

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація та аналіз зношеного стану деталей циліндро –
поршневої групи двигунів, з дослідженням шляхів підвищення ресурсу
експлуатації.

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Рудий А.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Рогатинський Р.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Левкович М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

В.о. зав. кафедри Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Рудому Андрію Ярославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація та аналіз зношеного стану деталей циліндро – поршневої групи двигунів, з дослідженням шляхів підвищення ресурсу експлуатації.

Керівник роботи Рогатинський Р.М., д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2022 року № 4/7-899

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12 грудня 2022

3. Вихідні дані до роботи Характеристика зношування деталей циліндро – поршневої групи двигунів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Технологічна схема збирання циліндро-поршневої групи – 1А1.

Пристосування для випресування гільз циліндрів – 1А1. Деталювання – 2А1.

Класифікація математичних моделей зношування гільз циліндрів – 1А1.

Блок-схема аналізу факторів зносу гільз циліндрів – 1А1.

Аналітично оцінка зносу гільз циліндрів – 1А1.

Технологічні методи підвищення довговічності гільз циліндрів – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 11.11.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	16.11.2022	
2	Технологічний розділ	21.11.2022	
3	Конструкторський розділ	25.11.2022	
4	Науково-дослідний розділ	02.12.2022	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.12.2022	
6	Оформлення графічної частини	08.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	22.12.2022	

Студент

(підпис)

Рудий А.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Рогатинський Р.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Модернізація та аналіз зношеного стану деталей циліндро – поршневої групи двигунів, з дослідженням шляхів підвищення ресурсу експлуатації».

Тема магістерської роботи є актуальною на сьогоднішній день з цілого ряду причин. Перш за все тому, що деталі циліндро поршневої групи являють собою дуже навантаженими та важливими деталями будь-якого двигуна внутрішнього згоряння. Срок служби даного агрегату залежить насамперед, Чи можна визначити, стабільним і рівномрним строком служби. Основними деталями які труться являються гільза циліндру та кільця поршневі. дані деталі перебувають у важких експлуатаційних умовах ах та швидко зношується відносно інших деталей двигунів.

Ключові слова: поршень, стиск, детонація, мащення, циліндр.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Аналіз умов роботи деталей.....	7
1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Загальні принципи моделювання та алгоритмів розрахунків зносу робочих поверхонь.....	14
2.2 Врахування факторів в процесі побудови моделей зносу.....	21
2.3 Математична модель зносу гільз циліндрів.....	25
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	31
3.1 Алгоритм розрахунку зносу гільзи циліндра.....	31
3.2 Аналіз впливу режиму роботи двигунів на зношування гільзи циліндрів.....	32
3.3 Вплив температурного рівня деталей кривошипно-шатунного механізму на знос гільз циліндрів.....	34
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	40
4.1 Об'ємне зміцнення матеріалів деталей.....	40
4.2 Зміцнення робочої поверхні.....	42
4.3 Нанесення зносостійких покриттів і установка вставок.....	47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	53
5.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві.....	53
5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
БІБЛІОГРАФІЯ.....	64
ДОДАТКИ	

ВСТУП

На кращих сучасних двигунів максимальний тиск згоряння досягає 13...15 МПа, а температура робочої поверхні гільзи в зоні верхньої мертвої точки (ВМТ) першого компресійного кільця 200...240°C. Конструктивна неможливість підведення в зону тертя компресійних кілець, короблення поверхні тертя гільзи внаслідок асиметрії температурних полів, високі тиски, тертя і температури сильно інтенсифікують процес зношування.

Коррозійно-механічний знос гільз циліндрів полягає у взаємодії металу поверхонь тертя з газоподібними чи рідкими продуктами згоряння палива, окислювання масла і води. Коррозійно-механічний знос складається звичайно з двох фаз – фази, впливу агресивної речовини на метал і утворення окисної плівки і фази видалення цієї плівки з поверхні тертя. Вважається, що для циліндрів двигунів основне значення має електрохімічна корозія, що є результатом взаємодії з металом слабких кислот, розчинених у воді, що сконденсувалися на стінках циліндрів. Утворення конденсату відбувається при температурі стінки, рівній чи меншій температури насичення водяної пари, що залежить від параметрів роботи двигуна. Максимальні значення температури насичення водяної пари досягають при повороті колінчатого вала на кут 10...20° від верхньої мертвої точки, (ВМТ) а потім швидко знижуються.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз умов роботи деталей

Одним з основних факторів, що впливають на довговічність двигунів є правильна організація процесів мащення і підбір оптимального сорту масла. Це зв'язано з комплексом процесів, що протікають у двигуні, і не тільки зі зносом поверхонь поверхонь, але і з утворенням лаків, нагарів, закоксованості, задирами, корозійними й іншими процесами. Значення ролі мащення останнім часом одержує пріоритетний розвиток, особливо це стосується нових форсованих двигунів. Сучасні масла складні за вмістом. Вони до 30% містять різні присадки, що забезпечують їхні поліпшені протизносні, протизадирні, протипінні, протикорозійні, противоокислювальні, що противонагароутворюючі, миючі, в'язкості й інші властивості. Мастила мають мінеральну, синтетичну і змішану основу.

Незважаючи на велику кількість фундаментальних робіт в країнах СНГ, так і в далекому зарубіжжі (у першу чергу, Англії і США) не існує єдиної загальновизнаної теорії тертя. Це зв'язано зі складністю і швидкоплинністю процесів, що протікають на фрикційному контакті і неможливістю їхнього безпосереднього спостереження. Різні вчені схильні до переваги механічних, фізико-хімічних, втомнісних, окисних і інших процесів у тонкому поверхневому шарі. Але всі визнають, що в тонкому поверхневому шарі металу протікають складні фізико-хімічні процеси. Особливості тертя і зносу в значній мірі визначаються будовою поверхневих шарів, їхньою структурою і міцністю зв'язків з основним металом. На рис.1.1 показана принципова схема будови поверхневих шарів металу деталей тертя.

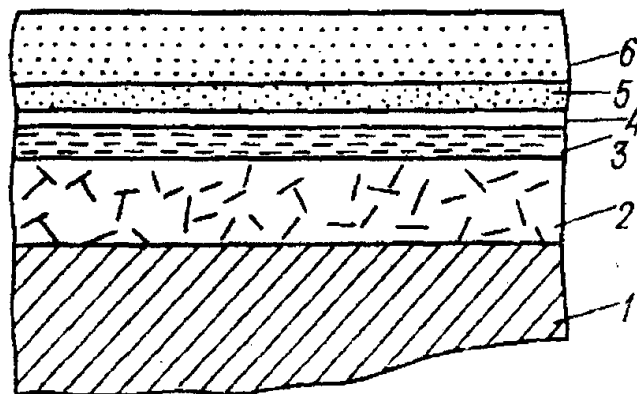


Рис. 1.1 Принципова схема будови поверхневих шарів металу деталей пари тертя:

1 - первинна об'ємна структура; 2 - зона пластично деформованого металу; 3 - шар окислів металу; 4 - адсорбований шар води; 5 - адсорбований шар води; 6 - адсорбований шар полярних молекул органічного походження

Над матричною структурою металу знаходяться шари окислів, що відрізняються за своїми властивостями від основного металу. Близьке уявлення про структуру поверхневого шару металу деталі тертя дає і проф. Б.І. Костецький рис. 1.2.

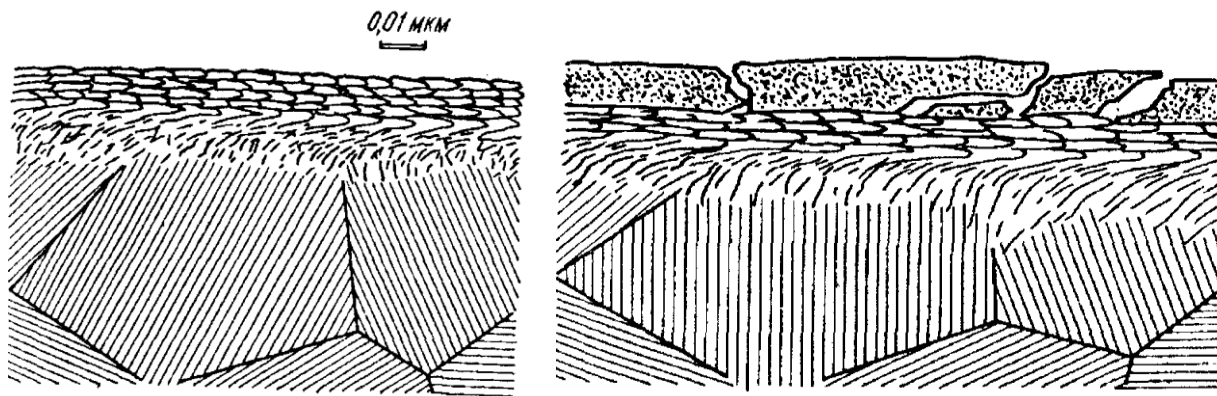


Рис. 1.2 Схема будови поверхневого шару при окисному зносі

На поверхні окисного шару в залежності від умов тертя можуть знаходитися адсорбовані плівки газів чи води органічних речовин. У найбільш характерному в техніці випадку тертя зі змащенням на поверхні знаходяться орієнтовані певним чином полярно-активні вуглеводні, що входять до складу масла.

Тертя буває зі змащенням і без змащення. Граничним випадком тертя зі змащенням буде гідродинамічне, тертя коли поверхні тертя розділені мікроплівкою мастила, що володіє об'ємними властивостями. Між сухим і

гідродинамічним режимом тертя існує великий клас граничного тертя. Особливістю граничних шарів є те, що їхні властивості відмінні від об'ємних властивостей змащення й у значній мірі визначаються впливом поля твердого тіла. Наприклад, плівка рідини на поверхні набуває квазикристалічних властивостей, що мають в анізотропності, набуває властивостей пружності і т.д.

Адсорбційні плівки створюються на металевій поверхні в основному під дією сил Ван-дер-Ваальса. При цьому утворюються шари щільно розташованих полярно-активних вуглеводнів. Ці молекули спрямовані перпендикулярно до поверхні і звернені до неї полярними групами COOH , та іншими. До полярних сполучень, що входять до складу моторних масел, відносяться органічні кислоти, спирти, ефіри, смоли, сірчисті сполуки й ін. Угледовородная основа мінеральних масел не містить сполук, здатних до адсорбційного ефекту, крім тих, що збереглися в результаті недоочищення масла при його виробництві. Однак у результаті старіння масла в процесі роботи двигуна в ньому утворюються сполуки, що є матеріалом для побудови граничних шарів. Це явище одержало назву припрацювання масла і пояснює кращі мастильні властивості припрацьованого масла, ніж свіжого.

Утворення граничної плівки протікає в наступній послідовності: спочатку на активних центрах твердої поверхні одиночні молекули своїми активними елементами створюють мономолекулярний шар (рис. 1.3).

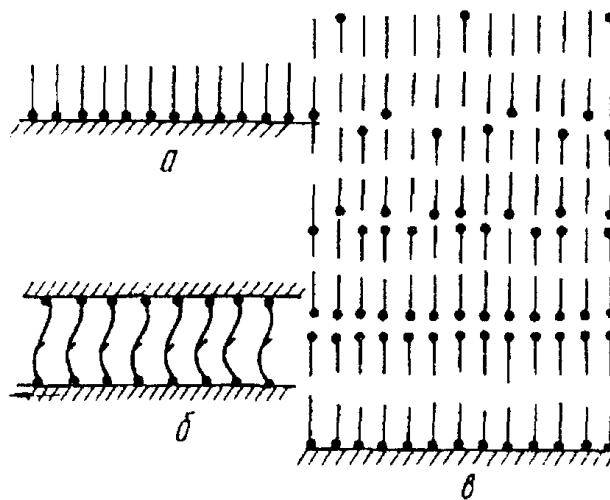


Рис. 1.3 Схема утворення граничних шарів мастила: а - мономолекулярний шар; б - схема вигину молекул при відносному переміщенні поверхні тертя; у - полімолекулярні шари за участю неполярних молекул.

На рис. 1.3 приведено схему утворення граничних шарів, що складаються з молекул жирної кислоти з ланцюговою структурою з однією активною кінцевою групою. Поверхнево-активні речовини утворюють на поверхні металу "молекулярний ворс" і змушують до спрямованої орієнтації і неполярні молекули. Молекули можуть займати різне положення: від перпендикулярного до похилого і навіть горизонтального. Площинами полегшеного ковзання є місця розташування метильних груп.

При збільшенні довжини ланцюга молекул вони набувають здатність до нахилів і вигинів, унаслідок чого з'являється ще одна цінна властивість таких шарів – здатність до деконцентрації напружень на окремих ділянках поверхневих шарів.

При стиску граничні шари з поверхнево-орієнтовними молекулами можуть витримувати тиск, що досягає тисячі МПа. Однак ці шари легко руйнуються при досягненні температури десорбції. Над орієнтованими молекулами розташовані і гранична плівка, що різко відокремлюється від цих молекул.

Крім розглянутої гіпотези є і інші. Існує точка зору про наявність у граничних плівках твердоподібних, структурованих і дифузійних частин.

Утворення граничних шарів підтверджено рентгеноструктурним аналізом, електронною дифракцією, визначенням діелектричної постійної і т.д. Багато питань залишаються спірними: чи є граничний шар мономолекулярним, чи має полімолекулярну структуру? Існує розбіжність між теорією й експериментом? Експеримент визначив, що товщина граничних шарів на кілька порядків більше, ніж це впливає з теорії.

Уявлення про правильну пластинчато-шарувату структуру граничних шарів оцінює як ідеалізоване, що не враховує властивості і рельєф реальної поверхні тертя.

Розглядаючи процеси в граничних шарах на електронно-молекулярному рівні, висунув гіпотезу доменної структури й електромагнітного характеру сил, що формують структури (рис. 1.4).

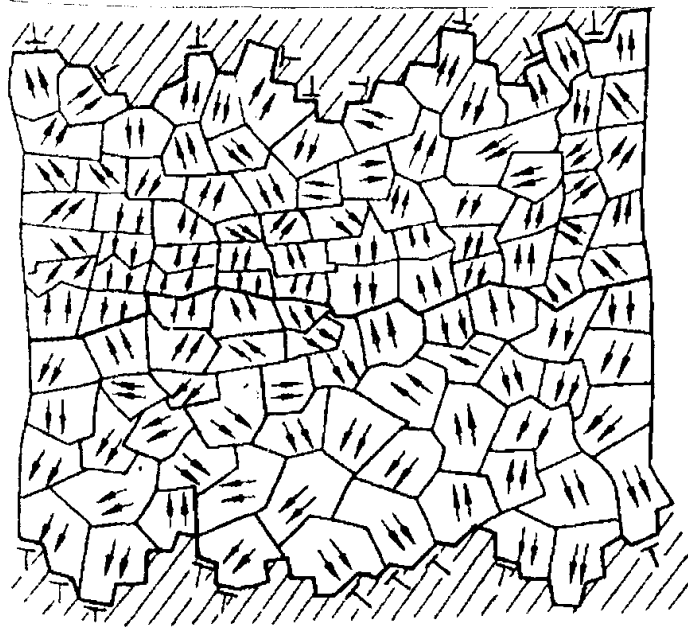


Рис. 1.4 Схема доменної структури граничних шарів

Це підтверджено експериментальним дослідженням граничних шарів різних мастильних матеріалів і органічних кислот за допомогою електрофізических методів. Процес утворення доменної структури граничного шару носить об'ємний характер, при цьому реальна поверхня твердого тіла впливає на величину доменів і їхню орієнтацію.

Крім структури, на властивість граничних шарів і їхнє поведження при терті впливає об'ємний просторовий заряд. Виникаючий при контакті діелектрика (мастильної речовини) з поверхнею твердого тіла об'ємний просторовий заряд проникає на значну глибину, до декількох мікрометрів. Заряд визначає особливі електричні властивості граничних шарів, зокрема їхню високу провідність. Таким чином, при граничному змащенні запобігається нагромадження на поверхнях тертя статичного заряду, руйнівна дія якого може бути дуже значним.

Електромагнітна природа граничних шарів є причиною того, що в поверхнях тертя зосереджені заряди одного знаку. У результаті цього при стиску повинно спостерігатися зростання опору в міру зменшення товщини граничних шарів. Це є наслідком збільшення щільності об'ємних просторових зарядів. У таких системах тангенціальні зсуви здійснюються дуже легко, і механізм їхньої дії зв'язаний з кулонівськими силами відштовхування, що виникають при зближенні.

Гіпотеза про доменну структуру й особливі електричні властивості граничних шарів дозволяє не тільки усунути протиріччя між теорією й експериментом і одержати критерій мастильної здатності, але і дати строге пояснення ряду інших; обставин: різному поведженню граничного мащення при терті ковзання і кочення, впливу поверхнево-активних речовин (ПАР), що вводяться в мастило, ролі і значенню трибоелектричних струмів і т.п.

