [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Косаренко Роман

Іванович. – Омськ, 2008. – 124 с.

НУБІП України

10. Біргер, І. А. Різьбові та фланцеві з'єднання [Текст] / І. А. Біргер, Г. Б. Йосилевич. - М: Машинобудування, 1990. - 388 с.

11. Загальносоюзний класифікатор. Вищі класифікаційні угруповання, промислова та сільськогосподарська продукція. 175044. Держплан СРСР [Текст]. - М: Статистика, 1977. - 814 с.

12. Голубев, Г. В. Ущільнення та ущільнювальна техніка: довідник [Текст] / Г. В. Голубев, Л. М. Кондаків. - М: Машинобудування, 1986. - 464 с.

13. Кондаков, Л. А. Ущільнення гідравлічних систем [Текст] / Л. А. Кондаків. - М: Машинобудування, 1972. - 240 с.

14. Буренін, В. В. Конструкції ущільнень для нерухомих роз'ємних з'єднань [Текст] / В. В. Буренін, В. П. Дронов. - М.: Вид-во ЦИНТИХІМ-НАФТОМАШ, 1983. - 34 с.

15. Кондаков, Л. А. Робочі рідини та ущільнення гідравлічних систем [Текст] / Л. А. Кондаків. - М: Машинобудування, 1982. - 216 с.

16. Проблеми сучасної ущільнювальної техніки [Текст] / За ред. В. М. Прокоф'єва, Л. А. Кондакова. - М: Мир, 1967. - 482 с.

17. Баусов, А. М. Комбіновані магніторідинні ущільнення підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Баусов Олександр Михайлович. - Москва, 2004. - 265 с.

18. Stolze, D. Untersuchung der Axialgleitringdichtungen / D. Stolze // Maschinenbautechnik. - 1981. - Vol. 30, № 4. - P. 172-177.

19. Internationale Dichtungstagung. Übersichts- / Vorträge. DDR, Dresden, 1978. - 228 S.

20. The Seal users handbook, 2 st ed. / RM Austin BS Nau. BHRA, England, 1984. - 458 p.

21. Hydraulics and Pneumatics, 1982. - Vol. 35, № 12. - P. 37-38.

22. Proceedings 6 th International Conference on Fluid Sealing. BHRA, Cranfield, 1973. - 10 p.

23. Комаров, А. А. Надійність гідравлічних систем [Текст] /

24. А. Комаров. - М: Машинобудування, 1969. - 236 с.

НУБІП України

25. Макаров, Г.В. Ущільнювальні пристрої [Текст]/Г.В. Макаров. – Л.: «Машинобудування», 1973. – 232 с.

26. ГОСТ 12820-80. Фланці сталеві приварні плоскі на Ру від 0,1

НУБІП України

27. Шнейдер, Ю.Г. Розрахункове забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь із регулярним мікрорельєфом [Текст] / Ю.Г. Шнейдер, В.І.Сорокін // Вісник машинобудування. – 1980. – № 9. – С. 17-19.

28. Шнейдер, Ю.Г. Утворення регулярних мікрорельєфів на деталях та їх експлуатаційні властивості [Текст]/Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машинобудування, 1972. – 238 с.

НУБІП України

29. Монтаж, експлуатація та ремонт технологічного обладнання: підручник [Текст] / О.М. Батищев, І.Г. Голубев, В.В. Курчаткін, В.М. Юдін, І.А. Спіцин. - М.: Колос, 2007. - 424с.

30. Хватов, Б.М. Герметичність ущільнювальних пар пневмоциліндрів з віброобкатаними штоками [Текст]/Б.М. Хватов // Вісник машинобудування. - 1978. - № 2. - С. 33-35.

НУБІП України

31. Шнейдер, Ю.Г. Вплив шорсткості металеві поверхні на тертя у парах гідроущільнювачів зворотно-поступального руху [Текст] / Ю.Г. Шнейдер, А.ІІ. Рейнус // Вісник машинобудування. – 1970.-№5.-С. 19-20.

