

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет \_\_\_\_\_ Конструювання та дизайну \_\_\_\_\_

**ПОГОДЖЕНО**  
**Декан**  
факультету конструювання та дизайну  
(назва факультету (ННІ))

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
**Завідувач кафедри**  
Надійності техніки  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ Роговський І.Л.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

\_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**УДК 621.311.23-048.35**

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**на тему** «Вдосконалення технології ремонту кривошипно-шатунного механізму при капітальному ремонті двигунів внутрішнього згоряння»

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Магістерська програма \_\_\_\_\_ «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»  
(назва)

Програма підготовки \_\_\_\_\_ освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Керівники магістерської роботи:**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Попик П.С.  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_ асистент  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Кульпін Р.А.  
(ПІБ)

**Виконав:**

Магістр \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Марусенко В.В.  
(ПІБ студента)

**КИЇВ - 2025**



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на працездатність ДВЗ.....	9
1.1.1. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на натяг вкладишів.....	9
1.1.2. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на мастило ДВЗ.....	12
1.2. Аналіз способів ремонту ліжок корінних підшипників КШМ і вибір з них найбільш прийняттого.....	16
1.3. Аналіз устаткування, яке застосовується при ремонті ліжок корінних підшипників КШМ.....	28
1.4. Висновки, наукова гіпотеза і завдання досліджень.....	32
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1. Теоретичні передумови до вдосконалення технології ремонту постілей корінних підшипників КШМ.....	34
2.1.1. Аналіз факторів, що впливають на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ.....	34
2.1.2. Аналіз впливу низької міцності свіжовідлитого чавуну на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ.....	37
2.1.3. Аналіз впливу процесу старіння свіжовіжлитого чавуну на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ.....	39
2.1.4. Обґрунтування кількості, моментів і величини ремонтних расточек ліжок корінних підшипників КШМ.....	44
2.2. Теоретичні передумови до розробки розточувального обладнання.....	47
2.2.1. Вибір і обґрунтування схеми базування розточувального обладнання в постелях корінних підшипників КШМ.....	47
2.2.2. Обґрунтування конструкції розточувального обладнання.....	52
2.2.3. Обґрунтування конструкції і точності вимірювального пристрою.....	54

2.3. Висновки і завдання експериментальних досліджень.....	56
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	58
3.1. Методика визначення форми і величини спотворень ліжок корінних підшипників КШМ.....	58
3.2. Методика вивчення інтенсивності спотворень ліжок корінних підшипників КШМ в часі.....	64
3.2.1. Вибір і обґрунтування параметра, еквівалентного напрацювання ДВЗ....	64
3.3. Методика дослідних випробувань розробленого розточувального обладнання.....	67
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	76
4.1. Вивчення форми і величини спотворень ліжок корінних підшипників КШМ.....	76
4.2. Результати випробувань розточувального обладнання.....	82
4.3. Висновки.....	88
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....	89
5.1. Розрахунок вартості основних виробничих фондів.....	94
5.2. Розрахунок собівартості розбирання двигуна ЗМЗ-53.....	95
5.2.1. Визначення річної оптової ціни .....	89
5.3. Прибуток підприємства.....	89
5.4. Рентабельність підприємства .....	90
5.5. Коефіцієнт фондівдачі.....	93
5.6 Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого.....	94
5.7 Випуск продукції на 1м <sup>2</sup> площі.....	94
5.8 Визначаємо величину річної економії.....	94
5.9 Річний економічний ефект.....	94
5.10. Окупність капіталовкладень.....	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99
ДОДАТКИ.....	103

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сучасному етапі розвитку неможливо домогтися рентабельного виробництва в галузях АПК без високоефективного функціонування сільськогосподарської техніки. Ефективність функціонування залежить від багатьох показників. Одним з основних показників є ресурс відремонтованих машин.

У тракторі і автомобілі найбільш складним і дорогим агрегатом, в значній мірі визначає надійність і ефективність машини в цілому, є двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) [41, 62, 115, 186, 187]. Причому відомо, що найбільше число відмов (до 30%) припадає на ДВЗ.

У двигуні внутрішнього згоряння базовою деталлю є блок циліндрів, який представляє собою корпус, службовець для заданого розташування всіх механізмів і деталей двигуна, надійність і довговічність роботи яких визначається стабільністю геометричних параметрів самого корпусу [20, 67].

Одним з основних дефектів, що виникають в блоках циліндрів, є спотворення (відхилення від номінальних розмірів і форми) і зміщення щодо своїх осей ліжок корінних підшипників (ЛКП) кривошипно-шатунного механізму (КШМ). У загальній силовій схемі двигуна ЛКП є найбільш навантаженими. [26, 154, 179, 195]. Зазначені дефекти найчастіше стають причиною ресурсних відмов ДВЗ [94, 179]. Внаслідок цього необхідно відновлювати ліжку корінних підшипників КШМ.

Це впливає з того, що сучасні умови господарювання припускають екологічно безпечний розвиток, яке нерозривно пов'язане з економією енергії, металу, запасних частин, інших матеріалів, а також широким застосуванням ресурсозберігаючих технологій [27, 71, 72, 182].

Відновлення зношених (спотворених) деталей тракторів, автомобілів та інших технічних засобів є одним з великих резервів економії та ощадливості, так як при відновленні скорочується в 5-8 разів число технологічних операцій і в 20-30 разів витрата металу і матеріалів. В результаті собівартість відновлення деталей становить 40-60% вартості нових [70, 83].

Відомо чимало способів відновлення зношених (спотворених) деталей, в тому числі і ліжок корінних підшипників кривошипношатунного механізму [76, 159, 194, 196, 205]. Однак існуючі способи ремонту ЛКП шляхом відновлення мають ряд значних недоліків таких, як висока вартість, низька якість, екологічне недосконалість і т.д. Внаслідок цього їх застосування або утруднене, або неможливо. Зокрема, найбільш прийнятний для практики спосіб ремонтних расточек також має суттєві недоліки і потребує доопрацювання.

Крім того, обладнання, що використовується при технологічних ремонтних операціях, особливо для чистової розточення ЛКП, яка використовується при всіх способах їх відновлення, також має ряд істотних недоліків таких, як висока вартість, матеріаломісткість, енергоємність, складність настройки і т.д.

У зв'язку з цим, вдосконалення способу ремонтних расточек і устаткування для його реалізації є актуальним.

**Мета досліджень.** Удосконалити технологію ремонту ліжок корінних підшипників кривошипно-шатунного механізму та обладнання, що застосовуються для усунення їх спотворень при капітальному ремонті двигунів внутрішнього згоряння і забезпечення ресурсу ремонтваних сполучень, близького до 100% при мінімальних витратах на ремонт і екологічні ризики.

**Об'єкт досліджень.** Процес спотворень ліжок корінних підшипників КШМ при експлуатації автотракторних ДВЗ.

**Предмет досліджень.** Залежності між спотворенням ліжок корінних підшипників КШМ і напрацюванням автотракторних ДВЗ.

**Наукова новизна.** Досліджено типові відхилення ліжок корінних підшипників від номінальних розмірів і форми, їх статистичні характеристики і причини виникнення. Виявлено, що максимальні відхилення за розміром і формою ЛКП виникають в початковий період експлуатації ДВЗ, внаслідок низької міцності свежеотлітого чавуну і при подальшій експлуатації зазначені відхилення практично не зростають. Встановлено, що незалежно від країни виробника ДВЗ ліжку корінних підшипників КШМ мають практично однакові величини і схожі форми спотворень. Доведено доцільність застосування при

чистої расточке ЛКП малогабаритних верстатів і пристроїв. Обґрунтовано схема базування розточувального обладнання в постелях корінних підшипників КШМ.

**Практична значимість роботи.** Для удосконаленої ресурсозберігаючої технології ремонту ЛКП КШМ способом ремонтної розточення під збільшений розмір обґрунтовані параметри (момент проведення, величина). Розроблено обладнання для відновлення ЛКП, яке задовольняє вимогам цієї технології ремонту.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, основних результатів і висновків, списку використаних джерел з 216 найменувань і додатків. Робота викладена на 111 сторінках машинописного тексту, включає 9 таблиць, 30 рисунків, 2 додатків.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідженнями [14] встановлено, що ресурс агрегатів, в тому числі і ДВЗ, ремонт яких проводився на базі повної заміни всіх не базових деталей новими, але без відновлення корпусних деталей, становить 30-40% від ресурсу нових. Це, в більшості випадків, пояснюється відхиленнями форми, розмірів і взаємного розташування посадочних поверхонь корпусних деталей.

До таких поверхонь відносяться ліжка корінних підшипників КШМ [73, 17]. У конструктивному відношенні вони є найбільш протяжною поверхнею блоку циліндрів, яка при його деформації може спотворюватися в першу чергу [15]. Найчастіше вони мають суттєві викривлення і зміщення щодо своїх осей, що виходять за допустимі межі [179].

При дотриманні всіх технологічних умов збирання (наприклад, нормованої затяжки болтів кріплення кришок) спотворення ЛКП і порушення їх співвісності, головним чином, відбувається або під дією газових сил і сил інерції, або в результаті температурних деформацій [79].

Спотворення ліжок можуть бути, як зі зміною середнього діаметру (в бік збільшення або зменшення), так і без його зміни. Однак незалежно від цього вони призводять до істотних негативних наслідків, впливаючи, в кінцевому підсумку, на надійність роботи двигуна, скорочуючи термін його служби. Негативний вплив спотворень ЛКП проявляється в зміні натягу вкладишів і в порушенні мастила двигуна.

### **1.1. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на працездатність ДВЗ**

#### **1.1.1. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на натяг вкладишів**

Посадка тонкостінних вкладишів в ліжках блоку повинна відповідати таким вимогам:

1) гарантувати регламентоване прилягання поверхонь вкладишів до їх ліжках. Наприклад, остаточно оброблені вкладиші двигуна ЯМЗ-740, ЯМЗ-741

перед складанням перевіряються за допомогою контрольного пристосування. Прилягання зовнішньої поверхні вкладиша до гнізда контрольного пристосування, при перевірці за допомогою фарби під відповідним навантаженням на стик, повинно забезпечувати мінімальну пляма контакту 90% [208];

2) забезпечувати надійність посадки вкладиша в ліжку при найменшому граничному натяг;

3) не викликати у вкладишах залишкових деформацій при найбільшому граничному натяг.

Для визначення необхідного натягу використовують величину виступання вкладиша над діаметральної площиною  $B$ , мм, яку розраховують за допустимим напруженням стиснення в поперечному перерізі сталевого підстави вкладиша (товщиною антифрикційного шару нехтують) за такою формулою:

$$B = \frac{P \cdot L}{F \cdot E} = \frac{\sigma \cdot L}{E}, \quad (1)$$

де  $P$  - навантаження на одну сторону вкладиша при затягуванні гайок шатунних болтів (шпильок кріплення кришок корінних підшипників), кг;

$L$  - довжина півкола постілі, мм;

$F$  - площа поперечного перерізу сталеві основи вкладиша,  $\text{мм}^2$ ;

$E$  - модуль пружності першого роду сталеві основи вкладиша,  $\text{кг} / \text{мм}^2$ ;

$\sigma$  - напруга стиснення,  $\text{кг} / \text{мм}^2$ .

Довжина півкола постілі визначається наступним чином:

$$L = \frac{\pi \cdot D}{2}, \quad (2)$$

де  $\pi = 3,14$ ;

$D$  - діаметр постілі, мм.

Напруга стиснення визначається як відношення навантаження на одну сторону вкладиша при затягуванні гайок шатунних болтів до площі поперечного перерізу сталеві основи вкладиша:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (3)$$

Експериментальні дані та розрахунки показують [175], що для забезпечення надійного контакту сталеві зовнішньої стінки вкладиша з поверхнею ліжку мінімальна напруга стиснення має бути не нижче  $8,5 \text{ кг / мм}^2$  ( $\sigma_{\text{min гран}} = 8,5 \text{ кг/мм}$ ). У зв'язку з тим, що межа текучості для сталевих підстави вкладишів дорівнює, приблизно,  $22 \text{ кг / мм}^2$ , максимальне гранично допустима напруга стиснення в поперечному перерізі приймають рівним  $21 \text{ кг/мм}^2$  ( $\sigma_{\text{max гран}} = 21 \text{ кг/мм}$ ).

З огляду на величини найменшого і найбільшого гранично допустимих напруг у вкладишах по формулі (1), можна визначити для кожного підшипника мінімальне і максимальне гранично допустимі значення натягів:

$$B_{\text{min}} = \frac{\sigma_{\text{min гран}} \cdot L}{E}, \quad (4)$$

$$B_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{max гран}} \cdot L}{E}, \quad (4)$$

де  $B_{\text{min}}$ ,  $B_{\text{max}}$  - відповідно мінімальне і максимальне гранично допустимі значення натягів, мм.

Значення граничних величин натягу ( $B_{\text{min}}$ ,  $B_{\text{max}}$ ) і існуючих розмірів вкладишів дають можливість визначити допустимий діапазон зміни діаметрів ліжок в процесі експлуатації.

Регламентована величина натягу вкладишів в залежності від діаметра шийок колінчастого вала для автотракторних двигунів різних марок варіює в межах  $0,02 \dots 0,15 \text{ мм}$  [137].

Навіть незначні, порівняно з допустимими, відхилення діаметрів ліжок нових блоків можуть порушити міцність посадки вкладишів і привести до їх проворачиванню в період експлуатації двигуна [148, 175]. У той же час ЛКП більшості блоків циліндрів (до 90%) набувають в процесі експлуатації ДВЗ зміни своїх розмірів, що виходять за граничні величини [7].

Слід зазначити, що негативний вплив становлять, як спотворення в бік збільшення від середнього діаметра ліжок, так і в бік зменшення. При збільшенні

середнього діаметра відбувається зниження натягу вкладишів. Через малі регламентованих величин натягу навіть при незначному спотворенні зі збільшенням середнього діаметра ЛКП можлива часткова або повна втрата натягу. Наприклад, у двигуна автомобіля "ВАЗ - 2106" при збільшенні середнього діаметра ліжок на 0,024 мм натяг стає рівним нулю.

Крім того, за рахунок неповного регламентованого прилягання вкладиша до ліжка в результаті зменшення натягу збільшується ймовірність погіршення відводу тепла. В результаті виникає перегрів вкладишів і втрата залишкового натягу від температурних деформацій [7,137].

При зміні середнього діаметра ліжок в сторону зменшення, навпаки, натяг вкладишів збільшується, внаслідок чого, можливо, їх викривлення. При цьому на окремих ділянках сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші» можливо заниження діаметрального зазору до критичної величини, що веде до підвищеного зносу деталей розглянутого сполучення через, так званого, «закушування» [175].

Таким чином, спотворення ліжок корінних підшипників КШМ наступним чином впливають на натяг вкладишів:

- спотворення ЛКП зі збільшенням їх середнього діаметра призводять до втрати регламентованого натягу вкладишів, внаслідок чого зменшується щільність прилягання останніх до ліжках. При цьому можливий перегрів вкладишів, зникнення залишкового натягу і в результаті їх проворачивание;

- спотворення ЛКП зі зменшенням їх середнього діаметра сприяють збільшенню натягу вкладишів і, як наслідок, їх викривлення, що негативно позначається на мастилi корінних підшипників.

### **1.1.2. Вплив спотворень ліжок корінних підшипників КШМ на мастило ДВЗ**

Порушення геометрії ліжок корінних підшипників КШМ тягне за собою порушення й змащення двигуна. При збільшенні середнього діаметра ліжок відбувається падіння тиску масла в мастильній системі ДВЗ. Це впливає з того, що тиск масла пов'язане з його об'ємною витратою.

Об'ємна витрата мастила  $V_1$ ,  $\text{см}^3 / \text{с}$  через навантажену частину сполучення "шийка колінчастого вала - вкладиші" знаходиться за формулою [63]:

$$V_1 = \frac{\zeta \cdot d_w^2 \cdot \Delta \pi n}{3}, \quad (6)$$

де  $\zeta$  - коефіцієнт, який визначається за графіком залежно від відносного ексцентриситету  $\chi$

$d_w$  - діаметр шийки колінчастого вала, мм;

$\Delta$  - діаметральний зазор, мм;

$n$  - оберти шийки колінчастого вала, об / хв.

Витрата масла через ненавантажену частина  $V_2$ ,  $\text{см}^3 / \text{с}$ , визначається виходячи з умови його закінчення з вузької щілини під тиском  $p_H$ , МПа, створюваним масляним насосом:

$$V_2 = \frac{10^{11} \cdot A \cdot a \cdot p_H \cdot d_w \cdot \Delta^3}{l \cdot \mu}, \quad (7)$$

де  $A$  - коефіцієнт, що враховує протяжність ненагруженої частини шару;

$a$  - коефіцієнт приведення змінної товщини шару до середньої постійної;

$l$  - довжина підшипника, мм;

$\mu$  - динамічна в'язкість мастила, Па·с.

У корінному підшипнику існує зазор між шийкою колінчастого вала і вкладишами. При цьому вкладиші більшості ДВЗ є тонкостінними, а тому при установці копіюють ліжку. У зв'язку з цим спотворенням ЛКП безпосередньо впливають на зазор в сполученні «шийка колінчастого вала - вкладиші».