Сучасні методи дослідження (у першу чергу, електронна мікроскопія) дозволили установити, що вторинні структури метастабільні, мають ультрадисперсну орієнтовану будову, екранують вихідний матеріал від механічних і фізико-хімічних впливів. Товщина вторинних структур на поверхні металів коливається при комірчастій структурі в межах 0,02...0,16 мкм. Процес утворення і руйнування ВР носить випадковий характер. Порушення динамічної рівноваги процесу утворення і руйнування ВР приводить до того, що в поверхневому шарі не встигають протікати процеси, необхідні для створення нових ВР, і підповерхневий шар починає руйнуватися. Це приводить до зростання темпу зношування сполучених поверхонь до патологічних процесів зношування.

Процес масляного збіднення завжди супроводжується несталим процесом, що полягає в періодичних коливаннях у товщині мастильного шару. Перехід від режиму приробляння до режиму масляного голодування супроводжується зменшенням товщини мастильного шару. Спостерігається істотне збільшення його товщини в період, що безпосередньо випереджає руйнування мастильного шару. Руйнування плівки змащення відбувається дуже різко і за дуже короткий проміжок часу. У момент руйнування мастильного шару коефіцієнт тертя між контактними поверхнями зменшується, що зв'язано з інтенсивним тепловиділенням, що приводить до розм'якшення матеріалу в місцях мікровиступів, де здійснюється гідродинамічний режим змащення. У точках реверса товщина мастильного шару не дорівнює нулю.

При створенні поверхонь з перемінними фізико-механічними властивостями важливе забезпечення заданої первинної структури матричного матеріалу в кожній точці робочої поверхні, здатної створювати необхідні умови стійкого існування вторинних структур при протікаючих у цій точці

специфічних її процесів зовнішнього тертя (при конкретних температурах, швидкостях і тисках тертя).

1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Для реалізації поставленої мети в роботі розв'язуються наступні задачі:

1. Дати аналіз по величині й характеру зношування та умовам роботи деталей ЦПГ.
2. Побудувати математичну модель зносу гільзи циліндрів.
3. Провести аналітичний розрахунок спрацювання гільз циліндрів в умовах нормальної експлуатації.
4. Виявити вплив режимів роботи двигуна на знос гільз циліндрів.
5. Проаналізувати, як методи підвищення зносостійкості робочих поверхонь гільз циліндрів впливають на ресурс деталей ЦПГ.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальні принципи моделювання та алгоритмів розрахунків зносу робочих поверхонь

Умови функціонування чи умови експлуатації, а більш конкретно - умови тертя, істотно впливають на знос поверхонь деталей ЦПГ, циліндрів кілець і поршнів і, відповідно, визначають основні показники зносостійкості робочих поверхонь. Аналіз процесів зношування поверхонь з метою оптимізації технологічного процесу зміцнення деталей являє собою досить складну задачу і базується на основі фізичного і математичного моделювання, результатів натурних експериментів, статистичних досліджень і т.п. При цьому, якщо модель і досліджуваний процес ідентичні, включаючи їхню структурну організацію, то вивчення такої моделі дає досить повну інформацію про досліджуваний процес або системи, її використання зв'язане з вимогою наявності повної апіорної інформації про структуру технологічного процесу чи системи. Якщо така апіорна інформація не є повною, то досліджують гомоморфні моделі, тобто спрощені моделі, макрофункція $\eta(X, \theta)$ яких тільки на деякій фіксованій безлічі входних контрольованих X і неконтрольованих θ впливів збігається з макрофункцією (функцією відгуку) досліджуваних процесів або систем.

Дуже зручним способом формування моделей є проведення натурних експериментів і обробка їхніх результатів з використанням методів лінійної і нелінійної регресії, множинного регресійного і кореляційного аналізу й ін. Разом з тим, при проведенні експериментальних досліджень необхідно пам'ятати про наступні важливі обставини:

- результат експерименту, як правило, є випадковою величиною, оскільки вимірювання будь-якої величини проводиться з певною похибкою;

- умови проведення експерименту не завжди є порівнянними, тобто можуть змінюватися від одного експерименту до іншого, зокрема, якщо похибки, що накладаються на вимірювані параметри є нестационарними, то дисперсія помилки вимірів буде різною;

- при дослідженні реальних систем число елементів обмежене через їхню високу вартість, а також через технічні обмеження пропускну здатності виміральної системи чи обмеженості припустимого інтервалу вимірів і ін.

При дослідженні технічних систем за допомогою моделей доцільно використовувати або фізичне, або математичне моделювання. Фізичне моделювання дозволяє провести дослідження процесів чи систем, безпосередній аналіз яких утруднено чи неможливо. Що стосується математичного моделювання, то складність і різноманіття процесів функціонування реальних систем робить задачу побудови адекватних їм математичних моделей у край скрутною. Найчастіше формалізована математична модель, що описує структуру і поведінку системи з використанням математичних співвідношень (формул, диференціальних, інтегродиференціальних чи алгебраїчних рівнянь, нерівностей, логічних умов, операторів і т.д.), відображає лише найбільш істотні закономірності досліджуваного процесу системи, нехтуючи при цьому другорядними деталями ефекту. Разом з тим, істотною перевагою математичних моделей, як абстрактних об'єктів, є можливість їхнього дослідження математичними методами.

При дослідженні зношування циліндрів ДВЗ доцільно використати математичні моделі, класифікація яких подана на рис.2.1:

- зношування в умовах нормальної експлуатації;
- дослідження зношування в умовах переважного виду зносу;
- для дослідження зношування циліндрів у залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу;
- дослідження зношування циліндрів у залежності від різних зовнішніх умов тертя (частоти обертання колінчатого вала, ступеня наддування і т.д.).

Використання тієї чи іншої вищезгаданої математичної моделі або їхньої певної сукупності (рис. 2.2) істотно залежить від виду і характеристик зовнішніх впливів і факторів, що впливають на знос циліндрів. При цьому ряд одних впливів і факторів, що враховуються при формуванні математичної моделі, відносять до основних, а ряд інших — до другорядних, впливом яких на процес зношування у певних умовах можна знехтувати. Таким чином, моделі,

що описують процес зношування гільз циліндрів, відносяться до класу гомоморфних моделей.



Рис. 2.1 Класифікація математичних моделей зношування циліндрів.

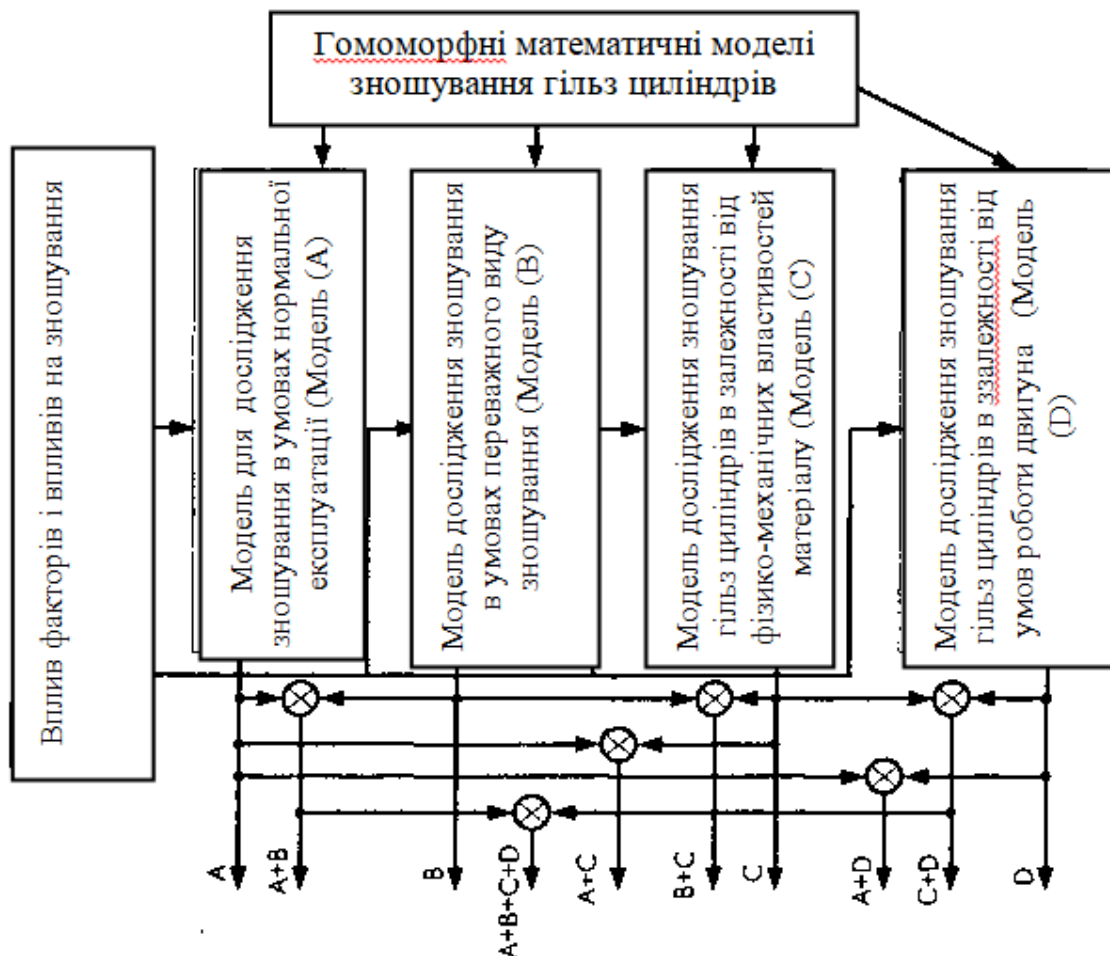


Рис. 2.2 Типи гомоморфних моделей зношування циліндрів ДВЗ

Розглянемо деякі з факторів, що впливають на знос циліндрів ДВЗ, зокрема, тиск на поверхні тертя, температуру поверхні циліндра, швидкість

поршня, фізико-механічні властивості матеріалу, якість масла, якість очищення повітря, паливо й ін.

Здійснюючи декомпозицію повної математичної моделі процесу зношування циліндрів, можна визначити ряд її компонентів, що являють собою самостійні задачі досліджень блок-схема яких зображена на рис. 2.3.

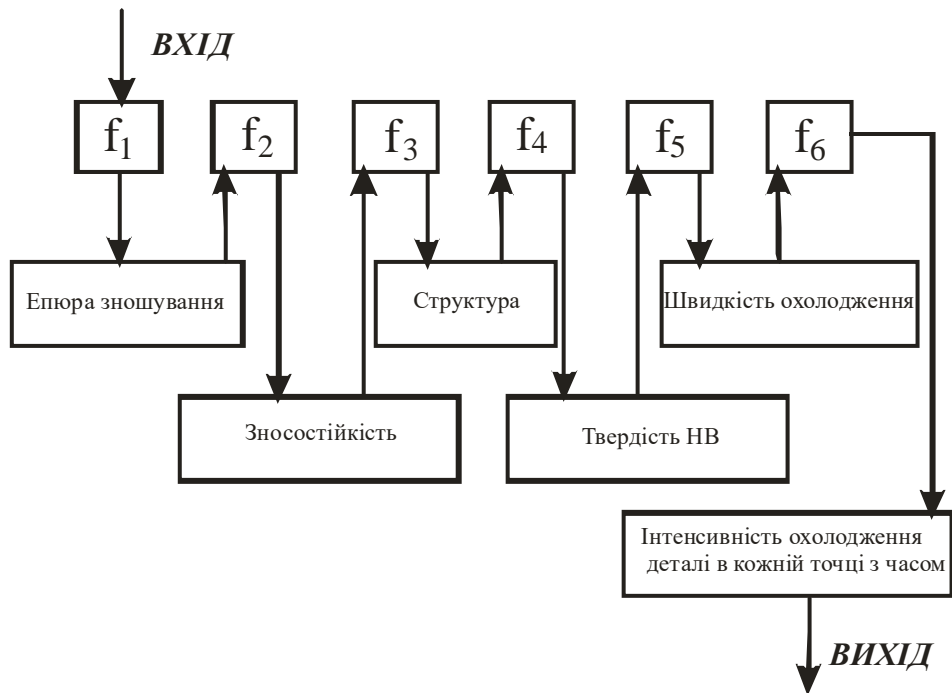


Рис. 2.3. Структура дослідження математичної моделі зношування.

До числа таких задач варто віднести:

- розрахункові залежності визначення епюри зносу поверхні циліндра - f_1 ;
- функціональна залежність необхідної для рівномірного зносу.

Перемінна зносостійкість в кожній точці робочої поверхні циліндра від форми епюри зносу деталі з постійними фізико-механічними властивостями - f_2 ;

- залежність структури від необхідної зносостійкості в кожній точці робочої поверхні - f_3 ;

– значення твердості поверхні в залежності від заданої структури - f_4 ;

– функціональна залежність швидкості кристалізації й охолодження велика в кожній точці для забезпечення заданої твердості - f_5 ;

- функціональна залежність між інтенсивністю охолодження (кількістю подаваного для охолодження ладагента) і швидкістю охолодження ($^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$) - f_6 .

При дослідженні будь-яких моделей зношування циліндрів такі фактори, як тиск на поверхні тертя, температура поверхні циліндра і швидкість поршня завжди відносять до основного (рис. 2.4).

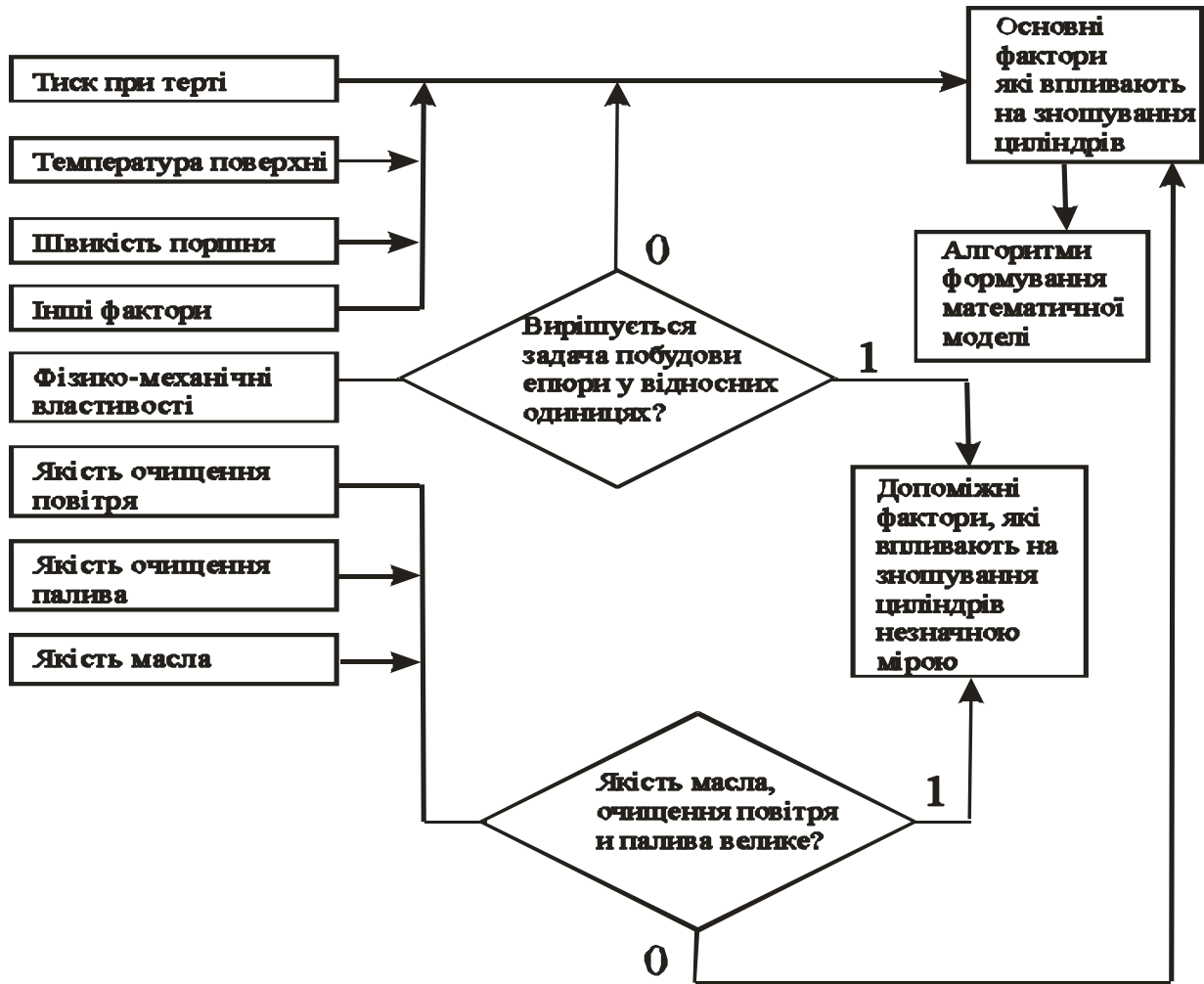


Рис. 2.4. Блок-схема аналізу факторів, що впливають на знос гілз циліндрів.

