

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Підвищення абразивної стійкості вальниць
ковзання кормозмішувальної установки»

КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«*Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва*»
спеціальності 133 «*Галузеве
машинобудування*»
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_21
ПОЛЯКОВ Роман

Керівник: докт. техн. наук, проф.
КОВБАСА Володимир

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Усе більшого значення із початком розвитку техніки, набуває питання підвищення довговічності та надійності машин. Багато учених, спеціалістів промислово розвинених країн світу займаються вивченням причин руйнування деталей при експлуатації та розробленні методів підвищення надійності та довговічності машин.

Зменшення матеріало- та енергомісткості об'єктів виробництва і промислового виробництва в цілому, підвищення рівня автоматизації промисловості, необхідність роботи механізмів та приладів у різних газових і рідинних середовищах за низьких і високих температур є важливим.

У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів та приладів основне місце належить питанням тертя, змащувальній дії, зносу поверхонь деталей і робочих органів, які між собою утворюють пари тертя.

Необхідність дослідження зносостійкості деталей машин витікає і з економічних витрат. Однією з найголовніших причин відмов унаслідок зносу є власне знос рухомих спряжень механізмів та деталей.

На сьогодні застосовують різноманітні ефективні способи підвищення зносостійкості і довговічності деталей та механізмів. Провідна роль у створенні довговічних і надійних конструкцій механізмів і деталей належить конструкторам і технологам, які на усіх етапах безпосередньо впливають на технічні характеристики механізмів і працездатність окремих вузлів і деталей.

На основі літературних джерел, наукового аналізу та особистого досвіду технологи і конструктори повинні знайти оптимальні конструктивні рішення, вірно підібрати матеріал та визначити раціональні технологічні методи виготовлення, зміцнення деталей.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Проблема та дослідження абразивного зносу

Абразивним матеріалом називають мінерал природного або штучного походження, зерна якого мають достатню твердість, володіють здатністю різати.

Абразивний знос і пошкоджуваність – процеси руйнування поверхонь деталей машин у результаті їх взаємодії з твердими частинками (абразивним середовищем), за наявності відносної швидкості. У ролі таких частинок виступають:

а) нерухомо закріплені тверді зерна, що входять у контакт по дотичній або під невеликим кутом до поверхні деталі;

б) незакріплені частинки, що входять у контакт із поверхнею деталі (наприклад, насипні вантажі при їх транспортуванні відповідними засобами, абразивні частинки в ґрунті при роботі сільськогосподарських машин);

в) вільні частинки, що перебувають у зазорах спряжень деталей;

г) вільні абразивні частинки, що затягуються у потік рідиною або газом.

Абразивному зносу підлягають деталі сільськогосподарських машин, дорожньо-будівельних, гірничих, транспортних машин і засобів транспортування, вузли металургійного обладнання, металорізальних верстатів, шасі літаків, робочі колеса турбін, труби і насоси земснарядів, лопатки газових турбін, труби парових котлів, обладнання нафтової і газової промисловості, опори валів гребних коліс, опори гребних валів суден.

На процес абразивного зносу може впливати природа абразивних частинок, агресивність середовища, властивості поверхонь, що зношуються, ударна взаємодія, нагрівання та інші фактори. Загальним для абразивного зносу є механічний характер руйнування поверхні.

Абразивний знос виникає при контактуванні із ґрунтом, рудою, вугіллям і породою, золою, попелом, пилом, які потрапляють на поверхню тертя, металічною

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стружкою, окисними плівками, які закріпилися на поверхні тертя або руйнування, нагаром і продуктами зносу.

Абразивні частинки можуть мати різноманітну форму і бути по різному зорієнтовані відносно поверхні спряження. Здатність абразивного зерна втискуватися у поверхню залежить не тільки від співвідношення його твердості, але й від геометричної форми зерна. Зерно із випуклою поверхнею або гострим ребром може бути втиснене, навіть без пошкодження, у плоску поверхню твердішого тіла. Це пояснює факт зносу металу абразивними частинками з твердістю, меншою його твердості.

Іноді твердість окисних плівок більша твердості самих металів. Вид зносу визначається характером взаємодії абразивних частинок із поверхневим шаром матеріалу. На деталях сільськогосподарських машин спостерігається абразивний знос трьох видів, у кожному з яких є два підвиди. Існують дві чітко виражені форми прояви абразивних процесів, які відрізняються характером взаємодії частинок із поверхнею металу:

1) із переважаючим механічним руйнуванням (пластичне деформування поверхневих об'ємів, їх окислення з наступним руйнування окисних плівок). Ця форма є різновидом механічного зносу.

2) з переважаючим механічним руйнуванням металу поверхневих шарів (проникнення абразивних частинок і руйнування поверхневих об'ємів без відокремлення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки). Ця форма є недопустимим процесом пошкоджуваності при зовнішньому терті.

Механізм зносу відбувається у випадку, коли абразивні частинки входять у контакт із поверхнею металевої деталі по дотичній. Абразивні частинки пружно деформують метал, залишаючись цілими або руйнуються. Залежно від структури абразивного матеріалу і середовища зерна можуть втискуватися у це середовище, повернутися або навіть вийти із зони контакту, як, наприклад, частинки кварцу в ґрунті під тиском ножа грейдера. Абразивна частинка втискується у метал деталі, якщо вона має більшу твердість, аніж металічне зерно, та міцністю, достатньою

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для сприйняття навантаження, необхідного для втискування у метал і якщо її достатньо підтримує основа. Впроваджена частинка при русі відносно поверхні може дряпати або зрізувати мікроскопічну стружку. Різання може початися тільки при певному відношенні глибини проникнення абразиву до радіуса заокруглення його граней. Дно рівчака наклепується. Коли вся робоча поверхня наклепується, опір упровадженню підвищується. Після багатократної пластичної деформації настає крихкість матеріалу. Встановлено, що відносна зносостійкість чистих металів знаходиться у лінійній залежності з мікротвердістю.

Абразивні частинки, що потрапили у проміжки пар тертя, беруть участь у сприйманні прикладеного навантаження і можуть, залежно від умов, вклинюватися у поверхні тертя, подрібнюватися на м'якші фракції, перекичуватися уздовж поверхні зносу, пружно і пластично деформуючи її.

Абразивні частинки можуть потрапити у робочі порожнини машин і на поверхні тертя з повітря разом із паливом і змащувальними матеріалами, а також іншими шляхами.

Із абразивних частинок, що потрапляють із повітря, найбільшу дію створюють частинки кварцу, твердість яких досягає 11...12 ГПа. Ці частинки розміром 1...30 мкм можуть тривалий час знаходитися у повітрі при його русі (у результаті вітру або руху транспорту). Повітряні фільтри двигунів автомобілів і багатьох інших машин можуть затримувати лише крупні частинки пилу. Дрібні частинки проникають у двигун разом із повітрям.

Процес зносу деталей машин характеризується трьома періодами за часом (рисунок 1.1):

- 1) початковим (припрацюванням);
- 2) періодом усталеного зносу;
- 3) посилений (аварійний) зносу.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

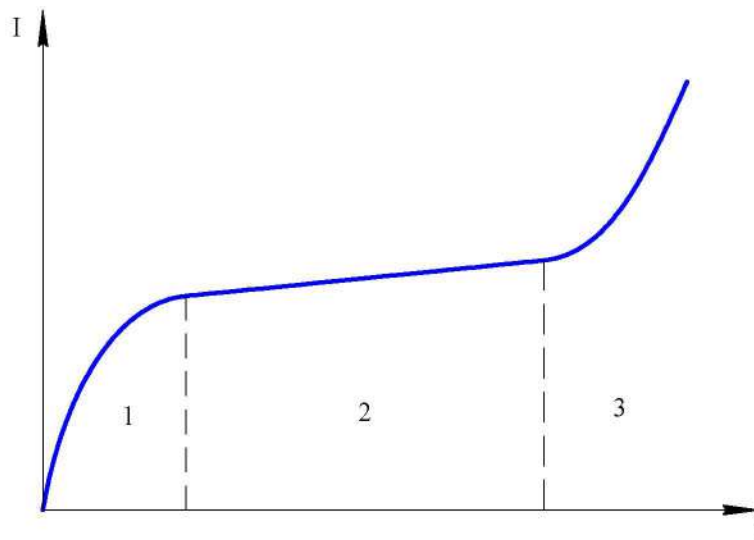


Рисунок 1.1 – Графік зносу деталей машин

Інтенсивність зносу, I , у першому періоді велика, в другому – мала, в третьому – знову велика.

Під час тертя відбувається руйнування поверхневих шарів матеріалів, що труться. Це явище проявляється у виникненні частинок певних розмірів, форми та хімічного складу, що називаються частинками зносу. Їх склад та розміри залежать від умов тертя та механізму зносу [1]. На даний час проведені широкі дослідження щодо встановлення зв'язку між тертям та зносом. У роботі [2] експериментально встановлено зв'язок між поверхневою температурою, коефіцієнтом тертя та зносом. І. Крагельський, базуючись на уявленні про втомну природу зносу, опублікував теоретичні дослідження, присвячені вивченню зв'язку між інтенсивністю зносу та коефіцієнтом тертя [3]. У теорії Мак-Грегора для розрахунку зносу двох механічно взаємодіючих конструктивних елементів розглядаються дві основні моделі: модель нульового зносу при переважно пружній деформації поверхонь, що труться, і модель вимірюваного зносу, для якої справедливі умови абразивного зносу [1]. При розрахунку тертя та зносу за енергетичною теорією Г. Фляйшера досліджувана трибологічна система розглядається як комплекс, що підлягає навантаженню. Цей комплекс включає контртіло, індентор та проміжний матеріал (змащення, оточуюче середовище).

Його поведінка описується за допомогою енергетичних законів та співвідношень [4].

1.2 Аналіз конструкції вальниці, що зазнає абразивного зносу

Існують конструкції вальниць ковзання, що є елементами опор валів та осей, поверхня цапфи яких взаємодіє через шар мастила або безпосередньо з охоплюючою її нерухомою поверхнею вальниці. Нормальна робота вальниць ковзання без систематичного спрацьовування поверхонь цапфи вала і вальниці можлива лише при розділенні цих поверхонь шаром мастила достатньої товщини. Перевагами цих вальниць є те, що їх доцільно використовувати:

- для опор валів, у режимах роботи котрих довговічність вальниць кочення досить низька;
- для валів та осей, до яких ставляться високі вимоги щодо точності монтажу і забезпечення постійного положення осі обертання;
- для валів великого діаметра через відсутність стандартних вальниць кочення;
- у випадках, коли вальниці за умовами складання машини повинні бути роз'ємними;
- при роботі у воді чи агресивному середовищі, де вальниці кочення не працездатні;
- за потреби малих діаметральних розмірів, наприклад для близько розміщених паралельних валів;
- для тихохідних валів та осей невідповідальних механізмів, де вальниці ковзання простіші за конструкцією і дешевші, ніж вальниці кочення.

Недоліком є те, що:

- вони вимагають систематичного нагляду та безперервного змащення;
- мають більш високі втрати на тертя при малих швидкостях обертання валів;
- потребують підвищених пускових моментів під час пуску машини в дію;

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- цапфи валів та осей, що працюють у вальницях ковзання, повинні мати високу якість поверхні для того, щоб запобігти прискореному спрацюванню.

За конструкцією вальниці ковзання бувають різноманітні. У найпростішому вигляді вальниця ковзання складається із корпусу та вкладиша, який розташовується та фіксується у корпусі. Взаємодія опорної цапфи вала з вальницею відбувається через вкладиш та шар мастила між їх поверхнями. Для подачі мастила у корпусі та вкладиші вальниці передбачається спеціальний отвір. Така конструкція вальниць ковзання здатна сприймати лише радіальне навантаження.