НУБІП України

32. Лазаренко, Б.Р. Електроіскрова обробка струмопровідних матеріалів [Текст]/Б.Р. Лазаренко. - М.: Вид-во АН СРСР, 1959. - 184 с.

33. Верхотуров, А.Д. Електроіскрове легування металевих поверхонь [Текст]/О.Д. Верхотуров, Г.В. Самсонів. – Київ: Наукова думка, 1976. – 260 с.

НУБІП України

34. Черноіванів, В.І. Нові технологічні процеси та обладнання для відновлення деталей сільськогосподарської техніки [Текст]/В.І. Черноіванів, В.М. Андрєєв. – М.: Вища школа, 1983. – 96 с.

НУБІП України

35. Мікрогеометрія та несуча здатність поверхні, утвореної електроіскровою наплавкою [Текст]/Ф.Х. Бурумкулов [та ін] // Технологія машинобудування. – 2001. – С. 29-34.

НУБІП України

36. Петров, Ю.М. Електроіскрове легування металевих поверхонь [Текст]/Ю.М. Петров. – Кишинів: Штиниця, 1985. – 196 с.

37. Цой, І. Підвищення довговічності ущільнення системи змащення двигуна ЗМЗ-24 [Текст] / І. Цой, А. Реницький // Автомобільний транспорт. – 1981. – № 11. – С. 42-43.

38. Березін, М. А. Підвищення довговічності ущільнювальних сполук удосконаленням умов контактної взаємодії в системі «ущільнювач-контртіло»

[Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Березін Михайло Олександрович. – Саранськ, 2006. – 215 с.

39. Добрушкін, Д.Б. Проектування еластичних торцевих ущільнень [Текст]/Д.Б. Добрушкін // Вісник машинобудування. – 1970. – № 12. – С. 38-41.

40. Хайкін, М.І. Релаксаційна характеристика гумових вулканізаторів. Принцип об'ємно-часової суперпозиції при хімічній релаксації напруги [Текст]/М.І. Хайкін, Б.М. Пальник // Каучук і гума. – 1982. – № 9 – С. 19-21.

41. Аврущенко, Б.Х. Гумові ущільнювачі [Текст]/Б.Х. Аврущенко. – Л. Хімія, 1978. – 136 с.

42. Гусарев, А.І. Дослідження залежності терміну служби гумових кілець ущільнювачів від діаметра їх перетину [Текст] / О.І. Гусарев, В.Г. Бабкін, Л.П. Сьоміна// Каучук і гума.-1981.-№6.-С. 47-48.

43. Бекер, Л.Е. Дослідження технологічних особливостей перметизації двигунів під час ремонту з використанням полімерних матеріалів [Текст]: дис. ... канд. техн. наук/Бекер Л.Е. – М., 1969. – 146 с.

44. Сачко, АА Про працездатність кілець круглого перерізу в повітряному середовищі при підвищеному тиску [Текст] / Сачко АА, В.М. Савойський,

45. С. Кузьмінський // Каучук та гума. – 1983. – № 7. – С. 33-35.

46. Сачко, АА, Дослідження працездатності ущільнювачів при одночасному впливі вакууму та повітря підвищеного тиску [Текст] / АА Сачко [та ін.] // Каучук та гума. – 1981. – № 2. – С. 41-44.

47. Вивчення властивостей гум ущільнювачів при тривалому старінні в контактi з металом [Текст] / Т.Г. Дегтева [та ін.] // Каучук та гума. – 1979. – № 4. – С. 26-30.

48. Оцінки терміну служби ущільнювачів трансформаторів [Текст] / І.Н. Смориго [та ін.] // Каучук та гума. – 1986. – № 9. – С. 26-27.

49. Буренін, В.В. Початкова сила тертя спокою в еластичних ущільненнях поршня силового гідроциліндра [Текст] / В.В. Буренін // Вісник машинобудування. – 2001. – № 2. – С. 15-17.