Якщо якість масла, якість очищення повітря і палива є високими, то ці фактори відносять до допоміжних, а в протилежному випадку - до основних факторів. Фізико-механічні властивості матеріалу, як фактор (чи вплив), в залежності від необхідності побудови епюри зносу у відносних чи абсолютних одиницях відносять до допоміжних чи основних факторів відповідно.

Одним з найважливіших етапів визначення необхідних показників зносостійкості є процес побудови епюри зносу, алгоритм здійснення якого, як і будь-який алгоритм, являє собою кінцевий упорядкований набір точних правил, що вказують, які дії й у якому порядку необхідно виконати, щоб після кінцевого числа кроків одержати необхідний результат.

Сукупність правил, по яких будується будь-який алгоритм, повинна мати емпіричні властивості: повнотою (у будь-якій ситуації наявне розпорядження для подальших дій), недвозначністю (усі розпорядження розуміють єдиним чином), несуперечністю (відсутні протиріччя один одному чи взаємовиключні

розпорядження), масовістю (розпорядження, що складають сутність алгоритму, застосовні до початкових даних, що можуть варіюватися), чи результативністю спрямованістю (алгоритм після кінцевого числа кроків повинний привести до зупинки операцій і одержанню результату).

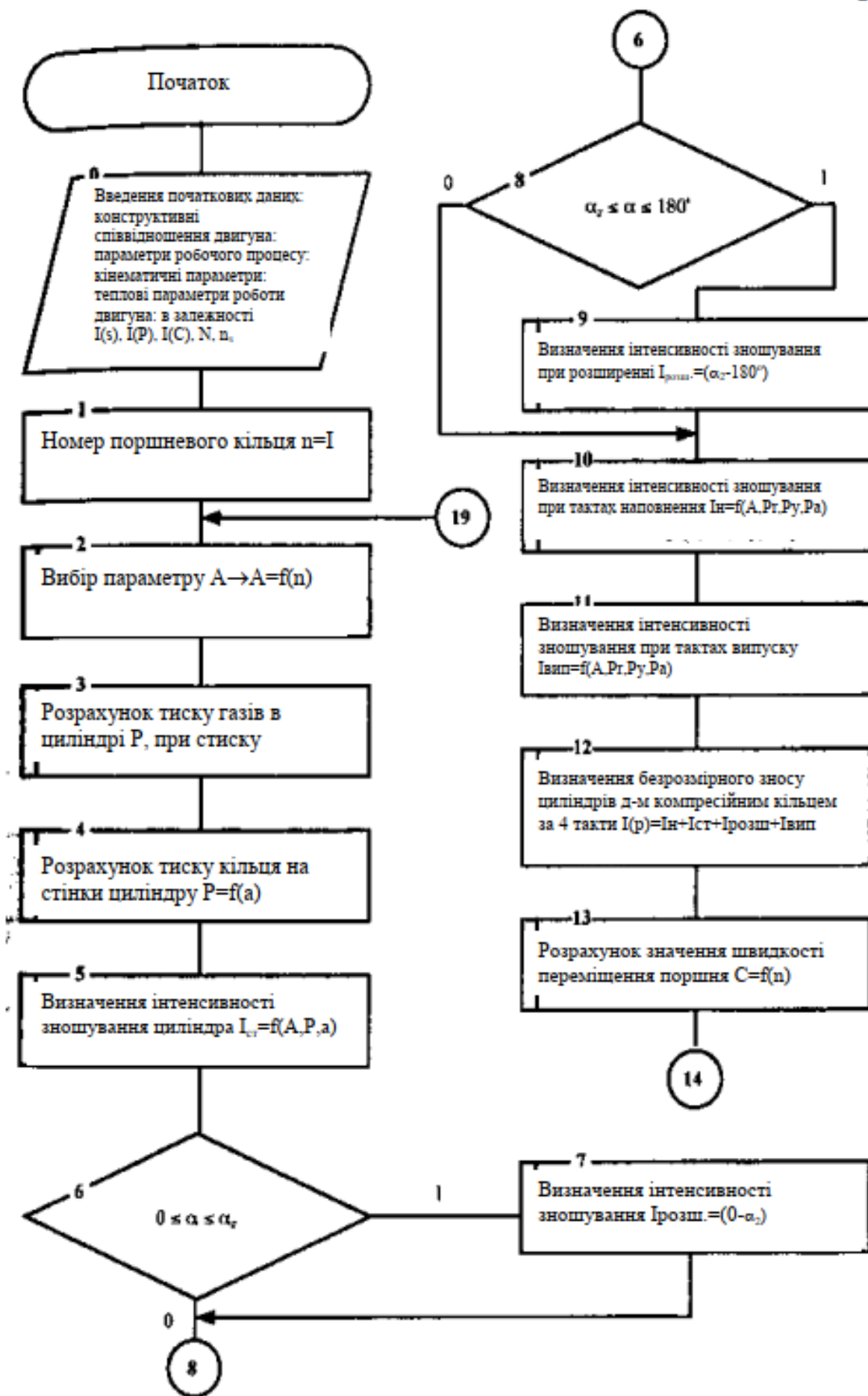
Реальний алгоритм визначення епюри зносу циліндрів ДВЗ являє собою сукупність арифметичних і логічних дій, реалізованих у визначеній послідовності, тобто є комбінованим алгоритмом.

Блок-схема алгоритму оцінки інтенсивності зношування циліндрів в умовах нормальної експлуатації в залежності від кута повороту колінчатого валу приведена на рис. 2.5.

Розглянемо алгоритм визначення інтенсивності охолодження як алгоритм керування, під яким розуміють сукупність розпоряджень, що визначають характер впливу блоку прийняття рішень складної системи на виконавчі органи для виконання ними заданого алгоритму функціонування (у нашому випадку - для зміни інтенсивності охолодження виливка циліндра в залежності від чи виду характеру епюри зносу). Під алгоритмом функціонування при цьому приймається сукупність розпоряджень, що ведуть до правильного виконання технічної задачі в системі.

При цьому (рис. 2.5.) вихідні криві $I(t)$, $I(P)$, $I(V)$ формуються на основі результатів натурних експериментів і розрахункових даних, де $I(t)$ - залежність зносостійкості матеріалу від температури; $I(P)$ — залежність зносостійкості матеріалу від тиску на поверхні тертя; $I(V)$ – залежність зносостійкості від швидкості взаємного переміщення.

Таким чином, розроблений алгоритм дозволяє створити математичну модель для розрахунку процесу зміцнення циліндрів із заданою перемінною по висоті зносостійкістю робочої поверхні в залежності від конструктивних співвідношень двигуна і режимів його роботи.



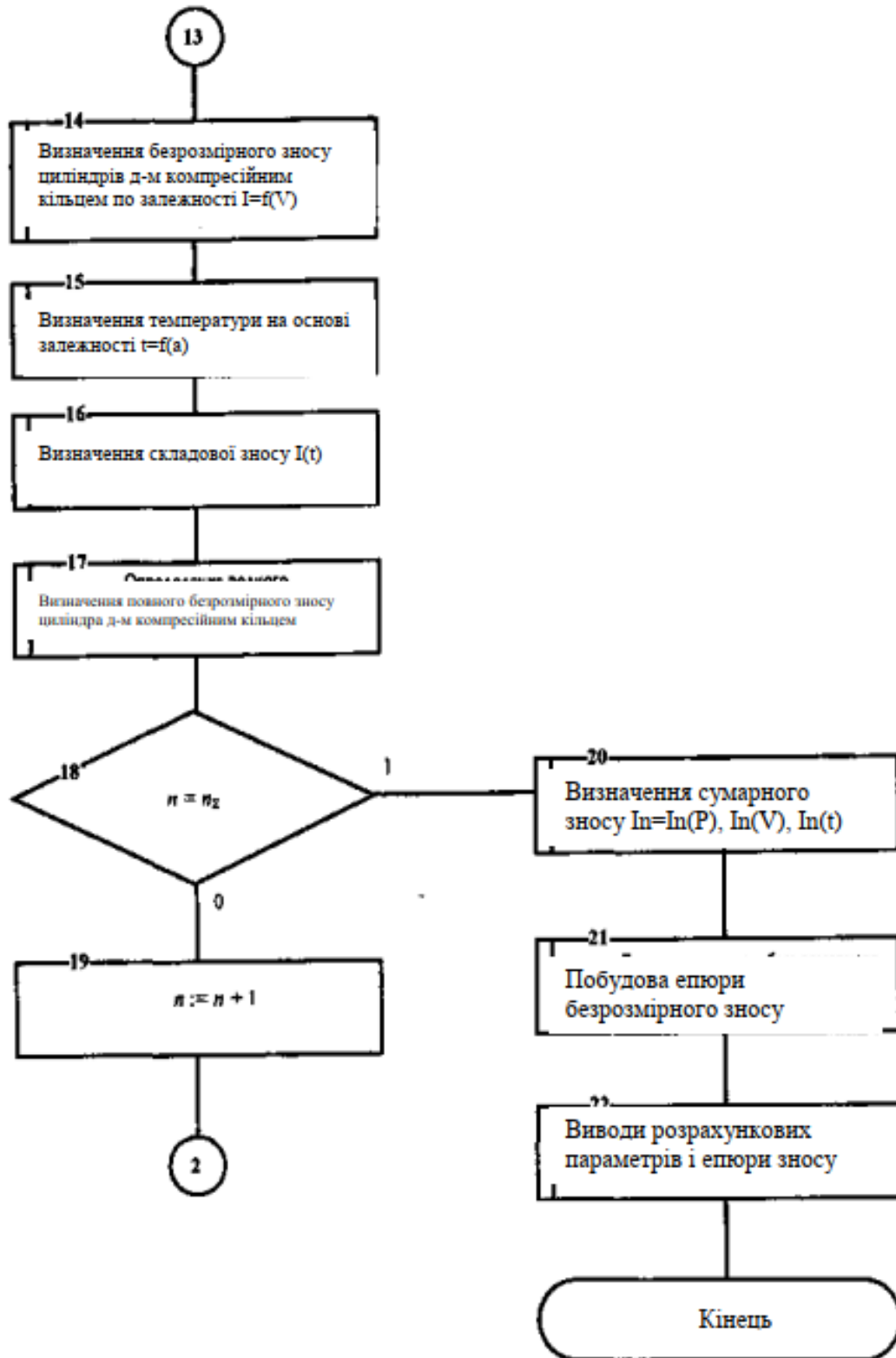


Рис. 2.5. Алгоритм розрахунку епюри зносу циліндра в нормальних умовах експлуатації

2.2 Врахування факторів в процесі побудови моделей зносу

Визначення зношувань гільз циліндрів розрахунковими методами і прогнозування довговічності двигунів має велике практичне значення. Крім

того, визначення епюри зносу проєктованих двигунів необхідно для розробки оптимальної технології виготовлення циліндрів, що забезпечують максимальний ресурс двигуна при експлуатації. Одержання експлуатаційної епюри зносу циліндра створюваних двигунів вимагає дуже великого часу (декількох років) і великих матеріальних витрат. Для визначення показників надійності це повинні бути дані по багатьом двигунам і за можливо більший період часу. Створення математичної моделі розрахунку зношувань циліндрів значно прискорює і багаторазово здешевлюють одержання необхідних результатів. Але дотепер універсальної і надійної методики розрахунку зношувань циліндрів не створено. Це пов'язано, у першу чергу, з величезною кількістю факторів, що впливають на знос гільз циліндрів ДВЗ, і різним їхнім впливом у різних двигунах і різних умовах експлуатації.

Усі фактори, що впливають на інтенсивність зношування гільз циліндрів можна розділити на дві великі групи: внутрішні і зовнішні. До внутрішніх факторів відносяться, у першу чергу, фактори, що неможливо змінити в процесі експлуатації, Це в першу чергу конструктивні особливості двигуна і фізико-механічні властивості матеріалів деталей (втулки, кілець, поршня). До зовнішніх факторів відноситься дуже велика кількість факторів, що можуть змінитися в процесі експлуатації. До них відносяться наступні застосовувані масла, чистота повітря, палива й масла; режими експлуатації (навантаження, частота обертання, тепловий режим); індикаторні параметри роботи двигуна (ступінь стиску, ступінь наддуву, максимальні тиски згоряння, температури газів і т.д.).

При розробці математичної моделі зносу за відомі величини прийняті:

- розміри циліндра і параметри робочого процесу двигуна;
- концентрація і питома поверхня кварцового пилу, що надходить у циліндри двигуна.

Інші фактори, що впливають на знос циліндра, не враховуються.

У результаті повинні бути отримані розрахункові формули, що дозволяють знаходити характер і величину зносу уздовж твірної циліндра має вигляд:

$$^2 = A \cdot \frac{P \cdot Z_F}{D_s \cdot i}, \quad (2.1)$$

Для одержання розрахункових формул математичної моделі абразивного зношування гільз циліндрів поточні величини P и Z_F подані через кут повороту колінчатого вала чи в залежності від положення поршня від ВМТ, а відносна дисперсність D_s зв'язана з кількістю проходу кілець по запиленій поверхні циліндра, з огляду на тиск кожного кільця на стінку гільзи циліндра. Для чотиритактного двигуна загальний знос гільзи циліндра за робочий цикл буде складатися з зношувань при наповненні, стиску, розширенні і випуску:

$$i_{заг} = i_{нап} + i_{ст} + i_{роз} + i_{вип}. \quad (2.2)$$

Розглянемо значення величин, що входять у рівняння (2.1) для окремих тактів робочого циклу двигуна.

Тиск кільця на стінку циліндра можна подати у вигляді:

$$P_x = P_y + B_i \cdot (P_r - l), \quad (2.3)$$

М.А. Григор'євим прийнято B_i для першої підколючної канавки поршня 0,8, для другої - 0,2, а для третьої - 0,08. Тиск газів у циліндрі визначається або по знятим із двигуна індикаторним діаграмам, або по розрахункових формулах теоретичного циклу.

Для визначення зносу циліндра в якому-небудь поясі, розташованому на відстані x від ВМТ першого поршневого кільця, необхідно знати тиск усіх кілець на стінку циліндра саме в цьому поясі. Тому при розрахунку тисків P_x значення P_r будуть різні для різних кілець, тому що окремі кільця проходять пояс x при різному положенні поршня, що залежить від відстані l між першим і будь-яким наступним кільцем.

Звідси для центрального кривошипно-шатунного механізму шлях кільця від ВМТ складе при куті повороту колінчатого вала φ :

$$x - l = r_k(l - \cos \varphi) + r_k \cdot \lambda / 4(l - \cos 2\varphi). \quad (2.4)$$

При отриманні наведених аналітичних виразів:

1. Відкриття і закриття випускного каналу відбувається при положеннях поршня відповідно у верхній і нижньої мертвих точках.

2. На поверхнях днища поршня, камери згоряння і циліндра вище зупинки у ВМТ верхнього компресійного кільця, що не мають масляної плівки, осідання пилу не відбувається.

3. Частки пилу рівномірно розподілені в об'ємі циліндра, і тому осідання пилу на поверхні циліндра в кожний даний момент відбувається рівномірно по всій оголеній поверхні. Хоч це допущення не зовсім вірне, тому що тривалість "відкритості" поверхні циліндра для абразивних часток неоднакова: верхня частина циліндра вільна для осідання на неї пилу довше, ніж низ циліндра. Тому на верхню частину циліндра пилу повинно осісти більше, ніж на нижню, хоча нижня частина краще покрита змащенням і частки пилу там "прилипають" краще. Так само важко установити переважність одного фактора над іншим й точні закономірності осідання пилу на стінки циліндра.

4. Абразивні частки, що осіли на поверхню циліндра і прилипли до неї, можуть від неї відірватися. При русі поршня нагору ці частки не переміщуються кільцями уздовж твірної циліндра, а тільки подріблюються ними. При русі поршня вниз 90% осілих часток скидається кільцями в картер двигуна, а інші 10% попадають у зазор між циліндром і кільцем, у якому вони подріблюються до величини, меншої зазначеного зазору, і тому надалі не беруть участь у зносі циліндра. До кінця кожного такту випуску абразивні частки, що залишилися в надпоршневому просторі, цілком віддаляються з циліндра разом з газами.

М.А. Григор'євим розглянута динаміка осадження пилу на стінки циліндра, отримані необхідні формули для розрахунку. Визначено концентрацію пилу на стінці циліндра в залежності від кута повороту колінчатого вала (для всіх чотирьох тактів робочого циклу: впуску, стиску, розширення і випуску).

Розрахунки проводяться виходячи з пропозиції, що в циліндрі залишається 20% пилу від загальної кількості, що поступили в нього.

Для зручності розрахунків епюри зносу циліндра розподіл пилу уздовж утворюючої циліндра виражено у відносних одиницях.