Відомі також вальниці ковзання, призначені для сприймання осьового (підп'ятник) або осьового та радіального навантаження одночасно.

Найвідповідальнішою деталлю у вальниці ковзання є вкладиш, що безпосередньо сприймає навантаження. Матеріал вкладишів має бути стійким проти спрацювання і заїдання, мати достатню пластичність, щоб не руйнуючись, сприймати ударні навантаження, а коефіцієнт тертя пари цапфа – вкладиш повинен бути мінімальним. Бажана також висока теплопровідність для кращого відведення теплоти від поверхонь тертя у вальниці [1, 2, 3].

Для кінців валів механічних мішалок корпусів, змішувачів, змішувальних агрегатів та станцій застосовують радіальні кулькові вальниці кочення, що розташовують за межами торцевих стінок корпусів змішувачів. Це пояснюється тим, що вальниці кочення не можуть працювати безпосередньо у робочому середовищі, що є агресивним [7, 8]. Використання вальниць кочення призводить до збільшення габаритних розмірів установок, суттєво ускладнюючи їх. Ущільнення вальниць, що застосовуються у даному випадку, у робочому середовищі працюють погано та підтікають.

При створенні мобільної установки (рисунок 1.2) кінці вала механічного стрічково-шнекового кормозмішувача розміщуються із внутрішньої торцевої сторони стінки корпусу. Досягається це тим, що радіальні кулькові вальниці кочення замінюються на конічні опори ковзання, що регулюються. Нові вальниці

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

без ускладнень працюють усередині корпуса кормозмішувача, тобто безпосередньо в робочому середовищі.

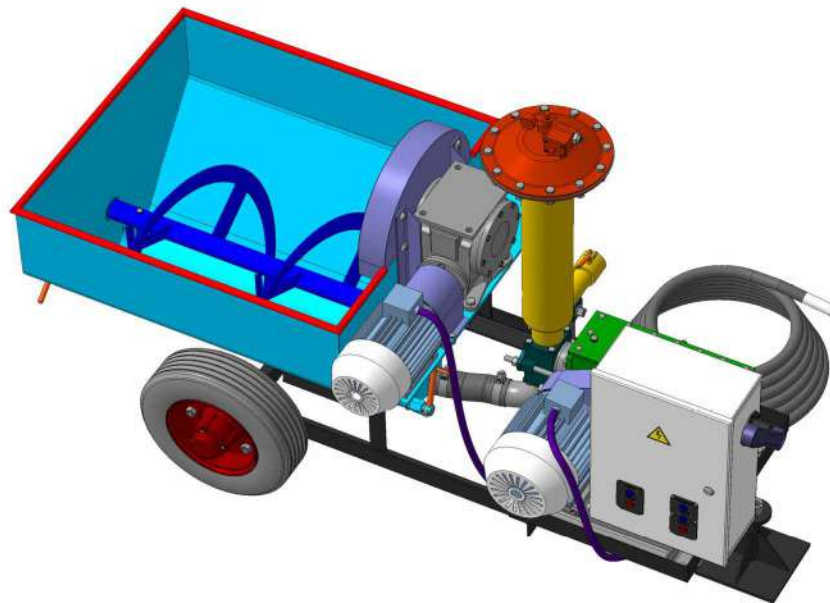


Рисунок 1.2 – Кормозмішувальна установка

На рисунку 1.3 наведений схематичний переріз конструкції конічних вальниць ковзання із кінцями вала механічного стрічково-шнекового кормозмішувача. Конічна вальниця ковзання містить: корпус поз. 7, цапфу поз. 12, притискний гвинт поз. 1, фланець поз. 3, регулювальні гвинти поз. 8, ущільнюючі кільця поз. 2, 9, 10, а також шпильки поз. 14, гайки поз. 15 та шайби поз. 16.

Вальниця складається наступним чином.

У корпус опори 7, до якої приварено фланець 3, вставляється цапфа 12, виготовлена із легованої сталі та піддана термічній обробці. В отвори корпусу опори 7 вкручуються два гвинти 8. Вони призначені для фіксації та переміщення цапфи в осьовому напрямі. Через різьбовий отвір у корпус опори 7 вкручується притискний гвинт 1. Він своїм правим кінцем входить у отвір цапфи 12, також впливає на величину її осьового переміщення. Гумові ущільнення 2, 9, 10 призначені для надання вальниці герметичності. У свою чергу конічна поверхня

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цапфи 12 сполучається з конічним отвором вставки 5 із легованої сталі, що зазнала термічної обробки. Вона закріплюється на кінці вала механічного стрічково-шнекового кормозмішувача 13 за допомогою гвинтів 6, розташованих під кутом 180^0 один до одного. Корпус 7 конічної вальниці ковзання закріплюється за допомогою чотирьох шпильок 14, гайок 15 та шайб 16 на торцевій стінці корпусу 11, до якої приварено фланець 4. Під час обертання вала 13 разом із ним обертається вставка 5. Вона ковзає конічною поверхнею цапфи 12, для конусної поверхні якої призначена конусність 40^0 . Цей кут забезпечує найбільш сприятливе співвідношення необхідних радіальних та осьових зусиль. Характерною ознакою даної вальниці є те, що при зношуванні контактуючих поверхонь цапфи 12 і вставки 5 за допомогою двох гвинтів 8 та притискного гвинта 1 можна здійснювати осьове регулювання, тим самим продовжуючи термін експлуатації вальниці. При складанні в кінці вала 13 закладається солідол УС-1. Опори вала відрегулювало таким чином, щоб повністю виключити осьовий люфт стрічково-шнекового кормозмішувача.

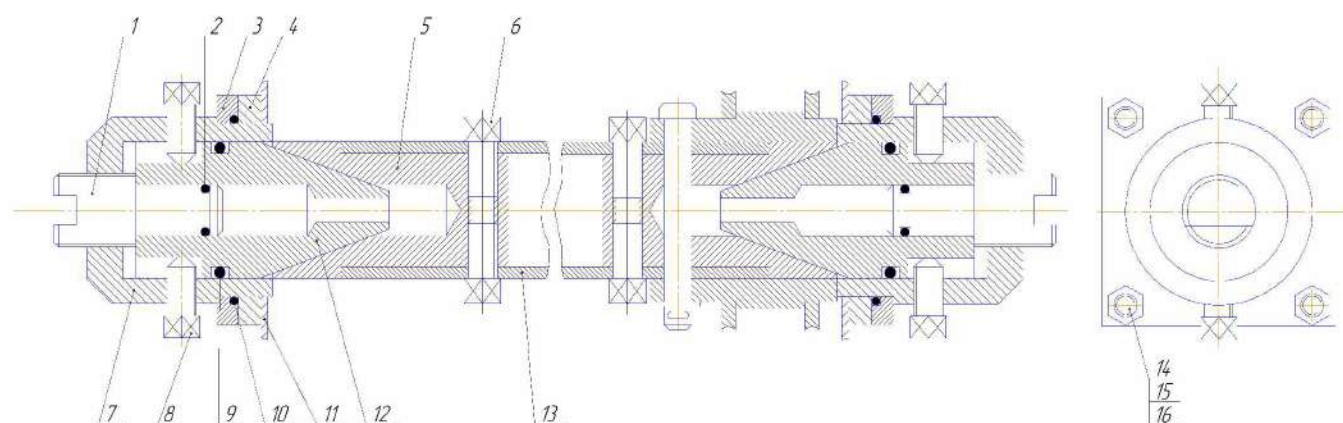


Рисунок 1.3 – Конічні регульовані вальниці ковзання

Отже, використання такого технічного рішення надає можливість поліпшити герметичність корпусів змішувального обладнання, отримати найбільш сприятливе співвідношення зусиль, розташувати кінці валів змішувачів із внутрішніх торцевих сторін стінок корпусів. Це суттєво спрощує їх конструкцію та зменшує габаритні

розміри. Конічні вальниці ковзання можуть використовуватися у якості опор валів змішувального обладнання, яке застосовується для механізації ручних робіт у галузі сільськогосподарського виробництва.

Основним недоліком існуючої конструкції є те, що основні елементи вальниці, цапфа і вставка, зазнають абразивного зносу. Тому нашою задачею розробка заходів із гальмування впливу цього негативного явища та підвищення ресурсу роботи опорного вузла.

1.3 Методи вимірювання зносу поверхонь тертя

Існують різні методи вимірювання зносу від найпростіших [5], коли звичайними засобами вимірюють розміри деталей, що зношуються, до методів, які використовують у ядерно-фізичних процесах.

Галузь застосування тих чи інших методів вимірювання зносу визначають: поставлену мету досліджень, необхідну точність вимірювань, можливість вимірювання малого зносу, час, необхідний для вимірювання зносу, можливість вимірювання зносу за умов експлуатації без розбирання, а в ряді випадків – без зупинки машини, витратами часу і засобами, необхідними для усього циклу підготовки.

Для вимірювання зносу можна застосовувати як інтегральні, так і диференційні методи оцінювання. У ряді випадків застосовують також методи оцінювання зносу за вихідними параметрами виробу чи спряження.

У свою чергу інтегральні методи вимірювання зносу поділяють на: А – методи вимірювання, що базуються на оцінюванні сумарного зносу; Б – методи вимірювання, що базуються на аналізі продуктів зносу у змащувальному середовищі.

До різновидів методу А – вимірювання, що базуються на оцінюванні сумарного зносу, відносять:

– за зміною маси зразка;

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- за зміною об'єму зразка;
- за вимірюванням проміжку спряження.

До різновидів методів вимірювання, що базуються на аналізі продуктів зносу в змашувальному середовищі, відносять спектральний аналіз та дослідження за допомогою радіоактивних ізотопів.

Диференційні методи дозволяють визначати розподіл зносу за усією поверхнею тертя, оцінити вплив нерівномірності зносу на кінцеві параметри виробу.

Диференційні методи поділяють на методи вимірювання, що базується на мікрометрії, метод штучних баз і метод поверхневої активації.

До методу вимірювання, що базується на мікрометрії, відносять:

- вимірювання розмірів;
- профілографування.

Різновидами методу штучних баз є такі:

- метод відбитка;
- метод лунок;
- метод зліпка.

До різновидів методу поверхневої активації відносять:

- метод активації частини ділянки;
- застосування вставок.

Методи вимірювання кінцевих параметрів спряження поділяють за вимірюванням:

- коефіцієнта тертя;
- витрати мастила;
- температури.

Вимірювання величини зносу за зменшенням ваги чи об'єму деталі застосовують, як правило, при дослідженні зразків. Цей метод малопридатний для більшості деталей машин.

Оцінювання зносу за зміною вихідних параметрів спраження дає лише побічну уяву про величину зносу.

1.4 Підвищення зносостійкості поверхонь наплавленням

Висока зносостійкість напилених покриттів на основі нікелю знаходить широке застосування у техніці. Використання покриттів дозволяє виготовляти деталі машин і механізмів відповідального призначення зі звичайних конструкційних сталей, на робочі поверхні яких напиляють спеціальний зносостійкий матеріал. Застосування поверхневого нагрівання, незначна деформація основи під час напилення, а також можливість нанесення покриття лише на задані ділянки деталі визначають високу технологічність використання методу напилення для підвищення зносостійкості.

Нанесення покриттів на робочі поверхні деталей дозволяє економити дефіцитні матеріали, значно підвищувати експлуатаційні показники машин, подовжувати термін служби нових та відновлених деталей, скорочувати витрати на виготовлення запасних частин. У якості матеріалів для отримання покриттів застосовують метали та їх сплави, тверді сплави, оксиди металів і композиційні порошки. Виробництво різних матеріалів для напилення активно розвивається та дозволяє одержати цілий спектр покриттів.