50. Піранков, В.К. Вплив тривалості нерухомого контакту на максимальну силу тертя гумових кілець ущільнювачів при зворотно-поступальному русі [Текст] / В.К. Піранков, А.І. Єлькін // Каучук та гума. – 1972. – № 3. – С. 29-31.

51. Штительман, М.І. Вплив вібрації на герметичність гумових ущільнювачів у нерухомих з'єднаннях [Текст] / М.І. Штительман.

52. В.В. Седов, НН Юрцев // Каучук та гума. – 1988. – № 6. – С. 23-25.

53. Koppe, W. Herlan-Inform / W. Koppe. – 1973. – Vol. 12, № 4. – P. 143-152.

54. Piazza, S. Pasquini F. Kautschuk u. Gummi/S. Piazza. – Kunststoffe, 1980. – Bd. 33, № 2. – P. 90-95.

55. Warring, RH Seals and Packing. Trade and Technical Press Ltd / RH Warring. - England: Mogden. Surrey, 1967. - 312 p.

56. Блоу, СМ Проблеми сучасної ущільнювальної техніки [Пер. з англ.] [Текст] / С.М. Блоу – М.: Світ, 1967. – С. 147-168.

57. Устинова, А.Т. Випробування гум у фізично агресивних середовищах [Текст] / А.Т. Устинова. - М.: ЦНДІТЕНЕФТЕХІМ, 1978. - 92 с.

58. Кузнецов, АВ Паливо та мастильні матеріали: підручник для вузів [Текст] / АВ Кузнецов. - М.: Колос, 2004. - 200 с.

59. Савицький, Б.П. Автомобільне паливо та мастильні матеріали: довідник [Текст] / Б.П. Савицький. – Київ: Техніка, 1979. – 150 с.

60. ГОСТ 2084-77. Автомобільні бензини. Технічні умови [Текст].
Видання зі змінами № 1, 2, 3, 4, 5, затвердженими у березні 1981 р., квітні 1983,
жовтні 1984, червні 1990, лютому 1997 (ІУС 6-81, 7-83, 1-85, 10-90, 5-97); введ.
1977-09-29. - М: Вид-во стандартів, 1998. - 12 с.

61. ГОСТ Р 51105-97. Палива для двигунів внутрішнього згоряння.
Неестильований бензин. Технічні умови [Текст]. - Видання (червень 2009 р.) із
Змінами № 1, 2, 3, 4, прийнятими у липні 1999 р.; квітні 2000; березні 2004 р.;
грудні 2004 р. (ІВД 10-99, 7-2000, 6-2004, 3-2005); поправками (ІКС 4-99, 5-
2009); введ. 1997-12-09. - М: Вид-во стандартів, 1998. - 16 с.

62. Воробйова, Г.Я. Хімічна стійкість полімерних матеріалів
[Текст]/Г.Я. Воробйова. - М: Хімія, 1981. - 296 с.

63. Моїсєєв, Ю.В. Хімічна стійкість полімерів в агресивних
середовищах [Текст]/Ю.В. Моїсєєв, Г.Є. Зайків. - М: Хімія, 1979. - 288 с.

64. Буреніц, В.В. Контактні ущільнення для герметизації нерухомих
роз'ємних з'єднань [Текст]/В.В. Буреніц // Будівельні та дорожні машини.
2000. - С. 26-31.

65. Тертя, зношування та змащення: довідник. Кн. 2 [Текст]/За ред.
І.В. Крагельського, В.В. Алісіна. - М: Машинобудування, 1979. - 324 с.

66. ГОСТ 481-80. Пароніт та прокладки з нього. Технічні умови
[Текст]. - Видання (червень 2002) зі змінами № 1, 2, 3, 4, 5, затвердженими у
грудні 1982 р., травні 1985 р., лютому 1988 р., лютому 1990 р. та грудні 1991
р. (ІВД 3-83, 8-85, 5-88, 5-90, 4-92). - замість ГОСТ 481-71, введ. 1980-23-27. -
М: Вид-во стандартів, 1980. - 12 с.