М.А. Григор'єв також у якості одного з основних факторів, що впливають на знос циліндра, розглядає процес дроблення абразивних часток поршневыми

кільцями (першим, другим, третім і т.д.). Він показав, що частка такту розширення в загальному зносі циліндра за цикл складає 60-70%.

Розрахунки зносу циліндра проводяться тільки від дії компресійних кілець, але незрозумілим є допущення, що на такті наповнення концентрація пилю на стінці циліндра дорівнює нулю, а на такті розширення (в обох випадках руху поршня вниз) - 0,1 від концентрації осілої пилю. Також незрозумілим залишається висновок про те, що при розширенні зношування циліндра більший, ніж при стиску, хоча тиск при розширенні більше, ніж при стиску всього в 1,5 рази, а концентрація пилю менша в 10 разів.

Незважаючи на всі недоліки, запропонована М.А. Григор'євим модель є першою спробою провести теоретичний розрахунок зносу гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння, з огляду на конструктивні співвідношення, тактність роботи, параметри пилю, що надходить у циліндр.

Таким чином, для розробки математичної моделі зносу гільзи циліндра в нормальних умовах експлуатації необхідно, у першу чергу, враховувати об'єктивно існуючі зовнішні умови тертя: тиск на поверхні, температуру, швидкість ковзання.

2.3 Математична модель зносу гільз циліндрів

При розробці математичної моделі зносу за вихідні величини прийняті:

- конструктивні співвідношення двигуна;
- параметри робочого процесу;
- кінематичні параметри;
- теплові параметри роботи двигуна.

Як результат побудови математичної моделі повинні бути отримані математичні залежності і програма для розрахунків зносів у кожній точці робочої поверхні по висоті циліндра на ПЕОМ.

У загальному випадку знос гільз циліндра в будь-якій точці буде функцією трьох змінних:

$$t = F(P; V; T), \quad (2.5)$$

Вплив кожного з цих факторів на знос циліндра можна виразити як функцію:

$$i_p = F(P); i_V = F(V); i_T = F(T) \quad (2.6)$$

Тоді сумарний знос буде дорівнювати:

$$i = i_p \cdot i_V \cdot i_T = f(P) \cdot f(V) \cdot f(T) \quad (2.7)$$

Знос гільзи циліндра відбувається від впливу компресійних кілець, маслоз'ємних кілець і юбки поршня. Але через дуже малі тиски тронка на стінку циліндра і рідинного режиму тертя впливом тронка на знос циліндра знехтуємо.

Спочатку розглянемо знос циліндра від дії першого компресійного кільця. Як показано в роботі вплив тиску, температури і швидкості ковзання має складний нелінійний характер, що описується поліномом n -го степеня. Функція зносу гільзи першим кільцем у залежності від тиску опишеться рівнянням

$$f(P) = i(A \cdot P) \quad (2.8)$$

Будемо розглядати окремо такти стиску, розширення, випуску і наповнення. Тиск газів у циліндрі при стиску в залежності від кута повороту колінчатого вала визначається формулою:

$$P_r = P_a \left[\frac{(S - x)(\varepsilon - l)}{3R} + l \right]^{n_1} \quad (2.9)$$

$$x = R[(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha)] \quad (2.10)$$

Тоді тиск кільця на стінку циліндра в залежності від кута повороту колінчатого вала буде дорівнювати:

$$P = AP_a \left[\frac{(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha)}{\varepsilon - 1} \times 0,5 + 1 \right]^{n_1} + P_y \quad (2.11)$$

Залежність інтенсивності зношування матеріалу циліндра від тиску тертя, отримана експериментальним шляхом, d може бути описана за допомогою полінома:

$$I(p) = a_o + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n,$$

який після визначення коефіцієнтів має вигляд:

$$I(p) = 1,242 \cdot 10^{-2} p + 5,397 \cdot 10^{-5} p^2 - 1,563 \cdot 10^{-6} p^3 + 6,944 \cdot 10^{-9} p^4 \quad (2.12)$$

Підставивши значення тиску кільця на стінку циліндра з рівняння (2.11) у рівняння (2.12), одержимо інтенсивність зношування циліндра в довільній точці в залежності від тиску газів на такті стиску при куті повороту колінчатого вала α :

$$\begin{aligned} I_{cm} = & 1,242 \cdot 10^{-2} \left\{ A \left[(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) (\varepsilon - 1) 0,5 + 1 \right]^{n_1} + P_y \right\} + \\ & + 5,397 \cdot 10^{-5} \left\{ A \left[(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) (\varepsilon - 1) 0,5 + 1 \right]^{n_1} + P_y \right\}^2 - \\ & - 1,563 \cdot 10^{-6} \left\{ A \left[(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) (\varepsilon - 1) 0,5 + 1 \right]^{n_1} + P_y \right\}^3 + \\ & + 6,944 \cdot 10^{-9} \left\{ A \left[(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) (\varepsilon - 1) 0,5 + 1 \right]^{n_1} + P_y \right\}^4. \end{aligned} \quad (2.13)$$

На такті розширення при куті повороту колінчатого вала від $\alpha=0^\circ$ до $\alpha = \alpha_z$ тиск у циліндрі постійний (розглядаємо теоретичну індикаторну діаграму, а не реальний цикл). Інтенсивність зношування на цій ділянці також буде постійною:

$$\begin{aligned} I_{розш_{0 \rightarrow \alpha_z}} = & 1,242 \cdot 10^{-2} (A \cdot P_z + P_y) + 5,397 \cdot 10^{-5} (A \cdot P_z + P_y)^2 - \\ & - 1,563 \cdot 10^{-6} (A \cdot P_z + P_y)^3 + 6,944 \cdot 10^{-9} (A \cdot P_z + P_y)^4. \end{aligned} \quad (2.14)$$

На такті розширення при куті повороту колінчатого вала від α_z до 180° тиск у циліндрі змінний і тиск кільця на стінку визначиться по формулі:

$$P = A \cdot P_a \left[\frac{(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) \times}{\times (\varepsilon - 1) 0,5 + 1} \right]^{n_1} + P_y \quad (2.15)$$

Безрозмірний знос циліндра на такті розширення при куті повороту колінчатого вала від α_z до 180° кута повороту колінчатого вала визначиться по формулі

$$\begin{aligned} P_{розш_{\alpha_z - 180^\circ}} = & 1,242 \cdot 10^{-2} (P_{розш_{\alpha_z - 180^\circ}}) + 5,397 \cdot 10^{-5} (P_{розш_{\alpha_z - 180^\circ}})^2 - \\ & - 1,563 \cdot 10^{-6} (P_{розш_{\alpha_z - 180^\circ}})^3 + 6,944 \cdot 10^{-9} (P_{розш_{\alpha_z - 180^\circ}})^4. \end{aligned} \quad (2.16)$$

$P_{розш. \alpha_z - 180^\circ}$ визначають за виразом (2.15).

При тактах наповнення і випуску тиск газів у циліндрі буде постійним і знос визначиться відповідно по формулах:

$$I_n = 1,242 \cdot 10^{-2} (A \cdot P_z + P_y) + 5,397 \cdot 10^{-5} (A \cdot P_z + P_y)^2 - 1,563 \cdot 10^{-6} (A \cdot P_z + P_y)^3 + 6,944 \cdot 10^{-2} (A \cdot P_z + P_y)^4. \quad (2.17)$$

$$I_{вип.} = 1,242 \cdot 10^{-2} (A \cdot P_z + P_y) + 5,397 \cdot 10^{-5} (A \cdot P_z + P_y)^2 - 1,563 \cdot 10^{-6} (A \cdot P_z + P_y)^3 + 6,944 \cdot 10^{-2} (A \cdot P_z + P_y)^4. \quad (2.18)$$

Безрозмірний знос циліндра першим компресійним кільцем за чотири такти, у залежності тільки від тиску, буде:

$$I(P) = I_n + I_{ст.} + I_{розш.} + I_{вип.} \quad (2.19)$$

де всі доданки визначаються формулами (2.13), (2.14), (2.16), (2.17), (2.18). При куті повороту колінчатого вала від 0 до α_z користуються формулою (2.14), а при кутах повороту колінчатого вала від α_z до 180° -формулою (2.16).

Розрахуємо умовну безрозмірну епюру зносу циліндра в залежності від впливу швидкості ковзання, приймаючи тиск і температуру поверхні постійними. Залежність інтенсивності зношування від швидкості ковзання може бути описана поліномом:

$$I(V) = 0,28 + 2,366V - 2,277V^2 + 0,8258V^3 - 0,1423V^4 + 0,01167V^5 - 3,666 \cdot 10^{-4}V^6 \quad (2.20)$$

Для центрального кривошипно-шатунного механізму швидкість поршня в залежності від кута повороту колінчатого вала описується наближеним рівнянням:

$$V = \frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5\lambda \cdot \sin 2\alpha) \quad (2.21)$$

Функція безрозмірного зносу циліндра першим кільцем за один такт у залежності тільки від швидкості поршня буде описуватися формулою

$$\begin{aligned}
I(V) = & 0,28 + 2,366 \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right] - 2,277 \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right]^2 + \\
& + 0,8258 \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right]^3 - 0,1423 \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right]^4 + \\
& + 0,01167 \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right]^5 - 3,666 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5 \lambda \cdot \sin 2\alpha) \right]^6.
\end{aligned}
\tag{2.22}$$

Одержання точних аналітичних залежностей впливу температури поверхні циліндра на його знос утруднено унаслідок відсутності розрахункових формул для визначення температури поверхні циліндра в залежності від режиму роботи чи двигуна більшої їхньої громіздкості. Температура робочої поверхні гільзи циліндра визначається експериментально для кожного конкретного типу двигуна з обліком його форсування і режиму роботи. Для подальших розрахунків зміна температури по висоті циліндра задається поліномом виду

$$T(\alpha) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n t^n \tag{2.23}$$

Вплив температури тертьової поверхні на інтенсивність зношування представлено на рис. 2.3.1, е і також описується поліномом виду

$$I(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n t^n \tag{2.24}$$

Підставивши у формулу 2.22 значення температури з формули (2.23) чи з масиву даних, одержуємо значення інтенсивності зношування в залежності від температури.

Повний безрозмірний знос циліндра першим кільцем визначається як добуток функцій впливу $I(P)$, $I(V)$, $I(T)$:

$$I^1 - I(P) \cdot I(V) \cdot I(T) = \left[1,242 \cdot 10^{-2} (P_{\tilde{n}\partial} + P_{\partial\hat{i}\zeta\phi} + D_i + D_{\hat{a}\partial\ddot{i}}) + 5,397 \cdot 10^{-5} \right] \cdot \left(P_{\tilde{n}\partial}^2 + P_{\partial\hat{i}\zeta\phi}^2 + D_i^2 + D_{\hat{a}\partial\ddot{i}}^2 \right) - \\ - 1,563 \cdot 10^{-6} (P_{\tilde{n}\partial}^3 + P_{\partial\hat{i}\zeta\phi}^3 + D_i^3 + D_{\hat{a}\partial\ddot{i}}^3) + \\ + 6,944 \cdot 10^{-6} (P_{\tilde{n}\partial}^4 + P_{\partial\hat{i}\zeta\phi}^4 + D_i^4 + D_{\hat{a}\partial\ddot{i}}^4) \cdot \left(0,28 + 2,366V - 2,277V^2 + 0,8258V^3 - 0,1423V^4 + 0,01167V^5 - 3,666 \cdot 10^{-4}V^6 \right) \cdot \left(a_0 + a_1Ta_2T^2 + \dots a_nT^n \right)$$

$$\text{де} \quad p_j(x) = A_j p_r(x) + p_{jy}; \quad (2.25)$$

$$P_{сж} = A \cdot P_a \left[\frac{(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) \times}{\times (\epsilon - 1) 0,5 + 1} \right]^{n_1} + P_y;$$

$$P_{розш} = A \cdot P_z + P_y;$$

$$P_{розш} = A \cdot P_s \left[\frac{(1 + 0,25\lambda) - (\cos \alpha + 0,25\lambda \cdot \cos 2\alpha) \times}{\times (\epsilon - 1) 0,5 + 1} \right]^{n_2} + P_y;$$

$$P_{вин} = A \cdot P_r + P_y; \quad P_{н} = A \cdot P_a + P_y; \quad C = \frac{\pi R n}{30} (\sin \alpha + 0,5\lambda \cdot \sin 2\alpha)$$

Для визначення величини циліндра другим, третім і іншим кільцями використовуються ті ж розрахункові формули, за винятком коефіцієнта A і з врахуванням конкретних температур циліндра в зоні контакту з розглянутим кільцем і врахуванням зсуву, розглянутого щодо верхнього кільця по висоті циліндра.

Сумарна інтенсивність зносу циліндра від дії всіх кілець дорівнює:

$$I = I^{(I)} + I^{(II)} + I^{(III)} + \dots + I^{(n)} \quad (2.26)$$

Для переходу від безрозмірної епюри зносу до конкретного необхідно знати інтенсивність зношування матеріалу циліндра при будь-яких конкретних тисках, швидкостях і температурах, що відповідають точці на реальній поверхні гільзи циліндра.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Алгоритм розрахунку зносу гільзи циліндра

Для розрахунку значень функції $I(x)$ зносу стінки гільзи циліндра необхідно виконати наступну послідовність операцій:

- відповідно до рекомендацій і приведеними в книзі формулами обчислити параметри розрахункового циклу ДВЗ;
- зробити вибір послідовності значень перемінної α , обчислити тиск p_2 газу, швидкість z і осереднену температуру t_m стінки циліндра;
- перевизначити значення аргументів перерахованих функцій за допомогою переходу від кутовий перемінної α до прямолінійної абсциси x крапок стінки циліндра;
- підставивши у функції зносу $i_p(p)$, $i_c(c)$ і $i_t(t)$ значення тиску p_j , швидкості c_j і температури t_j для кожного з компресійних кілець обчислити функції зносу $I_j(x)$, $j = 1, 2, \dots, n$, і сумарну функцію $I(x)$.

Саме ця послідовність обчислень реалізована в програмі розрахунку функції $I(x)$ за допомогою ЕОМ. Текст програми Описаний алгоритмічною мовою Си у виді сукупності Функцій, що, таким чином, дозволяє одержати:

- усі параметри, що представляють практичний інтерес, розрахункового циклу ДВЗ;
- миттєві значення тиску і температури газу, лінійної швидкості поршня, середньої температури стінки циліндра у функції від лінійного x - чи кутового α аргументу;
- значення функції зносу окремо для кожного компресійного кільця в кожному з чотирьох тактів ДВЗ при довільному значенні абсциси x крапки стінки циліндра; значення сумарної функції $I(x)$ зносу від усіх кілець в окремому чи такті всіх чотирьох тактах відразу;
- інтегральну функцію зносу

$$M_j = \int_{h_j}^{j+h_j} I_j(x) dx, \quad M = \int_{h_j}^{j+h_j} I(x) dx,$$

3.2 Аналіз впливу режиму роботи двигунів на зношування гільзи циліндрів

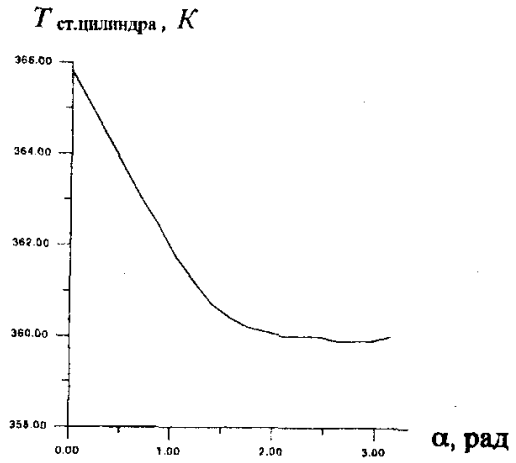
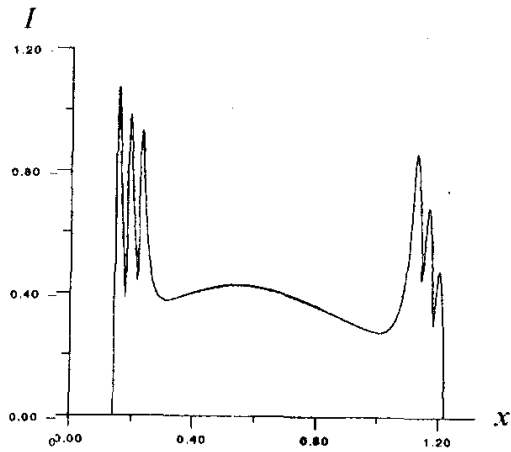
Розглянемо, як змінюється характер епюри зносу гільзи в залежності від частоти обертання колінчатого вала. Розрахунок за допомогою ЕОМ дозволяє одержувати епюри зносу гільзи дизеля сімейства СМД при різних частотах обертання колінчатого вала двигуна. На рис. 3.1 представлені теоретичні епюри зносу гільзи при частотах обертання 250, 500 і 750 1/хв.