Для надання напиленому шарові заданих конструктором розмірів покриття піддається механічній обробці. Плазмово- та газополуменонапилені покриття як оброблювані матеріали мають специфічні особливості – це перш за усе помірنا міцність зчеплення напиленого шару із основою. Це може призвести, унаслідок порушення технології зміцнення або відновлення, до відшарування покриття у процесі механічної обробки. Окрім цього, під час напилення утворюються шпарини та інші дефекти структури, значні внутрішні напруження через розходження у коефіцієнтах температурного розширення основного і напилюваного матеріалів, що є джерелом розвитку мікротріщин.

					KPM.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перераховані фактори у більшості випадків негативно впливають на досягнення необхідної якості робочих поверхонь деталі.

Вибір способу напилення та дотримання спеціальної технології під час роботи є основою для створення необхідного зносостійкого покриття.

Джерелом тепла при наплавленні виступає ацетиленокисневе полум'я, температура якого не перевищує 3000°C. Використання газополуменевого методу характеризується відносною простотою вживаного обладнання і вимагає наявності ацетилену і кисню [9, 10].

Газополуменевий пальник (рисунок 1.4) представляє собою ацетиленокисневий пальник зі змінними соплами, які міняються залежно від необхідної продуктивності.



Рисунок 1.4 – Пальник газовий Euro Jet XS 7 ежекторного типу

Порошок, що наплавляється, з розміром часток 40-100 мкм засипають у ємність, яка знаходиться у верхній частині пальника. Тому, окрім інжекції, значну роль у рівномірній подачі порошку до високотемпературної області полум'я пальника відіграє гравітація.

На рисунку 1.5 наведено схему процесу створення зносостійкого покриття. Принцип наступний. Із бункерного пристрою порошок потрапляє у пальник, потім разом із потоком транспортувального газу на виході із сопла потрапляє у полум'я, де нагрівається. Захоплені струменем горючого газу, частинки порошку зі швидкістю 20-30 м/с вдаряються об поверхню, яка підлягає напиленню. Частинка деформується, миттєво охолоджуючись, закріплюється на мікронерівностях

поверхні. Так поступово, шар за шаром, зносостійке покриття нарощується до необхідної товщини. Використовується тепло, що виділяється під час згоряння суміші горючого газу з киснем. На цьому принципові ґрунтується порошкова технологія нанесення зносостійких покриттів.

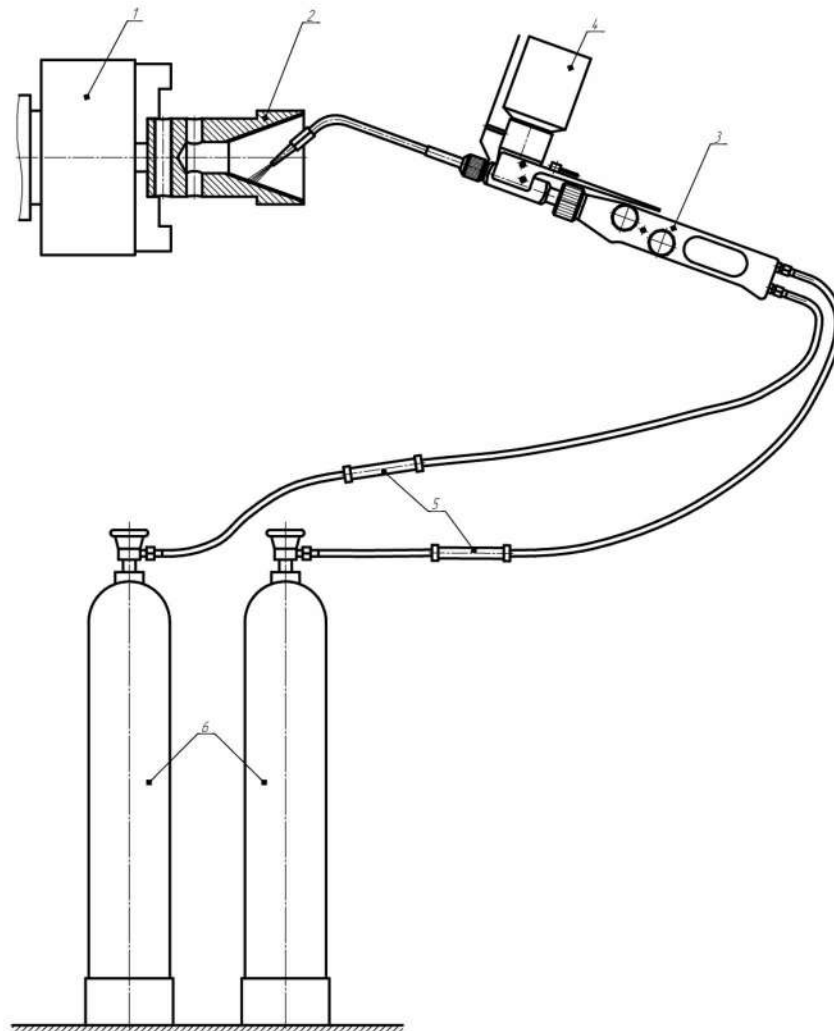


Рисунок 1.5 – Схема газополуменового напилення порошку ПГ-10Н-01 на конусну поверхню вставки: 1 – маніпулятор з затискним пристосуванням; 2 – деталь; 3 – пальник для напилення порошку; 4 – дозатор порошку; 5 – ротаметри газові; 6 – балони газові

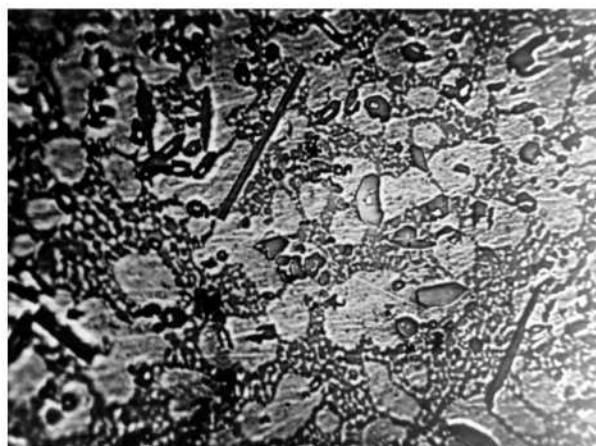
Газополуменовий пальник для наплавлення призначений для нанесення зносостійких металевих покриттів; ремонту (відновлення) посадочних місць валів, підшипників і так далі. Основна відмінність газополуменового наплавлення від

напилення в тому, що порошок в полум'ї пальника для наплавлення нагрівається до температури вище за температуру плавлення і при зіткненні із виробом потребує подальшого нагріву до стану рідкотекучості. Для цих цілей застосовуються спеціальні порошки, (самофлюсуючі), на основі нікелю, з вмістом бору і кремнію, що мають температуру плавлення 1000-1100°C. Деталь (виріб) перед обробкою вимагає попереднього підігріву до температури 700-800°C. Зносостійкість (твердість) покриття забезпечується утворенням боридів і карбідів в металі покриття.

У якості матеріалу для напилення обрано порошок торезтвёрдосплав на основі нікелю марки ПГ-10Н-01 (рисунок 1.6, таблиця 1.1).



а)



б)

Рисунок 1.6 – Структура отриманої зносостійкої поверхні: а) мікроструктура зони сплавлення сталі 25 із наплавленням порошковим сплавом ПГ-10Н-01 ($\times 500 + \times 2,5$); б) мікроструктура сплаву ПГ-10Н-01 ($\times 500 + \times 2,5$)

Таблиця 1.1 – Хімічний склад твердосплавного порошку ПГ-10Н-01 (торезтвёрдосплав), % за масою (ТУ 48-19-383 – 84)

Основа	Cr	B	Si	Fe	C	Твердість покриття, HRC
Ni	14-20	2,8-4,2	4,0-4,5	3,0-7,0	0,6-1,0	60-65

Даний порошок зміцнює і відновлює деталі штампувального інструменту, пуансони керамічних пресів, лопаті мішалок, напрямні прокатних станів, ланцюги транспортерів, кулачки, ексцентрики, різноманітні опори ковзання, сопла і отвори литників при відливці пластмас. Наплавлений шар характеризується високою стійкістю при зносі тертям, стійкий до абразивного зносу і окислення при нормальних і підвищених до 700°C температурах. Стійкість до ударів задовільна.

Рекомендована товщина покриття до 2 мм. Покриття обробляються шліфуванням із застосуванням алмазного або абразивного інструменту із зеленого карбіду кремнію.

Висновки до розділу 1

З вищевикладеного матеріалу випливає:

1 Абразивний знос є важливою проблемою у промисловості, що негативно впливає на довговічність виробів, у яких наявні поверхні тертя. Він характеризується тим, що метал у тонких поверхневих шарах зрізається або дряпається твердими структурними елементами матеріалу іншої деталі або сторонніми абразивними частинками на поверхні тертя. Цей вид зносу доволі часто зустрічається під час роботи машин і є найбільш простим видом руйнування спряжених поверхонь. Абразивні частинки можуть потрапляти на поверхні тертя разом із повітрям, паливом, змащенням або можуть бути продуктами корозійно-механічного та іншого виду зносу.

2 Існує широкий вибір методів оцінки зносу абразивного зносу. Область застосування тих чи інших методів вимірювання зносу визначають: поставлену мету досліджень, необхідну точність вимірювань, можливість вимірювання малого зносу, час, необхідний для вимірювання зносу, можливість вимірювання зносу в умовах експлуатації без розбирання, а в ряді випадків – без зупинки машини, затратами часу і засобами, необхідними для всього циклу підготовки.

3 Висока зносостійкість напилених покриттів знаходить широке застосування

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у техніці. Використання покриттів дозволяє виготовляти деталі машин і механізмів відповідального призначення зі звичайних конструкційних сталей, на робочі поверхні яких напиляють спеціальний зносостійкий матеріал. Нанесення покриттів на робочі поверхні деталей дозволяє економити дефіцитні матеріали, значно підвищувати експлуатаційні показники машин, подовжувати термін служби нових і відновлених деталей, скорочувати витрати на виготовлення запасних частин.

4 Газополуменеве наплавлення є найбільш простим і економічним способом нанесення твердосплавного покриття. Спосіб ефективний як для отримання нових біметалічних виробів із спеціальними властивостями (зносостійкістю, жаростійкістю, жароміцністю, корозійною стійкістю і т.п.), так і при відновленні деталей для надання їм заданих геометричних розмірів і фізико-механічних властивостей.

Отже, **мета дослідження** – зменшення абразивного зносу конічної вальниці ковзання. **Об'єктом** розробки є процес створення зносостійкого поверхневого покриття, а **предметом** – оптимальні технологічні параметри газополуменевого наплавлення.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- провести теоретичні дослідження абразивного зносу конічної вальниці ковзання;
- розробити методику експериментальних досліджень, що дозволить визначити величину навантажень, яких зазнає вальниця під час роботи;
- провести експериментальні дослідження визначення навантаження на опору та її зносу;
- розробити математичну модель, що адекватно описує технологічний процес наплавлення;
- надати рекомендації щодо практичної реалізації розробок.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення величини зносу пари тертя

Як відомо, під час тертя відбувається руйнування поверхневих шарів матеріалів, що труться. Це явище проявляється у виникненні частинок певних розмірів, форми та хімічного складу, які називаються частинками зносу. Їх склад і розміри залежать від умов тертя та механізму зносу.