З формули (6) випливає, що об'ємна витрата через навантажену частину сполучення, прямо пропорційний діаметральному зазору.

Але, слід враховувати, що близько 2/3 частини по колу розглянутого сполучення є ненагруженої. З формули (7) випливає, що об'ємна витрата масла через ненавантажену частина сполучення прямо пропорційний кубу діаметрального зазору.

Очевидно, що навіть при незначному збільшенні діаметрального зазору, обумовленому як зносом колінчастого вала або вкладишів, так і спотвореннями

ліжок, відбудеться збільшення витрати масла масляним насосом і, в результаті виникне падіння тиску масла в мастильній системі ДВЗ.

Вивчення впливу спотворень кришок корінних підшипників двигуна ЗІЛ-130 на рівень тиску масла, проведене Ю.Г. Григоряном [42], підтверджує вищесказане. Результати його досліджень показали, що падіння тиску масла в магістралі на одиницю спотворень ЛКП при діаметральному зазорі 0,08 мм становить 5% на 0,01 мм. Отже, при діаметральному зазорі 0,08 мм і викривлення ліжок 0,06 мм тиск масла в системі змащення ДВЗ впаде на 30%.

В результаті зниження тиску масла відбувається погіршення змащення всіх сполучених частин двигуна і, як наслідок цього, зменшення їх ресурсу. При цьому значно зростає ймовірність виникнення ситуації, коли робота ДВЗ в цілому буде лімітована.

При зменшенні середнього діаметра ліжок порушення мастила обумовлюється заниженням діаметрального зазору.

Заниження діаметрального зазору може бути як по частині, так і по всій поверхні сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші». В результаті відбувається руйнування мінімального масляного сдоя і сухе тертя в зазначеному сполученні. Наслідком цього є посилене зношування вкладишів і шийки колінчастого вала в початковий період експлуатації відремонтованого ДВЗ.

При спотворенні ЛКП без зміни середнього діаметра, з одного боку по поверхні сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші» відбувається зменшення діаметрального зазору до величини менше граничної, а з іншого - його збільшення. В результаті за частиною сполучення виникає підвищений знос шийки колінчастого вала і вкладишів, внаслідок руйнування мінімального масляного шару. Одночасно з цим по іншій частині спостерігається збільшення протікання і, як наслідок цього, падіння тиску масла в мастильній системі ДВЗ [46].

Порушення мастила також можливо в результаті збігу радіусів шийки вала і вкладишів, які копіюють постіль.

Внаслідок спотворення ліжок навіть при ідеально круглих шейках колінчастого вала може наступити умова рівності радіуса кривизни шийки

колінчастого вала і вкладишів, що викличе порушення мастила в даному сполученні. Це відбувається при овалізації ЛКП в результаті їх спотворень.

Дослідження з вивчення впливу овалізації деталей на збереження в сполученні "вал - підшипник" рідинного тертя були виконані М.П. Третьяком [175]. Їм виведені умови збереження клиновидного зазору і мінімальної товщини масляної плівки в залежності від овалізації деталей сполучення.

Умовою збереження рідинного тертя є нерівність сполучених радіусів кривизни вала  $\rho_v$  і підшипника -  $\rho_n$ , тобто:

$$\rho_v < \rho_n \quad (8)$$

Дана умова враховує збереження клиновидного зазору і мінімальної товщини масляної плівки в сполученні «шийка колінчастого вала - вкладиші».

Для сполучень з тонкостінними вкладишами, що копіюють свої ліжка, виконується умова максимальної гранично допустимої овалізації ЛКП, отримане М.П. Третьяком:

$$Y_{nocm} \leq 0,585 \cdot S_{opt} - 0,024 - Y_B \quad (9)$$

де  $Y_{nocm}$  - гранично допустима величина овалізації ліжок, мм.

$S_{opt}$  - оптимальний зазор сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші», що забезпечує найбільшу величину мінімальної товщини масляного шару, мм;

$Y_B$  - величина овальності шийки колінчастого вала, мм.

Отже, спотворення ліжок корінних підшипників КШМ наступним чином впливають на мастило ДВЗ:

- спотворення ЛКП зі збільшенням їх середнього діаметра призводять до падіння тиску масла, що погіршує мастило двигуна в цілому і за певних умов лімітує його роботу;

- спотворення ЛКП зі зменшенням їх середнього діаметра сприяє збільшенню натягу вкладишів і, як наслідок, їх викривлення. При цьому виникатиме підвищений знос шийки вала і вкладишів в результаті так званого

«закушування», тобто взаємодії частини або всієї поверхні сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші» в умовах сухого тертя;

- спотворення ЛКП без зміни їх середнього діаметра призводять з одного боку до посиленого зносу вкладишів та шийки колінчастого вала в результаті сухого тертя по поверхні сполучення зі зменшеним вище критичної величини зазором, з іншого - до падіння тиску масла в мастильній системі ДВЗ, внаслідок підвищених протікання через збільшені зазори;

- при овалізації ліжок може наступити випадок рівності радіусів кривизни шийки колінчастого вала і вкладишів на окремих сполучених ділянках, а, значить, не буде умов для виникнення рідинного тертя, внаслідок чого можливий підвищений знос деталей розглянутого сполучення.

Стан ліжок корінних підшипників КШМ істотно впливає на працездатність двигуна. Отже, відновлення спотворених ЛКП є однією з першорядних завдань при ремонті ДВЗ.

## **1.2. Аналіз способів ремонту ліжок корінних підшипників КШМ і вибір з них найбільш прийняттого**

Великий внесок у дослідження та вдосконалення способів ремонту ЛКП внесли О.М. Батищев, Е.Л. Воловик, З.С. Дагіс, В.В. Курчаткин, В.А. Симонов, І.Є. Ульман, В.П. Усков, М.І. Чорновіл, В.І. Черноїванов, В.А. Шадрічев і багато інших.

В даний час відомі різні способи ремонту ліжок корінних підшипників шляхом відновлення. Їх можна поділити на дві групи:

1) способи з застосуванням додаткових ремонтних матеріалів і подальшої расточкой ліжок;

2) способи без застосування додаткових ремонтних матеріалів, але також використовують розточення ліжок.

До першої групи належать такі способи:

1. Електродугова наплавка;
2. Газова наплавлення;
3. газоплазмового напилення;

4. Контактна приварка сталеві стрічки;
5. Залізнення;
6. Електролітичне натирання;
7. Спосіб додаткових ремонтних деталей;
8. Спосіб полімерних композицій.

З усіх способів ремонту з застосуванням додаткових матеріалів найбільш широке поширення в ремонтній практиці отримали електродугове і газова наплавлення з подальшою обробкою ліжок під номінальний розмір [13, 45, 47, 52, 81, 100, 193, 215, 216]. При цьому ліжку попередньо растачивають під розмір збільшений на 0,5 мм, а потім тонким рівномірним шаром виробляють зварювання плавленням - наплавку [21, 95, 147, 191, 195].

### ***1. Спосіб електродугової наплавки.***

Електродугова наплавка здійснюється під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, вибродугової методами і ін. [2, 156, 163, 192, 210]. При даному способі наплавку ліжок виробляють електродом з дроту Св08 діаметром 4 мм з крейдяний обмазкою, електродами ЦЧ-4 або іншими. Наплавлення проводять під шаром флюсу АН-348А. Електродом служить дріт діаметром 1,0-1,6 мм із сталі 45. Кращі результати дає наплавка в середовищі вуглекислого газу дротом Св-ЮГСА діаметром 0,8-1,2 мм [60, 146]. Вибір електродного дроту проводиться за змістом елементів рас кіслітелей - кремнію і марганцю. Наплавлення дротом, яка не містить достатньої кількості розкислювачів і з великим вмістом вуглецю, супроводжується підвищеним розбризкуванням, метал шва стає пористим, з'являється небезпека виникнення тріщин [195].

Переваги даного способу: дозволяє відновлювати розміри і форму ЛКП без зміни міжцентрової відстані.

У той же час слід зазначити, що електродугове наплавлення має ряд недоліків [13, 146]. Спотворення і аварійні знос ЛКП не перевищують 0,3 мм, а товщина наплавляемого шару становить 1 ... 2 мм. При цьому значна частина (більше 45%) наплавленого металу потім перетворюється в стружку при механічній обробці. Крім того, даний спосіб має високу енергоємність, трудомісткість, складність і багатоопераційність процесу ремонту ЛКП, а також

потреба в дорогому обладнанні. Більш того, при наплавленні відбувається значне нагрівання і деформація блоку циліндрів, що неприпустимо. [112, 157, 195].

## ***2. Спосіб газового наплавлення.***

Газова наплавлення ЛКП проводиться чавунними прутками діаметром 4 ... 5 мм із застосуванням флюсів ФСЧ-1 і ФСЧ-2 [146]. Для наплавлення застосовують газозварювальний апарат, пальник з наконечниками №4 або №5 і використовують суміші горючих газів з киснем. У більшості випадків в якості пального газу використовується ацетилен. Застосовують також пропан, водень, метолацетіленпропан, попередньо піддаючи їх стабілізації [99, 163]. Залежно від місця пошкодження допускається наплавка тільки кришки або тіла блоку. Потім зачищають площину роз'єму плоским шабером і особистим напилком. Зібраний блок з кришками корінних підшипників встановлюють на верстат для розточування під номінальний розмір і підрізування торців врівень з тілом блоку [60,146]. Розточення виробляють на верстатах РР 4, РД-14, 11А775 і т.д. При расточке застосовують борштангу.

Переваги та недоліки даного способу такі ж як у електродугової наплавки.

## ***3. Спосіб газоплазмового напилення.***

При газоплазмового напилення металевий порошок розпорошується в полум'я суміші горючих газів з киснем і наноситься на підготовлену поверхню [48, 56, 93, 145, 211, 214]. Після напилення ліжку розточуються під номінальний розмір.

Переваги та недоліки газопламенного напилення аналогічні таким у електродугової наплавки. Крім того, в зв'язку з відсутністю випускається серійно даний спосіб практично не використовується при ремонті ЛКП.

## ***4. Спосіб контактного приварювання сталеві стрічки.***

Сутність процесу відновлення електроконтактного зварюванням полягає в приварке потужними імпульсами струму до поверхонь деталей сталеві стрічки [5, 10, 50, 56, 57, 104, 136, 170, 204]. Ремонтуються ліжку попередньо растачивают до діаметра, що перевищує номінальний на 1 мм. З сталеві стрічки (для приварювання використовують сталь 20, допускається також застосування стрічки зі сталі 10) товщиною 1 мм виготовляють дві заготовки, яким надають

форму ідентичну формі ЛКП. Потім заготовки вставляють в отвори ліжок корінних підшипників. При цьому вони повинні повністю огинати ліжку без нахлеста в місці роз'єму з зазором не більше 0,5 мм. Після установки стрічки приварення починають на відстані 510 мм від місця роз'єму стрічки і продовжують в сторону протилежну гнізда. У зварений точці, отриманої від дії імпульсу струму, відбувається розплавлення металів стрічки і ліжку. Метал стрічки в цьому випадку розплавляється не по всій її товщині, а лише в тонкому поверхневому шарі в місці контакту ЛКП і стрічки. Шар приварюють до всієї поверхні ЛКП регульованими імпульсами струму, що перекриваються точками, які розташовуються по гвинтовій лінії. Перекриття точок як уздовж рядків, так і між рядками досягається обертанням деталі зі швидкістю пропорційною частоті імпульсів і поздовжнім переміщенням зварювальних кліщів [144, 163, 195].

Переваги даного способу: дозволяє відновлювати розміри і форму ЛКП без зміни міжцентрової відстані.

Недоліки контактної приварки сталеві стрічки: в процесі зварювально-наплавочних операцій виділяється значна кількість аерозолі до складу якого входять оксиди марганцю і хрому, сполуки кремнію, а також окису вуглецю, двоокису азоту, фтористого водню і т.д., що негативно впливає на екологію [80]. Процес приварки сталеві стрічки має високу енергоємність, трудомісткість, складність і багатоопераційність. Крім того, відсутня серійно випускається устаткування. Приварка сталеві стрічки призводить до збільшення рівня внутрішніх напружень, підвищеної дефектності нанесеного шару і прилеглого матеріалу ЛКП [6, 113]. Внаслідок цього виникають деформації блоку циліндрів і освіту в ньому мікротріщин, що є неприпустимим.

У зв'язку з зазначеними вище недоліками неможливо застосовувати зварювальні способи при ремонті ЛКП. Тому були проаналізовані бессварочного способи із застосуванням додаткових ремонтних матеріалів.

### ***5. Спосіб залізнення.***

Залізнення відноситься до способів відновлення ліжок гальванічним покриттям. При цьому метал наростає на поверхні ЛКП в результаті електролізу [2, 10, 31, 32, 135, 174]. Найбільшого поширення для залізнення отримали гарячі

хлористі електроліти, що складаються з двох компонентів: хлористого заліза і соляної кислоти. Хлористі електроліти дозволяють отримувати якісні зносостійкі покриття товщиною 0,6 ... 1,0 мм. У ремонтній практиці найчастіше застосовують чотири види хлористих електролітів, що відрізняються концентрацією заліза [195]. Для відновлення ЛКП використовуються електроліти малої і середньої концентрації, які дають можливість отримувати покриття мікротвердість яких знаходиться в межах 2000-6500 Н / мм [26].

Технологічні операції при залізненні виконують в такій послідовності: попередня механічна обробка, промивка органічними розчинниками, промивка у воді, ізоляція поверхонь, що не підлягають покриттю, монтаж деталей на підвіску, електрохімічне знежирення, промивання в гарячій і холодній воді, анодна обробка, нанесення покриття необхідної товщини, механічна обробка ЛКП (розточування або шліфування) після залізнення [10, 173, 195].

Перевагами залізнення слід вважати відсутність температурних деформацій, можливість відновлення номінальних розмірів і форми ліжок без зміщення їх осей, а також незначна механічна обробка.

До недоліків цього способу відноситься потреба в габаритному дорогому обладнанні, висока трудомісткість, складність і багатоопераційність процесу. Крім того, процес залізнення в хлористих електролітах характеризується високою хімічною активністю кислого розчину хлористого заліза, сильним випаровуванням електроліту, виділенням речовин шкідливих для здоров'я обслуговуючого персоналу і металевих частин гальванічного ділянки [107]. Більш того, процес залізнення викликає напруги різного знака, які залежать від товщини осаду, режимів і умов електролізу [142]. Внаслідок цього, при даному процесі можливе відновлення викривлення блоку циліндрів в результаті перерозподілу внутрішніх напружень.

### ***6. Спосіб електролітичного натирання.***

Сутність процесу електролітичного натирання [139], відомого за кордоном під назвою дейлік-процесу, полягає в наступному: на нерухомо закріплену деталь (ліжку блоку циліндрів), що є катодом, анодом наносять покриття, наприклад, цинком, міддю, залізом і іншими металами. Як показали

дослідження, натирання посадочних отворів корпусних деталей цинком забезпечує більш високу працездатність деталі в порівнянні з натиранням залізом або міддю [203].

Переваги електролітичного натирання ті ж, що і у способу залізнення. .

До недоліків відносяться потреба в дорогому обладнанні, висока енергоємність, трудомісткість, складність і багатоопераційність процесу.

### ***7. Спосіб додаткових ремонтних деталей.***

Даний спосіб [44, 60, 61, 78,158, 162] можна поділити на два:

- спосіб постановки півкільця;
- спосіб запресовування ремонтних вкладишів.

Сутність першого з них полягає в наступному: попередньо виробляють розточення ліжок, далі з чавуну СЧ18-36 виточують кільця, довжина яких на 2 мм більше довжини ліжок. Потім їх розрізають на два рівних півкільця, обпилюють площині по торцях. Два півкільця з'єднують разом і прихоплюють по торця електрозварюванням в чотирьох місцях. Після цього півкільця растачивають на токарному верстаті з припуском 0,5 мм на діаметр для подальшої обробки в ЛКП. Над площиною роз'єму блоку циліндрів і кришок корінних підшипників півкільця повинні однаково виступати з обох сторін (не більше ніж на 0,02 мм). Утопання їх не допускається. У закріплених півкільцях розмічають і Керн місця для свердління отворів, а потім свердлять спільно отвори в кожному напівкільці і кришкових частини ліжку, а також в кожному напівкільці блокової частини ліжку діаметром 8 мм на глибину 5 ... 6 мм. У просвердлені отвори запресовують з натягом 0,07 мм гладкий штифт, виготовлений зі сталі 20 діаметром 8 мм, і зачищають виступаючу частину врівень з поверхнею. Подальшу обробку ліжок виробляють також як і при розточуванні під номінальний розмір [8, 60].

Сутність другого способу полягає у виготовленні упорів у площині роз'єму ліжок за допомогою протягання, прошивки або електроконтактного приварювання, пайки виступів. Після цього ремонтні вкладиші (металеві півкільця) встановлюються в підготовлені ліжку так щоб торці півкільця упиралися в виступи (упори). Після цього півкільця прокочуються, внаслідок

чого, за рахунок роздачі утворюється натяг. Під дією натягу виключена можливість прогину ремонтних вкладишів і вкладишів підшипників в стиках всередину корпусу підшипників [61].