Як видно з приведеного рисунка, максимальні зноси при швидкостях ковзання, близьких до критичних $c_{кр}$, для різних частот обертання поширюються на різний інтервал кутів повороту колінчатого вала і переміщення поршня. При 250 1/хв поршень рухається з малими швидкостями протягом великого проміжку ходу, і внаслідок цього зона максимального зносу розтягується на значну довжину гільзи. При збільшенні частоти обертання поршень проходить зону критичних швидкостей ковзання при менших кутах повороту колінчатого вала і, як наслідок, піки зносу звужуються ($n = 500$ 1/хв).

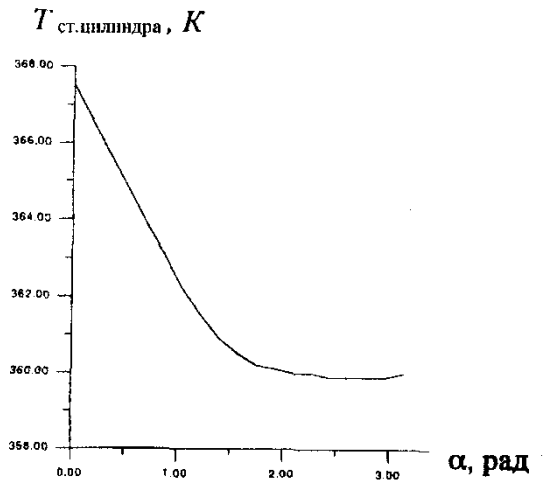
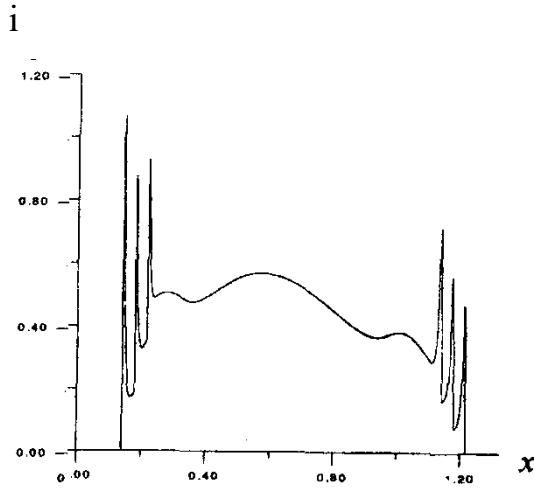
Значне підвищення оборотів ($n = 750$ 1/хв) може привести до перевищення максимальної швидкості поршня, c_{max} , припустимої для даного матеріалу тертьової пари, і, як наслідок, появі другого максимуму в середній частині гільзи (рис. 3.1, в).

Маса матеріалу, вилученого з поверхні тертя в процесі зносу, буде пропорційна площі під кривою на рис. 3.5, що, у свою чергу, визначається інтегралом:

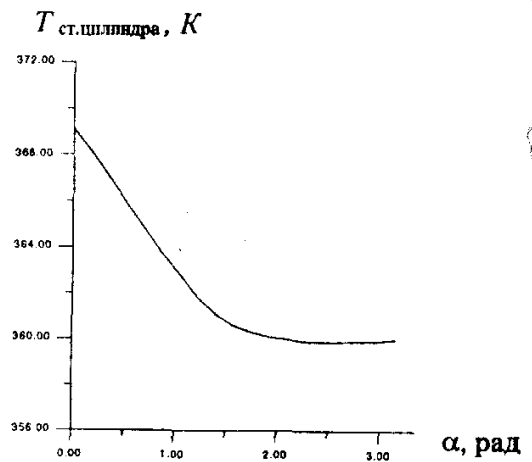
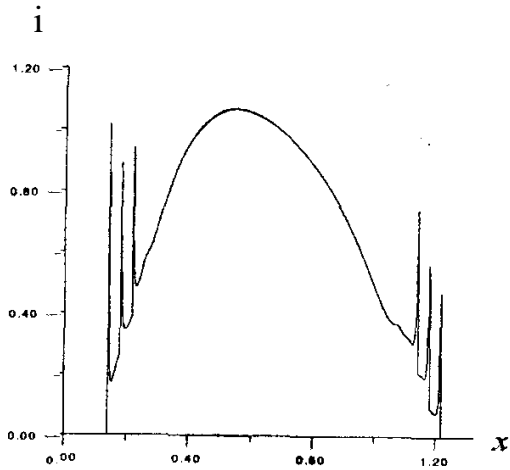
$$M = \int_{0^{\circ}}^{180^{\circ}} I(c) d\alpha, \quad (3.1)$$



а)



б)



в)

Оптимальною частотою обертання колінчатого вала буде така частота, при якій M буде мінімальна (рис. 3.1).

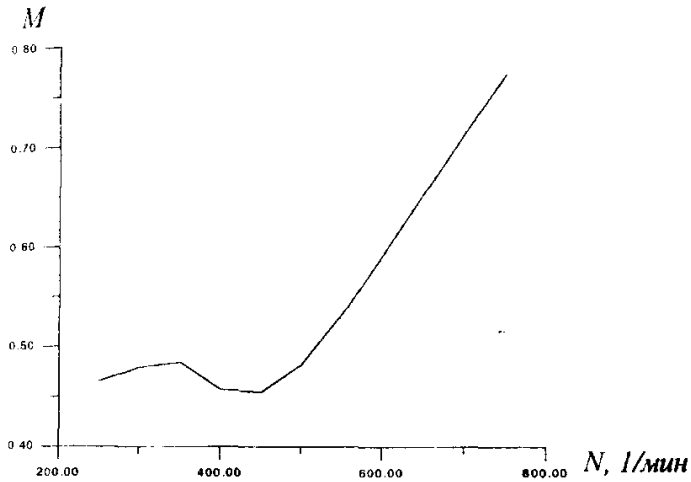


Рис. 3.2 Сумарний масовий знос циліндра в залежності від частоти обертання колінчастого вала.

3.3 Вплив температурного рівня деталей кривошипно-шатунного механізму на знос гільз циліндрів

Як було показано в, підвищення температури поверхні тертьових деталей до оптимального рівня приводить до зниження інтенсивності зношування тертьової пари. Розглянемо, як впливає температурний рівень деталей на характер зносу гільз циліндрів.

Підвищення температурного рівня гільзи знижує як максимальний знос, так і загальний знос гільзи циліндра. Найбільше сприятливо на процес зносу позначається підвищення температури у верхній зоні циліндра, що дозволяє трохи згладити пік зносу від нерівномірних тисків і швидкостей ковзання (рис. 3.3, 3.4).

Підвищення температурного рівня деталей ЦПГ, тобто застосування високотемпературного охолодження може значно зменшити зноси гільз циліндрів дизелів. Робота двигуна на часткових режимах приводить до зниження температури гільзи циліндра і сприяє інтенсифікації зносу гільз і кілець.

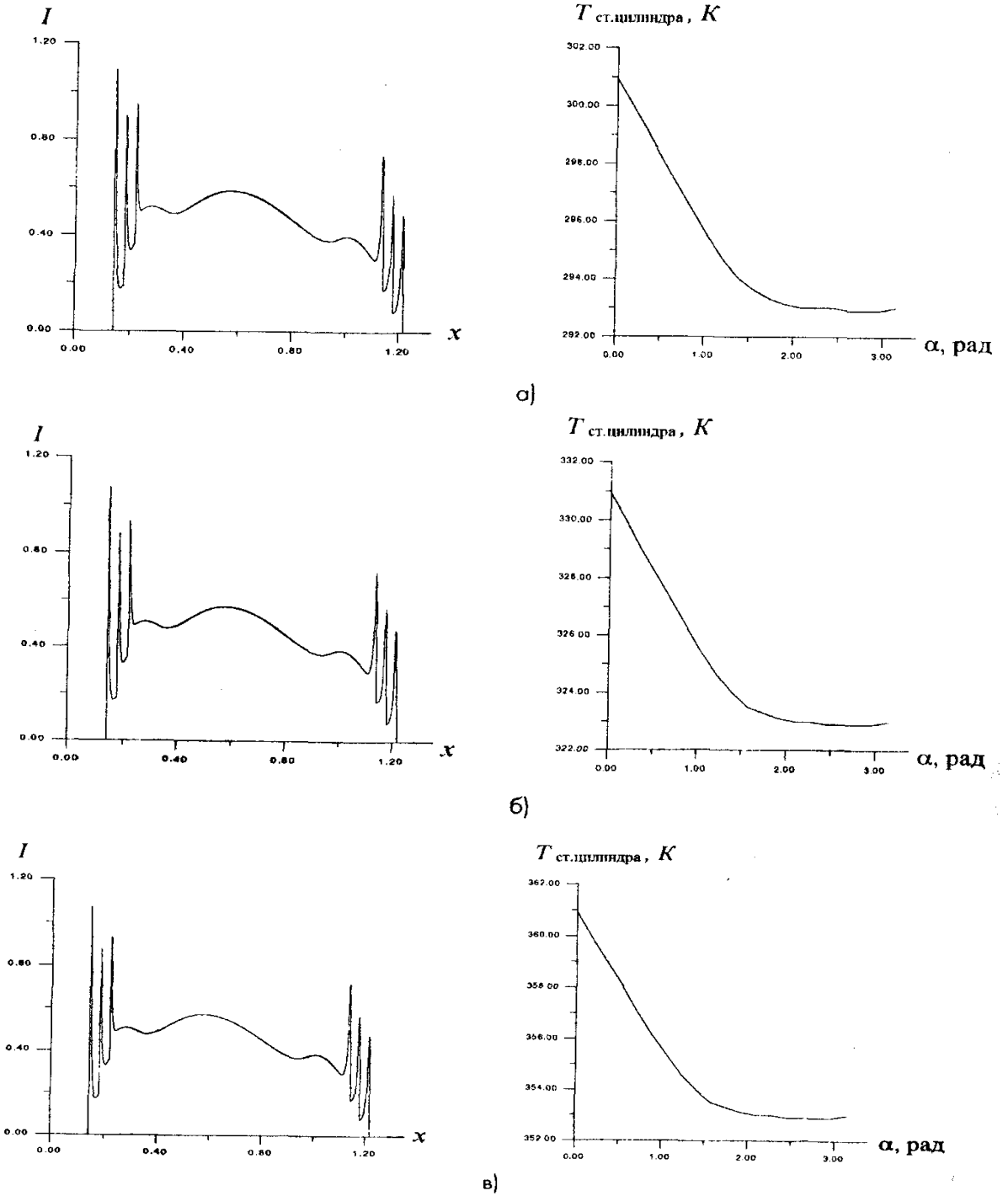


Рис.3.3 Температура стінки і залежність інтенсивності зношування циліндра від температури охолодної рідини: а - $t = 20^\circ\text{C}$; б - $t = 50^\circ\text{C}$; в - $t = 80^\circ\text{C}$

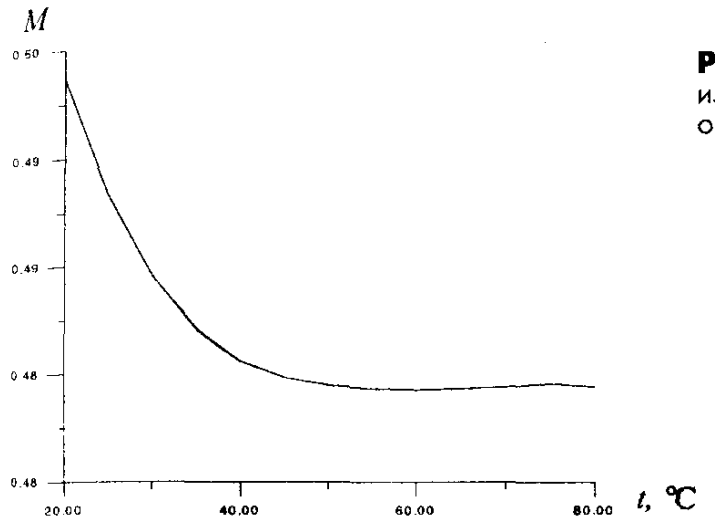


Рис 3.43 Залежність сумарного зносу циліндра від температури, охолоджуючої рідини

Підвищення ступеня стиску спричиняє ріст тиску наприкінці процесу стиску і при тих самих значеннях P_a збільшує максимальні тиски згоряння, що приводить до посилення зносу у верхній частині гільзи (мал. 3.5, 3.6).

Збільшення ступеня стиску спричиняє ріст максимальних тисків згоряння і різко диференціює величину інтенсивності зносу гільз циліндрів по довжині утворюючої. Сильно загострюється пік зносу в районі ВМТ першого компресійного кільця, що значно погіршує умови роботи всіх деталей КШМ.

Збільшення ступеня наддуву підвищує початкові і кінцеві тиски газу в циліндрі і при збереженні незмінного максимального зносу гільзи у верхній зоні вирівнює епюру зносу за рахунок більш інтенсивного зносу нижньої частини гільзи (рис. 3.7, 3.8).

Збільшення ступеня наддуву сприятливо позначається на характері епюри зносу гільзи за рахунок підвищення тиску тертя в нижній частині і деяким вирівнюванню зносів по довжині утворюючої циліндра.

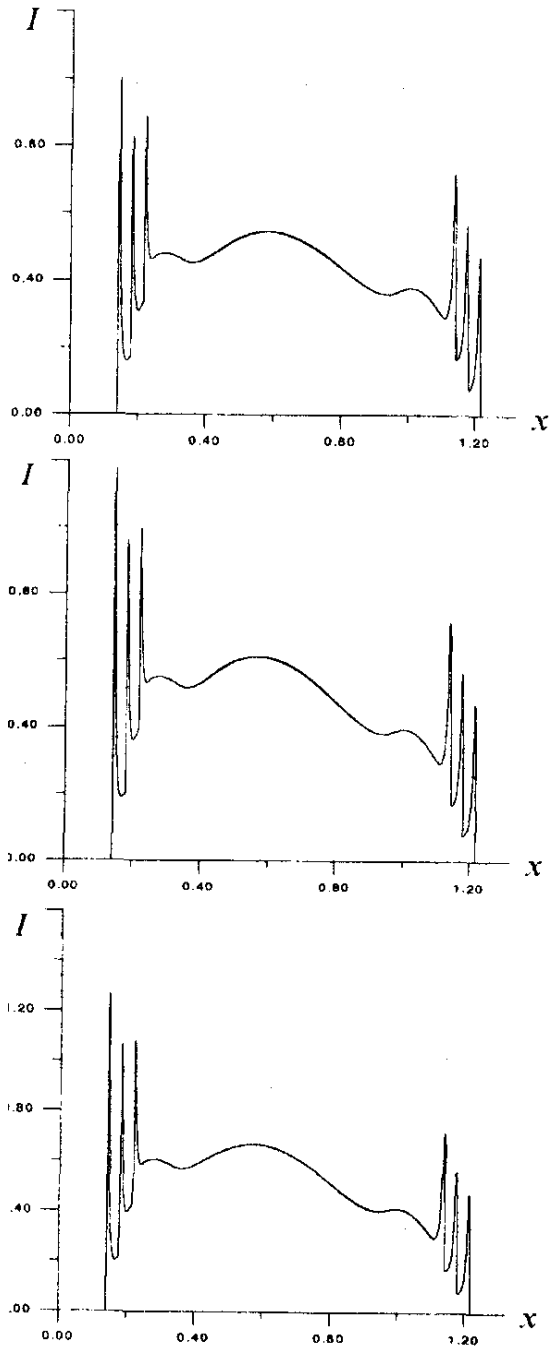


Рис 3.5 Температура стінки і знос циліндра при різних значеннях степені стиску:
а - $\varepsilon = 12$; б - $\varepsilon = 18$; в - $\varepsilon = 24$