Ресурс роботи кожної машини залежить від довговічності вузлів і деталей, із яких її виготовлено. Щоб визначити строк служби конічних вальниць ковзання, що являють собою дві пари тертя, дослідного зразка кормозмішувальної установки необхідно дослідити вплив діючих на них навантажень, що виникають під час її робочого процесу.

Визначимо величину спрацювання цапфи і вставки, із яких складається вальниця ковзання, під дією радіального та осевого навантажень. При цьому будемо користуватись розрахунковою схемою, яку наведено на рисунку 2.1.

Лінійний закон зносу в умовах сухого та граничного тертя

$$\gamma = k \cdot p \cdot V, \quad (2.1)$$

де γ – швидкість зносу, м/хв.;

k – характеристика зносу матеріалу спряженої деталі, Па^{-1} ;

p – тиск, Па;

V – швидкість ковзання, м/хв.

$$V = 2\pi \cdot \rho \cdot n, \quad (2.2)$$

ρ – відстань від осі обертання до довільної точки М, що знаходиться на поверхні тертя, тобто твірній конуса, м,

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = x \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2.3)$$

x – відстань від вершини конуса до точки М, м;

n – частота обертання вставки, об/хв.

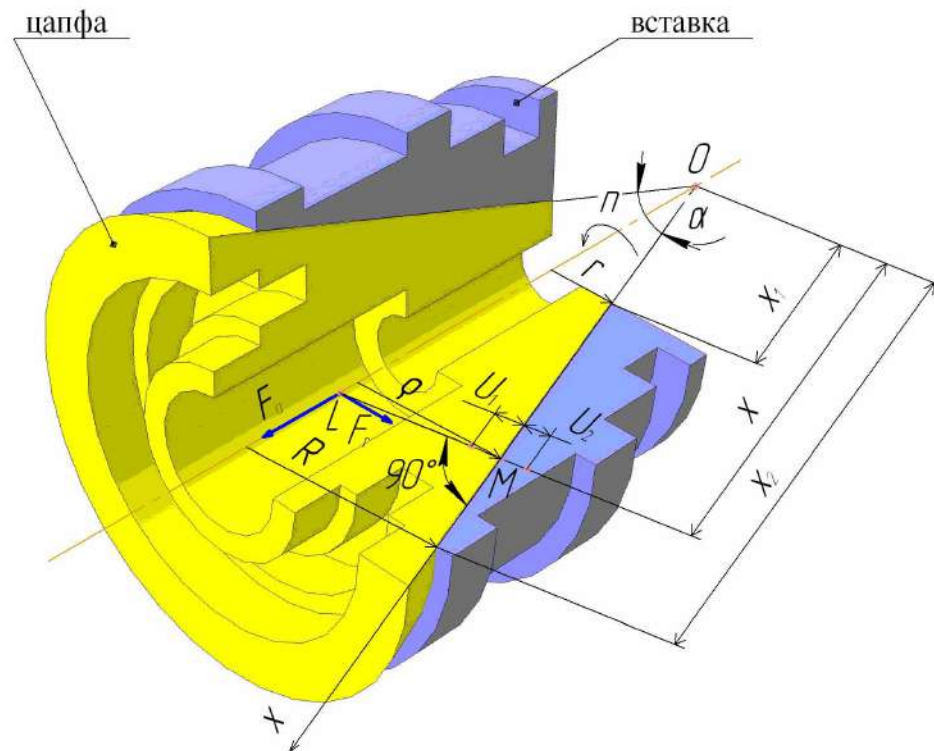


Рисунок 2.1– Розрахункова схема із визначення величини зносу

Для розрахунків приймаємо лінійну залежність між величиною зносу U та часом зносу t , тоді

$$\gamma = \frac{U}{t} = const. \quad (2.4)$$

Основною характеристикою зносу деталі є лінійний знос, виміряний за нормаллю (відрізок LM, рисунок 2.1) до поверхні тертя.

Знос спряження характеризується параметром U_{1-2} . Це величина відносного зближення зношених вставки і цапфи. Сума їх зносів постійна та дорівнює зносу усього спряження

$$U_1 + U_2 = U_{1-2} = \text{const.} \quad (2.5)$$

Це співвідношення назовемо умовою дотику тіл, тому що воно характеризує важливу особливість протікання зносу спряження: при будь-якій формі зношеної поверхні деталей спостерігається контакт спряжених поверхонь.

Тоді справедливим є рівняння

$$U_{1-2} = \frac{U_1 + U_2}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}, \text{ або } \gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (2.6)$$

де $\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)$ – кут між нормаллю LM та напрямом взаємного зближення вставки з конусом.

Виразимо швидкості зносу спряжених поверхонь таким чином:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot n = k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n; \\ \gamma_2 &= k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot n = k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Ураховуючи формулу (2.7), запишемо рівняння (2.6) так:

$$\gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} = 2\pi \cdot n \cdot p \cdot (k_1 + k_2) \cdot x. \quad (2.8)$$

З формули (2.8) виразимо значення p

$$p = \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}. \quad (2.9)$$

Знайдемо залежність між силами F_r , F_a та тиском p , який розподілений по поверхні тертя:

$$\begin{aligned} F_r &= \int_{A_1} p \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot dA_1 = \int_{x_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} p \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot x \cdot dx = \int_{x_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} 2p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot x \cdot dx = \\ &= 2 \sin \frac{\alpha}{2} \int_{x_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot x \cdot dx = \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \int_{\frac{r}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \frac{\alpha}{2}}^{\frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \frac{\alpha}{2}} dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \int_{r \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}^{R \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}} dx = \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot (R - r) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \\ &= \frac{\gamma_{1-2} \cdot (R - r)}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} F_a &= \int_{A_2} p \cdot \cos \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \cdot dA_2 = \int_{A_2} p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot dA_2 = \int_{x_1}^{x_2} p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot dx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot dx = 2\pi \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} p \cdot x \cdot dx = \\ &= 2\pi \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot x \cdot dx = \frac{\gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \int_{\frac{r}{\sin \frac{\alpha}{2}}}^{\frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}}} dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \left(\frac{R - r}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \frac{(R - r) \cdot \gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Зменшення кута α зменшує величину осьового навантаження і збільшує радіальне. Отже, виразимо результуюче зусилля

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_r^2 + F_o^2} = \sqrt{\left[\frac{\gamma_{1-2} \cdot (R-r)}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \right]^2 \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \left[\frac{(R-r) \cdot \gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \right]^2 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} =$$

$$= \frac{\gamma_{1-2} \cdot (R-r)}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \sin^2 \frac{\alpha}{2}}. \quad (2.12)$$

З формули (2.12) запишемо значення швидкості зносу

$$\gamma_{1-2} = \frac{F_{\Sigma} \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (2.13)$$

Виразимо значення тиску, враховуючи формули (2.9) та (2.13),

$$p = \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \frac{F_{\Sigma} \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}} =$$

$$= \frac{1}{x} \cdot \frac{F_{\Sigma}}{2\pi \cdot (R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (2.14)$$

Підставивши рівняння (2.14) у вираз (2.7), враховуючи формулу (2.4), отримаємо

$$U_1 = k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t = \frac{F_{\Sigma} \cdot k_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}, \quad (2.15)$$

$$U_2 = k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t = \frac{F_{\Sigma} \cdot k_2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}.$$

Отже, ми отримали функціональну залежність, яка характеризує величину зносу спряжених деталей (вставки та цапфи) конічної вальниці ковзання від дії на неї осьового й радіального навантажень. Аналізуючи вираз (2.15), можна зробити висновок, що тиск на поверхні тертя вальниці розподіляється за гіперболічною залежністю.

Впливаючи на геометрію конічних цапфи і вставки при заданих навантаженнях, можна змінити термін служби вальниці, досягнути найбільш сприятливого співвідношення між осьовим F_a , Н, та радіальним F_r , Н, навантаженнями. Необхідно призначити для виготовлення деталей тертя опорного вузла матеріал, стійкий до спрацювання, або надати поверхневим шарам цапфи і вставки підвищених зносостійких властивостей шляхом використання методів поверхневого зміцнення.

Наведений розрахунок може бути застосований для розрахунку довговічності вальниці, що взаємодіє із робочим середовищем (наприклад, кормова суміш). Для цього необхідно величину k (характеристика зносу матеріалу спряженої деталі) визначити за формулою (2.1) на основі експериментальних даних.

Висновки до розділу 2

1 Визначено залежності, що характеризують теоретичний знос поверхонь тертя у вальницях ковзання. Отримана модель характеризує величину зносу спряжених деталей опори від дії на них осьового та радіального навантажень.

2 Тиск на поверхні вальниці розподіляється за гіперболічною залежністю.

3 Впливаючи на геометрію конічних цапфи і вставки (пара тертя вальниці), при заданих навантаженнях, можна впливати на термін служби вальниці та досягти найбільш сприятливого співвідношення між осьовим і радіальним навантаженнями. У кінцевому рахунку це приведе до підвищення терміну експлуатації опорного вузла в цілому.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення величини осьового навантаження на вальницю

Для визначення осьового навантаження на опору ковзання стрічково-шнекового кормозмішувача розроблена конструкція спеціального поршневого гідравлічного пристосування, манометр якого здійснює вимірювання тиску. Останній створюється під час переміщення штока при дії на нього осьового навантаження.

На рисунку 3.1 наведена конструкція поршневого пристосування гідравлічної дії для експериментального дослідження величини осьового навантаження на опори, що виникає під час взаємодії робочого середовища із валом.

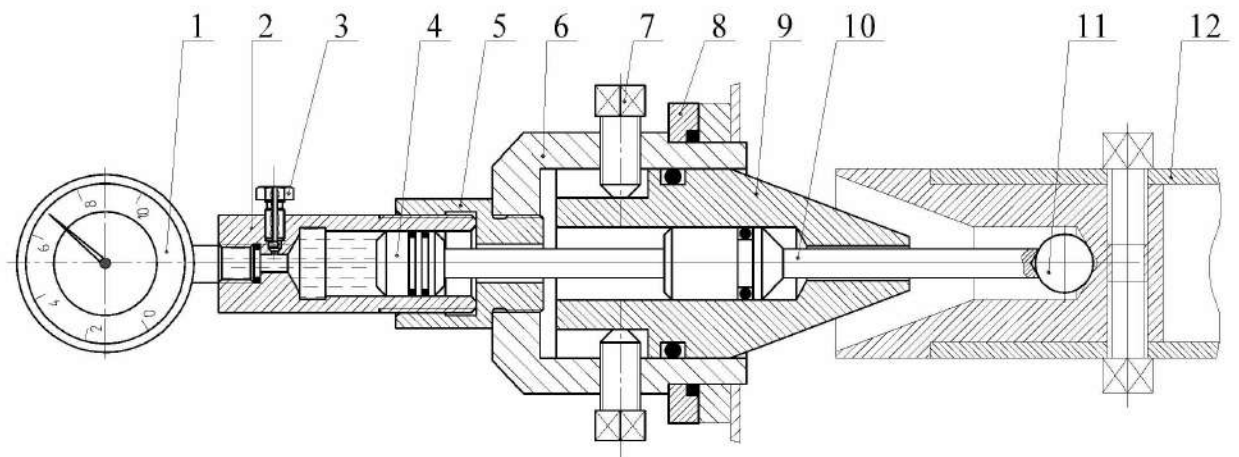


Рисунок 3.1 – Пристосування для визначення осьового навантаження на опори ковзання: 1 – манометр; 2 – гільза; 3 – штуцер; 4 – поршень; 5 – втулка різьбова; 6 – корпус; 7 – регулювальні гвинти; 8 – фланець; 9 – цапфа; 10 – плунжер; 11 – кулька; 12 – стрічково-шнековий вал

Принцип роботи пристосування такий. Під час роботи у результаті виникнення осьового навантаження вал кормозмішувача буде переміщуватись в осьовому напрямі (справа наліво). Кулька 11 почне взаємодіяти із плунжером 10,

з'єднаним із поршнем 4. Останній впливатиме на робочу рідину, якою заповнена внутрішня порожнина гільзи 2. За допомогою манометра 1 фіксується тиск, що створюється.