Гідність цих методів полягає в тому, що вони дозволяють відновлювати номінальні розміри і форму ЛКП без зміщення їх осей. Крім того, при використанні цих способів відсутні температурні деформації блоку циліндрів.

З іншого боку, вони мають ряд недоліків, в числі яких висока трудомісткість і енергоємність процесу, потреба в спеціалізованому, дорогому обладнанні і пристроях. При використанні даних способів значно збільшуються витрати на матеріал і з виготовлених ремонтних вкладишів, в цілому на відновлення виробу і це в багатьох випадках призводить до того, що зазначені способи виявляються економічно ефективними [65]. Особливо нераціонально застосовувати дані способи для відновлення деталей, що мають незначні з-носи [69]. Більш того, при розкочування ремонтних вкладишів можливе порушення форми відновлюваних ліжок в результаті нерівномірності розкочування.

#### ***8. Спосіб полімерних матеріалів.***

Останнім часом в нашій країні і за кордоном ліжку корінних підшипників відновлюють шляхом використання полімерних матеріалів [10, 30, 40, 78, 84, 98, 132, 171, 190]. Основна вимога до полімерному матеріалу, що використовується при ремонті - збереження форми деталей і здатність в умовах експлуатації при певних навантаженнях і температурах необмежено часто пружно деформуватися без руйнування [32, 195]. Для ремонтного виробництва придатні в основному термореактивні полімери [92, 97, 163]. Відомі технології із застосуванням полімерних композицій на основі епоксидних смол, еластомеру ГЕН-150, герметика 6Ф. Вони дозволяють усувати знос до 0,2 мм, для чого потрібно нанесення декількох шарів композицій з інтервалом 10-15 хвилин з наступною термообробкою для затвердіння нанесеного покриття.

До переваг способу полімерних композицій належать відсутність теплових вкладень, відновлення номінальної форми і розмірів ЛКП.

Недоліками даного способу є нетривалість перебування в рідких стані і низька несуча здатність (в порівнянні з чавуном) застосовуваних полімерних

матеріалів. Крім того, ряд компонентів, які використовуються в композиціях, має високу токсичність, що негативно впливає на екологію і на здоров'я працюючих людей. Також це відносно складний, трудомісткий і дорогий процес, що вимагає застосування спеціальних пристосувань. Більш того, при застосуванні способу полімерних композицій існує значна ймовірність зсуву осей ліжок корінних підшипників [10, 11, 101].

Паралельно зі способами ремонту ліжок корінних підшипників КШМ шляхом відновлення з залученням додаткових матеріалів існують і більш економічні способи, які використовують тільки розточення ЛКП. До них відносяться: спосіб підрізання торців і спосіб ремонтних расточек.

#### *1. Спосіб підрізання торців.*

Суть методу підрізання торців з подальшою расточкой ЛКП під номінальний розмір [149] полягає в наступному: кришки корінних підшипників фрезерують або шліфують на величину не більше 0,3 ... 0,4 мм, наприклад, на верстаті типу 6М12П, потім розточують ЛКП на спеціалізованих верстатах при допомозі борштанги. Підрізання торців на кришці корінних підшипників здійснюється внаслідок того, що вони найбільш схильні до спотворення за рахунок дії газових сил.

Переваги методу підрізання торців: низька вартість, енергоємність, відносна простота процесу відновлення.

Основним недоліком даного способу є зрушення осі ЛКП до голівки блоку циліндрів що, в свою чергу, призводить до зміни ступеня стиснення [9, 198]. Ступінь стиснення при підрізання торців і розточення ліжок корінних підшипників КШМ підвищується. При підвищенні ступеня стиснення збільшується потужність, в зв'язку з чим, з'являється небезпека виникнення детонаційних процесів. Детонаційні процеси негативно позначаються на роботі ДВЗ [1, 124].

Також спостерігається несиметричне розташування півкола в кришці і тілі блоку циліндрів [179].

Крім того, при расточке ЛКП з попередньої торцовкой відбувається зниження міцності кришок корінних підшипників. При цьому найбільшою

мірою послаблюється їх середнє перетин. Обстеження [178] кришок корінних підшипників двигунів Д-54 і СМД-14 показало, що знімання металу в їх середньому перерізі досягає 1,5 ... 2,5 мм (при одноразовій расточке). При дворазовій расточке ліжок знімання металу в середньому перетині кришок відповідно збільшується в два рази. Значний знімання металу в середньому перетині кришок впливає на їх напруженість. При зніманні 3 мм металу монтажні напруги зростають на 40-43% [185].

Більш того, після розточення ЛКП зі зміщенням осей неминуче з'являються чорноти - необроблені ділянки на поверхні ліжок від площини стику. В результаті цього не вдається повністю виправити викривлення форми ліжок і їх несоосность у 80% ремонтваних двигунів [178]. За технічними умовами на блоці циліндрів двигунів допускаються необроблені ділянки довжиною не більше 6 мм на кожену сторону стику його з кришкою. Однак поверхні розточки в 76% випадків не задовольняють цій умові [176]. Тим часом вкладиші корінних підшипників через це погано прилягають до своїх ліжках, що негативно позначається на тепловому режимі вкладишів і може привести до зменшення їх натягу. Дослідженнями [177] встановлено, що для усунення чорноти в кришках корінних підшипників при разовій расточке необхідно зняти з площини роз'єму шар металу товщиною 2,5 ... 2,8 мм. При цьому вісь ЛКП зміститься на 1,0-2,8 мм, що є неприйнятним з технічних вимогам [185].

## *2. Спосіб ремонтних розточок.*

Спосіб ремонтних расточек, тобто растачивание ЛКП до ремонтного (збільшеного) розміру є найбільш простим, так як має одну технологічну операцію - розточування [133, 183].

На сьогоднішній день існує декілька технічних реалізацій даного способу. До них відносяться:

- 1 чотири ремонтних розточення ЛКП, кожна на 0,500 мм [195];
- 2 одна ремонтна розточування ЛКП на 0,500 мм [16, 74, 138];
- 3 чотири ремонтних розточення ЛКП, кожна на 0,250 мм [179, 182].

Перша технічна реалізація передбачає чотири ремонтних розточення ЛКП суміщених з капітальними ремонтами. При цьому необхідно виготовляти чотири

типорозміру вкладишів, збільшених по зовнішньому діаметру через 0,500 мм. Колінчастий вал не замінює, а відновлюється шляхом шліфування.

Друга технічна реалізація застосовується для двигунів автомобілів КамАЗ і передбачає одну ремонтну розточення ЛКП під збільшений розмір на 0,500 мм. Причому, розточування проводиться в момент четвертого капітального ремонту з подальшою установкою спеціальних ремонтних вкладишів, збільшених по зовнішньому діаметру, і проводиться заміна колінчастого вала.

Третя технічна реалізація передбачає чотири ремонтних розточення ЛКП також суміщених з капітальними ремонтами. При цьому додатково виготовляються чотири типорозміру вкладишів, але збільшених по зовнішньому діаметру через 0,25 мм. На відміну від другої технічної реалізації колінчастий вал не замінює, а відновлюється шляхом шліфування.

Переваги методу ремонтних расточек: відновлення форми ЛКП без зсуву осі ЛКП до голівки блоку циліндрів і зміни ступеня стиснення, відсутність температурних деформацій блоку циліндрів.

Недоліки: при расточке на значні величини відбувається ослаблення кришок корінних підшипників, внаслідок чого виникає підвищена схильність до перекручування ЛКП і можливість поломки кришок.

У зв'язку з різноманіттям способів ремонту ліжок корінних підшипників КШМ шляхом відновлення з'являється необхідність вибору з них найбільш прийняттого. При цьому доцільними уявляються тільки ті способи, які не тільки дозволяють отримати необхідний коефіцієнт ресурсу, але і є технологічними, доступними для освоєння, менш енергоємними і екологічно безпечними [19, 27, 43, 105, 106, 111, 202].

У зв'язку з цим вибір найбільш прийняттого способу ремонту був проведений з технічного, економічного та екологічного ознаками.

Технічний ознака (ознака якості).

Технічний ознака характеризує способи ремонту ЛКП з позиції якості. При цьому під якістю розуміється збереження в процесі ремонту властивостей матеріалу блоку циліндрів і відновлення параметрів ЛКП і їх просторового

розташування, при застосуванні покриттів забезпечення необхідної адгезії та несучої здатності ЛКП.

З урахуванням даної ознаки частина проаналізованих способів неможливо застосовувати при ремонті ЛКП:

- зварювальні через порушення структури матеріалу блоку циліндрів, викривлення блоку і виникнення мікротріщин;

- підрізання торців внаслідок зсуву осі ЛКП до привалочної площині головки циліндрів;

а частина способів недоцільно:

- електролітичного натирання через низьку несучої здатності матеріалу, що наноситься;

- додаткових ремонтних деталей внаслідок можливої нерівномірної розкочування півкільць;

- полімерних композицій через низьку несучої здатності матеріалу.

Залізнення задовольняє технічною ознакою, внаслідок чого може застосовуватися при ремонті ЛКП.

Спосіб ремонтних расточек також може застосовуватися при ремонті ліжок. При цьому можуть використовуватися всі три технічні реалізації даного способу.

Однак величини і кількість ремонтних расточек недостатньо обгрунтовані.

Розточування на порівняно великі величини (на 0,500 мм) обумовлює необхідність застосування найбільш жорсткого розточувального обладнання і істотно підвищує матеріаломісткість і енергоємність процесу ремонту. Перевищення величини ремонтних расточек також знижує жорсткість кришок підшипників КШМ. Більш того, встановлено [55, 177], що основною причиною утворення тріщин і зламів, а також спотворення кришок підшипників КШМ є їх недостатня жорсткість.

В.П. Усков [179, 182] наводить у своїх роботах необхідність проведення чотирьох ремонтних расточек приурочених до капітальних ремонтів на дещо меншу величину - 0,250 мм. З іншого боку дослідженнями цього ж автора встановлено, що величини максимальних відхилень в діаметрі і несоосности

ЛКП і двигунів ЯМЗ-238НБ не перевищують 0,100 і 0,090 мм відповідно (середні величини 0,048 і 0,047 мм). Тобто, запропоновані їм величини ремонтних расточек ліжок корінних підшипників слід вважати завищеними.

*Економічна ознака.*

Найбільш прийнятними за цією ознакою є способи відновлення без використання додаткових ремонтних матеріалів.

Більш того, аналіз показав, що завершальній операцією при всіх відомих способах ремонту є растачивание ЛКП під номінальний або ремонтний розмір. Тому пріоритет за економічною ознакою мають ті способи, які використовують одну технологічну операцію - розточування. До них відноситься спосіб ремонтних расточек. Причому економічно доцільніше представляється технічна реалізація даного способу з меншими величинами і кількістю ремонтних расточек.

Як зазначено вище, перша технічна реалізація передбачає чотири ремонтних на 0,500 мм кожна.

У той же час друга технічна реалізація має меншу кількість ремонтних расточек (одну) на величину 0,500 мм. Однак при даній технічній реалізації колінчастий вал замінюється новим, що веде до значного подорожчання ремонту.

Третя технічна реалізація передбачає чотири ремонтних розточення ЛКП, кожна на 0,250 мм. Незважаючи на те, що в порівнянні з другою дана технічна реалізація має чотири ремонтних розточення вона є найбільш ефективною внаслідок відсутності необхідності заміни колінчастого вала новим. Тому найбільш прийнятною за цією ознакою є третя технічна реалізація способу ремонтних расточек.

*Екологічна ознака.*

Найбільш екологічно чистим слід вважати спосіб ремонту ЛКП, що має мінімальну кількість технологічних операцій, що характеризується низькою енергоємністю і не вимагає застосування додаткових ремонтних матеріалів.

Таким чином, на основі проведеного аналізу найбільш прийнятним слід вважати спосіб ремонтних расточек під збільшені розміри, внаслідок того, що

він не тільки результативно і з мінімальними негативними наслідками усуває всі спотворення ліжок, але і вимагає застосування єдиної технологічної операції - розточування.

Але з огляду на недостатню обґрунтованість моментів, величин, а також кількості ремонтних расточек даний спосіб ремонту потребує доопрацювання.

Разом з тим слід зазначити, що залишається актуальним і питання про застосовуваний для розточення ЛКП ремонтному устаткуванні.

### **1.3. Аналіз устаткування, яке застосовується при ремонті ліжок корінних підшипників КШМ**

Розточувальне устаткування повинно задовольняти технічним вимогам, що пред'являються до точності розточення ЛКП. Дані вимоги для таких марок вітчизняних ДВЗ, як Д-50, Д-240, СМД-14, СМД-60, А-01М, А-41, наведені в таблиці 1 [19 5].

Таблиця 1 - Технічні вимоги, що пред'являються до точності обробки ЛКП розточувальним обладнанням

Показники	Допустимі відхилення розмірів, мм
Овальність	Не більше 0,020
Конусність	Не більше 0,020
Неспіввісність	Не більше 0,030
Відхилення по діаметру	+ 0,020
Шорсткість поверхні	0,00063 ... 0,00125

Обмеження величин відхилень ЛКП за такими показниками, як овальність, конусність, що утворилися внаслідок того, що зім'яло матеріалу блоку циліндрів, обумовлені зниженням протікання масла і динамічних дій, а також виключенням можливості закушування і задирання вкладишів в місцях заниження діаметрального зазору корінних підшипників.

Обмеження за таким показником, як несоосность, внаслідок викривлення блоку циліндрів, обумовлені регламентованими діаметральними зазорами в

корінних підшипниках КШМ, які для різних ДВЗ знаходяться в межах 0,05 ... 0,12 мм.

Допустимий інтервал шорсткості поверхні ЛКП, наведений в таблиці 1, узгоджується з даними А.Н. Гоц і С.І. Некрасова [38].

Розточування ліжок корінних підшипників КШМ здійснюється як при виготовленні, так і при ремонті ДВЗ.

На ремонтних підприємствах застосовують верстати горизонтально-расточного типу (РР-4, 11А775, АКТБ-182, 2М614, РД-14 і ін. [54, 126, 134, 155, 166]), вертикально-розточувальні (наприклад, 2733П [127]) , переналагоджувані розточувальні верстати (ОР-14557, ОР-14579 [127, 131, 194]).

Всі ці верстати в принципі забезпечують необхідну точність розточення ЛКП, наведену в таблиці 1. Але в зв'язку з рядом недоліків застосування цих верстатів неефективне.

Одним з основних недоліків спеціалізованих верстатів є складність, трудомісткість і тривалість процесу базування на них блоку циліндрів щодо Борштанги, зокрема, забезпечення збігу осі обертання Борштанги із загальною віссю обертання ЛКП з точністю до 0,020 мм.

Блок циліндрів на столі верстата встановлюють на площину роз'єму з піддоном, тобто так само, як і при виготовленні. Однак використовувати заводські базові елементи блоку для його центрування на верстаті щодо Борштанги практично неможливо, так як ці елементи в процесі експлуатації ДВЗ деформуються. Тому для зазначеної центрування в ремонтних умовах застосовується метод багаторазового підгонки, а для перевірки точності центрування ЛКП щодо осі Борштанги використовується два вимірювача, що встановлюються на кінцях Борштанги.

Зазначена підгонка є дуже тривалий і відповідальний процес. Крім того, точність установки залежить від суб'єктивного фактора, внаслідок чого вона не завжди гарантується.

З метою вдосконалення установки блоку циліндрів на існуючих розточувальних верстатах було запропоновано забезпечити їх встановленням з можливістю обертання у вертикальній площині кронштейном, вісь якого

збігається з віссю Борштанги, і несе, щонайменше, дві базові площадки для установки блоку [28, 188, 189] . Однак дана пропозиція незначно знизив складність, трудомісткість і тривалість процесу базування ЛКП щодо розточний борштагі. Крім того, дане пристосування є спеціалізованим, тобто застосовується для одного типу блоку циліндрів.

Іншим недоліком зазначених верстатів є необхідність виготовлення та використання спеціалізованої оснастки для розточення ЛКП блоків циліндрів двигунів різних марок [102].

Існують і організаційні недоліки спеціалізованих розточувальних верстатів. Дані верстати, будучи великогабаритним обладнанням і володіючи високою вартістю, а також енергоємністю, зустрічаються тільки на великих спеціалізованих ремонтних підприємствах [29]. При цьому виключена їх мобільність.

У свою чергу, блоки циліндрів мають великий металомісткістю, а, отже, і масою. Виникає необхідність у використанні додаткових коштів на транспортування блоків до пункту розточення. Транспортування включає витрати на вантажно-розвантажувальні роботи, паливно-мастильні матеріали і т.д. Більш того, при транспортуванні можлива поломка частин блоку циліндрів, що може вивести його з ладу, а, як відомо, блок є базовою деталлю ДВЗ і має високу вартість.

В даний час відомі малогабаритні верстати і пристрої, призначені безпосередньо для ремонту ліжок корінних підшипників КШМ, наприклад, верстат за патентом №2157747 [29]. Цей малогабаритний верстат базується безпосередньо на восстанавлюваному блоці в двох ліжках і закріплюється технологічними кришками і втулками. За рахунок цього виробляється автоматична центрація по осі ЛКП. Для ремонту ЛКП кількох різних блоків циліндрів використовують змінні втулки. У корпусі верстата знаходиться висувна гільза, що забезпечує поздовжнє переміщення ріжучого інструменту. Привід даної гільзи здійснюється від штурвала ручної подачі. У гільзі встановлений шпindel. У внутрішній конус переднього кінця шпинделя встановлюється розточна головка з різцем. Шпindel приводиться в обертання

клиноремінною передачею від електродвигуна. Останній кріпиться до площини роз'єму блоку циліндрів з піддоном.