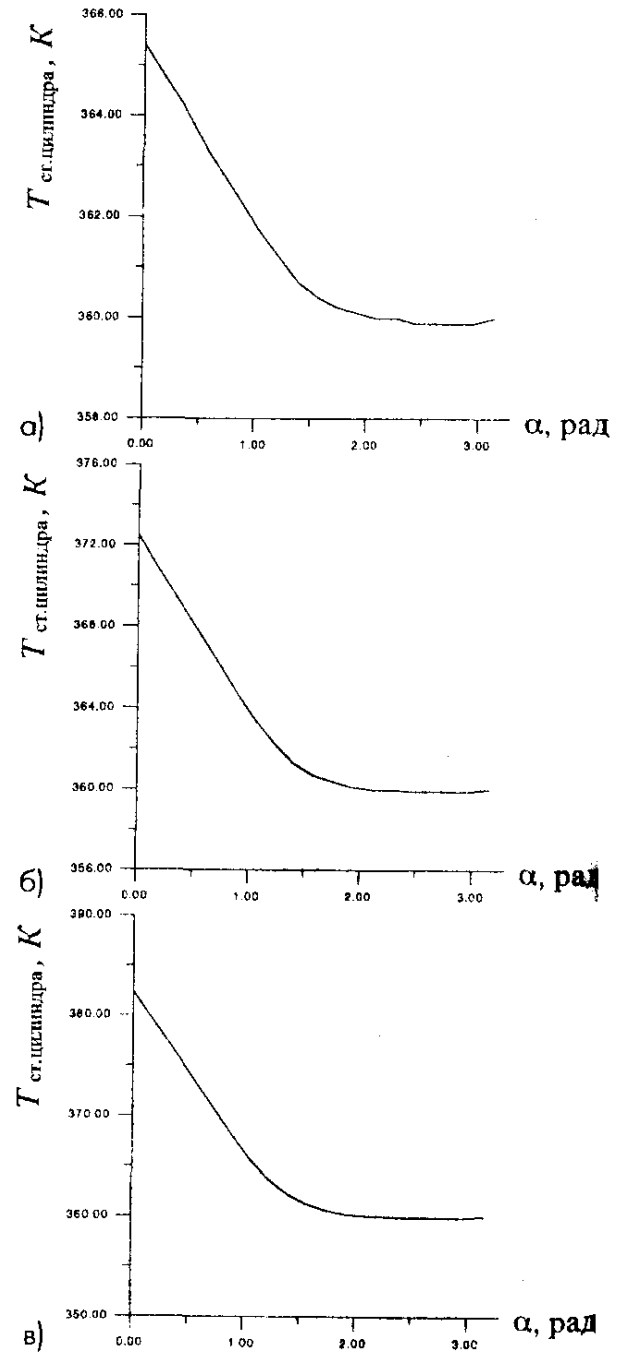


Рис. 3.6 Залежність сумарного зносу циліндра від степені стиску

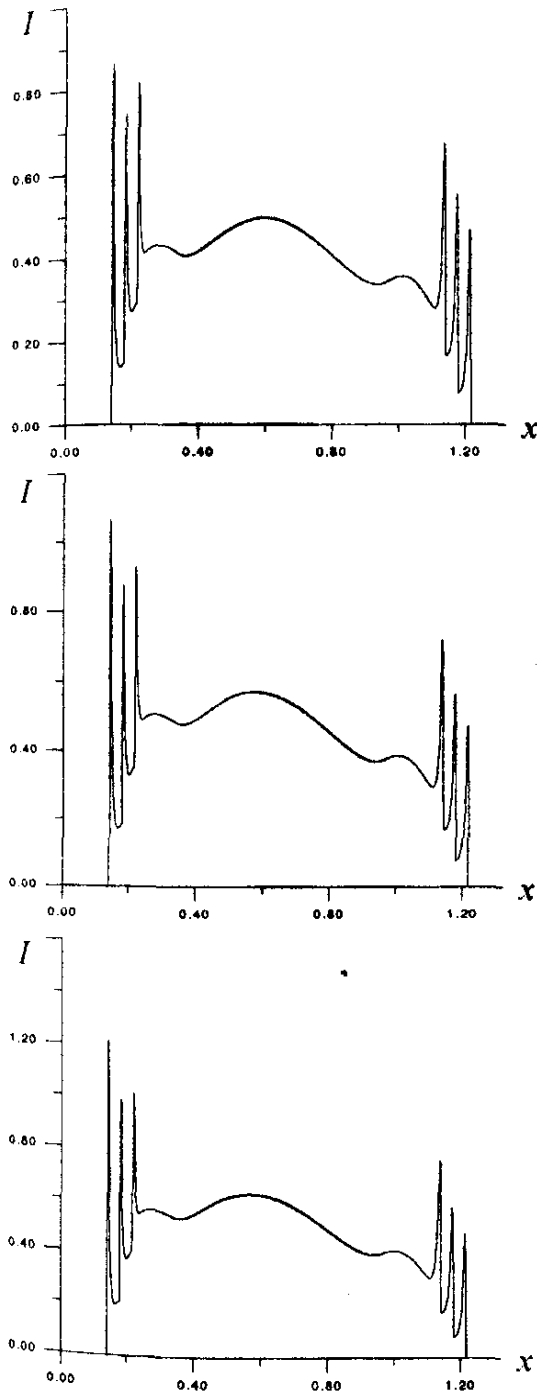


Рис. 3.7. Температура стінки і залежність інтенсивності зношування циліндру від тиску надувного повітря:
 а – $P_k = 0,09 \text{ МПа}$;
 б – $P_k = 0,17 \text{ МПа}$;
 в – $P_k = 0,25 \text{ МПа}$.

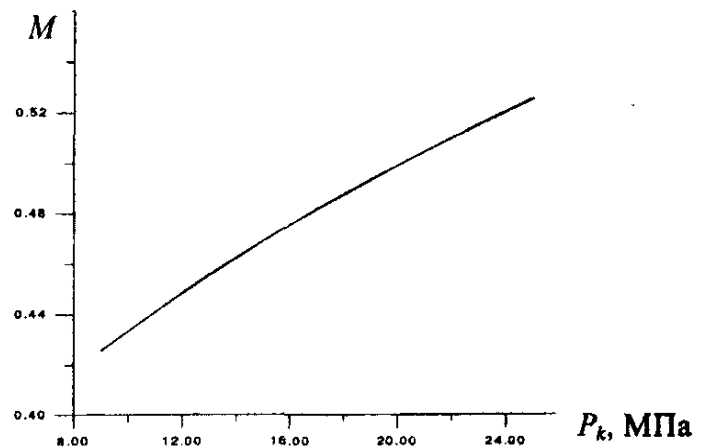
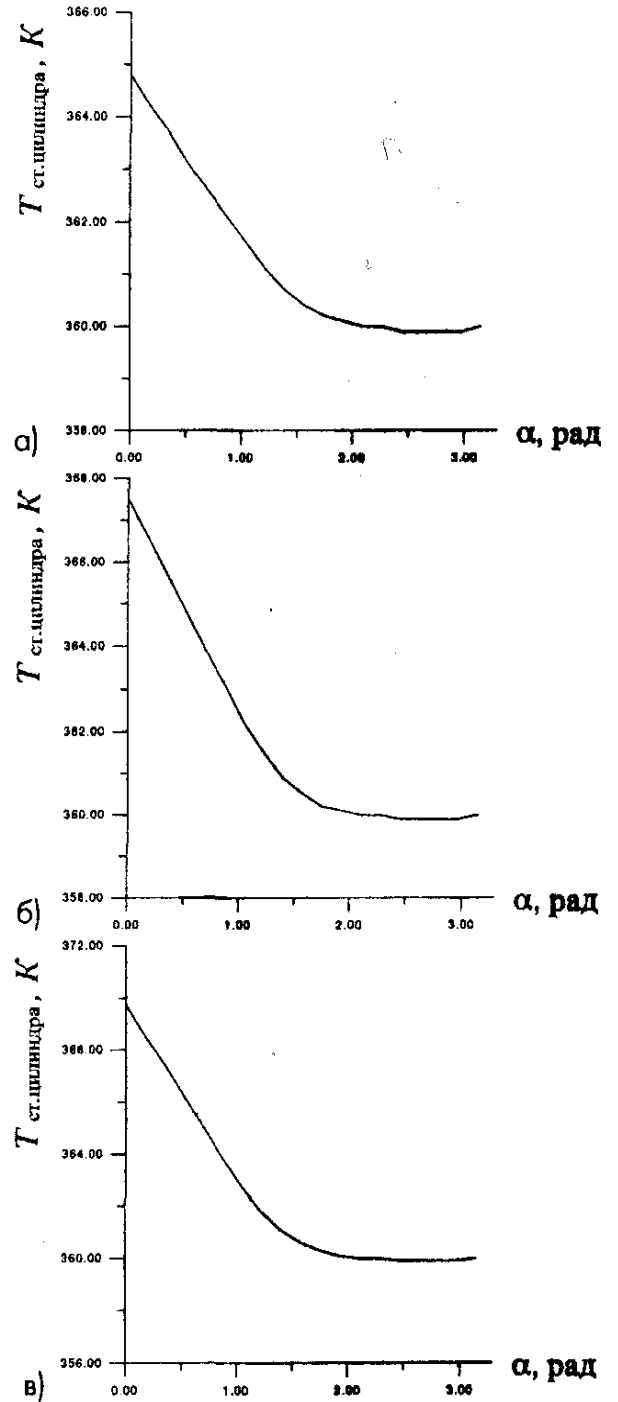


Рис 3.8 Вплив ступеня наддуву на знос циліндра

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Зміна режимів роботи двигуна впливає на характер і величину зносів гільз циліндрів дизелів.
2. Для кожного дизеля існує оптимальна частота обертання колінчатого вала, при якій знос гільз мінімальний.
3. Збільшення ступеня стиску і максимального тиску згоряння приводить до подальшого диференціювання інтенсивності зносу гільз у верхній зоні і на іншій її частині.
4. Підвищення ступеня наддуву сприятливо позначається на характері епюри зносу гільзи, вирівнюючи неї.
5. Підвищення температури поверхні гільзи знижує інтенсивність зношування і позитивно відбивається на ресурсі деталей циліндро-поршневої групи.
6. Найбільш бажаний шлях підвищення потужності двигуна - збільшення ступеня наддуву при роботі двигуна на оптимальних частотах обертання і забезпечення максимально можливого і припустимого температурного рівня деталей циліндро-поршневої групи.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Об'ємне зміцнення матеріалів деталей

Основними недоліками об'ємної термообробки є:

- короблення деталі при загартуванні;
- значні залишкові напруження і нерівномірна твердість по перерізу деталі;
- знеуглецювання поверхні;
- можливість утворення гартівних тріщин, особливо при великому перерізі;
- висока енергоємність процесу.

Також слід зазначити, що структура сорбітообразного перліту в литому стані має зносостійкість більш високу, ніж у чавуна, термообробленого на сорбіт тієї ж твердості. Термообробку варто застосовувати тільки в тому випадку, якщо твердість термообробленої деталі значно перевершує твердість литого матеріалу.

Це пояснюється тим, що високовідпущені чавуни мають підвищену пластичність, викликаною зернистою формою карбідів, що утворюються при термообробці, у порівнянні з пластинчастою формою в литій структурі. Крім того, залишковий аустеніт підвищує мікропластичність і знижує теплопровідність чавуна. Що ж стосується низьковідпущених чавунів, то вони не стійки при нагріванні. З робіт Ю.Г. Бобро випливає, що значного підвищення зносостійкості чавунів за допомогою термообробки можна досягти тільки застосуванням ізотермічного загартування на бейніт. Крім того, термооброблені чавуни володіють зниженою термостійкістю, що особливо важливо в сучасних високофорсованих дизелях. Також варто мати на увазі, що знос поршневих кілець, що працюють у парі з загартованими циліндрами, збільшується з підвищенням твердості циліндрів. Необхідне дотримання оптимального співвідношення міцностей сполучених деталей. Як правило, твердість поршневих кілець повинна значно перевищувати твердість циліндрів (на 30-50 HB).

Застосування легування і модифікування не позбавлено і недоліків:

- спостерігається підвищена витрата матеріалів, тому що легуючий елемент розподіляється у всьому обсязі заготівлі, а зносу піддається тільки тонкий шар металу на внутрішній поверхні циліндра.

- для введення легуючих елементів у чавун потрібно великий перегрів металу, неможливий в умовах ваграночного виробництва, а при виплавці в електропечах, унаслідок високого перегріву чавун має дрібнозернисту структуру, що негативно позначається на його зносостійкості.

Найбільш перспективним варто вважати комплексне легування чавуна в невеликих кількостях у сполученні з іншими методами обробки, що зміцнює робочі поверхні.

Фізичний вплив на процеси структуроутворення. Могутнім фактором впливу на структуру і зносостійкість чавуна є керування термодинамічними процесами формування деталі на всьому протязі від моменту завантаження шихти в піч до вибивки виливка з форми і її подальшого охолодження. Загальновизнане, що якість металу, виплавленого в електропечі, значно вище, ніж виплавленого у вагранці. Вакуумування процесів виплавки і розливання ще більш підвищують якість деталей, що виготовляються. Великий вплив має також у які форми заливається метал - у піщано-глинисті чи в кокіль; як виробляється виливок - у стаціонарні форми, під тиском, відцентровим чи іншим способами. Гільзи з чавуна, що мають той самий хімічний склад, але відлиті за різною технологією з різною виправкою металу, будуть мати і зовсім різну структуру і властивості. Велике значення для формування зносостійкої структури мають термодинамічні процеси в період кристалізації й охолодження виливка. У випадку кристалізації й охолодження виливка у формі, без керування термодинамічними процесами, спостерігається прискорене охолодження в евтектичному інтервалі температур і уповільнене охолодження в евтектичному інтервалі. Це неминуче, тому що при заливанні металу у форму різниця температур між металом і ізложницею значна і відбувається інтенсивний теплообмін між виливком і формою. В міру охолодження виливка температурний перепад зменшується, з'являється повітряний прошарок між виливком і ізложницею і швидкість охолодження різко знижується. Це

приводить до утворення в структурі одночасно і включень цементиту і включень фериту при крупнопластинчатому перліті. Для одержання необхідної структури необхідно повільне охолодження в евтектичному і прискорене в евтектичному інтервалі температур.

Спосіб керування термодинамікою процесу кристалізації й охолодження виливка дає можливість одержати структуру з оптимальною формою і розміром графіту і необхідною структурою металевої основи без застосування якої б то не було додаткової обробки, що зміцнює і високого легування. Цей спосіб найбільш дешевий і дає стабільні результати, що дуже важливо для одержання втулок циліндрів форсованих дизелів.

Крім термодинамічного впливу на процеси кристалізації й охолодження, можливе використання деяких інших фізичних методів впливу. Так, застосування вібрації позначається на щільності і зернистості структури, вакуумування значно поліпшує властивості литого матеріалу, вплив радіації також впливає на службові характеристики сплавів.

4.2 Зміцнення робочої поверхні

Локальне (поверхневе) легування. При великих масах деталі і невеликих граничних зносах легування матеріалу деталі у всьому обсязі економічно не раціонально, тому що приводить до великої витрати легуючих елементів і втратою їх з ливниковою системою і стружкою при обробці. Більш ефективним у порівнянні з об'ємним легуванням є метод поверхневого (локального) легування, що веде до зниження загальної вартості виливків і дає можливість одержати зносостійкі робочі поверхні з поліпшеними властивостями, як при високому легуванні матеріалу деталі. Такий метод дозволяє при мінімальній витраті легуючих компонентів сформувати в робочих шарах деталей необхідні склад і структуру. Крім того, локальне легування не вносить істотних змін у технологічний процес виливка і не вимагає значних витрат на устаткування. Поверхневе легування виробляється за допомогою нанесення спеціального покриття на елементи ливарної форми і стрижнів, що формують поверхні, що найбільш піддаються зносу. Легуючі покриття форми готують на основі

компонентів, що легко дифундують у тіло виливка при її кристалізації або розчиняються в поверхневому шарі виливка. Одним з таких покриттів є фарба на основі мілкодисперсного карбиду бора (зернистість порошку не більш 40 мкм), як сполучний матеріал застосовується гідролізований етил-силікат. Піщано-глинисту форму з нанесеним покриттям заливають розплавом середньо - вуглецевої сталі. Температура заливання складає 1520-1560 °С. У результаті взаємодії інгредієнтів покриття з розплавом і в процесі кристалізації формується поверхнево-легований шар. Металографічні дослідження показують, що утворюється поверхнево-легований шар глибиною до 2 мм. Рентгенівським аналізом встановлено, що його фазовий склад наступний: ферит, цементит Fe_2C_3 , карбід бора B_4C и бориди заліза $Fe + Fe_2B$.

Зносостійкість поверхні в умовах абразивного зносу збільшується в 1,7-2,0 рази. До недоліків способу варто віднести малий припуск на механічну обробку і можливість повного видалення легованого шару при обробці. Спосіб вимагає точних методів виливки.

До числа нових процесів поверхневого легування заготовок після чорнової обробки відноситься лазерне легування. Високі можливості лазерів визначаються локалізацією термічного впливу і можливістю керувати процесом у широкому діапазоні технологічних режимів.

Сутність методу полягає в тепловому і динамічному впливі випромінювання лазера на поверхню заготовки, що приводить до значної зміни комплексу фізико-механічних і трибологічних характеристик [24]. При лазерному нагріванні поверхні інтенсифікується процес спрямованого насичення оброблюваної ділянки різними легуючими елементами з попередньо нанесеного на поверхню речовини у виді фарби, суспензії, фольги, чи порошку з газового середовища (наприклад, пропан-бутан). Гарні результати дає попереднє легування поверхні електроіскровим, плазменним чи фізичним способами.

Фірмою Ф. Джозеф Лем" (США) розроблена і впроваджена автоматизована система загартування внутрішньої поверхні втулок циліндрів дизелів великої потужності. Забезпечується рівномірне зміцнення деталей на глибину 0,38-0,51 мм.

Однак механізм структуроутворення при лазерному легуванні вивчений поки ще недостатньо.