Розрахунок величини осьового навантаження F_a , Н, здійснювався за формулою

$$F_a = p_m \cdot S, \quad (3.1)$$

де p_m – значення тиску, зафіксоване манометром, Па;

$$S = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \text{ – площа поверхні поршня, м}^2.$$

3.2 Обладнання дослідження зносу

Для визначення зношування та довговічності конічних вальниць ковзання вала стрічково-шнекового кормозмішувача при взаємодії із робочим середовищем запропоновано конструкцію дослідного стенду, зображеного на рисунку 3.2.

Принцип його роботи полягає в наступному. Стенд розташовують на нерухомій металевій основі 1. Підключають до мережі трифазного струму через перетворювач частоти 2 (для можливості регулювання частоти обертання двигуна). Від електродвигуна 3 ($P = 0,4 \text{ кВт}$, $n = 1320 \text{ об/хв.}$) через пасову передачу 4 обертання передається на шпindel 5, на якому закріплено патрон 6. До патрона, за допомогою хомута 7 приєднано дві лопатки 8, що здійснюють обертальний рух за годинниковою стрілкою.

Досліджувана пара тертя складається із вставки 12 та цапфи 11. Вставка розташовується в отворі в днищі ванни 10 і затискається в лещатах 13. Лещата встановлені на столі 14 із Т-подібним пазом. Цапфа закріплюється у патроні 6. Ванна 10 заповнюється робочим середовищем, вмикається електродвигун 3, до важеля 9 підвішується вантаж 15 (моделювання осьового навантаження), а до

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вставки – вантаж 20 (моделювання радіального навантаження) за допомогою ролика 17, осі 18, стійки 19. Цапфа, обертаючись, підводиться до вставки. Лопатки 8 змішують робоче середовище у ванні 10, забезпечуючи тим самим однорідність розчинної суміші, а також її підведення до зони контакту цапфи 11 зі вставкою 12. Тахометром 16 контролювалась частота обертання конічної цапфи 11.

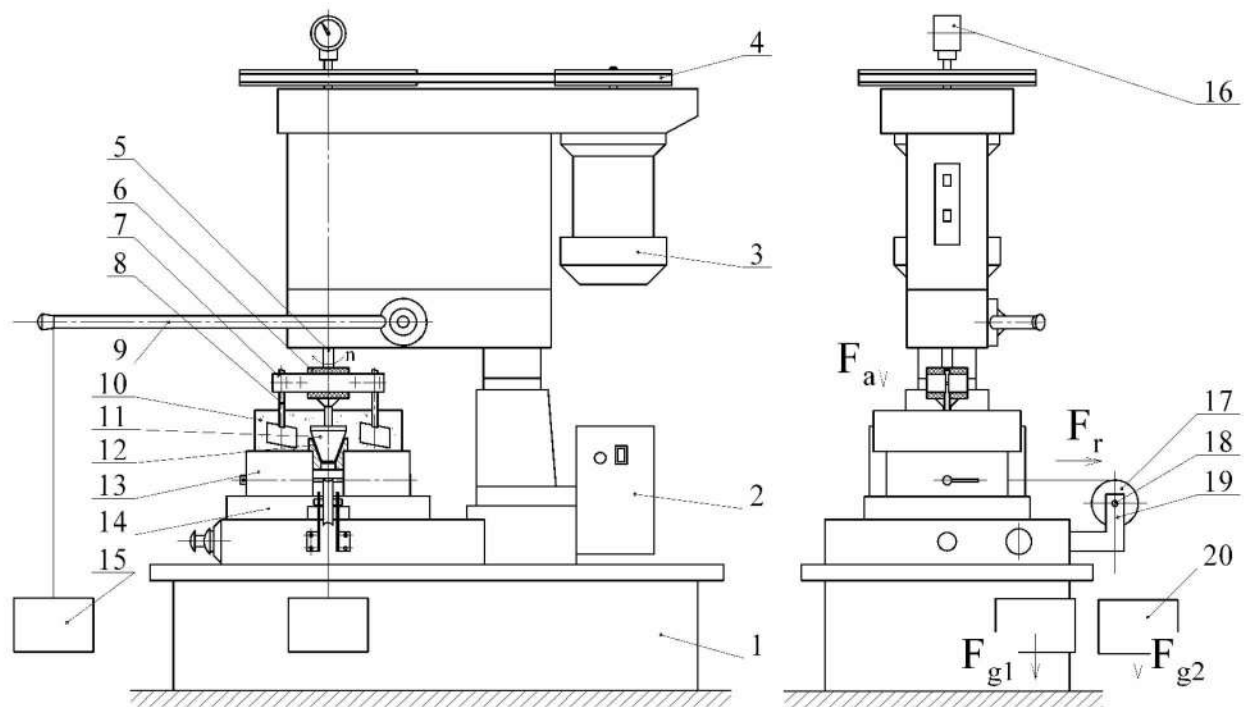


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема дослідного стенда для вивчення величини зносу конічної пари вальниці ковзання: 1 – основа; 2 – перетворювач частоти; 3 – електродвигун; 4 – пасова передача; 5 – шпиндель; 6 – патрон; 7 – хомут; 8 – лопатки; 9 – важіль; 10 – ванна; 11 – цапфа; 12 – вставка; 13 – лещата; 14 – стіл; 15 – осьове навантаження; 16 – тахометр; 17 – ролик; 18 – вісь; 19 – стійка; 20 – радіальне навантаження

Величину зносу I , г, визначали за зміною маси до і після випробувань на безважільних електронних вагах моделі ВБЕ-1 (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Безважільні електронні ваги ВБЕ-1

Точність вимірювання на зазначеному обладнанні становить 0,001 г.

Висновки до розділу 3

Запропоновано методику, що дозволить визначити величину осьового навантаження на конічну опору вальниці під час її роботи. Запропоновано експериментальний стенд для визначення величини зносу вальниці на базі настільного свердлильного верстата.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

У розділі згідно із теоретичними дослідженнями конічних вальниць ковзання кормозмішувальної установки на пневматичному колісному шасі проведені експериментальні дослідження. Вони дозволили розробити математичну модель для технологічного процесу утворення зносостійкого покриття, встановити величину навантажень, що діють на пару тертя, а також визначити величину зносу цапфи і вставки вальниці, залежно від їх матеріалу.

4.1 Визначення навантаження на вальницю ковзання

Під час проведення експериментів за допомогою спеціально розробленого пристосування (рисунки 4.1, 4.2) були отримані результати вимірювання осьового навантаження на конічну вальницю ковзання під час взаємодії стрічково-шнекового робочого органа із середовищем, що змішується, за допомогою поршневого пристосування гідравлічної дії (таблиця 4.1).



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд пристосування для вимірювання навантаження, що діє на вальницю



Рисунок 4.2 – Робота пристосування під час визначення осьового навантаження F_a , Н

Таблиця 4.1 – Результати визначення осьового навантаження F_a , Н

Частота обертання n , об/хв.	Коефіцієнт заповнення φ	Кількість сухого зерна на 400 літрову місткість	Величина осьового навантаження на опору F_a , Н, для кормової суміші (паста-вода):			
			1:0,5	1:1	1:1,5	1:2
40	1,0	140	102,05	94,2	78,5	55,0
		120	86,4	78,5	62,8	47,1
		100	70,7	55,0	47,1	31,4
		80	39,3	31,4	23,6	15,7

При збільшенні рухомості суміші вдвічі величина осьового навантаження на конічну опору ковзання зменшується у 2,5–3 рази залежно від її типу. Максимально можливе осьове навантаження на опору ковзання під час несталого режиму становило 186 Н.

4.2 Визначення величини зносу вальниці

Випробування на знос здійснювали на стенді, зображеному на рисунку 4.3. Дослідні зразки конічних цапфи та вставки вальниці ковзання були виготовлені із загартованих сталей марок 45 (HRC 45...50), ХВГ (HRC 60...63), ШХ15 (HRC 62...65). Окремо була виготовлена дослідна партія зразків із твердосплавним газополуменевим наплавленням торезтвердосплав марки ПГ-10Н-01 (HRC 56...64). Зі сталі 45 виготовлено також зразки, що мають різне значення кута при вершині конуса (рисунок 4.4). Під час підготовки до проведення випробувань усі вони були промарковані на неробочих поверхнях.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд дослідного стенду
для трибологічних досліджень



Рисунок 4.4 – Дослідна партія конічних пар тертя, що досліджувались, із кутом α , при вершині конусу 30° , 35° , 40° , 45° , 50° (зліва направо)

Попередніми дослідженнями встановлено оптимальне значення частоти обертання стрічково-шнекового кормозмішувача, тому дані експерименти проводились за частоти обертання робочого органу $n = 40$ об/хв. За остаточний результат кожної серії дослідів брали середнє арифметичне значення результатів випробування п'яти пар тертя на дослідному стенді.

Характер взаємодії опори ковзання із кормовою сумішшю – абразивне зношування. Він наведений на рисунку 4.5, а, б.

На рисунку 4.6 наведено результати експериментальних досліджень у вигляді графіків залежностей зношування від часу та матеріалу пари тертя. З рисунку бачимо, що кут при вершині конуса, що дорівнює 40° , забезпечує найбільш оптимальне співвідношення осьового та радіального навантажень на підшипникову опору під час роботи шнекового кормозмішувача. Це у свою чергу призводить до зменшення величини зношування. Збільшення або зменшення цього кута відносно оптимального значення призведе до негативного впливу в першому випадку радіального навантаження, а в другому – осьового. Це суттєво впливає на підвищення величини зношування.



а)



б)

Рисунок 4.5 – Характер взаємодії з абразивними частинками будівельного розчину: а – вставки; б – цапфи

На рисунку 4.7 наведені результати серії експериментальних досліджень щодо встановлення величини зношування конічних пар тертя, виготовлених із різних матеріалів, що взаємодіють із робочим середовищем, із кутом при вершині конуса $\alpha = 40^\circ$.

Під час роботи кормозмішувача у вальницях виникає напівсухе тертя, яке призводить до спрацювання спряжених поверхонь конічної пари при взаємодії з абразивомісткою кормовою сумішшю. Для підвищення зносостійкості конічної цапфи та вставки вальниці вала кормозмішувача на їх робочі поверхні шляхом газополуменового наплавлення було нанесено твёрдосплавний порошок, що самофлюсується, на основі нікелю марки ПГ-10Н-01. Він забезпечить найбільший ресурс роботи підшипника при безпосередньому контакті із робочим середовищем.

Показники, отримані для підшипникової сталі марки ХШ15 та інструментальної марки ХВГ є задовільними, але все ж таки нижчими, що зменшить міжремонтний цикл. Виготовлення конічних вальниць ковзання зі сталі 45 не є бажаним, але для проведення серії трибологічних досліджень її можна використовувати, тому що вона має невисоку вартість порівняно з іншими матеріалами. При швидкості ковзання 7,54 м/хв. середня інтенсивність зношування

цапфи становила 0,0032 г/год. для твердосплавного покриття ПГ-10Н-01; 0,008 г/год. – сталі ХВГ, ШХ15; 0,013 г/год. – сталі 45.