Існує також розточувальне пристрій (а.с. №1235691) [66], що базується за блочною частини ліжок корінних підшипників КШМ. Цей пристрій складається з розточувального вала і різця інструменту і включає втулки з внутрішнім центруючою поверхнею. Кожна втулка на половині її діаметра виконано з зовнішньої центруючою поверхнею і забезпечена фіксуєчим елементом, розташованим діаметрально протилежно зовнішньої центруючою поверхні.

Дані малогабаритні верстати і пристрої здатні забезпечити більшість з наведених у таблиці 1 вимог до точності розточення ЛКП. Разом з тим ці технічні засоби мають ряд недоліків.

Загальним їх недоліком є відсутність подає редуктора, внаслідок чого неможливо забезпечити необхідну шорсткість поверхні ЛКП. Не дивлячись на те, що в одному з них є пристрій ручної подачі розточувального вала за допомогою штурвала (патент №2157747) воно не може забезпечити необхідну шорсткість.

До приватним недоліків малогабаритного верстата (патент №2157747) відносяться:

- схема базування (різець закріплений на валу консольно), що обумовлює високу похибка по несоосности ЛКП при їх расточке;
- установка приводу малогабаритного верстата на блоці циліндрів, що є специфічним для кожного блоку.

До приватного нестачі малогабаритного верстата (а.с. №1235691) відноситься відсутність механізму подачі різця (розточний головки), що зумовлює високу трудомісткість установки необхідного вильоту різця і похибка по відхиленню від необхідного діаметра ЛКП.

У той же час малі габарити, практично автоматичне базування, доступність використання є безперечними перевагами таких засобів розточення. Крім того, дані пристрої та верстати мають низьку енергоємність і вартість, що може дозволити їх використання в майстернях господарств аж до окремого гаража.

Таким чином, найбільш прийнятним для ремонту ліжок корінних підшипників КШМ шляхом розточування є малогабаритне обладнання. Однак з урахуванням зазначених недоліків виникає необхідність в удосконаленні даного обладнання і технології його застосування. Причому, технологія повинна враховувати специфіку пропонованого обладнання, а обладнання, в свою чергу, повинна відповідати таким умовам: забезпечувати необхідну точність обробки ЛКП і високу продуктивність, бути простим у застосуванні, мати низьку матеріаломісткість, енергоємність і вартість.

#### **1.4. Висновки, наукова гіпотеза і завдання досліджень**

1. На працездатність ДВЗ негативно впливають спотворення ЛКП, що виходять за граничні величини, як в сторону зменшення номінальних розмірів ліжок, так і в бік їх збільшення. Негативні наслідки виявляються в зміні натягу вкладишів (при зниженні натягу можливо проворачивание вкладишів, при підвищенні - можливо їх викривлення) і в порушенні мастила ДВЗ (падіння тиску в мастильній системі, задирання або підвищений знос вкладишів в результаті так званого «закушування»),

2. У результаті негативного впливу спотворень ЛКП на працездатність ДВЗ необхідний ремонт ліжок корінних підшипників КШМ.

3. Найбільш прийнятним слід вважати спосіб ремонтних расточек під збільшені розміри, внаслідок того, що він не тільки результативно і з мінімальними негативними наслідками усуває всі спотворення ліжок, але і вимагає застосування єдиної технологічної операції - розточування. Але з огляду на недостатню обґрунтованість моментів, величин, а також кількості ремонтних расточек даний спосіб ремонту ЛКП потребує доопрацювання.

4. Наявне обладнання для розточки ліжок корінних підшипників КШМ має низьку надійність. Одним з основних недоліків спеціалізованих розточувальних верстатів є складний і тривалий процес базування розточуваного блоку циліндрів щодо Борштанги. При цьому норма часу на розточення одного блоку циліндрів двигуна А-41 становить приблизно 3,2 години (до 90% часу займає процес базування). Відоме малогабаритне розточувальне обладнання не дає необхідної

точності розточення ЛКП по несоосности і шорсткості. Внаслідок цього, виникає необхідність в розробці обладнання і технології для ремонту ліжок корінних підшипників КШМ шляхом відновлення.

На основі викладеного в якості наукової гіпотези прийнято припущення, що вдосконалення попередньо обраного способу ремонту ліжок корінних підшипників КШМ і розробка обладнання з обґрунтуванням їх параметрів дозволить забезпечити ресурс ремонтіваних сполучень близький до 100%.

Для підтвердження наукової гіпотези необхідно провести дослідження, мета яких полягає в удосконаленні технології ремонту ліжок корінних підшипників кривошипно-шатунного механізму і обладнання, що застосовуються для усунення їх спотворень при капітальному ремонті двигунів внутрішнього згоряння і забезпечення ресурсу ремонтіваних сполучень, близького до 100% при мінімальних витратах на ремонт та екологічні ризики.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі завдання:

1. Виявити закономірності процесу спотворень ліжок корінних підшипників КШМ і оцінити роль факторів, що впливають на нього.
2. Обґрунтувати кількість, моменти проведення і величини ремонтних расточек ліжок корінних підшипників КШМ.
3. Обґрунтувати технологію і параметри розроблюваного обладнання для ремонту ліжок корінних підшипників КШМ.
4. Оцінити економічну ефективність удосконаленої технології ремонту постелей корінних підшипників КШМ і розробленого обладнання.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Теоретичні передумови до вдосконалення технології ремонту постілей корінних підшипників КШМ

#### 2.1.1. Аналіз факторів, що впливають на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ

Спотворення ліжок корінних підшипників і порушення їх співвісності обумовлено дією різних факторів. Ці фактори можна поділити на дві групи: зовнішні і внутрішні. До зовнішніх відноситься фактор динамічного навантаження, до внутрішніх - фактори, що визначають реакції ЛКП на динамічні навантаження.

Динамічне навантаження виникає внаслідок дії газових сил і сил інерції. Даний фактор впливає на ліжку корінних підшипників протягом усього періоду експлуатації ДВЗ. При цьому слід враховувати, що геометричні параметри ЛКП (діаметр і ширина) розраховуються розробниками по допустимим напруженням таким чином, щоб при досягненні максимальних навантажень ліжку не спотворювалися. У той же час відомо, що в 90% випадків спотворення ЛКП виходять за допустимі межі. З цього випливає, що значні спотворення ліжок корінних підшипників КШМ, що виходять за граничні величини, обумовлені впливом ряду внутрішніх факторів, частина з яких не можливо врахувати при розробці ДВЗ. При цьому негативні наслідки зазначених факторів можуть бути усунені або в процесі виготовлення, або при ремонті ДВЗ.

До внутрішніх факторів належать:

- фактор підробітки;
- фактор порушення регулювань ДВЗ (кута впрыскування палива (випередження запалювання), регулювань газорозподільного механізму і т.д.).

Фактор порушення регулювань є наслідком аварійної експлуатації ДВЗ, внаслідок чого виключений з розгляду.

Фактор підробітки обумовлений наявністю мікронервностей поверхні ЛКП і полягає в їх згладжування. Мікронервності поверхні утворюються в результаті механічної обробки ЛКП нових або відремонтованих ДВЗ. Вони

згладжуються, тобто відбувається їх змінання під дією динамічного навантаження в період обкатки ДВЗ. Зазначений період становить 75 ... 90 м.ч. (2000 ... 3000 км пробігу). При цьому величина спотворень ліжок від фактора підробітки визначається величиною їх микронеровностей (шорсткості поверхні).

Дослідженнями А.І. Рік і С.І. Некрасова [38] встановлено, що необхідною і достатньою шорсткість  $R_a$ , мм ліжок корінних підшипників укладена в наступних межах, мм:

$$0,0005 < R_a < 0,00125. \quad (10)$$

Крім того, технічні вимоги до механічної обробки (расточке) ЛКП (рекомендовані ГОСНИТИ) обмежують шорсткість в межах, мм:

$$0,00063 < R_a < 0,00125. \quad (11)$$

З цього випливає, що величина спотворень по фактору підробітки не повинна перевищувати 0,00125 мм. У той же час спотворення ліжок значно перевищують попередньо прийняту для аналізу величину максимальних спотворень (0,100 мм за даними В.П. Ускова [180]), що свідчить про вплив іншого, більш значимого фактора.

Відомо, що свіжовідлтий чавун має низку особливостей. Стосовно до блоку циліндрів в свежеотлітом матеріалі утворюються значні порушення кристалічної решітки, а також нерівномірні за обсягом залишкові напруги.

Порушення кристалічної решітки і залишкові напруги в чавуні з'являються в процесі виливки з наступних причин [12, 35, 122, 142]:

- нерівномірне охолодження виливків блоків циліндрів;
- опір форми усадки металу;
- різниця в коефіцієнтах температурного розширення.

Порушення кристалічної решітки обумовлено появою дислокацій (атомів, що вийшли з рівноважного положення в междоузліе) і вакансій (вільних місць в кристалічній решітці, що утворилися в результаті дислокацій). Освіта дислокацій і вакансій викликає спотворення кристалічної решітки [142]. Внаслідок цього відбувається перерозподіл дислокацій і вакансій, тобто прагнення дислокованих атомів зайняти свої «законні» місця в кристалічній решітці.

На утворення залишкових напружень часто впливають опір ливарної форми і стрижнів, які перебувають у внутрішніх порожнинах. Це пов'язано з тим, що різні ділянки мають неоднакові пластичні властивості, через що виникають сили опору стрижнів усадки металу, що створюють нерівномірність залишкових напружень [34, 96, 165].

Після відливання відбувається процес старіння матеріалу блоків циліндрів (чавуну) ДВЗ. При цьому, якщо двигун пущений в експлуатацію, в блоці циліндрів відбуваються такі процеси:

- 1 викривлення ЛКП і блоків циліндрів ДВЗ;
- 2 смятие матеріалу ЛКП.

Перший процес відбувається в результаті відновлення будови кристалічної решітки і зменшення (стабілізації) залишкових напружень [128, 129, 130]. У чавуну відсоток зниження залишкових напружень в процесі старіння істотно залежить від вихідної їх величини і тому різний для різних ділянок виливки. Це призводить до виникнення неврівноважених згинальних моментів і викривлення виливків. Тобто причиною деформації є не сам факт зміни (зменшення) остаточних напружень в процесі старіння, а нерівномірність цього зміни [86, 87, 89]. Причому, свежеотліте блоки циліндрів в процесі старіння коробляться як при зберіганні, так і при експлуатації. Однак при експлуатації ДВЗ величина і інтенсивність викривлення значно вище, ніж при зберіганні. Це пояснюється додатковим дією динамічного навантаження, що прискорює процес стабілізації залишкових напружень [118]. В результаті викривлення порушується співвісність ЛКП і їх геометрія (овальність).

Процес зминання відбувається через що утворилися в кристалічній решітці свежеотлітого чавуну вакансій (вільних місць), за рахунок яких під дією експлуатаційних навантажень має місце переформування кристалічної решітки. При цьому відбувається зминання (пластична деформація) матеріалу ЛКП, що призводить до порушення її форми.

О.Ю. Коцюбинським [85] встановлено, що міцність свежеотлітого чавуну приблизно в 2 рази нижче регламентованої.

Таким чином, на підставі викладеного можна припустити, що низька міцність свежоотлітого чавуну обумовлює значні спотворення ліжок корінних підшипників КШМ. Причому даний фактор є внутрішнім.

### 2.1.2. Аналіз впливу низької міцності свежовідлитого чавуну на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ

Аналіз впливу низької міцності свежоотлітого чавуну проведено стосовно ліжках корінних підшипників КШМ чавунного блоку циліндрів.

Вирішальний вплив на стан ЛКП блоків циліндрів, які не пройшли процес старіння, як відомо, надають газові сили, викликаючи смятие їх матеріалу [212]. Вони безпосередньо діють на поршень, далі через шатун на шийку вала і потім через колінчастий вал на ліжку корінних підшипників. Щоб ЛКП свежоотлітих блоків циліндрів не наражалися на зім'яту, повинні виконуватися умови:

$$p_{z \text{ ср}} \leq K_3 \cdot \sigma_{см}, \quad (12)$$

$$p_{z \text{ max}} \leq K_3 \cdot \sigma_{см}, \quad (12)$$

де  $p_{z \text{ ср}}$ ,  $p_{z \text{ max}}$  - відповідно середнє і максимальне питомі тиски (напруги змінання), що діють на ЛКП, кгс / см<sup>2</sup>;

$\sigma_{см}$  - допустиме напруження на змінання свежоотлітого чавуну, кгс / см<sup>2</sup>;

$K_3$ -коефіцієнт запасу міцності,  $K_3 = 1,2 \dots 1,3$ .

Аналіз міцності ліжок корінних підшипників виробляли на прикладі двигуна А-01М. Дані для аналізу:

- номінальний діаметр поршня: ( $d_n = 13$  см);
- номінальний діаметр ЛКП:  $D_n = 11,6$  см;
- ширина ЛКП:  $l_n = 5$  см.

У дизельних двигунах (А-01М) середній питомий тиск на поршень становить:  $p'_{z \text{ ср}} = 50 \dots 70$  кгс / см<sup>2</sup>. . При цьому максимальний питомий тиск -  $p'_{z \text{ max}} = 120 \dots 140$  кгс / см<sup>2</sup>. [15]. Для розрахунку абсолютного тиску була визначена площа поршня см<sup>2</sup>:

$$F_n = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}, \quad (14)$$

де  $d_n$  - діаметр поршня, см.

$$F_n = 132,7 \text{ см}^2.$$

Абсолютний тиск на поршень розраховували за такими формулами:

$$Q_{cp} = p'_{z\ cp} \cdot F_n. \quad (15)$$

$$Q_{max} = p'_{z\ max} \cdot F_n. \quad (16)$$

де  $Q_{cp}, Q_{max}$  - відповідно середнє і максимальнє абсолютні тиску на поршень, кгс.

$$Q_{cp} = 7962 \text{ кгс};$$

$$Q_{max} = 17251 \text{ кгс}.$$

Орієнтовно можливу площа зминання  $F_{cm\ t}$ , см<sup>2</sup> визначали за формулою:

$$F_{cm\ t} = l_n \cdot D_H \quad (17)$$

Фактично смятие відбувається по поверхні, яка прагне до лінії, що збігається з котра утворює ліжок корінних підшипників КШМ Звідси фактична площа зминання ЛКП  $F_{cm\ \phi}$ , см<sup>2</sup> визначалася:

$$F_{cm\ \phi} = F_{cm\ t} \cdot K_k, \quad (18)$$

де  $K_k$  - коефіцієнт контакту.

Коефіцієнт контакту при взаємодії двох циліндричних тіл характеризується максимальним діаметром взаємодіє тіла, а також ставленням діаметрів взаємодіючих тіл.

При розгляді сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші» коефіцієнт контакту приймається:  $K_k = 0,1$ . Так як вкладиші тонкостінні, то тиск через них буде передаватися на ЛКП без особливих змін. Внаслідок цього, прийнятий коефіцієнт  $K_k$  справедливий при розрахунки на міцність ліжок корінних підшипників КШМ. Звідси:  $F_{cm\ \phi} = 5,8 \text{ см}^2$ .

У двигуні А-01М шатунная шийка колінчастого вала знаходиться між двома корінними. Внаслідок цього, при перерахунку питомої тиску чинного на поршень, в питомий тиск діє на ЛКП, необхідний питомий тиск діє на ліжку шатунного підшипника КШМ розділити навпіл, тобто:

$$p_{z\text{ ср}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{2 \cdot F_{\text{см}\phi}} \quad (19)$$

$$p_{z\text{ max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{2 \cdot F_{\text{см}\phi}} \quad (20)$$

$$p_{z\text{ max}} = 686,4 \text{ кгс} / \text{см}^2; \quad p_{z\text{ max}} = 1487,2 \text{ кгс} / \text{см}^2.$$

Більшість блоків циліндрів автотракторних двигунів, в тому числі і двигуна А-01М [109], виготовлені з сірого чавуну марки СЧ21- 40. Допустима напруга на зминання чавуну даної марки знаходиться в межах  $[\sigma_{\text{см}}] = 1200 \dots 2000$  кгс/см<sup>2</sup> [117]. У той же час відомо, що допустима напруга на зминання свіжевідлитого чавуну в два рази нижчою, ніж зазначена (Регламентованої), тобто  $\sigma_{\text{см}} = 600 \dots 1000$  кгс / см<sup>2</sup>.

При цьому умови (12) і (13) не виконуються навіть без урахування коефіцієнта запасу міцності, як за середніми, так і за максимальними розрахунковими напруженням чинним на ліжку корінного підшипника.