Поверхнева термічна обробка полягає в загартуванні робочої поверхні деталі. Здійснюється шляхом нагрівання тонкого поверхневого шару до температури утворення аустеніту і наступного швидкого охолодження для фіксації дрібногочастого мартенситу. Нагрівання під загартування може здійснюватися струмами високої частоти (СВЧ), газовим чи плазмовим пальником, опроміненням чи електронами дейтронами, лазером. Глибина загартованого шару знаходиться в межах від 1 до 6 мм.

Полум'яне загартування найбільш просте, вартість її в 10-15 разів менше, ніж загартування СВЧ, але твердість загартованого шару невисока, і для втулок циліндрів вона практично являє собою об'ємне загартування. Найбільше поширення одержало загартування СВЧ. Вона має велику гнучкість процесу, можна гартувати шар товщиною від сотих часток мм до десятків мм і більше; висока продуктивність, можливість автоматизації і механізації праці. І.А. Мішин приводить дані по зносі гільз тракторних двигунів, загартованих СВЧ і не термооброблених, де показує, що поверхнєве загартування дозволяє підвищити зносостійкість від 5 до 10 разів. Великі значення відносяться до нелегованих чавунів. Найбільше поширення поверхнєве загартування знайшло у виробництві автотракторних двигунів.

Загартування СВЧ дозволяє одержувати на робочій поверхні шар загартованого металу товщиною 1,5-2,0 мм. Структура загартованого шару - мартенсит. Твердість внутрішньої поверхні гільз 39-41 HRC₃. Зносостійкість гільз циліндрів тракторних ДВЗ, що пройшли загартування СВЧ із наступною відпусткою на 40-50% вище в порівнянні з незагартованими. На ВО Київтрактородеталь усі гільзи двигунів СМД піддають загартуванню СВЧ із наступним мікропрофілюванням поверхні шляхом плосковершинного хонінгування.

До недоліків даного методу підвищення зносостійкості варто віднести короблення деталі при загартуванні при її високій твердості, доведення поверхні можливе тільки хонінгуванням, що при значних величинах короблення сильно збільшують час і витрати на доводочні роботи. Крім того,

гільзи піддані загартуванню СВЧ, не ремонтпридатні. А також, у загартованих циліндрах збільшується знос поршневих кілець.

В даний час усе частіше використовується лазер для загартування робочої поверхні. Зокрема, іспити гільз циліндрів тракторних двигунів СМД-18, підданих зміцненню - лазером потужністю 500-800 Вт при проведенні стендових випробовувань показали збільшення зносостійкості гільз циліндрів у 1,8-2,0 рази без підвищення зносу поршневих кілець. Глибина загартованого шару цих гільз складає 0,8-1,0 мм, твердість 56-60 HRC₃. У зоні загартування структура чавуна являє собою ледебурит. Лазерна обробка поверхні гільз циліндрів вимагає індивідуального підходу до кожного типорозміру виробу, з метою вибору оптимальних умов зміцнення, регулювання ширини зони загартування, кроку обробки і кута нахилу зміцненої доріжки стосовно верхнього бурту для виключення східчастого зносу в зоні ВМТ, а також повного усунення термічних деформацій деталей. Широке впровадження лазерного зміцнення циліндрів ДВЗ при масовому виробництві істотно утруднюється тривалістю періоду обробки і складністю технологічного устаткування.

Властиві недоліки і є причиною того, що даний метод зміцнення дотепер не знайшов широкого застосування в двигунобудуванні, хоча відомий порівняно давно.

Поверхнева хіміко-термічна обробка є одним з найпоширеніших методів підвищення зносостійкості деталей машин. Хіміко-термічна обробка дозволяє змінювати хімічний і фазовий склад поверхневого шару деталі і його властивостей. З усіх видів хіміко-термічної обробки в двигунобудуванні найбільш широке застосування знайшло азотування гільз циліндрів. Азотуванню піддаються гільзи дорогих легкових автомобілів.

Знос азотованих гільз тепловозних дизелів у 3 рази нижче, ніж неазотованих. Процес зміцнення полягає в дифузійному насиченні поверхні деталі атомарним азотом. Такі елементи, як алюміній, хром, молібден, ванадій утворюють з азотом тверді і стійкі нітрати. Найбільшу твердість азотованому шару додає алюміній. Молібден і ванадій у чавуні зберігають стійкість шаруючись при підвищених температурах.

Деталь поміщають у муфельну піч при температурі 520-580°C в середовищу диссоційованого аміаку. Глибина азотованого шару збільшується за 10 годин на 0,1 мм при 550°C. Твердість поверхні досягає HV 900-1100. Слід зазначити високу вартість і велику тривалість процесу азотування; відбувається різкий спад твердості шаруючи по глибині. Товщина зміцненого шару не перевищує 0,5...0,8 мм.

З інших методів хіміко-термічної обробки обмежене застосування знаходить ціанування (одночасне насичення поверхні сталевих втулок азотом і вуглецем у рідкому чи газовому середовищі). Швидкість ціанування по глибині складає 0,25...0,30 мм/година. Деталі після ціанування піддають термообробці, що ускладнює процес. Твердість досягає 55 HRC₃ і вище.

Крім азотування знаходять застосування такі процеси, як борування, хромування, силіцирування й інші види одне-, двох- і більш компонентного дифузійного насичення.

Цікавим для застосування варто вважати метод дифузійного хромування - насичення поверхні хромом, у результаті чого в поверхневому шарі утворюються карбіди хрому Cr₂₃C₆ і Cr₇C₃ і твердість, зносостійкість і хімічна стійкість поверхні збільшуються в кілька разів. Насичення поверхні хромом виробляється з твердого, газоподібного чи рідкого середовища (розплави солей BaCl₂, MgCl₂, CaCl₂ і 10-20% CrCl₂). При дифузійному хромуванні в порошках застосовують здрібнені порошки хрому чи ферохрому і нагрівають деталі до 1200 °C. Найбільше поширення одержав газовий метод дифузійного хромування. Найчастіше застосовують хлориди CrCl₂, CrCl₃ і з'єднання хрому з фтором, йодом і бромом Cr₂, CrCl₂ і CrBr₂. Насичення поверхні хромом часто поєднують з одночасним насиченням кремнієм (хромосиліцирування), марганцем (хромомарганцирування), азотом (хромонітридизація), бором (хромоборування).

Нагрівання деталей може здійснюватися в камерних печах чи за допомогою струмів високої частоти.

До недоліків процесу варто віднести його високу вартість і тривалість.

Електроіскрове легування є найбільш ефективним серед електрофізичних способів нанесення покриттів. Воно засновано на принципі полярного переносу

матеріалу електрода на оброблювану поверхню. Технологія дозволяє наносити будь-як струмопровідні матеріали на оброблювану поверхню.

До переваг способу варто віднести можливість керування структурою і властивостями покриття в широких межах і порівняно велику товщину покриття. Установки електроіскрового легування працюють по наступному принципі: порошок зернистістю 50-150 мкм із живильника подається в міжелектродний зазор, утворений анодом і оброблюваною деталлю - катодом. Частки в зазорі попадають у потужнострумний електричний розряд, розплавляються і сплавляються з оброблюваною поверхнею. Як порошки можуть використовуватися і кераміки, що приводить до утворення карбідів, боридів і інтерметалідів.

Нанесення легованого шару може здійснюватися і за допомогою видаткового вібруючого електрода. Твердість; поверхневого шару може досягати HRC 80.

Електроіскрове легування дозволяє одержувати поверхневий шар, додатково насичений азотом і вуглецем. Твердість і глибина шаруючи складають відповідно до HV 650 і 5 мм. Зносостійкість тертьових поверхонь збільшується в 2-3 рази.

До недоліків процесу варто віднести дуже малу продуктивність і високу шорсткість поверхні.

4.3 Нанесення зносостійких покриттів і установка вставок

Хімічному нікелюванню піддають деталі з чавуна, сталі й інших сплавів. Температура розчину при хімічному нікелюванні не перевищує 95°C. В одержуваному покритті міститься 92-95% нікелю. Структура покриття аморфна, метастабільна, мікротвердість $H_{\mu 100}$ 450-600 МПа. При нагріванні покриття до 300°C и вище структура його переходить у рівноважний стан з утворенням Ni_3Fe . Хімічне нікелювання може бути використане для поршневих кілець.

Практично всі гільзи циліндрів судових дизелів, а також поршневі кільця й інші деталі ДВЗ піддаються фосфатуванню.

Фосфатування добре сполучається з іншими методами зміцнення і використовується як підкладка для дисульфиду молібдену.

Сульфідкування - термохімічний процес обробки виробів з чавуна і сталі з метою збагачення поверхні сіркою. Сульфідкування роблять у рідкому, твердому чи газоподібному середовищах, що містять сірку. Воно може бути низько-, середньо- і високотемпературним. У процесі обробки на поверхні металу можуть утворюватися FeS , FeS_2 і інші фази. Товщина шаруючи не перевищує 40 мкм.

Різновидом сульфідкування є сульфоціанування - насичення поверхні сіркою, азотом і вуглецем. Сульфоціанування захищає поверхні від схоплювання внаслідок легкого руйнування покриття і гарної адсорбційної здатності до змащення.

Інтерес представляють хімічні покриття, засновані на конденсації газоподібних з'єднань на поверхні деталей, що зміцнюються з наступним утворенням твердих шарів з карбідів, нітридів, карбонітридів, боридів, силіцидів і оксидів. Покриття мають гарну щільність і міцність зчеплення з основою. Найбільше поширення одержали покриття на основі карбідів (Ti) і нітридів титана (TiN), хрому (CrC), ніобію (NbC), вольфраму (WC), оксидів алюмінію й ін. Товщина покриттів 4-8 мкм, час нанесення кілька годин.

Покриття раціонально використовувати в комплексі з іншими методами зміцнення й особливо для створення багат шарових покриттів.

Серед гальванічних покриттів у двигунобудуванні найбільше поширення одержало хромування, нікелювання, лудіння і свинцювання.

Електролітичне хромування займає перше місце серед гальванічних покриттів, одне з перших місць як технологічний метод підвищення зносостійкості деталей машин.

Гальванічне покриття хромом має високу твердість і зносостійкість, гарну міцність зчеплення з основою і високою хімічною стійкістю. У залежності від режиму нанесення твердість хрому досягає 450-1000 НВ. Товщина покриття залежить від часу осадження, і у принципі, може бути різною. Але, виходячи з умов відшаровування покриття внаслідок різниці в коефіцієнтах лінійного розширення зі сплавами заліза в 1,5 рази, покриття звичайне не наносять

товщиною більш 0,2-0,3 мм, хоча використовуються покриття з товщиною і до 1,6 мм. Хромові покриття бувають гладкі і пористі. Гладкий хром погано утримує змащення і важко припрацьовується. Тому покриття хромом, що працюють на знос у вузлах тертя, виконують пористими. Пористі покриття бувають з великою, середньою, дрібною і крапковою пористістю. Пористості хромового покриття досягають травленням. Після травлення покриття хонінгуються чи притираються. Перед хромуванням поверхні шліфуються чи хонінгуються.

Для кращої припрацьовуваності хромованих циліндрів ДВЗ на шар пористого хрому наносять тонкий шар дисульфиду чи молібдену колоїдного графіту чи шаруючої органічної речовини, що обвуглюється при нагріванні газовим пальником при температурі понад 230-260°C.

Хром, мало зношуючись сам, майже не зношує сполучену з ним деталь. У процесі тертя відбувається перенос часток хрому з поршневих кілець на циліндри й утвориться шар хрому товщиною біля двох атомних шарів. Хромуванню піддають тільки одну деталь - або втулку, або кільця.

Хром по хрому працює погано внаслідок труднощів прироблення й утримання змащення. Для ДВЗ хромове покриття є еталонним для порівняння зносостійкості деталей, підданих іншим методам обробки, що зміцнюються.

Для циліндрів ДВЗ найбільшою зносостійкістю володіє пористе хромування з кількістю каналів від 12 до 25 на 1 мм².

Електролітичне нікелювання призначається для підвищення зносостійкості гільз циліндрів і поршневих пальців. Зносостійкість нікелю нижче, ніж хрому на 10-20%.

Електролітичне залізнення застосовується для нанесення по шарі пористого хрому з метою заповнення пір у хромовому покритті і зміцнення окремих виступів хрому від обламування. Особливо це дає ефект для поршневих кілець автомобільних двигунів у зв'язку з вузькою смугою нанесеного хрому.

Лудіння - покриття поверхні шаром олова. Олово має значну пластичність і хімічну стійкість. Покриття міцно зчіплюються з основним металом. У двигунобудуванні покриття оловом і свинцем використовують для

прискорення прироблення поверхні чавунних і алюмінієвих поршнів, а також поршневих кілець.

Металізація чи напилюванням газотермічні покриття ґрунтуються на розплавлюванні, що підводиться до металізатору металу і напилюванні його струменем газу на попередньо підготовлену поверхню.

Газотермічні покриття поділяються на газопламеневі, електродугові, плазмені і детонаційні чи вибухові.

Напилювання здійснюється або на відкритому повітрі, або в контрольованій атмосфері. Для напилювання використовуються пруткові і дровові матеріали, а також спеціальні порошки.

При русі часток металу при напилюванні в газовому потоці відбувається окислювання металу і часткове вигоряння окремих елементів, відбуваються фазові перетворення і хімічні реакції.

Роботи, виконані в Центральному науково-дослідному дизельному інституті (ЦНИДИ) під керівництвом А.Я. Кулика, а також роботи автора показали, що для високотемпературних вузлів тертя ДВЗ найбільш прийнятними виявляються феромісні покриття на базі оксидів і боридів заліза, а також покриття на основі корундів. Виходячи з цього, розроблені покриття на основі бористого феромолібдену, у тому числі і з термічною добавкою CuO-AlMg , а також на основі цирконового корунду, легованого оксидами титана і хрому. Покриття з бористого феромолібдену і легованого корунду застосовані для поршневих кілець дизеля. Зносостійкість плазмених покриттів кілець перевершує зносостійкість гальванічного хрому в 1,5-3 рази.

Підвищення зносостійкості досягається за рахунок унікальності властивостей газотермічних покриттів: пористості і доброї маслоємності шару, гетерогенної структури, високої твердості й ін. У даний час газотермічні покриття одержали широке поширення в дизелебудуванні для поршневих кілець, особливо для першого компресійного.

Разом з цим газотермічні покриття мають і ряд недоліків і, у першу чергу, це низька міцність зчеплення з основою внаслідок різниці в коефіцієнтах лінійного розширення матеріалу основи і покриття. Для усунення цих недоліків використовується ряд технологічних заходів: проточки під напилювання,

створення шорсткості на напилюваній поверхні, багат шарового покриття, термообробка, просочення і т.д.

Нерівномірний знос циліндра по довжині твірної, що негативно позначається на всіх показниках роботи двигуна, деякі дослідники намагалися усунути шляхом постановки у верхню зону циліндра зносостійкої чи вставки наплавлення. Наявність на поверхні тертя у верхній зоні матеріалу з підвищеною зносостійкістю (нірезист, хромована вставка) знижує пік максимального зносу і збільшує ресурс двигуна. Але даному способу вирівнювання зносу по довжині твірної циліндра властиві серйозні недоліки.

Зносостійкість гільзи змінюється східчасто, спостерігається два максимуми зносу, утвориться уступ у місці стику вставки й основної робочої поверхні гільзи. Відбуваються удари кільця по уступі і можлива його поломка (рис.4.2)

Наявність сполучення між гільзою і вставкою збільшує термічний опір стінки циліндра і збільшує теплонапруженості двигуна.

Згодом посадка послабляється і можливо "розбовтування" вставки, що дуже небезпечно.

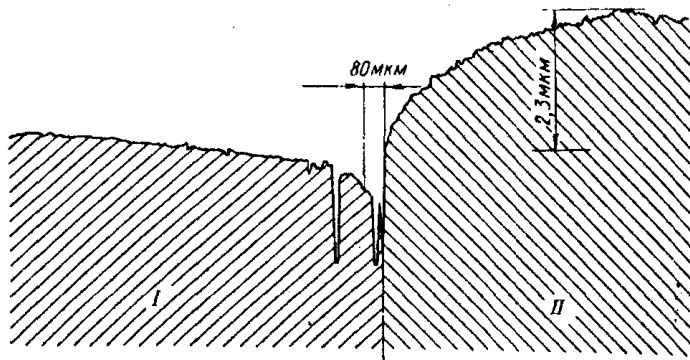


Рис. 4.2 Профілограма поверхні тертя зі вставкою

Графіт, дисульфід і десуленід молібдену відносяться до твердих змащень і унаслідок своєї структури впливають на тертя твердих тел. Графітний порошок, розмелений до часток розміром менш 1 мкм одержав назву колоїдного графіту. Він прискорює приробляння поверхонь і збільшує швидкість змочування мастилом у 3-8 разів навіть поверхонь з полірованим хромом. Колоїдний графіт найбільш часто використовується для

припрацювання пари тертя циліндр-поршень. Для цього проводять графітування поверхні спідниці поршня товщиною 30-80 мкм.