67. Матеріали у машинобудуванні. Неметалічні матеріали [Текст]/За
ред. В.А. Потова, С.І. Сільвестровича, Л.О. Шейдемана - М:
Машинобудування, 1969, т.5. - 544 с.

68. Білий, В.А. Введення у матеріалознавство герметизуючих систем
[Текст]/В.А. Білий, Л.С. Пінчук. - Мінськ: Наука та техніка, 1980. - 304 с.

69. Пінчук, Л.С. Герметизуючі полімерні матеріали [Текст]/Л.С.
Пінчук, А.С. Неверов - М.: Машинобудування, 1995. - 159 с.

НУБІП України

70. Довідник з сучасних суднобудівних матеріалів [Текст] / Ст. Абрамович [та ін.]. – Л.: Суднобудування, 1979. – 584 с.

71. Водяник, В.І. Еластичні мембрани [Текст]/В.І. Водяник. - М: Машинобудування, 1974. - 136 с.

НУБІП України

72. Федюкін, Д.Л. Технічні та технологічні властивості гум [Текст]/Д.Л. Федюкін, Ф.А. Махліс. - М: Хімія, 1985. - 218 с.

73. Гумові ущільнення валів, що обертаються: каталог-довідник [Текст] / В. Юровський [та ін.]. - М.: Вид-во ЦНДІТЕНЕФТЕХІМ, 1978. - 184 с.

НУБІП України

74. Лабутін, А.Л. Антикоровізи́йні та герметизуючі матеріали на основі синтетичних каучуків [Текст]/О.Л. Лабутін. – Л.: Хімія, 1982. – 214 с.

75. Буренін, В.В. Герметики для ущільнення та фіксації нерухомих з'єднань [Текст]/В.В. Буренін // Автомобільна промисловість. - 2003 №7.-С. 32-

НУБІП України

76. Weltmarkt Kleb – und Dichtstoffe 1995 // Produktion, 1996. – № 31-

77. Смилова, РА Довідковий посібник з герметизуючих матеріалів на основі каучуків [Текст] / РА Смилова, С.В. Котлярова. - М: Хімія, 1976. - 72 с.

НУБІП України

78. Буренін, В.В. Герметики для ущільнення та фіксації нерухомих з'єднань машин та механізмів [Текст]// В.В. Буренін // Будівельні та дорожні машини. – 1999. – № 5. – С. 36-39.

79. Герметичність нерухомих сполук гідравлічних систем [Текст]/В. Бабкін [та ін.]. - М: Машинобудування, 1977. - 120 с.

НУБІП України

80. Натрусов, В.І. Деякі результати досліджень щодо впливу наноматеріалів вуглецевого та силікатного типів на властивості епоксидної матриці [Текст] / В.І. Натрусов [та ін.] // У кн.: Тези конференції «Нанотехнології – виробництву – 2007». – Фрязіно, 2007. – С. 200-210.

81. Воюцький, С.С. ЖФГ [Текст]/С.С. Воюцький [та ін.], 1963. – 38 с.

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

82. Єршов, Д.В. Наповнювачі для еластомірних композицій [Текст]/Д.В. Єршов, В.М. Гончаров// Нанотехніка. – 2007. – № 1 (9). – С. 15-20.

НУБІП УКРАЇНИ

83. Бранцева, Т.В. Адгезійна взаємодія в системі модифікована епоксидна матриця/волокно за різних режимів навантаження [Текст]: дис. ... канд. хім. наук: 05.17.06 / Бранцева Тетяна Володимирівна. – М., 2003. – 180 с.

НУБІП УКРАЇНИ

84. Тимофєєва, М.Ю. Фізико-хімічні особливості та розробка моделі процесів адгезійної взаємодії розчинів високомолекулярних сполук [Текст]: дис. ... канд. хім. наук: 02.00.06 / Тимофєєва Марина Юріївна. – М., 2005. – 157 с.