Таким чином, проведені розрахунки на міцність показали, що несуча здатність свіжеотлітого чавуну нижче (в 1,5 ... 1,8 рази) необхідної для сприйняття номінальних динамічних навантажень, що діють на ліжку корінних підшипників КШМ. З цього випливає, що фактор низької міцності свіжевідлитого чавуну (НПСЧ) обумовлює спотворення ліжок корінних підшипників КШМ в початковий період роботи нового ДВЗ. Причому, спотворення, що обумовлюються фактором НПСЧ, мають головну роль в порівнянні з спотвореннями, викликаними впливом інших факторів.

### **2.1.3. Аналіз впливу процесу старіння свіжевідлитого чавуну на спотворення ліжок корінних підшипників КШМ**

Процес старіння може бути природним і штучним [58].

В даний час відомі різні способи штучного старіння [14]. Їх, для підвищення міцності чавуну свежеотлітих блоків циліндрів, використовують деякі машинобудівні фірми. До прийнятним для блоків циліндрів автотракторних ДВЗ способам старіння, належать такі:

- низькотемпературний отжиг [58, 77, 150, 209, 213];
- динамічне навантаження [4, 25, 88, 161];
- термоудара (вібраційне старіння) [90, 103];
- термоциклічною старіння [23, 24, 125].

Незважаючи на досить високу ефективність, всі перераховані способи не забезпечують, на відміну від природного старіння, повного відновлення правильного будови кристалічної решітки чавуну і стабілізації залишкових напружень [85]. Тому в якості додаткового (вторинного) старіння в комплексі з зазначеними способами застосовують природне старіння. Тривалість такого старіння становить 3 ... 6 місяців.

У той же час, ЛКП автотракторних двигунів з блоками циліндрів, які пройшли штучне старіння, в період експлуатації до першого ремонту ДВЗ теж піддаються спотворень, як і ліжка ДВЗ з блоками, які не пройшли попереднього старіння, хоча і в значно меншому ступені. Це пов'язано з тим, що будь-які способи штучного старіння не забезпечують 100% -ного відновлення міцності чавуну, що і позначається початковий період експлуатації, що залишився до завершення природного старіння під навантаженням.

Отже, природне старіння під навантаженням в порівнянні з штучним є більш прийнятним для відновлення правильної будови кристалічної решітки і стабілізації залишкових напружень.

Отже, в початковий період експлуатації ДВЗ в матеріалі блоку циліндрів (чавуні) йде процес старіння. В даний період діє фактор низької міцності свежеотлітого чавуну, який обумовлює значні смяття матеріалу ліжок корінних підшипників КШМ під дією динамічних навантажень

Була побудована теоретична крива, яка відображає спотворення ЛКП в початковий період експлуатації до першого капітального ремонту. Даний період був прийнятий тому, що мікрометражні дані по спотворень ЛКП були отримані

починаючи тільки з першого капітального ремонту. При цьому період до першого капітального ремонту було розглянуто теоретично з урахуванням домінуючого впливу на спотворення ЛКП фактора НПСЧ і отриманих А.М. Музичук в процентному вираженні величин наростання міцності свіжеотлітого чавуну в різних стадіях за часом процесу старіння.

Напрацювання з мотогодин була переведена в календарний час (місяці). При цьому приймалося, що ДВЗ працював цілий рік по вісім годин на зміну за винятком вихідних днів.

Умовно прийнято, що трактори в сільському господарстві працюють в режимі постійної номінальної потужності. Внаслідок цього мотогодину приймали рівним календарній (астрономічній) годині. Звідси напрацювання ДВЗ до першого капітального ремонту  $t_{кр1}$  визначали, міс:

$$t_{кр1} = \frac{12 \cdot T_{н\ кр1}}{365 \cdot k_n \cdot k_p \cdot t_{см}}, \quad (21)$$

де  $T_{н\ кр1}$  - напрацювання ДВЗ до першого капітального ремонту, м.год.,

$T_{н\ кр1} = 7500$  м.год. (Для двигуна А-01М) [160];

$t_{см}$  Кількість змінного часу, год;  $t_{см} = 8$  год;

$k_n$  - коефіцієнт, що враховує простої в вихідні дні,  $k_n = 0,6$ ;

$k_p$  - коефіцієнт, що враховує простої на планових технічних обслуговуваннях і поточних ремонтах,  $k_p = 0,15 \dots 0,8$ .

Таким чином, напрацювання до першого капітального ремонту двигуна А-01М становить приблизно 60 місяців.

Розрахунок даних для побудови прогнозованої кривої спотворень ліжок корінних підшипників КШМ був проведений за такою формулою:

$$C_{нр\ i} = k_i \cdot k_y \cdot C_{н\ кр1}, \quad (22)$$

де  $C_{нр\ i}$  - величина спотворень ЛКП під час наростання міцності свіжеотлітого чавуну, мм;

$C_{n\text{кр}1}$  - величина спотворень ЛКП в момент першого капітального ремонту, мм;

$k_i$  - коефіцієнт, що враховує величину наростання міцності свіжеотлітого чавуну;

$k_y$  - коефіцієнт, що враховує частку спотворень ЛКП від впливу фактора НПСЧ.

Як зазначено вище, попередньо було прийнято, що максимальні спотворення ліжок корінних підшипників КШМ  $C_{n\text{max}}$  не перевищують 0,100 мм. Внаслідок цього правомірно прийнято:

$$C_{n\text{кр}1} \leq C_{n\text{max}} = 0,100\text{мм}.$$

А.М. Музичук [119] встановлено, що процес природного старіння повністю припиняється через 18 місяців після вилівки заготовки. У перші три місяці відбувається підвищення міцності чавуну на 70%, після шести місяців - на 90%, після дев'яти - на 95% і після вісімнадцяти - на 100%. На основі цих даних було оцінено значення коефіцієнта  $k_i$  (таблиця 2). Коефіцієнт  $k_y$  був прийнятий рівним 0,985. Даний коефіцієнт враховував низьку міцність свіжеотлітого чавуну і визначався відношенням різниці величин максимального спотворення ЛКП і підробітки до величини максимального спотворення ЛКП. Коефіцієнт  $k_y$  вказує на те, що вплив фактора НПСЧ в процентному вираженні приблизно становить -98,5%.

Таблиця 2 - Значення коефіцієнтів  $k_i$  при різному напрацюванні ДВЗ

Індекс $i$	$t$ , міс.	$k_i$
1	3	0,7
2	6	0,9
3	9	0,95
4	18	1

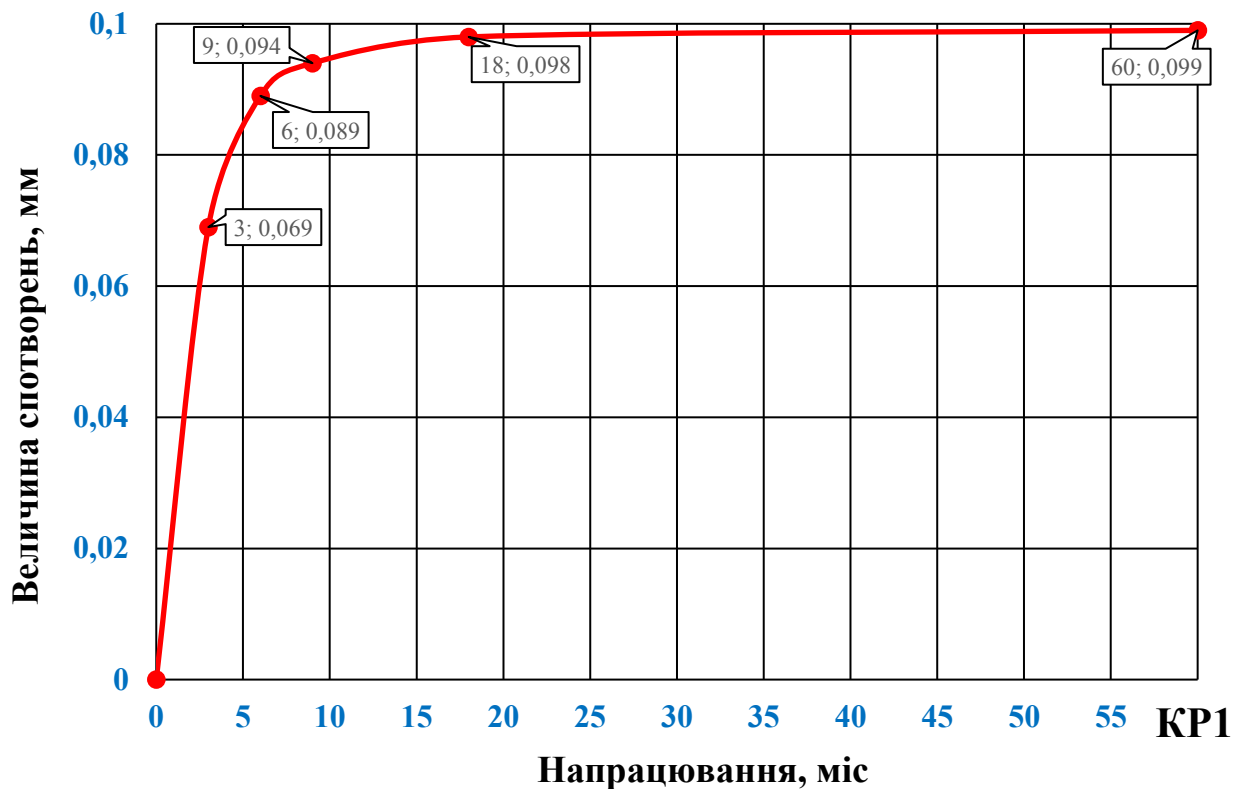
Розраховані за формулою 22 значення спотворень ЛКП, що відбуваються під час наростання міцності свіжеотлітого чавуну, представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Величина спотворень ЛКП в залежності від напрацювання ДВЗ під час наростання міцності свіжовідлітого чавуну блоку циліндрів

$t$ , міс.	0	3	6	9	18
$C_{np}$ , мм	0	0,069	0,089	0,094	0,098

Після завершення процесу старіння блоків циліндрів спотворення ЛКП не повинні наростати. Але збільшення зазору в корінному підшипнику, обумовлене зносом шийки колінчастого вала і вкладишів, призведе до зростання динамічного навантаження, що, ймовірно, буде сприяти незначному викривленню ЛКП.

Теоретична крива спотворень ЛКП зображена на Рис. 1. Її можна розбити на два основних ділянки (по осі абсцис): I - період інтенсивного збільшення міцності чавуну (до 18 місяців); II - період стабілізації спотворень ЛКП (більше 18 місяців). Перша ділянка кривої характеризується різким наростанням спотворень ЛКП зі змінною інтенсивністю, а другий - з можливим незначним наростанням спотворень ЛКП. І якщо на першій ділянці існують причини для різкого зростання спотворень ЛКП, то причин для різкої зміни конфігурації кривої на другій ділянці немає.



КР1- перший капітальний ремонт ДВЗ

Рис. 1 - Теоретична крива спотворень ліжок корінних підшипників КШМ

Слід враховувати, що отримана теоретична крива спотворень правомірна для ДВЗ, які почали експлуатуватися зі свіжовідлитого чавуну блоками циліндрів і експлуатувалися кожну восьмигодинний зміну за винятком вихідних.

Таким чином, залежність на рис. 1 наочно підтверджує проведений вище логічний аналіз спотворень ЛКП в початковий період експлуатації ДВЗ і може служити основним аргументом в питаннях обґрунтування кількості і моментів проведення ремонтних расточек ЛКП.

#### **2.1.4. Обґрунтування кількості, моментів і величини ремонтних расточек ліжок корінних підшипників КШМ**

Обґрунтування параметрів (кількості, моментів) способу ремонтних расточек необхідно проводити з урахуванням впливу фактора НПСЧ. Цей фактор припиняє свій вплив не раніше 18 місяців, тобто до першого капітального ремонту ДВЗ і далі процес спотворень ЛКП закінчується. Отже, доцільно проводити одну ремонтну розточення для усунення спотворень ЛКП,

обумовлених основним впливом фактора НПСЧ. При подальшій експлуатації ДВЗ будуть діяти інші фактори, незначно впливають на спотворення ліжок, зокрема, приробітку.

Після розточення відновлюється форма ЛКП, а розмір компенсується збільшенням сталевого шару вкладишів. При цьому зазор ставати оптимальним, внаслідок чого діють регламентовані динамічні навантаження.

При виборі найбільш доцільного моменту проведення ремонтної розточення було виділено для розгляду два варіанти:

- розточування ЛКП в момент закінчення процесу старіння, тобто через 18 місяців після початку експлуатації ДВЗ зі свежоотлітимі блоками циліндрів;
- розточування ЛКП в момент першого капітального ремонту ДВЗ.

Перший варіант не бажаний, оскільки вимагає позапланових простоїв техніки і позапланової розбирання ДВЗ, що тягне за собою значні матеріальні витрати. При другому варіанті розточування ліжок корінних підшипників поєднується з першим капітальним ремонтом. При цьому відсутні витрати на позапланову зупинку техніки і розбирання ДВЗ.

На основі викладеного для наочності обґрунтування параметрів (кількості і моментів) способу ремонтних разточок побудована теоретична крива, яка відображає динаміку спотворень ЛКП протягом терміну служби ДВЗ з урахуванням обумовленого вище ремонтного впливу (Рисунок 2).

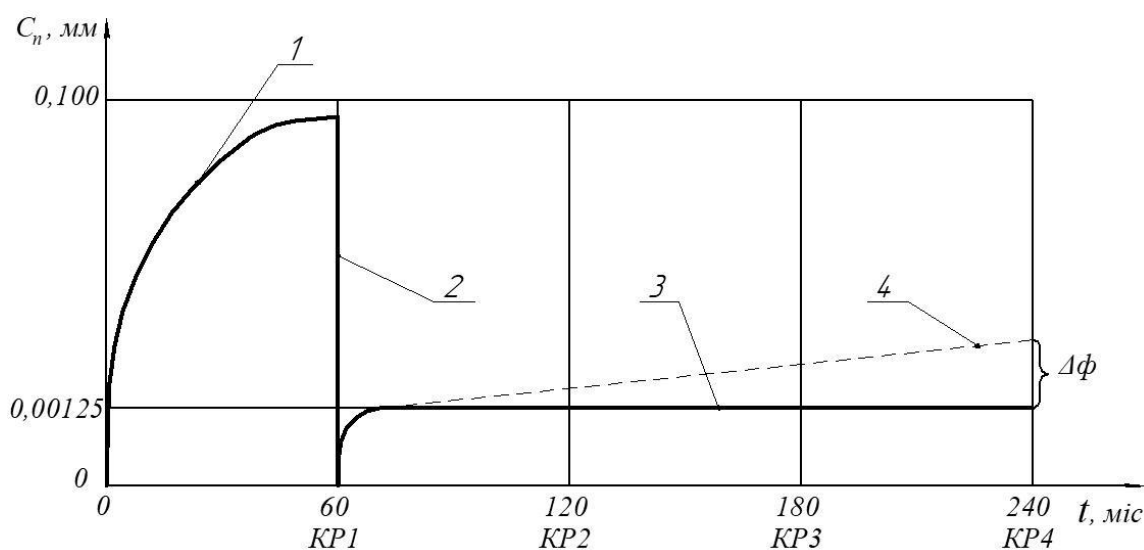


Рис. 2 - Теоретична крива спотворень ліжок корінних підшипників КШМ з урахуванням ремонтного впливу:

1 - теоретична доремонтного крива спотворень ЛКП

2 - лінія усунення спотворень ЛКП при ремонтної расточке

3 - теоретична після ремонту крива спотворень ЛКП

4 - фактична після ремонту крива спотворень ЛКП

$\Delta\phi$  - відхилення гілки фактичної кривої спотворень ЛКП від теоретичної

КР1, КР2, КР3, КР4 - номери капітальних ремонтів ДВЗ

З аналізу залежності (рисунок 2) випливає, що після однократного ремонтного впливу (розточування) спотворення ЛКП зменшуються до нульового рівня. Після цього в початковий період експлуатації ДВЗ (75 ... 90 м.ч. або 2000 ... 3000 км пробігу) спотворення різко зростають до величини, яка визначається приработкой, і в подальшому повинні зберігатися незмінними протягом усього терміну служби ДВЗ. Однак існує ймовірність виникнення незначних спотворень ЛКП (відхилень від теоретичної кривої ЛФ), що не виходять за граничні величини.

Після одноразової розточення в момент першого капітального ремонту ДВЗ ліжку придбають форму, параметри якої будуть відповідати вимогам технічної документації заводів-виготовлювачів ДВЗ. Більш того, до моменту розточення ЛКП чавун вже придбає свою регламентовану міцність. Тому для подальшої тривалої експлуатації ДВЗ необхідно і досить просто встановлювати в розточені ліжку ремонтні вкладиші зі збільшеним зовнішнім Діаметром у відповідність з величиною ремонтної розточення. Величина ремонтної розточення повинна бути мінімальною з тим, щоб не відновити процес старіння.