Дисульфід молібдену наносять на тертьові поверхні безпосередньо у виді тонкого порошку, що втирається в тертьову поверхню чи вводять до складу спеціальної фарби, яка наноситься на поверхню тертя за допомогою розпилювання і потім сушать. Найбільше часто дисульфід молібдену наносять на поршневі кільця, а також спідниці поршнів. Дисульфід молібдену також додають у моторне масло, тому що він не затримується масляними фільтрами.

Фізичні покриття засновані на вакуумних методах осадження іонізованих чи атомів молекул чи матеріалів газів, що розпорошуються на деталі, що зміцнюються. Завдяки високій енергії осадження частки при зіткненні з високою швидкістю ($\sim 10^4$ м/с) утворюють покриття з високою адгезією і високими фізико-механічними властивостями. Технологія одержання покриттів дозволяє напиляти практично всі типи матеріалів на будь-які поверхні. Можливе одержання з простих елементів композиційних матеріалів, що розпорошуються, і багат шарових покриттів із заданою структурою. У якості матеріалів, що напиляються широкое застосування знайшли карбіди і нітриди титана, молібдену, нікелю, вольфраму, окисли Al_2O_3 , FeO_2 , TiO . Напилювання здійснюється на установках "Булат". До недоліків методу варто віднести високу початкову вартість установки і його високу енергоємність.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві

Організація роботи щодо управління охороною праці базується на принципах теорії управління, основними з котрих є: системність, оптимальність, динамічність, наступність та стандартизація. Принцип системності полягає в тому, що процеси технології та безпеки розглядаються у взаємозв'язку.

Системність реалізації завдань управління охороною праці полягає у поєднанні розрізнених заходів із безпеки праці в єдину систему цілеспрямованих, постійно здійснюваних дій на всіх рівнях і стадіях управління виробництвом. Створюється система стандартів підприємства.

Управління охороною праці здійснюється шляхом збору та оцінки інформації, виявлення відхилень від установлених вимог та здійснення керуючих впливів на об'єкт управління за допомогою організаційно-розпоряджувальних, соціально-розпоряджувальних, соціально-психологічних і економічних методів.

Організаційно-функціональна схема УОП базується на координуючій ролі відділу охорони праці, який бере участь у здійсненні всіх функцій управління, пов'язаних із безпекою праці.

Державні органи управління охороною праці інформують населення України відповідного регіону, працівників галузі та трудові колективи про реалізацію державної політики з охорони праці, виконання національних, територіальних чи галузевих програм із цих питань, про рівень і причини аварійності, виробничого травматизму і професійних захворювань, про виконання своїх рішень щодо охорони життя та здоров'я працівників.

На державному рівні ведеться єдина державна статистична звітність з питань охорони праці.

Система управління охороною праці містить об'єкт управління, інформаційно-контрольні зв'язки та керуючий орган. Об'єктом УОП є

діяльність щодо забезпечення оптимальних умов та безпеки праці на робочих місцях, дільницях та в цехах.

Керуючим органом є служба охорони праці, керівники структурних підрозділів усіх рівнів керування галуззю, об'єднанням, підприємством. Управління здійснюється шляхом збору та оцінки інформації, виявлення відхилень від установлених вимог і здійсненням керуючих впливів на об'єкт управління за допомогою організаційно-розпорядчих, економічних та соціально-психологічних методів.

УОП — це ієрархічна багаторівнева система, яка встановлює такі рівні управління:

- галузь (керівництво, науково-технічна рада, відділ охорони праці);
- об'єднання (керівництво, науково-технічна рада, відділ охорони праці);
- виробничі підприємства;
- цехи, дільниці цехів;
- робочі місця(конкретні виконавці) Управління охороною праці здійснюється реалізацією наступних функцій:

- прогнозування та планування заходів щодо забезпечення безпеки праці;
- створення організаційної структури;
- кількісна оцінка рівня безпеки праці;
- збір та оформлення вихідної інформації про стан умов та безпеки праці;
- розробка та формування переліку управляючих впливів;
- стимулювання роботи щодо безпеки праці. Відповідальність за здійснення управління охороною праці в галузі та в підрозділах покладається на їх керівників в межах їх посадової компетенції.

Згідно із статтею 23 Закону України "Про охорону праці", власник створює на підприємстві службу охорони праці. Типове положення про цю службу затверджується Державним Комітетом України з нагляду за охороною праці.

На підприємстві виробничої сфери з кількістю працюючих менше 50 чоловік функції служби можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства і прирівнюється до основних виробничо-технічних служб.

Організаційно-методичну роботу безпосередньо на підприємстві (якщо чисельність працюючих у ньому мала) з усіх функцій і задач управління охороною праці, підготовку управлінських рішень і контроль за їх реалізацією виконує інженер (старший інженер) з охорони праці або призначена власником особа, яка виконує його обов'язки за сумісництвом.

На працівників служб охорони праці не повинні покладатися обов'язки, не пов'язані з їх функціями. Усі заходи з охорони праці працівники служб охорони праці виконують у тісній взаємодії з керівництвом підприємств та їх підрозділів. Для загальної оцінки стану умов праці та планування заходів щодо їх покращення застосовується Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці, затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 р. №27 (Держнаглядохоронпраці, 1995).

Спеціалісти з охорони праці мають право видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, отримувати від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці, вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують нормативів з охорони праці; зупиняти роботу виробництв, діляниць, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих, надсилати керівникові підприємства подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці. Припис спеціаліста з охорони праці може скасувати лише керівник підприємства.

Ліквідація служби охорони праці допускається лише у разі ліквідації, підприємства.

Планування заходів з охорони праці — один з основних методів економічного управління. Планування роботи з безпеки праці передбачає постановку цілі, розробку програми, спрямованої на її досягнення, та оцінку досягнутої ефективності. Пошук основних шляхів вирішення завдань безпеки праці та вибору потрібних заходів для їх реалізації слід узгодити з результатами прогнозування.

Галузеві плани забезпечують здійснення єдиного підходу до вирішення завдань безпеки праці в галузі, встановлюють основні напрямки розвитку, виявляють важливі проблеми та шляхи їх розв'язання, визначають обсяги наукових досліджень в галузі охорони праці і очікувані результати їх впровадження.

Планування в масштабі об'єднань і підприємств передбачає вирішення питань механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідацію ручної праці, розробку засобів часткової механізації, поліпшення вентиляції, впровадження засобів контролю техніки безпеки, створення комфортних умов на робочих місцях, заходів щодо попередження професійних захворювань і травматизму.

На підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше чоловік рішення трудового колективу може створюватися з питань охорони праці.

Комісія складається з представників власника, профспілок, уповноважених трудового колективу, спеціалістів із безпеки, гігієни праці і представників інших служб підприємства.

Типове положення про комісію з питань охорони праці підприємства затверджується Держнаглядом охорони праці за погодженням з профспілками.

Рішення комісії мають рекомендаційний характер.

Контроль за станом умов і безпекою праці працюючих дозволяє виявити відхилення від вимог законодавства про працю, стандартів безпеки праці, якості виконання службами і підрозділами своїх обов'язків в галузі забезпечення належних умов та безпеки праці.

Ефективність контролю залежить від якості метрологічного забезпечення вимірювання параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів, визначення рівня безпеки виробничого обладнання і технологічних процесів, а також коефіцієнтів безпеки праці.

Фінансування та економічне стимулювання охорони праці розглядається як одна з найважливіших частин УОП. | На підприємствах, в галузях і на державному рівні у встановленому Кабінетом Міністрів України порядку створюються фонди охорони праці.

Такі ж фонди можуть створюватись органами місцевого і регіонального самоврядування для потреб регіону.

На підприємстві кошти вказаного фонду використовуються тільки на виконання заходів, що забезпечують доведення умов безпеки праці до нормативних вимог або підвищення існуючого рівня охорони праці на виробництві.

Кошти галузевих і державних фондів охорони праці витрачаю і ііся на здійснення галузевих і національних програм з питань охорони праці, науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт, що виконуються в межах цих програм, на сприяння становленню і розвитку спеціалізованих підприємств та виробництв, творчих колективів, науково-технічних центрів, експертних груп, на заохочення трудових колективів і окремих осіб, які плідно працюють над розв'язанням проблем охорони праці.

До державного, регіонального та галузевих фондів охорони праці надсилаються, поряд з коштами державного чи місцевих бюджетів, відрахуваннями підприємств та іншими надходженнями, кошти, отримані від застосування органами державного нагляду штрафних санкцій до власників згідно із статтею 31 цього Закону, а також кошти від стягнення цими органами штрафу з працівників, винних у порушенні вимог щодо охорони праці.

Кошти фондів охорони праці не підлягають оподаткуванню. Витрати на охорону праці, що передбачаються в державному і місцевих бюджетах, виділяються окремим рядком.

До працівників підприємства можуть застосовуватись будь-які заохочення за активну участь та ініціативу у здійсненні заходів щодо підвищення безпеки та поліпшення умов праці. Види заохочень визначаються колективним договором (угодою, трудовим договором).

Порядок пільгового оподаткування коштів, спрямованих на заходи щодо охорони праці, визначається чинним законодавством про оподаткування.

Моральне і матеріальне стимулювання працівників за роботу щодо вдосконалення умов і безпеки праці має велике значення для підвищення ефективності виробництва, зниження рівня травматизму та захворювань, поліпшення умов праці та її безпеки. Обсяг матеріального заохочення диференціюється залежно від ролі службової особи та міри її впливу на безпеку праці.

Стимулювання здійснюється відповідно до розробленого підприємством, об'єднанням або галуззю положення.

5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Концепцію захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій було схвалено Указом Президента України від 26 березня 1999 року № 284/99.

Концепція визначає загальну мету і завдання у сфері захисту громадян, які перебувають на території України, земельного, водного, повітряного простору в межах держави, об'єктів виробничого і соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій.

Причини виникнення та класифікація надзвичайних ситуацій. Щодня в світі фіксуються тисячі подій, при яких відбувається порушення нормальних умов життя і діяльності людей і які можуть призвести або призводять до загибелі людей або до значних матеріальних втрат. Такі події називаються надзвичайними ситуаціями.

Загальні ознаки НС

- наявність або загроза загибелі людей чи значне погіршення умов їх життєдіяльності
- заподіяння економічних збитків
- істотне погіршення стану довкілля.

До надзвичайних ситуацій, як правило, призводять аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо.

Аварії поділяються на дві категорії:

До I категорії належать аварії, внаслідок яких: загинуло 5 чи травмовано 10 і більше осіб; встався викид отруйних, радіоактивних, біологічно небезпечних речовин за санітарно-захисну зону підприємства; збільшилась концентрація забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі більш як у 10 разів; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я значної кількості працівників підприємства чи населення;

До II категорії належать аварії, внаслідок яких: загинуло до 5 чи травмовано від 4 до 10 осіб; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цех, дільниця з чисельністю працівників 100 осіб і більше).

Випадки порушення технологічних процесів, роботи устаткування, тимчасової зупинки виробництва в результаті спрацювання автоматичних захисних блокувань та інші локальні порушення у роботі цехів, дільниць і окремих об'єктів, падіння опор та обрив дротів ліній електропередач не належать до аварій, що мають категорії.

Надзвичайні ситуації мають різні масштаби за кількістю жертв, кількістю людей, що стали хворими чи каліками, кількістю людей, яким завдано моральної шкоди, за розмірами економічних збитків, площею території, на якій вони розвивались, тощо.

Вагомість надзвичайної ситуації визначається передусім кількістю жертв та ступенем впливу на оточуюче життєве середовище, тобто рівнем системи «людина - життєве середовище» Виходячи з ієрархії систем, можна говорити про:

Індивідуальні надзвичайні ситуації, коли виникає загроза для порушення

життєдіяльності лише однієї особи; надзвичайні ситуації рівня мікроколективу, тобто коли загроза їх виникнення чи розповсюдження наслідків стосується сім'ї, виробничої бригади, пасажирів одного купе тощо; надзвичайні ситуації рівня колективу; надзвичайні ситуації рівня мікроколективу; надзвичайні ситуації для жителів міста, району; надзвичайні ситуації для населення області; надзвичайні ситуації для населення країни; надзвичайні ситуації для жителів континенту; надзвичайні ситуації для всього людства.

Як правило, чим більшу кількість людей обходить надзвичайна ситуація, тим більшу територію вона охоплює. І навпаки, при більшій площі поширення катастрофи чи стихійного лиха від нього страждає більша кількість людей. Через це в основу існуючих класифікацій надзвичайних ситуацій за їх масштабом найчастіше кладуть територіальний принцип, за яким надзвичайні ситуації поділяють на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні (національні), континентальні та глобальні (загальнопланетарні).

Сьогоднішня ситуація в Україні щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості надзвичайних ситуацій, важкість їх наслідків змушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності розвитку економіки країни. До роботи в районі надзвичайної ситуації необхідно залучати значну кількість людських, матеріальних і технічних ресурсів. Запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків перетворилося на загальнодержавну проблему і є одним з найважливіших завдань органів виконавчої влади і управління всіх рівнів.

Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій за характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняє чотири класи надзвичайних ситуацій — надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціально-політичного, військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру — це транспортні аварії (катастрофи), пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загроза, аварії з викидом (заг-

розою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове руйнування споруд та будівель, аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру — це небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру — це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення або захоплення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру — це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, нафтопродуктів, транспортних та інженерних комунікацій тощо.

Рівень національної безпеки не може бути достатнім, якщо в загальнодержавному масштабі не буде вирішене завдання захисту населення, об'єктів економіки, національного надбання від надзвичайних ситуацій техногенного, природного або іншого характеру.

Загрози життєво важливим інтересам громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру та воєнних конфліктів.

Основними завданнями захисту населення і територій під час

надзвичайних ситуацій є:

- розроблення і реалізація нормативно-правових актів, додержання державних технічних норм та стандартів з питань забезпечення захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- забезпечення готовності органів управління, сил і засобів до дій, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям та реагування на них;
- розроблення та забезпечення заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- збирання та опрацювання інформації про надзвичайні ситуації;
- прогнозування та оцінка наслідків надзвичайних ситуацій;
- оповіщення населення про загрозу, виникнення надзвичайної ситуації;
- організація захисту населення (персоналу) та надання безкоштовної медичної допомоги;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту населення;
- розроблення та забезпечення цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого і соціального захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- міжнародне співробітництво у галузі захисту населення від надзвичайних ситуацій.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитися спеціальний комплекс заходів. Він має такі складові: оповіщення та інформування; спостереження і контроль; укриття у захисних спорудах; евакуаційні заходи; інженерний захист; медичний захист; біологічний захист; радіаційний і хімічний захист.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені даній магістерській роботі дають можливість зазначити наступне:

1. Аналіз величини, характер зношування та умов роботи виявив, що деталі ЦПГ відносяться до найбільш напружених і відповідальних деталей. На сьогодні немає єдиного погляду на природу їх зношування.

2. Сформовані загальні принципи моделювання та алгоритмів розрахунку зносу робочих поверхонь деталей ЦПГ на прикладі гільз циліндрів.

3. Побудована математична модель зносу гільз циліндрів.

4. Розроблено алгоритм й проведено аналітичний розрахунок зносу гільз циліндрів та основних параметрів.

5. Виявлено вплив режимів роботи ДВЗ на знос гільз циліндрів: для кожного дизеля існує оптимальна частота колінвала, при якій знос гільз буде мінімальним; підвищення ступеня наддуву сприятливо позначається на характері епюри зносу гільзи, вирівнюючи її; підвищення температури знижує інтенсивність зношування і позитивно відбивається на ресурсі деталі.

6. Показано, що найбільш ефективним варіантом роботи двигуна є збільшення ступеня наддуву при його роботі на оптимальних частотах обертання і забезпечення максимально можливого і припустимого температурного рівня деталей ЦПГ.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
3. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
5. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
7. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
8. Ю. Паливода. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Ю. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім.І.Пулюя, 2019. – 240с.
9. Луців І.В. Розробка алгоритмів створення багатолезового оснащення адаптивного типу для обробки поверхонь обертання / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №26, 2009. С.164 - 171.

10. Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144-149.

11. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

12. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

14. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Dzyura, V., Aulin, V., Khoroshun, R. Interpreting the main power characteristics choice of the wheel vehicles guided cushioning system (2021) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23 (2), pp. B139-B149. (Scopus).

15. Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Хорошун Р.В. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. № 2 (25). С. 72–81.

16. Вплив силових параметрів керованої підвіски на стійкість руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки / Б. І. Сокіл, О. Л. Ляшук, Р. В. Хорошун, М. Б. Сокіл // Підвищення надійності машин і обладнання : міжнар. наук.-практ. конф., 15-17 квіт. 2020 р., м. Кропивницький : матеріали конф. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – С. 183-186.

17. Конспект лекцій (частина І)з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27

«Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.

18. Конспект лекцій (частина II) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 184 с.

19. Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.

20. Левкович М.Г., Кищун В.А., Гандзюк М.О. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 242 с.