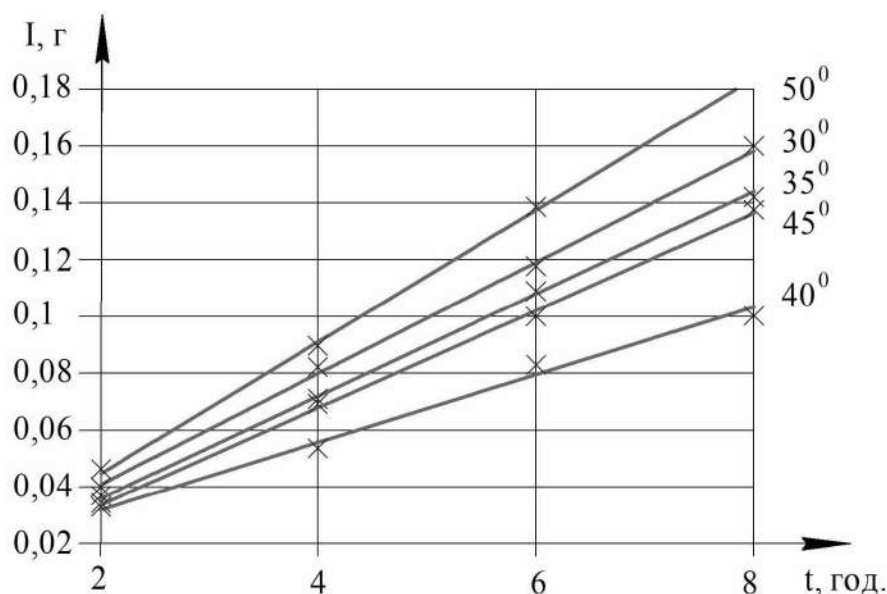


Рисунок 4.6 – Залежність величини зношування цапфи I , г, від кута при вершині конуса (сумарне навантаження на опору $F_{\Sigma} = 375\text{Н}$, матеріал зразків – сталь 45, суміш паста-вода 1:0,5, $\varphi = 1$, кількість сухого зерна – 140 кг)

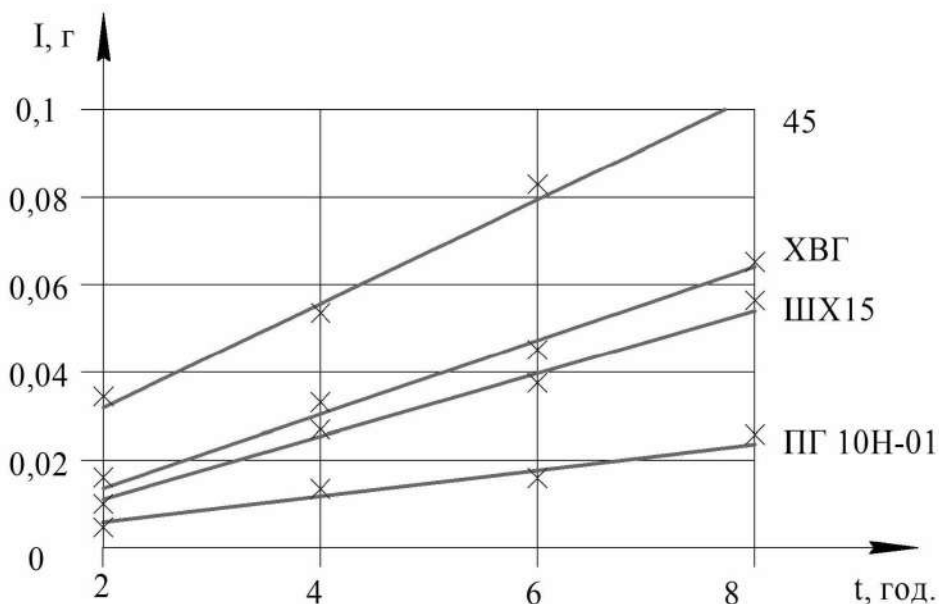


Рисунок 4.7 – Залежність величини зношування цапфи, I , г, матеріалу в часі (сумарне навантаження на опору $F_{\Sigma} = 375\text{Н}$, суміш паста-вода 1:0,5, $\varphi = 1$, кількість сухого зерна – 140 кг, $\alpha = 40^\circ$)

Стосовно впливу на величину зношування конічних підшипників ковзання типу робочого середовища та його рухомості необхідно відмітити таке. Попередніми дослідженнями встановлено, що зі збільшенням рухомості суміші й переходом від співвідношення паста-вода від 1:0,5 до 1:2 та зменшенням вмісту зерна від 140 до 80 кг, значення величини споживаної приводом потужності зменшується. Це призведе до зменшення в даному випадкові сумарного навантаження. Отже, зношування конічних вальниць ковзання буде зменшуватись, а їх довговічність підвищуватись.

4.3 Розробка математичної моделі

У сучасних ринкових умовах поняття якості продукції і економічності її виробництва виходять на перший план. При впровадженні нових виробництв необхідно витратити мінімум засобів на їх проектування і виготовлення. При розробці технології виробництва продукції необхідно проводити експерименти для отримання оптимальних умов виготовлення, проте їх число може бути дуже великим, що є вкрай не вигідно. Зменшення кількості експериментів можливе за допомогою отримання математичних моделей. Математичне моделювання дозволяє за допомогою обмеженої кількості дослідів отримати досить точне уявлення про досліджувані об'єкти. Математичне моделювання актуальне практично в усіх галузях промисловості.

Оскільки взаємодія напиленого шару з основою характеризується міцністю зчеплення $\sigma_{зч}^r$, то при її визначенні необхідно враховувати фактори, інтервали зміни числових значень яких були обґрунтовані на основі аналізу технології створення зносостійкого покриття для підвищення абразивної стійкості вальниць ковзання і наведені у таблиці 4.2.

За даною кількістю факторів, згідно з рекомендаціями щодо проведення багатофакторного аналізу, було складено план 3-факторного експерименту вимірювання величини сили відриву (штифтовий метод визначення міцності

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зчеплення на розривній машині МР-500) і розрахунку $\sigma_{зч}^t$, а також матриці його обробки (таблиця 4.3).

Таблиця 4.2 – Рівні факторів і інтервали варіювання:

Рівні факторів	Позначення	$P_{C_2H_2}$, МПа	q_{O_2} , л/хв.	$q_{ПГ}$, г/хв.
		x_1	x_2	x_3
Верхній	+1	0,060	7,00	50,0
Основний	0	0,043	4,75	33,5
Нижній	-1	0,026	2,50	17,0
Інтервал варіювання	ΔX_i	0,017	2,25	16,5

Пошукові експерименти, аналіз яких наведено, вказали на те, що параметр $\sigma_{зч}^t$ міцності зчеплення суттєво залежить від тиску горючого газу, витрати кисню та порошку.

За основу моделі було прийнято вираз, який має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.3 – Планування експерименту

№	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$\sigma_{зч}^t$, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	43,80
2	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	43,43
3	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	44,10

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	44,60
6	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	44,18
7	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	43,70
8	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	42,85
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	43,80
10	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	43,78
11	0	1	0	0	1	0	0	0	0	44,15
12	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	44,80
13	0	0	1	0	0	1	0	0	0	44,42
14	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	43,60
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,02
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,95
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,05

Отримані коефіцієнти рівняння регресії та занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти рівняння регресії

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}
44,697	0,226	0,119	0	-0,657	0,029	-0,436	-0,079	-0,041	-0,328

Підставивши коефіцієнти регресії у складання рівняння математичної моделі:

$$y = 44,697 + 0,226 \cdot x_1 + 0,119 \cdot x_2 - 0,657 \cdot x_1^2 + 0,029 \cdot x_2^2 - 0,436 \cdot x_3^2 - 0,079 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,041 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,328 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4.2)$$

Перехід від кодованих значень до реальних:

$$x_1 = \frac{P_{C_2H_2} - 0,043}{0,017};$$

$$x_2 = \frac{q_{O_2} - 4,75}{2,25};$$

$$x_3 = \frac{q_{\PiГ} - 33,5}{16,5}.$$

Підставивши реальні значення у формулу 4.2 отримано рівняння:

$$\begin{aligned} y = & 35,964 + 223,51 \cdot P_{C_2H_2} + 0,383 \cdot q_{O_2} + 0,156 \cdot q_{\PiГ} - 2273,356 \cdot P_{C_2H_2}^2 + \\ & + 0,006 \cdot q_{O_2}^2 - 0,002 \cdot q_{\PiГ}^2 - 2,065 \cdot P_{C_2H_2} \cdot q_{O_2} - \\ & - 0,146 \cdot P_{C_2H_2} \cdot q_{\PiГ} - 0,009 \cdot q_{O_2} \cdot q_{\PiГ}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Побудова графіку залежності міцності зчеплення від витрати кисню та порошку (рисунок 4.8):

$$P_{C_2H_2} = 0,043 \text{ МПа};$$

$$q_{O_2} = 2,5 \dots 7 \text{ л/хв.};$$

$$q_{\PiГ} = 17 \dots 50 \text{ г/хв.}$$

Максимум міцності зчеплення на даному графіку (рисунок 4.8) і при заданих межах режиму напилення складає: $q_{O_2} = 7 \text{ л/хв.}$, $q_{\PiГ} = 27,29 \text{ г/хв.}$

Побудова графіку залежності міцності зчеплення від тиску ацетилену та витрати порошку (рисунок 4.9):

$$P_{C_2H_2} = 0,026 \dots 0,060 \text{ МПа};$$

$$q_{O_2} = 4,75 \text{ л/хв.};$$

$$q_{\PiГ} = 17 \dots 50 \text{ г/хв.}$$

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

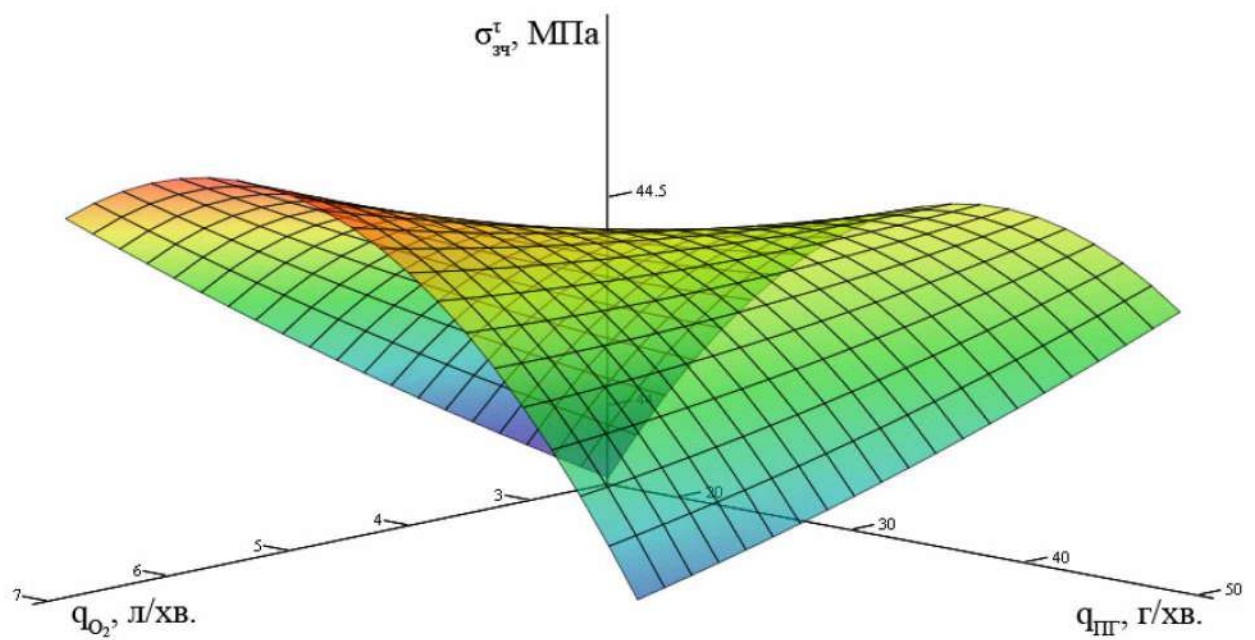


Рисунок 4.8 – Графік залежності міцності зчеплення
від витрати кисню та порошку

Максимум міцності зчеплення на даному графіку (рисунок 4.9) і при заданих межах режиму напилання складає:

$$P_{C_2H_2} = 0,046 \text{ МПа};$$

$$q_{III} = 33,37 \text{ г/хв.}$$

Побудова графіку залежності міцності зчеплення від тиску ацетилену та витрати кисню (рисунок 4.10):

$$P_{C_2H_2} = 0,026 \dots 0,060 \text{ МПа};$$

$$q_{O_2} = 2,5 \dots 7 \text{ л/хв.};$$

$$q_{III} = 33,5 \text{ г/хв.}$$

Максимум міцності зчеплення на даному графіку (рисунок 4.10) і при заданих межах режиму напилання складає: $P_{C_2H_2} = 0,045 \text{ МПа}$; $q_{O_2} = 7 \text{ л/хв.}$