Блоки циліндрів виготовляють з сірих чавунів різних марок [109]. Пластична деформація в сірому чавуні, навіть дуже незначна (наприклад, при напрузі 10-30 МПа), супроводжується мікроруйнування [53]. При напрузі 100-120 Мпа ці руйнування в структурі чавуну досить помітні - початковий модуль пружності зменшується на 20-30%, з чого також випливає необхідність при ремонті ЛКП мінімальної величини розточення. Внаслідок цього величина ремонтної розточення не повинна перевищувати максимальних величин спотворень і несоосности ліжок корінних підшипників КШМ, тобто:

$$\Delta D_p = C_{n \max} + C_{c \max} + \delta_0, \quad (23)$$

де  $\Delta D_p$  - величина ремонтної розточення, мм;

$C_{n \max}$  - максимальна величина спотворень ЛКП, мм;

$C_{c \max}$  - максимальна величина несоосности ЛКП, мм;

$\delta_0$  - припуск на обробку ЛКП, мм.

Чисельне значення величини  $\Delta D_p$ , мм буде отримано на основі статистичних даних мікрометражу ЛКП (розділ 4).

Таким чином, при усуненні наслідків впливу фактора низької міцності свежеотлітого чавуну в момент першого капітального ремонту шляхом одноразової розточення ліжку корінних підшипників КШМ візьмуть форму, параметри якої будуть відповідати вимогам технічної документації заводів-виготовлювачів, а величини спотворень не виходитимуть за граничні значення впродовж усієї строку служби ДВЗ.

## **2.2. Теоретичні передумови до розробки розточувального обладнання**

### **2.2.1. Вибір і обґрунтування схеми базування розточувального обладнання в постелях корінних підшипників КШМ**

Як зазначено в розділі 1, найбільш прийнятними є малогабаритні розточувальні верстати і пристрої, що базуються безпосередньо в ЛКП розточуваного блоку циліндрів. При цьому точність розточення ліжок корінних підшипників КШМ (по співвісності і збереженню просторового розташування загальної осі ЛКП) багато в чому залежить від точності базування зазначеного обладнання.

При розгляді можливості базування розточувальних пристроїв безпосередньо в ЛКП блоку циліндрів ставилося два питання:

- як базувати пристрій в конкретній ліжку;
- за якою схемою виробляти базування в блоці.

Встановлено [180], що до 70% спотворень ЛКП доводиться на кришкових частина і до 30% - на блочну. При цьому з урахуванням попередньо прийнятої

величини максимальних спотворень ЛКП (не більше 0,100 мм) максимальне спотворення блокової частини не повинно перевищувати 0,030 мм. Тому якщо базувати розточний вал за блочною частини ЛКП, то максимальна неперпендікулярність загальної осі ліжок корінних підшипників КШМ до осі гільзи циліндрів може досягати 0,06 мм ( $\pm 0,030$  мм).

Відомо, що гранично допустима неперпендікулярність загальною осі ліжок корінних підшипників КШМ до вісі гільзи циліндрів на довжині 300 мм складає 0,035 мм. Більшість автотракторних ДВЗ мають довжину блоку 600 мм і більше, з чого випливає, що на такій довжині гранична неперпендікулярність буде 0,070 мм. Отже, зазначені вище можливі величини неперпендикулярності (0,060 мм) не виходять за граничнодопустимі значення, що підтверджує доцільність базування розточувального вала у конкретній ЛКП щодо її блокової частини.

Для відповіді на друге питання була обгрунтована найбільш прийнятна схема базування обладнання в блоці.

Відомо пристрій [29], яке базується в ліжках блоку циліндрів за допомогою підшипникових опор (по другому технічному рішенню). При цьому різучий інструмент (різець) закріплений на кінці розточувального вала консольно. Назвемо цю схему базування консольної. Принципово спрощена схема розглянутого пристрою приведена на рис 3.

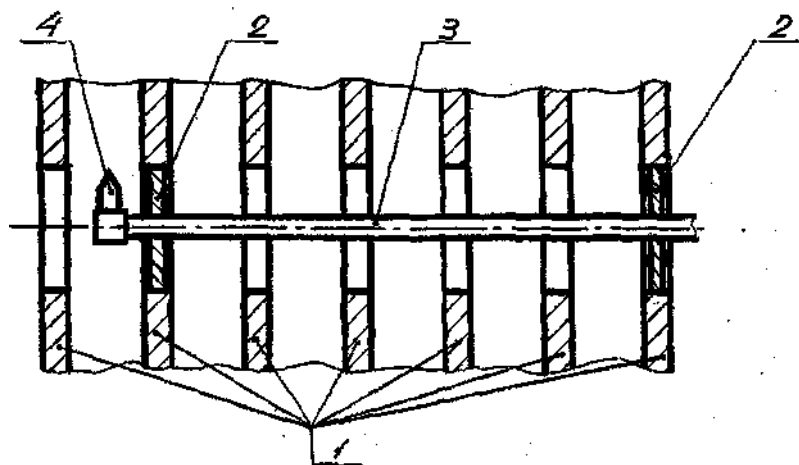


Рис. 3 - Консольна схема базування розточувального пристрої в постелях корінних підшипників КШМ:

1 ліжку корінних підшипників КШМ

- 2 підшипникові опори (базують елементи)
- 3 розточний вал
- 4 різець

При використанні даного пристрою спрощується процес базування розточувального вала щодо розточуються ЛКП в порівнянні зі спеціалізованими горизонтально-розточувальними верстатами.

Крім консольної існує схема базування розточний головки між підшипниковими опорами розточувального вала [66]. Назвемо цю схему базування межопорного. Дана схема представлена на рис 4.

Пристрій, що базується за межопорного схемою, складається з розточувального вала, що базується в ЛКП блоку циліндрів за допомогою підшипникових опор. Расточная головка при цьому знаходиться між підшипниковими опорами.

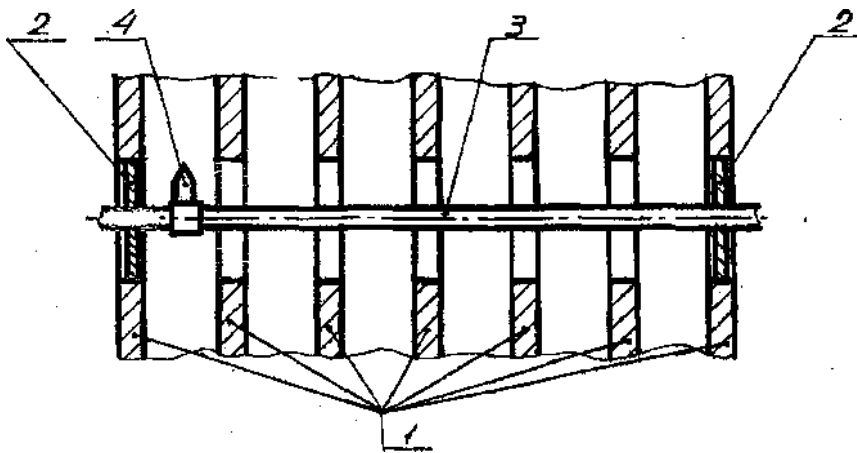


Рис. 4 - Міжопорна схема базування розточувального пристрої в постелях корінних підшипників КШМ

- 1 ліжку корінних підшипників КШМ
- 2 підшипникові опори (базують елементи)
- 3 розточний вал
- 4 різець

Наведені схеми базування були проаналізовані з позиції точності розточення ЛКП за трьома оціночними показниками:

- максимальна величина несоосности ЛКП,  $C_{n \max}$  ;
- максимальна величина зміщення осі ЛКП,  $C_{см \max}$  ;
- максимальна величина розвороту осі ЛКП,  $C_{p \max}$  .

Оціночні показники оцінювалися з урахуванням послідовності розточення при різних схемах базування. При цьому для консольної схеми базування були розглянуті два варіанти послідовності розточення ЛКП (рисунки 5а і 5б), а для межопорного - один (рис. 6).

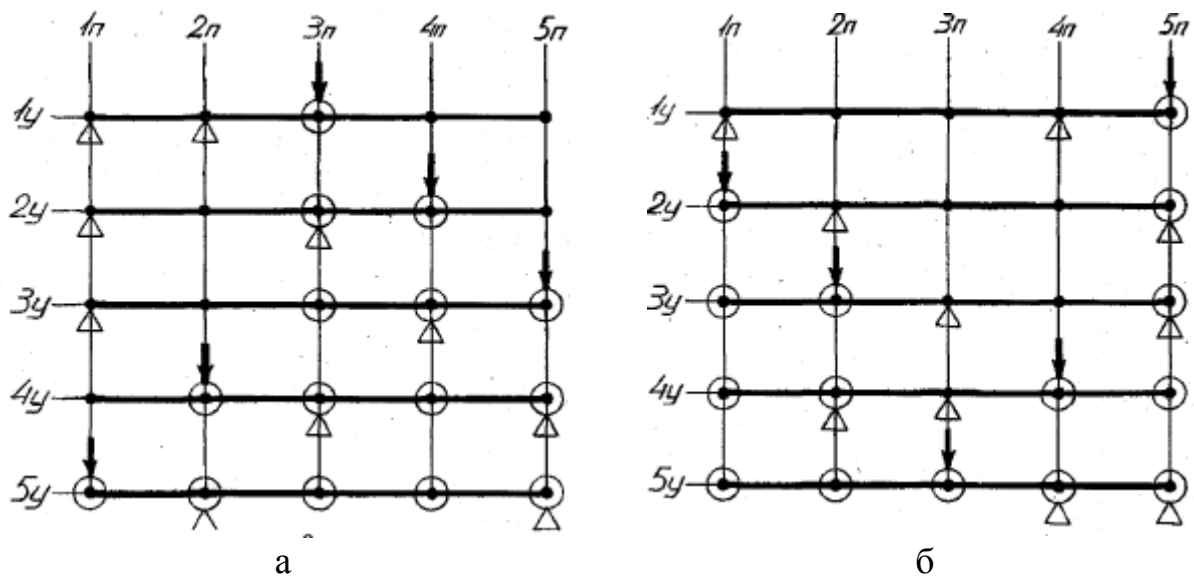


Рис. 5 - Схема послідовності розточення ліжок корінних підшипників при консольній схемою базування розточувального обладнання

1п ... 5п - номери ЛКП

1у ... 5у- номери установок

• - не розточені ЛКП

⊙ - розточені ЛКП

⊙↓ - розточуються на даній установці ЛКП

⊙△△ - ЛКП за якими базується розточний вал

В.П. Усков встановлено [180, 181], що крайні постіль корінних підшипників блоку циліндрів незначно зміщені щодо своєї номінальної

просторової геометрії. Тому при розрахунку точності базування за базові поверхні приймалися крайні, ліжку корінних підшипників блоку циліндрів.

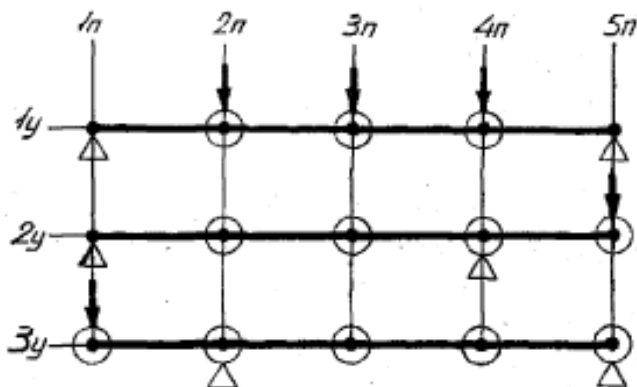


Рис. 6 - Схема послідовності розточення ліжок корінних підшипників при межопорного схемою базування розточувального обладнання

1п ... 5п - номери ЛКП

1у ... 5у- номери установок

• - не розточені ЛКП

⊙ - розточені ЛКП

⊙↓ - розточуються на даній установці ЛКП

⊙△△ - ЛКП за якими базується розточний вал

Аналіз наведених схем базування розточувального пристрою в ЛКП блоку циліндрів показав перевагу межопорного схеми при послідовності розточення за схемою представленої на Рис 6. В цьому випадку не повинно відбуватися порушень співвісності, зсувів осі ліжок, а також розвороту даної осі щодо номінального положення. Однак з урахуванням величин спотворень блокової частини ЛКП можлива поява зазначених порушень на величину не більше 0,030, що не перевищує граничні величини.

Таким чином, на основі аналізу схем базування по точності параметрів розточення ЛКП неможливе застосування консольної схеми (похибка досягає 0,400 мм). У зв'язку з цим найбільш доцільно використання межопорного схеми базування розточувального обладнання по блокової частини ліжок корінних підшипників КШМ (похибка не перевищує 0,030).

### 2.2.2. Обґрунтування конструкції розточувального обладнання

Конструкція розточувального обладнання обґрунтовувалася з урахуванням специфіки межопорного схеми базування, необхідної точності розточення і мінімальної матеріаломісткості обладнання.

Межопорного схема базування має свої особливості. Зокрема, розточний вал при установці проходить через все ЛКП. Внаслідок цього неможливо здійснювати контроль розміру розточуються ліжок стандартними вимірювальними інструментами (нутромірами) без демонтажу розточувального обладнання з розточуваного блоку циліндрів. В результаті необхідно вбудовувати в розточний вал вимірювальні пристрої на кшталт нутромірів.

Крім того, для забезпечення точності по відхиленню від необхідного діаметра ЛКП (Розділ 1, таблиця 1) необхідно вбудовувати в вал розточувальні головки, що включають механізм подачі різця. Причому, для зниження матеріаломісткості обладнання за рахунок зменшення довжини розточувального вала необхідно вбудовувати як мінімум дві розточувальних головки, а отже і два вимірювальних пристрої.

Необхідну шорсткість поверхні ЛКП можна забезпечити за рахунок застосування подає редуктора. Основне призначення даного редуктора - стабільне поздовжнє переміщення розточувального вала з необхідною подачею. Для забезпечення стабільності обертання розточувального вала і, як наслідок, зниження шорсткості поверхні потрібно застосування маховика.

З урахуванням вище викладеного сформований загальний вигляд пропонованого розточувального обладнання, який зображений на Рис 8.

Дане обладнання складається з розточувального вала 1 з вбудованими вимірювальними пристроями 2 для контролю розміру розточуються ліжок і розточувальними головками 3.

На розточний вал 1 встановлюються базують елементи: фланці 4 і 5 з внутрішніми антифрикційними втулками 6 і 7 відповідно, які базуються в постелях корінних підшипників 8 через прокладки у вигляді вкладишів 9 і 10, що встановлюються в кришкових і блочну частину ЛКП. Базування можна легко виробляти по втулкам з антифрикційного матеріалу. При цьому з урахуванням



Хвостовик розточувального вала 18 використовується для повернення вала 1 в початкове положення.

При расточке ЛКП індикатори годинникового типу 19 і вимірювальні штоки 20 зняті, ріжучі інструменти (різці) 21 подані (висунуті) на необхідну величину.

Таким чином, пропоноване розточувальне обладнання складається з наступних основних частин: розточувального вала з вбудованими вимірювальними пристроями і розточувальними головками, що подає редуктора. Расточной вал базується безпосередньо в ЛКП розточуваного блоку циліндрів. Подає редуктор закріплений на фланці, що встановлюється в одну з крайніх ліжок корінних підшипників КШМ. Призначенням даного обладнання є розточування ліжок корінних підшипників КШМ і контроль їх розмірів в процесі розточування.

У той же час існує необхідність в теоретичному обґрунтуванні конструкції і точності вимірювального пристрою, довжини і діаметру розточувального вала, роздільної здатності вильоту ріжучого інструменту, поздовжньої подачі розточувального вала. Крім того, слід вибрати найбільш раціональний привід для розточувального обладнання.

Для обґрунтування діаметра розточувального вала необхідно попередньо визначити найбільш ефективну геометрію ріжучого інструменту й на основі цього обґрунтувати силу різання.

### **2.2.3. Обґрунтування конструкції і точності вимірювального пристрою**

Застосування вбудованих вимірювальних пристроїв обумовлюється необхідністю контролю розточуються ліжок корінних підшипників КШМ без демонтажу розточувального обладнання з блоку циліндрів ДВЗ.

Обґрунтування вимірювального пристрою було проведено на основі його конструктивних особливостей і необхідної точності контролю розміру ЛКП.

Розмірна схема розташування елементів розточувального обладнання представлена на рис. 9.

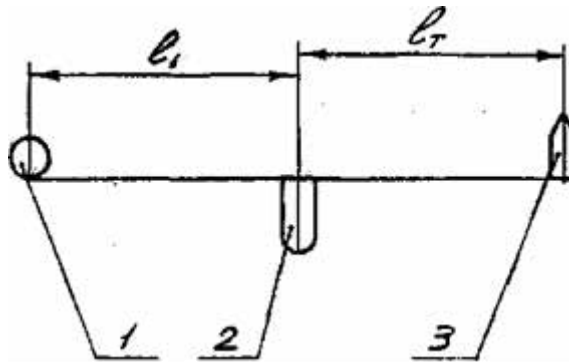


Рис. 9 - Схема розташування елементів розточувального обладнання:

1 індикатор

2 вимірювальний шток

3 різець

$l_i$  - відстань між осями індикатора і вимірювального штока

$l_m$  - відстань між осями вимірювального штока і різця

На основі зазначеної схеми обґрунтовані відстані: «вимірювальний шток - вісь індикатора» і «вимірювальний шток - різець».

Відстань між штоком і віссю індикатора обґрунтовано з урахуванням розмірів індикатора  $D_{in}$ ,  $b_{in}$  і ширини ЛКП.

Існує можливість установки індикатора, як уздовж (рисунок 10), так і поперек розточувального вала (рисунок 11).