НУБІП УКРАЇНИ

85. Козлов, Г.В. Структурний аналіз пластичності полімерних нанокompозитів, наповнених вуглецевими нанотрубками [Текст]/Г.В. Козлов, А.І. Буря, З.Х. Афашагова, А.К. Микитаєв // Нанотехніка. – 2008.-№2.-С. 33-

НУБІП УКРАЇНИ

36.
86. Маламатов, А.Х. Структура, властивості та механізми посилення полімерних нанокompозитів [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 02.00.06 / Маламатов Ахмед Харабієвич. – Нальчик, 2006. – 297 с.

НУБІП УКРАЇНИ

87. Чичварін, А.В. Вивчення термоокислювальних процесів у полімерних системах [Текст]: дис. ... канд. хім. наук: 05.17.06 / Чичварін Олександр Валерійович. – Воронеж, 2005. – 123 с.

НУБІП УКРАЇНИ

88. Гусєва, М.А. Структура та фізико-механічні властивості нанокompозитів на основі неполярного полімеру та шарового силікату [Текст]: дис. ... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.07 / Гусєва Марія Олександрівна. – М., 2005. – 156 с.

НУБІП УКРАЇНИ

89. Kojima, Y. Synthesis nylon 6- clay hybrid при montmorillonite intercalated з ϵ -caprolactam / Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, T. Kurauchi, O. Kamigaito // J. Polym. Sci., Part A, 1993. – V. 31. – P. 983-986.

НУБІП УКРАЇНИ

90. Sinha, R. New polylactide/layered silicate nanocomposites. Конкурентні вдосконалення матеріальних властивостей, biodegradability and

melt rheology / R. Sinha, K. Yamada, M. Okamoto, K. Ueda // Polymer. – 2003. – V. 44. – P. 857-866.

91. Nam, PH Foam процесування і структура структури polypropylene / clay nanocomposites / PH Nam, P. Maiti, M. Okamoto, T. Kotaka // Proceeding nanocomposites, June 25-27, 2001, Chicago, USA, ECM Publication.

92. Zhu, J. Fire properties of polystyrene-clay nanocomposites / J. Zhu, AB Morgan, FJ. Lamelas, CA Wilkie // Chem. Material. – 2001. – V. 13. – P. 3774-3780.

93. Alexandre, M. Dubois Ph. Полімер очищений цвдлізованими нанокомползитами: preparation, properties and uses of new class of materials / M. Alexandre // Mater. SCI. and Eng. – 2000. – V. 28. – P. 1-63.

94. Kojima, Y. One-pot synthesis of nylon 6-clay hybrid / Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, T. Kurauchi, O. Kamigaito // J. Polym. Sci., Part A. – 1993.-V. 31.-P. 1755–1758.

95. Нільсен, Л. Механічні властивості полімерів та полімерних композицій [Текст] / Л.Е. Нільсен. - М: Хімія, 1978. - 312 с.

96. Yano, K. Synthesis і властивості полімедіа-clay hybrid / K. Yano,

97. Usuki, A. Okada, T. Kurauchi, O. Kamigaito // J. Polym. Sci., Part A. – 1993. – V. 31.-P. 2493-2498.

98. Sinha, Ray New polylactide/layered silicate nanocomposites. High performance biodegradable materials / Ray Sinha, K. Yamada, M. Okamoto,

99. Ogami, K. Ueda, // Chem. Mater. – 2003. – V. 15. – P. 1456-1465.

100. Раков, Е.Г. Хімія та застосування вуглецевих нанотрубок [Текст] / Е.Г. Раків // Успіхи хімії. – 2001. – Т. 70. – № 10. – С. 934-973.

101. Виморков, Н.В. Ефективність наномодифікування епоксидних матриць [Текст] / Н.В. Виморків [та ін.] // Нанотехнології – виробництву – 2007: тез. конф. - Фрязіно, 2007. - С. 42-43.