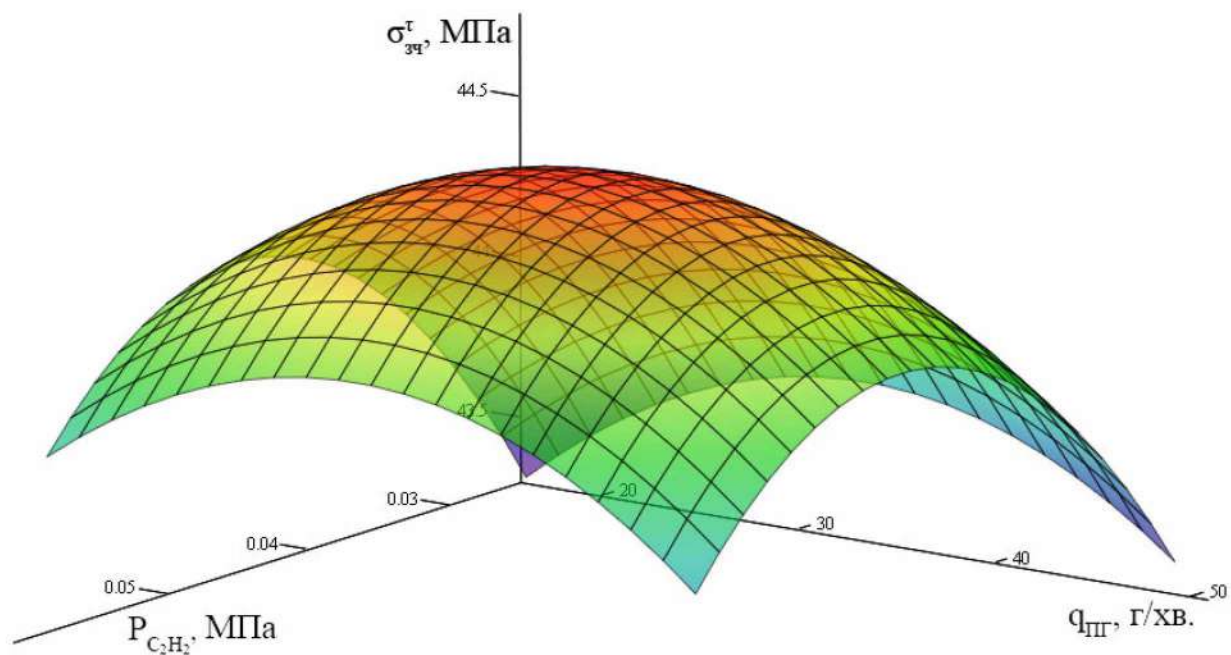


Рисунок 4.9 – Графік залежності міцності зчеплення
від тиску ацетилену та витрати порошку

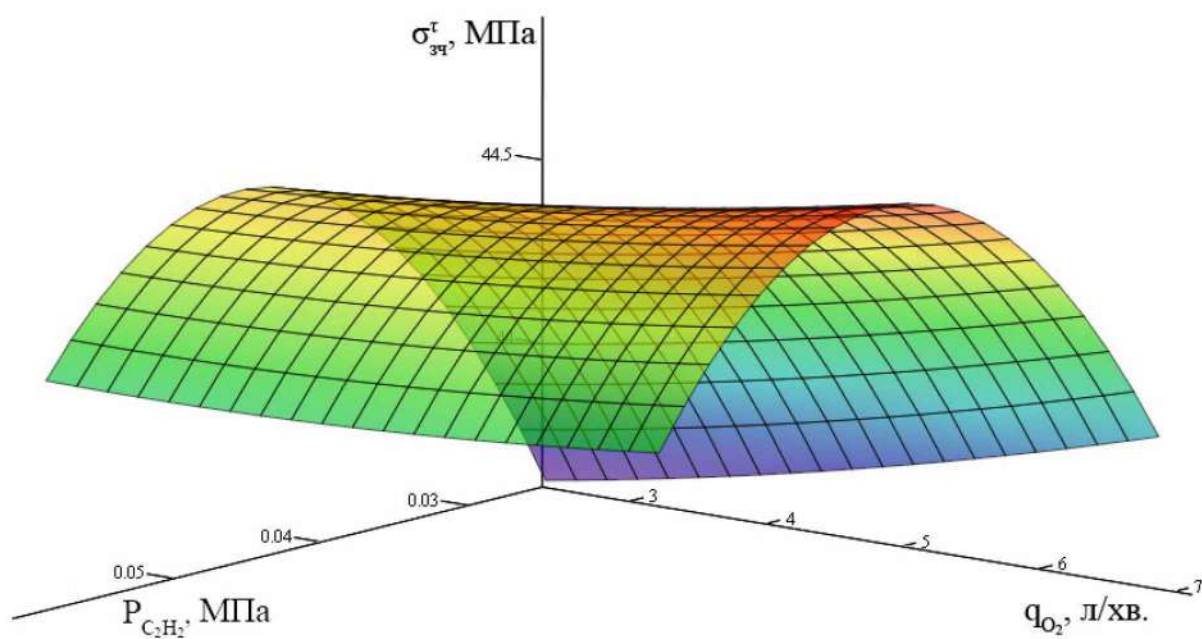


Рисунок 4.10 – Графік залежності міцності зчеплення
від тиску ацетилену та витрати кисню

Висновки до розділу 4

1 Нанесення твердосплавного покриття на поверхні тертя збільшило міжремонтний цикл приблизно у 2,5 рази у порівнянні із вальницями із сталі марок ШХ15 і ХВГ.

2 При дослідженні математичної моделі на визначення найоптимальніших параметрів нанесення твердосплавного покриття методом газополуменового наплавлення, було складено трьохмірні графіки для дослідження міцності зчеплення покриття з основою при парних взаємодіях факторів дослідження. При варіації факторів витрати кисню та порошку було виявлено, що міцність зчеплення зростає при верхньому значенні витрати кисню та середньому значенні витрати порошку в заданих межах. При варіації факторів тиску ацетилену та витрати порошку було виявлено, що міцність зчеплення зростає при виборі середніх значень тиску ацетилену та витрати порошку в заданих межах. При варіації факторів тиску ацетилену та витрати кисню було виявлено, що міцність зчеплення зростає при середньому значенні тиску ацетилену та верхньому значенні витрати кисню в заданих межах. Об'єднавши варіювання на усіх трьох графіках одночасно було виявлено, що найоптимальнішими параметрами нанесення покриття будуть: середнє значення витрати порошку, верхнє значення витрати кисню та середнє значення тиску ацетилену.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Організація безпечного виробництва

1 При виконанні газополумених робіт необхідно користуватися спеціальним одягом: брезентовим костюмом або костюмом бавовняним із вогнестійким просоченням; шкіряними черевиками; брезентовими рукавицями; захисною каскою (при роботі у монтажних умовах).

2 Для захисту очей від яскравого світла полум'я, інфрачервоних і ультрафіолетових променів використовуються окуляри зі світлофільтрами, щільність яких вибирається в залежності від потужності зварювального полум'я (по витраті ацетилену).

Газополуменеві роботи, при умови що полум'я та іскри спрямовані у бік, протилежний від джерел живлення газами, повинні проводитися на відстані: не менше 10 м від переносних ацетиленових генераторів, бачків з горючою рідиною; 3 м від газорозбірних постів; 1,5 м від газопроводів (рисунок 5.1).

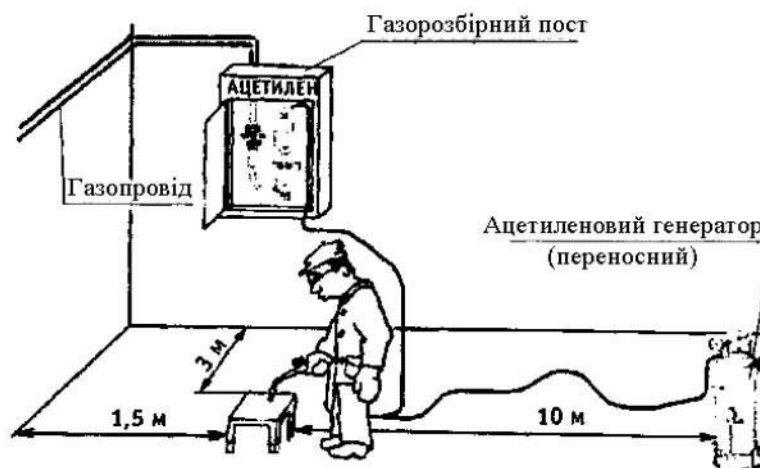


Рисунок 5.1 – Схема безпечних відстаней під час виконання газополумених робіт

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У разі спрямування полум'я та іскор в бік джерела живлення газами необхідно застосовувати заходи щодо захисту джерел (установка металевих екранів і щитів).

Забороняється розводити відкритий вогонь, палити у межах 10 м від кисневих та ацетиленових балонів і переносних джерел живлення горючими газами (рисунок 5.2).

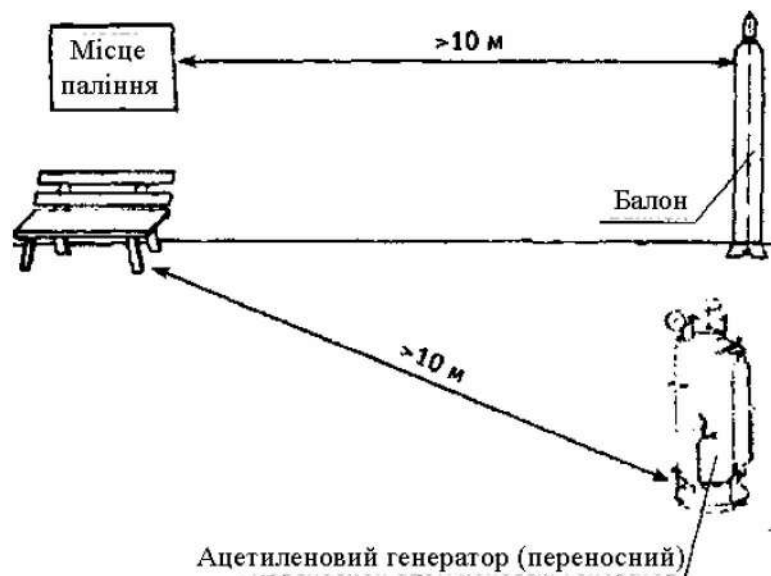


Рисунок 5.2 – Безпека паління

Перед початком газополум'яних робіт робоче місце повинно бути оглянуто, прибрані зайві предмети і легкозаймисті матеріали.