При установці індикатора уздовж розточувального вала відстань між віссю індикатора і вимірювальним штоком  $l_{il}$  визначається, мм:

$$l_{il} = \frac{D_{in}}{2} + l_n, \quad (24)$$

де  $D_{in}$  - діаметр індикатора, мм;

$l_n$  - ширина ЛКП, мм.

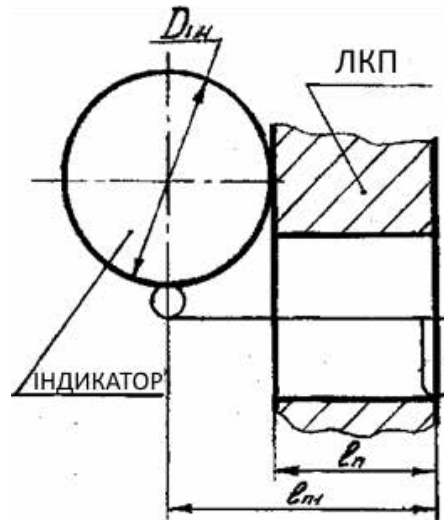


Рис 10 - Схема установки індикатора уздовж розточувального вала

При установці індикатора поперек розточувального вала відстань між віссю індикатора і вимірювальним штоком  $l_{u2}$  визначається, мм:

$$l_{u2} = \frac{b_{ин}}{2} + l_n \quad (25)$$

де  $b_{ин}$  - ширина індикатора, мм. .

Установка індикатора уздовж розточувального вала є найбільш прийнятною з позиції зручності зняття відліку вимірювань. У той же час, при зазначеному положенні індикатора збільшується розмір  $l_u$ .

### 2.3. Висновки і завдання експериментальних досліджень

1. Аналіз факторів, що обумовлюють спотворення ліжок корінних підшипників КШМ, виявив домінуючий вплив фактора низької міцності свежоотлітого чавуну. Дія цього фактора найбільш сильно визначає спотворення ЛКП в період старіння, тобто до першого капітального ремонту ДВЗ. Реально припустити, що при усуненні наслідків впливів даного чинника в момент першого капітального ремонту спотворення ЛКП не виходитиме за допустимі межі протягом усього строку служби ДВЗ.

2. Найбільш раціональним є базування розточувального пристрою за блочною частини ліжок корінних підшипників КШМ. При цьому висока точність розточення ЛКП забезпечується при межопорного схемою базування розточувального вала, при застосуванні різців з необхідними геометриєю

різальної крайки і твердими сплавами (ВК-3, ВК-4, ВК-8), механізму диференціальної подачі різця і вимірювального пристрою. Межопорного схема базування в ліжках блоку циліндрів дає похибку по зсуву осей ЛКП не більше 0,030 мм, що значно нижче (в 13 разів і більше) похибки консольної схеми базування.

Розгляд теоретичних передумов дозволило сформулювати наступні завдання експериментальних досліджень.

1. Провести статистичний аналіз спотворень ліжок корінних підшипників КШМ з метою:

- порівняння характеру і величини спотворень ЛКП двигунів з різною початковою міцністю матеріалу блоків циліндрів для підтвердження основного впливу на спотворення ЛКП фактора НПСЧ;

- обґрунтування необхідної і достатньої величини ремонтної розточення ліжок корінних підшипників КШМ.

2. Встановити зміна інтенсивності спотворень ліжок корінних підшипників КШМ в залежності від властивостей матеріалу блоків циліндрів в часі для підтвердження доцільності одноразової ремонтної розточення в момент першого капітального ремонту ДВЗ.

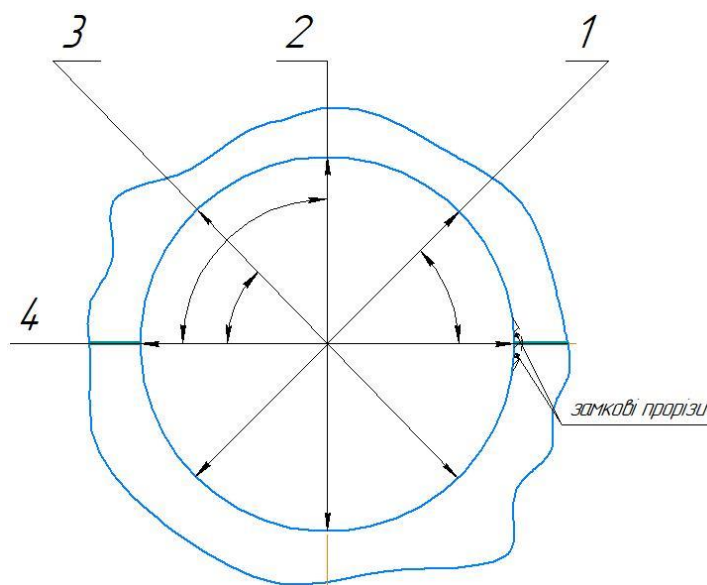
3. Провести випробування розточувального обладнання, розробленого на основі оптимізації основних параметрів.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Методика визначення форми і величини спотворень ліжок корінних підшипників КШМ

Питання надійності відновлених деталей і вибір оптимального способу багато в чому залежать від величини зносу (спотворень). Для прийняття правильних рішень з цих конкретних питань проводилися дослідження по мікрометруванню спотворених ліжок корінних підшипників КШМ.

Сьогодні існує кілька різних методик мікрометражу ЛКП. Мікрометраж роблять за схемою, зазначеної на Рис. 11, тобто здійснюють чотири виміри в різних напрямках: два відступивши на  $45^\circ$  від площини роз'єму, одне - на  $90^\circ$  від площини роз'єму (вертикально) і одне безпосередньо в площині роз'єму або в площині, близькій до площини роз'єму.

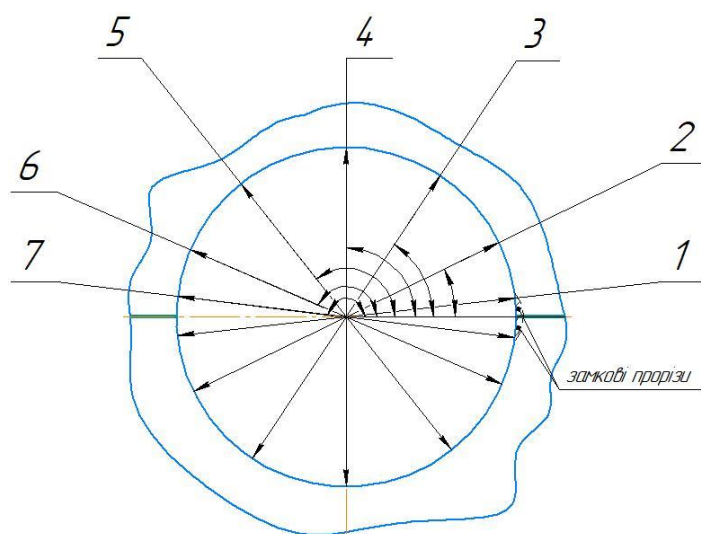


1...4 - позиції вимірювань

Рис. 11 - Схема мікрометражу ЛКП

У той же час даний метод мікрометражу недостатньо об'єктивно оцінює спотворення ліжок корінних підшипників КШМ, оскільки не враховує їх специфіки і не дає повної інформації про форму і величиною спотворень.

У зв'язку з цим нами пропонується вдосконалена методика мікрометражу ЛКП, яка проводиться відповідно до схеми представленої на рис. 12. Вона включає в себе вимірювання по семи напрямках.



1...7 - позиції вимірювань

Рис. 12 - Схема мікрометражу ЛКП (пропонована)

П'ять вимірів виробляються в п'яти діаметральні площинах по колу через  $30^\circ$  від площини роз'єму (2...6 виміру). Крок  $30^\circ$  є оптимальним, так як обумовлений специфікою спотворень ліжок і дозволяє більш повно виявити відхилення їх форми і величини від номінальної. Ще два вимірювання проводять в двох діаметральні площинах:  $3^\circ$  і  $177^\circ$  від площини роз'єму (1 і 7 виміру). При цьому вимірювання 2 ... 6 дозволяють в цілому уявити вид спотворень ліжок корінних підшипників, а вимірювання 1 і 7 дозволяють проаналізувати їх спотворення в області роз'єму і визначити величину зсуву кришки корінного підшипника щодо блокової частини ліжок.

При мікрометрії вимірювання проводяться від площини роз'єму, причому, якщо замковий прорізи перебуває справа, то мікрометраж необхідно проводити проти годинникової стрілки через такі інтервали від площини стику: вимір 1- $3^\circ$ ; вимірювання 2 -  $30^\circ$ ; вимір 3 -  $60^\circ$ ; вимір 4 -  $90^\circ$ ; вимір 5 -  $120^\circ$ ; вимір 6 -  $150^\circ$ ; вимір 7 -  $177^\circ$ . У тому випадку, якщо замковий прорізи зліва, то мікрометраж проводиться за годинниковою стрілкою через зазначені інтервали.

Мікрометрії проводили відповідно до вимог, наведених в ГОСТ 868-72. Основні обмірні інструменти - нутроміри індикаторні НИ - 50-100 і НИ - 100-150 з ціною поділки 0,010 мм. Також при мікрометрії застосовувалися

прилади та інструменти зазначені в додатку А. Розрахунок числа спостережень і помилок згідно ГОСТ 16468-70.

Для виключення похибки мікрометрірованіє проводили після того, як з поверхні були видалені пил, бруд, іржа і масляні відкладення без порушення вимірюваної поверхні. Для цього поверхні ЛКП промивали очищеним бензином, а потім протирали ганчіркою. Залишкова забрудненість поверхні не перевищувала  $0,5 \text{ мг/см}^2$  відповідно до ГОСТ 19206-72.

Сумарна похибка вимірювань  $\Delta_{\text{сум}}$  мм визначалася:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{у}} + \Delta_{\text{т}}, \quad (26)$$

де  $\Delta_{\text{м}}$  - методична похибка, мм;

$\Delta_{\text{т}}$  - технічна похибка нутромера, мм;

$\Delta_{\text{у}}$  - похибка установки нуля нутромера, мм.

Внаслідок того, що методика мікрометражних вимірювань є проробленою, методична похибка прямує до нуля.

Стандартна методика настройки нутромера передбачає використання шліфованого кільця з розміром рівним номінальному діаметру ЛКП. При цьому похибка установки нуля нутромера  $\Delta_{\text{у}}$ , мм наближалася до нуля.

Для зниження похибки до мінімуму вимірювання проводилися одними і тими ж нутромірами марок НІ - 50-100, НІ - 100-160. По кожному із зазначених нутромірів була знята характеристика (рис. 13 і 14). Дані характеристики показують, яка величина відхилень на індикаторі нутромера  $\Delta$ , мм від заданого нуля (заданий нуль встановлюється на індикаторній голівці нутромера при нульовому ході вимірювального штока) в залежності від ходу вимірювального штока  $h_{\text{ш}}$ , мм. При цьому технічна похибка нутромера  $\Delta_{\text{т}}$ , мм визначається, як різниця максимальної  $\Delta_{\text{max}}$ , мм і мінімальної  $\Delta_{\text{min}}$ , мм величини відхилень. Внаслідок цього, чим стабільніша і пологіша характеристика нутромера, тим нижче його похибка. Застосовується до використовуючих при дослідженнях нутроміри оптимальний діапазон ходу вимірювального штока, з похибкою прагне до нуля,  $h_{\text{ш опт}}$ , мм складає 1,25 ... 1,75 мм. Однак, ціна ділення шкали індикатора нутромера 0,010 мм. Отже правомірно прийняти технічну похибка нутромера 0,005 мм.

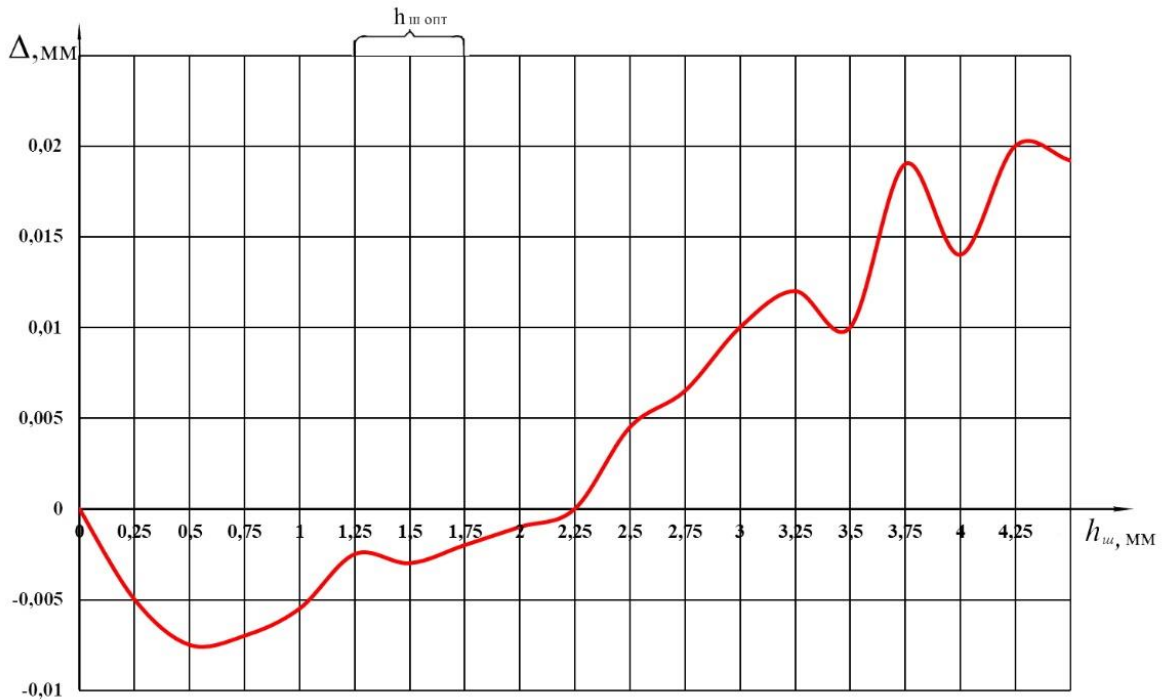


Рис. 13-Характеристика нутромера НІ-50-100

$\Delta$  - величина відхилення вимірювань;

$h_{ш}$  - хід вимірювального штока нутромера.

$h_{ш\ опт}$  - оптимальний діапазон ходу вимірювального штока з найменшою похибкою

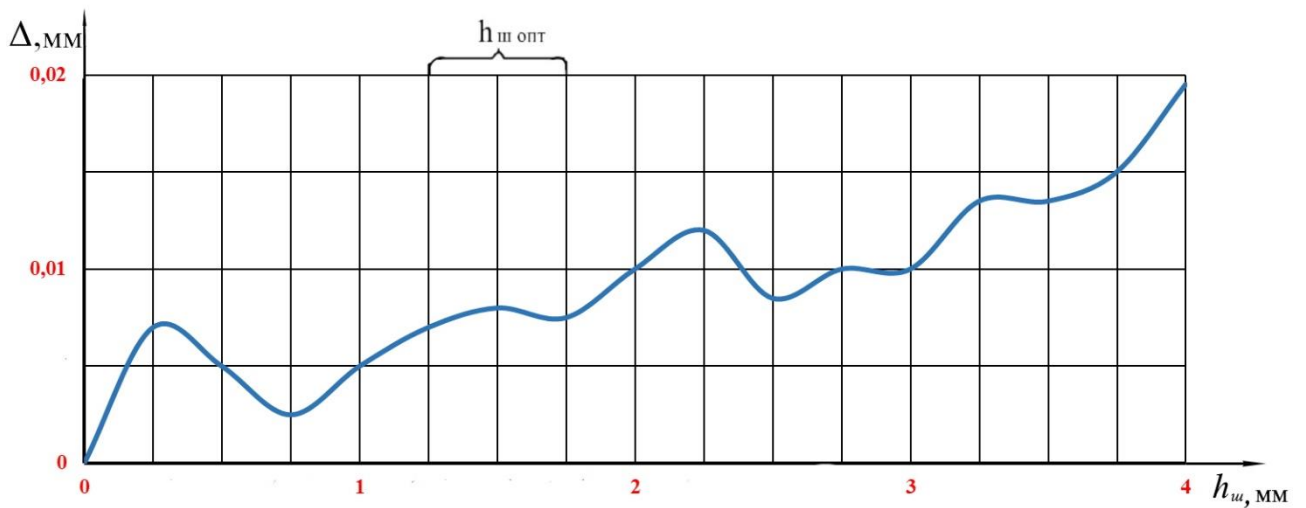


Рис. 14 - Характеристика нутромера НІ - 100-160

$\Delta$  - величина відхилення вимірювань;

$h_{ш}$  - хід вимірювального штока нутромера.

$h_{ш\ опт}$  - оптимальний діапазон ходу вимірювального штока з найменшою похибкою

З урахуванням викладеного сумарна похибка вимірювань не перевищує  $\pm 0,003 \dots 0,005$  мм.

Незважаючи на отриману похибка з метою підвищення точності вимірювань величина відхилень фіксувалася з точністю до 0,001 мм. Однак при дослідженнях враховувалися спотворення ЛКП округлені до 0,005 мм.