102. Чмутін, І.А. Контроль однорідності розподілу наночастинок у полімерній матриці [Текст] / І.А. Чмутін, Н.Г. Рвкіна, І.Л. Дубнікова // Нанотехнології – виробництву – 2007: тез. конф. - Фрязіно, 2007. - С. 229-234.

НУБІП України

103. Зайцева, К.В. Ущільнення нерухомих з'єднань [Текст]/К.В. Зайцева // Верстати та інструмент. - 1955. - № 8. - С. 34-37.

104. Лойцанський, Л.Г. Механіка рідини та газу [Текст]. - 4-те вид. /

Л.Г. Лойцянский. - М: Наука, 1973. - 848 с.

105. Демкін, Н.Б. Контактвання шорстких поверхонь [Текст]/

Н.Б. Демкін. - М: Наука, 1970. - 228 с.

107. ГОСТ Р 52857.4-2007. Методи та норми розрахунку на міцність.

Розрахунок на міцність та герметичність фланцевих з'єднань [Текст]; введ.

2007-12-27. - М.: Вид-во стандартів, 2008. - 38 с.

108. Деталі машин та основи конструювання [Текст] / За ред. М.М. Єрохіна. - М.: Колос, 2005. - 462 с.

109. Тагер, АА Фізикохімія полімерів [Текст]/АА Тагер. - М: Хімія. -

1978. - 544 с.

110. ГОСТ 9.029-74 (СТ РЕВ 1217-78). Гуми. Методи випробувань на стійкість до старіння під час статичної деформації стиснення [Текст]. - замість ГОСТ 11099-64; введ. 1976-01-01. - М: Вид-во стандартів, 1981. - 8 с.

111. Деталі машин та основи конструювання: підручник [Текст] /

112. М.М. Єрохін, С.П. Казанцев, АВ Карп [та ін]. - М.: Колос, 2011. -

512 с.

113. Водяков, В.М. Математичне моделювання процесів формування та навантаження еластомірних ущільнювачів автотракторної техніки [Текст]/В.М. Водяки. - Саранськ: Вид-во Мордов. ун-ту, 2005. - 216 с.

114. ГОСТ Р 52857.4-2007. Судини та апарати. Норми та методи розрахунку на міцність. Розрахунок на міцність та герметичність фланцевих з'єднань [Текст]; введ. 2007-12-27. - М.: Вид-во стандартів, 2008. - 38 с.

115. Крагельський, І.В. Тертя та знос [Текст]/І.В. Крагельський. - М: Машинобудування, 1968. - 480 с.

116. Тейбор, Д. Тертя як дисипативний процес [Текст] /

117. Д. Тейбор // Тертя та знос. - 1994. - Т. 15, № 2. - С. 296-315.

НУБІП України

НУБІП України

118. Рейнер, М. Реологія [пер. з англ.] [Текст]/М. Рейнер; за ред. В.І. Григолюка. - М: Наука, 1965. - 370 с.

119. Мур, Д. Тертя та мастило еластомерів [пер. з англ.] [Текст]/Д. Мур; за ред. Г.І. Бродського. - М: Хімія, 1977. - 264 с.

НУБІП України

120. Amontons, G. De la resistance causa dans les machines / G. Amontons // Histoire de l'Academie Royale des Sciences, 1699. - Vol. 12.

121. Берлін, А.А. Основи адгезії полімерів [Текст]/А.А. Берлін,

122. В.С. Басин. - М., Хімія, 1974. - 2-ге вид.- 392 с.

НУБІП України

123. Моїсєєв, Ю.В. Хімічна стійкість полімерів в агресивних середовищах [Текст]/Ю.В. Моїсєєв, Г.Є. Зайків - М: Хімія, 1979. - 288 с.

124. Воробйова, Г.Я. Хімічна стійкість полімерних матеріалів [Текст]/Г.Я. Воробйова. - М: Хімія, 1981. - 296 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України