Під час роботи забороняється тримати зварювальні рукава під пахвою, на плечах або затискати їх ногами.

Не допускається переміщення працюючого із запаленим пальником або різакон за межі робочого місця, а також підйом трапами і сходами.

Гумові рукава повинні застосовуватися у відповідності до їх призначення. Не допускається використання кисневих рукавів для подачі ацетилену або рідкого пального. Не допускається використання ацетиленових рукавів і рукавів рідкого пального для подачі кисню.

Необхідно систематично перевіряти герметичність усіх роздільних сполук (окремі ділянки рукавів, місця приєднання рукавів до обладнання), апаратуру та обладнання за допомогою мильного розчину.

При короткочасних перервах у роботі необхідно погасити полум'я, для цього потрібно щільно перекрити вентилялі на пальнику: спочатку кисень, потім горючий газ.

При тривалих перервах необхідно:

- щільно перекрити вентилялі на пальнику (рисунок 5.3, а);
- закрити запірні вентилялі на балонах або газорозбірних постах (рисунок 5.3, б);
- перекрити вихід газів із редукторів (рисунок 5.3, в).

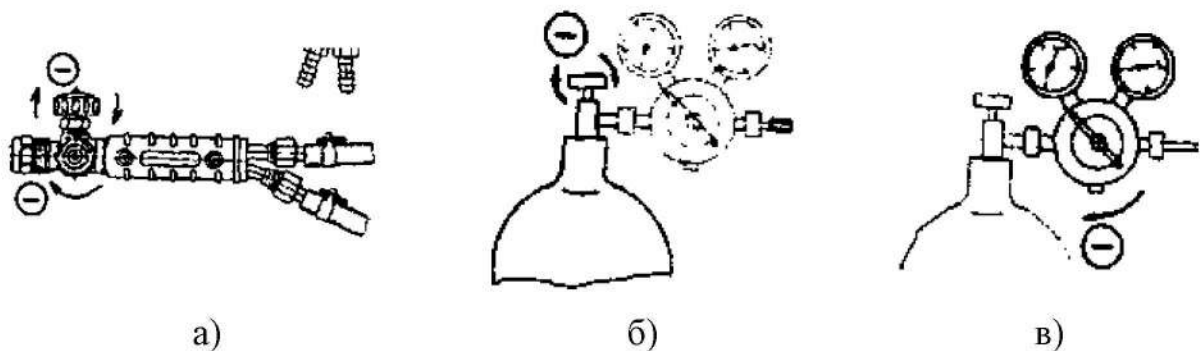


Рисунок 5.3 – Шляхи припинення подачі газу

При виконанні робіт усередині закритих і напівзакритих просторів необхідно знати наступне:

- забороняється приступати до роботи при наявності запаху ацетилену або парів вибухових і вогнонебезпечних речовин до повного провітрювання;
- забороняється працювати без безперервної штучної вентиляції;
- освітлення місця роботи повинно здійснюватися зовнішнім джерелом направленої дії;
- переносні світильники повинні мати захисну сітку, живитись від трансформаторів напругою не більше 12 В.

Розглянемо випадок вибуху балону із ацетиленом. Визначимо, при якому тискові може відбутися вибух балону, якщо його товщина стінки 0,3 см, внутрішній діаметр балону 20 см, матеріал – сталь 20. За діючими нормами граничний робочий тиск у балоні повинен бути $2,942 \cdot 10^6$ Па.

Тиск, при якому відбувається вибух балона визначимо за формулою:

$$p = \frac{(s - c) \cdot (2 \cdot \sigma_p \cdot \varphi)}{d_b}, \quad (5.1)$$

де s – товщина стінки балона;

c – прибавка на мінусові припуски сталі, $c = 0,0025$ см;

σ_p – припустимий опір сталі, $\sigma_p = 360000$ кПа;

φ – коефіцієнт міцності для безшовних труб, $\varphi = 1$;

d_b – внутрішній діаметр балону.

$$p = \frac{(0,3 - 0,0025) \cdot (2 \cdot 360000 \cdot 10^3 \cdot 1)}{20} = 10,710 \cdot 10^6 \text{ (Па)}.$$

Отже, вибух балона відбудеться при перевищенні норми граничного робочого тиску в 3,7 разу.

5.2 Світлове маскування для дотримання техногенно-екологічної безпеки

Комплексне маскування, це один із видів захисту територій, що належить до групи цивільного захисту; міста, на території яких розміщуються організації, що належать до групи цивільного захисту; а також організації, що продовжують свою діяльність в період мобілізації та воєнний час.

Маскування реалізується при виконанні заходів цивільного захисту завчасно, при приведенні цивільного захисту в готовність і в воєнний час. Вона

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організовується з метою створення хибного уявлення про склад та об'єм заходів, що проводяться в області цивільного захисту, а також приховування дійсного розташування, складу і розміщення будівель, споруд та технологічного обладнання об'єктів економіки та інфраструктури населених пунктів від усіх видів та засобів ведення розвідки.

Для проведення маскувальних заходів в міських поселеннях, на об'єктах капітального будівництва, що підпадають в зони введення маскування, необхідно завчасно виконувати інженерно-технічні заходи. Вони направлені на зниження параметрів фізичних полів, зниження параметрів пружних коливань та гравітації об'єктів; перевірку та налаштування відключення зовнішнього освітлення населених пунктів і об'єктів капітального будівництва; створення хибних об'єктів.

Комплексне маскування передбачає створення автоматизованої системи управління технологічним устаткуванням та системами, засобами маскування, виявлення і протидія сучасних засобів ураження на території, що прикривається, забезпечення зниження демаскуючих параметрів об'єктів і прилеглих орієнтирних показників.

Відповідно до вимог до об'єктів та території можуть бути використані наступні види маскувальних заходів:

світлове маскування здійснюється в прикордонних населених пунктах і на окремо розташованих об'єктах економіки й інфраструктури;

світлове маскування й інші види (приховування, імітація, демонстративні дії) проводяться на територіях, що належать до групи цивільного захисту, що передбачають маскування об'єктів організацій й інфраструктури населених пунктів при проведенні як визначених заходів цивільної оборони, так і з метою забезпечення захисту об'єктів, що продовжують працювати в воєнний час. Основне призначення – протидія їх виявленню, неприпустимість зриву заходів цивільного захисту;

комплексне маскування територій проводиться в зонах ймовірного прольоту засобів постачання і засобів ураження до цілей, основна мета – зміна орієнтовних

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показчиків територій, здійснюються в цілях зниження точності наведення засобів постачання й ураження цілі;

комплексне маскуванню організацій та їх територій, що продовжують свою діяльність, в період мобілізації та воєнний час, а також на територіях організацій, що забезпечують життєдіяльність територій, що відносять до груп цивільного захисту. Воно включає весь комплекс маскувальних заходів, що забезпечують зниження демаскувальних параметрів об'єктів і прилеглих орієнтовних показників територій (в оптичному, радіолокаційному, тепловому спектрах, зниження параметрів пружних коливань і гравітаційних об'єктів, а також заходів щодо ввозу та вивозу людей, устаткування і матеріалів).

Світлове маскуванню об'єктів являє собою один із різновидів інженерного маскуванню. Воно проводиться в оптичному діапазоні випромінювань з метою зниження помітності об'єктів, міст й інших населених пунктів в темний час доби для перешкоджання розпізнавання об'єктів оптичними засобами наведення носіїв та зброї противника.

Приховування об'єктів та орієнтирів навколо них, можуть бути використані ворогом як додаткові точки прицілювання, що полягають в усуненні або послабленні демаскуючих ознак, притаманних для робочого устаткування або технічних систем в населених пунктах і на об'єктах. Приховування забезпечується дотриманням маскувальної дисципліни, використанні маскувальних властивостей місцевості, природних умов і використання спеціальних прийомів, технологій і засобів маскуванню.

Імітація полягає в створенні хибних об'єктів і хибної ситуації шляхом використання макетів споруд, устаткування та техніки на території об'єкта і на відстані від нього, для відволікання сучасних засобів ураження на хибні об'єкти.

Демонстративні дії є навмисним показом діяльності персоналу об'єктів, аварійно-рятувальних формувань і рятувальних служб на обладнаних хибних об'єктах, направлених на імітацію їх функціонування і створення умов для ураження хибних цілей.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплексне використання різних видів і засобів маскування дозволяє знизити вірогідність ураження об'єктів, що потребують захисту (їх критичних елементів), засобами ураження ворога.

5.3 Визначення розрахунково-балансної вартості установки

На стадії ескізного проектування розрахунково-балансова вартість установки $\Pi_6, \text{грн}$, визначається за питомими показниками на одиницю конструктивної маси наявної аналогічної установки із близькими показниками за формулою:

$$\Pi_6 = \Pi_6^a \cdot \frac{G}{G_a}, \quad (5.1)$$

де Π_6^a – ціна аналогічної техніки;

G – конструктивна маса нової техніки, кг; згідно з проектуванням $G = 540$;

G_a – конструктивна маса аналогічної техніки, кг.

За курсом НБУ на 26.11.2022 1 EURO = 38,15 грн. Тоді установка-аналог коштуватиме $3500 \cdot 38,15 = 133525$ грн.

Розрахунково-балансова вартість нової установки буде рівна, грн.:

$$\Pi_6 = 133525 \cdot \frac{540}{750} = 96138.$$

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 5

Запропоновано заходи із безпечної організації праці. Приділено увагу питанням світлового маскування, визначенню розрахунково-балансову вартість кормозмішувальної установки.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Отже, відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1 Визначено залежності, що характеризують теоретичний знос поверхонь тертя у вальницях ковзання. Тиск на поверхні вальниці розподіляється за гіперболічною залежністю.

2 Запропонована методика із застосуванням спеціального пристосування дозволила визначити величину осьового навантаження на конічну опору вальниці під час її роботи. Запропоновано експериментальний стенд на базі вертикально свердлильного настільного верстату для визначення величини зносу вставки і цапфи вальниці.

3 Проведено серію експериментальних досліджень щодо визначення осьового навантаження на опору. Його максимальне значення становить 186 Н. Окрім цього, визначено інтенсивність зношування пари тертя. При швидкості ковзання 7,54 м/хв. середня інтенсивність зношування цапфи становила 0,0032 г/год. для твёрдосплавного покриття ПГ-10Н-01; 0,008 г/год. – сталі ХВГ, ШХ15; 0,013 г/год. – сталі 45.

4 Розроблена математична модель, що адекватно описує технологічний процес створення зносостійкого покриття. При дослідженні математичної моделі створення зносостійкого покриття та визначення найоптимальніших параметрів його нанесення методом газополуменевого наплавлення було складено трьохмірні графіки міцності зчеплення покриття з основою при парних взаємодіях факторів дослідження. Об'єднавши варіювання на усіх трьох графіках одночасно було виявлено, що найоптимальнішими параметрами нанесення покриття будуть: середнє значення витрати порошку (33,5 г/хв.), верхнє значення витрати кисню (7 л/хв.) та середнє значення тиску ацетилену (0,043 МПа).

5 Надано рекомендації стосовно практичної реалізації розробок.

					КРМ.133ГМмд_21.06.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		