Налаштування нутромера перед мікрометріюванням здійснювали наступним чином:

- нутромер встановлювали за допомогою штангенциркуля за розміром на 1,5 мм (з характеристик нутромера) більше номінального діаметра ЛКП;
- на мікрометрі виставляли номінальний діаметр ЛКП, взятий з технічної характеристики ДВЗ;
- опорні поверхні нутромера поміщали між опорними поверхнями мікрометра і встановлювали на шкалі нутромера нуль.

Слід враховувати, що при виготовленні блоків циліндрів ДВЗ практично неможливо забезпечити чистову розточення ліжок корінних підшипників КШМ в нульовий допуск. У зв'язку з цим дані поля допуску на виготовлення ЛКП, які для кожної марки двигуна мають свої значення, обумовлені технологічною можливістю. Дані значення полів допусків варіюють, незалежно від розмірів ліжок, в межах від 0,013 мм до 0,025 мм. Поля допусків порівнянні з величинами викривлення ліжок. Отже, їх необхідно враховувати при мікрометраж ліжок корінних підшипників, тобто прив'язуватися при вимірах до одного обґрунтованого розміру ліжок.

Для визначення розміру ліжок, який доцільно прийняти за нульове значення, необхідно знати розподіл розкиду діаметрів ліжок. Зробити це можна з урахуванням специфіки системи «вал - отвір», в якій для досягнення мінімального зазору (що бажано за технічними вимогами для сполучення «шийка колінчастого вала - вкладиші») необхідно прагнути обробляти вал на максимально допустиму величину, а отвір, навпаки, - на мінімально допустиму. Крім того, вкладиші встановлюються в ліжку з натягом, величина якого залежить

від діаметра ліжок, варіюючи в межах 0,03 ... 0,12 мм. Значить, для досягнення необхідного натягу вкладишів діаметр ліжок в межах поля допуску

повинен прагне до мінімального значення. З урахуванням вище сказаного, кількість ЛКП, начисто марнування під мінімальний розмір межах поля допуску), буде прагнути до максимуму (до нескінченності). Отже, розкид розглянутих значень будуть підкорятися закону експоненціального розподілу, вид функції якого (рисунок 15) гіпербола в першій чверті координатних осей, що впирається одним кінцем гілки в вісь ординат і має в даній точці максимум.

Внаслідок цього, перед початком вимірювань нутромер налаштувався щодо мінімального розміру ЛКП в межах поля допуску.

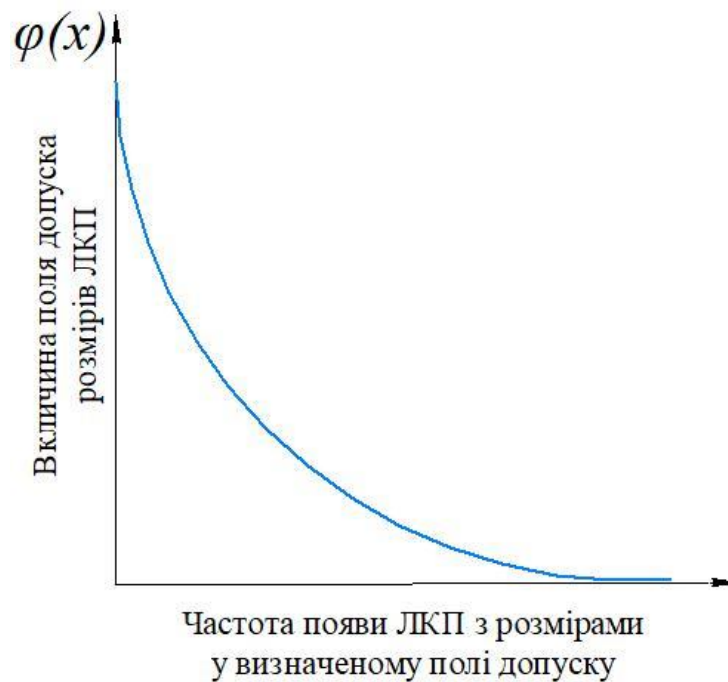


Рис. 15 - Вид функції експоненціального розподілу

Спотворення ЛКП часто носять випадковий характер, але, проводячи вимірювання великої їх кількості, можна зробити висновок, що він підпорядковується певним стійким закономірностям. Встановити закономірності з- носів деталей, що були в експлуатації, дозволяє обробка результатів їх мікрометрірованія статистичними методами [168]. У зв'язку з цим ми застосували статистичний метод обробки експериментальних даних для виявлення закономірностей спотворень ліжок корінних підшипників КШМ [18, 64]. Експериментальні дані були математично оброблені з використанням положень теорії ймовірностей і математичної статистики [3, 22, 37, 114].

Статистичні розрахунки проводили за допомогою пакета, аналізу даних електронних таблиць Microsoft Excel, вирівнювання експериментальних даних нормальним законом розподілу з використанням програми STATISTICA, обробку даних методом дисперсійного аналізу здійснювали за допомогою пакета прикладних програм SNEDECOR [17, 33, 49, 164].

### **3.2. Методика вивчення інтенсивності спотворень ліжок корінних підшипників КШМ в часі**

Для аналізу процесу спотворень ліжок корінних підшипників КШМ з метою подальшого обґрунтування параметрів способу ремонту необхідно встановити інтенсивність спотворень ЛКП в різних періодах експлуатації ДВЗ.

Характерною особливістю роботи більшості ДВЗ є те, що період від моменту введення в експлуатацію до першого капітального ремонту найбільш тривалий. Якщо прийняти його за 100%, всі інші міжремонтні періоди будуть все коротшими і коротшими, доходючи до 30 ... 40% від першого [91]. З'ясувати, які чинники негативно впливають на стан ЛКП в різних міжремонтних періодах і яка їхня значимість, найкраще шляхом аналізу кривих спотворень (зносу) ліжок корінних підшипників КШМ, що охоплюють, як мінімум, два міжремонтних періоду.

#### **3.2.1. Вибір і обґрунтування параметра, еквівалентного напрацювання ДВЗ**

Для визначення закономірностей спотворень ЛКП і виявлення чинників, їх обумовлюють, необхідно побудувати криві зносу (спотворень). Побудова кривих спотворень, як відомо, має здійснюватися в першій чверті координатних осей, при цьому по осі абсцис відкладаються величини напрацювання (наприклад, для ДВЗ - кілометри пробігу, мотогодини), а по осі ординат величини спотворень (зносу).

Спотворення (знос) об'єктів при будь-якому напрацюванні може бути зафіксований з високою точністю. У той же час напрацювання не завжди

можливо об'єктивно зафіксувати. Отже, на точність побудови кривої спотворень, головним чином, впливає точність визначення напрацювання.

Класичне поняття напрацювання - це тривалість роботи об'єкта. Сьогодні існують стандартні методики визначення вихідних даних для побудови кривих зносу і, зокрема, визначення напрацювання об'єкта. До них відносяться: лабораторні та експлуатаційні випробування. Вони передбачають проведення досліджень на аргументированном кількості об'єктів з отриманням необхідних вихідних даних з обгрунтованою періодичністю. При цьому напрацювання фіксується в мотогодинах, кілометрах пробігу або астрономічному годиннику. У той же час як лабораторні, так і експлуатаційні випробування мають деякі особливості.

При лабораторних випробуваннях забезпечуються необхідні умови роботи об'єкта (наприклад, для ДВЗ: чисте масло і паливо, номінальні режими роботи і т.д.). У зв'язку з цим напрацювання при лабораторних випробуваннях визначається з високою точністю для конкретного об'єкта або групи об'єктів одного типу. Але з урахуванням вище сказаного (забезпечення необхідних умов) лабораторні випробування не можна вважати адекватними експлуатаційним, умови при яких реальні. Отже, лабораторні випробування мають занижену достовірність.

Експлуатаційні випробування включають роботу об'єкта при різних умовах, наприклад, для ДВЗ: різні режими (холостий хід або повна (часткова) навантаження), сезонність (зимові або літні умови), неоднакові режими руху агрегату, на якому встановлений ДВЗ (з пробуксовкою або без пробуксовки ) і т.д. Зазначені умови важко об'єктивно оцінити. Крім того, при експлуатаційних випробуваннях домінуюче значення надає людський фактор, який неможливо врахувати. У зв'язку з цим, отримана, експлуатаційними випробуваннями крива зносу (спотворень) в якійсь мірі буде відображати закономірності зносу лише для одного конкретного об'єкта. Для аргументованої ж групи об'єктів отримана усереднена крива буде мати низьку достовірність.

Більш того, описані стандартні методики випробувань мають велику тривалість процесу, а також високу трудомісткість і вартість.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Стандартні криві зносу, побудовані з урахуванням вихідних даних, зокрема напрацювання, отриманих за допомогою лабораторних або експлуатаційних випробувань, мають занижену достовірність.

2. Неприпустимо усереднювати криві зносу (спотворення) навіть по одному типу об'єктів, внаслідок, різниці моментів введення об'єктів в роботу, присутності реальних умов роботи і дії людського фактора (при експлуатаційних випробуваннях).

3. Отримання кривих зносу за стандартними методиками пов'язано з великою тривалістю, трудомісткістю і вартістю.

З вищесказаного випливає, що знайти жорстку зв'язку технічного стану ліжок корінних підшипників КШМ з напрацюванням ДВЗ за стандартними методиками практично неможливо.

Для забезпечення отримання величин напрацювання ДВЗ з виконанням необхідних умов як параметр, еквівалентного напрацювання, був прийнятий момент зупинки двигуна на капітальний ремонт. При цьому точка на осі абсцис, тобто величина еквівалентна напрацювання, відповідна номеру капітального ремонту, визначалася величиною зносу шийок колінчастого вала. В цьому випадку абсолютна величина напрацювання значення не має. На осі абсцис відкладаються тільки міжремонтні періоди в довільному, але однаковому для всіх масштабі. Вихідні ж дані для отримання кривої спотворень ЛКП були отримані з різних двигунів одного типу.

Можливість використання такого параметра як еквівалент напрацювання ДВЗ підтверджується наступним. Середньостатистична напрацювання, що виражається через знос деталей, наприклад, колінчастого вала, для різних двигунів одного типу в моменти капітальних однойменних ремонтів, приблизно однакова. Це пов'язано з тим, що ДВЗ зупиняються на капітальні ремонти найчастіше не в моменти досягнення ними напрацювання (в кілометрах пробігу або в мотогодинах), регламентованої системою ТО і ремонту, а в моменти відповідного технічного стану, при якому знос деталей досягли граничних величин. Про їх настанні свідчать підвищення димності, збільшення витрати

масла і палива, падіння тиску в системі змащення і т.д. У той же час двигуни одного типу розраховані на одні й ті ж навантаження, а, отже, і на одні й ті ж граничні зазори. Отже, за величиною зносу колінчастого вала можна визначити номер минулого міжремонтного періоду і на основі цього прив'язатися до конкретного капітального ремонту ДВЗ.

Однак міжремонтні періоди, у міру експлуатації, не будуть рівні між собою.

Причиною зниження міжремонтних ресурсів КШМ ДВЗ є спотворення ЛКП, що проявляється в збільшенні зазору між шийкою колінчастого вала і вкладишами. Так, наприклад, вже перед першим капітальним ремонтом спотворення ліжок у двигуна «ВАЗ» можуть досягти 0,03 ... 0,04 мм, а при технологічному зазорі 0,05 мм сумарний зазор в корінних підшипниках КШМ буде 0,08 ... 0,09 мм. У той же час граничнодопустимих зазор для даного сполучення двигуна «ВАЗ» становить 0,15мм. Отже, ресурс двигуна, при зазначеному спотворенні ліжок скорочується більш ніж на 30%. У міру подальшої експлуатації спотворення будуть збільшуватися і настане момент, коли після капітального ремонту ДВЗ зазори в корінних підшипниках КШМ спочатку будуть такими, що ресурс ДВЗ скоротиться на 60 ... 70%, що і отмечає М.С. Криворучко [91].

Таким чином, з урахуванням скорочення міжремонтних ресурсів за рахунок збільшення спотворень ЛКП слід проводити коректування напрацювання.

### **3.3. Методика дослідних випробувань розробленого розточувального обладнання**

Метою дослідних випробувань було визначення ефективності роботи обладнання і технології для розточки ліжок корінних підшипників КШМ ДВЗ.

В ході випробувань перевіряли:

- похибка вбудованого вимірювального пристрою;
- похибка механізму диференціальної подачі різця;

- загальну похибка розточення ЛКП (овальність, конусність, несоосность, шорсткість поверхні);

- трудомісткість (продуктивність) розточення ЛКП.

Як об'єкти дослідних випробувань використовувалися два блоку циліндрів наступних двигунів:

- автомобіля КамАЗ;

- А-41.

Випробування проводили в два етапи. На першому етапі визначали похибка вбудованого вимірювального пристрою і механізму диференціальної подачі різця. На другому етапі визначали загальну похибка і трудомісткість розточення ЛКП.

### Етап 1.

Визначення похибки вбудованого вимірювального пристрою здійснювали на блоці циліндрів двигуна автомобіля КамАЗ в наступній послідовності:

1. На блок циліндрів була встановлена кришка корінного підшипника від іншого блоку. Причому вісь ЛКП даної кришки наближена до голівки циліндрів, внаслідок чого розмір постілі кришкових частини менше розміру блокової частини (рисунок 16).

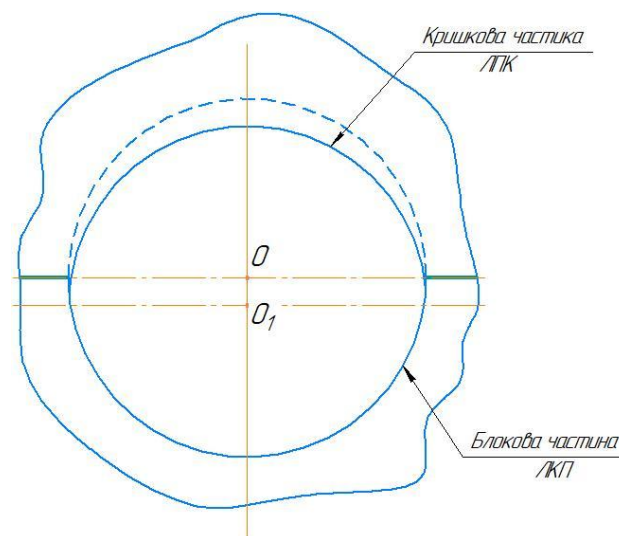


Рис. 16. - Установка на блок циліндрів кришки корінного підшипника зі зрушеною віссю (центром):

$O$  - вісь (центр) блокової частини ЛКП;

$O_1$  - вісь (центр) кришкових частини ЛКП.

2. За допомогою мікрометра (рисунок 17) вимірювальний пристрій виставлялося на розмір номінального діаметра вимірюваної ЛКП  $D_n$ , мм взятого з технічної характеристики ДВЗ.

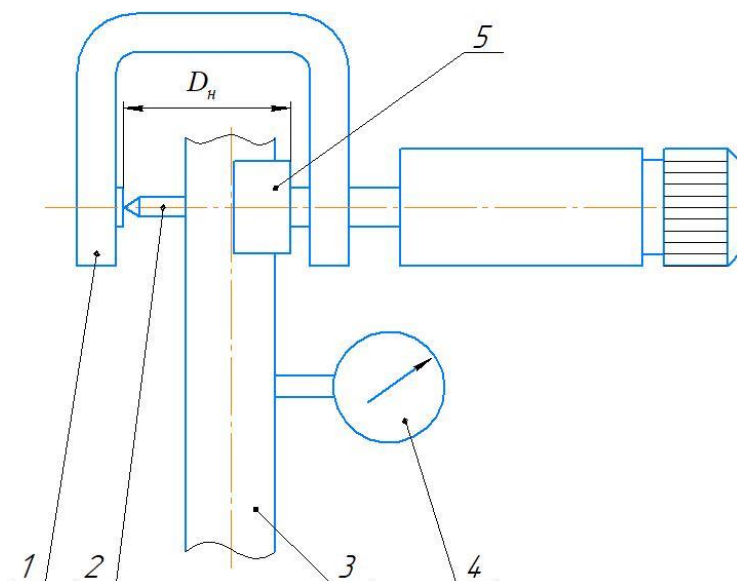


Рис. 17 - Схема налаштування вимірювального пристрою

- 1 – мікрометр;
- 2 - вимірювальний шток;
- 3 - розточний вал;
- 4 - індикатор годинникового типу;
- 5 - шліфоване півкільце.

Причому на мікрометрі встановлювалася величина  $D_{n1}$ , мм, розраховується за формулою:

$$D_{n1} = D_n + \frac{D_{pv}}{2} + t_{шк}, \quad (27)$$

де  $D_{pv}$  - діаметр розточувального вала, мм;

$t_{шк}$  - товщина шліфованого півкільця, мм.

- 3. Індикатор годинникового типу встановлювався в нуль.
- 4. Шляхом обертання розточувального вала через інтервали, наведені на рис. 18, були зафіксовані величини відхилень від номінального діаметра, причому, окремо по кришкових  $\Delta_k$ , мм і блокової  $\Delta_b$ , мм частинам ЛКП. Виділяли



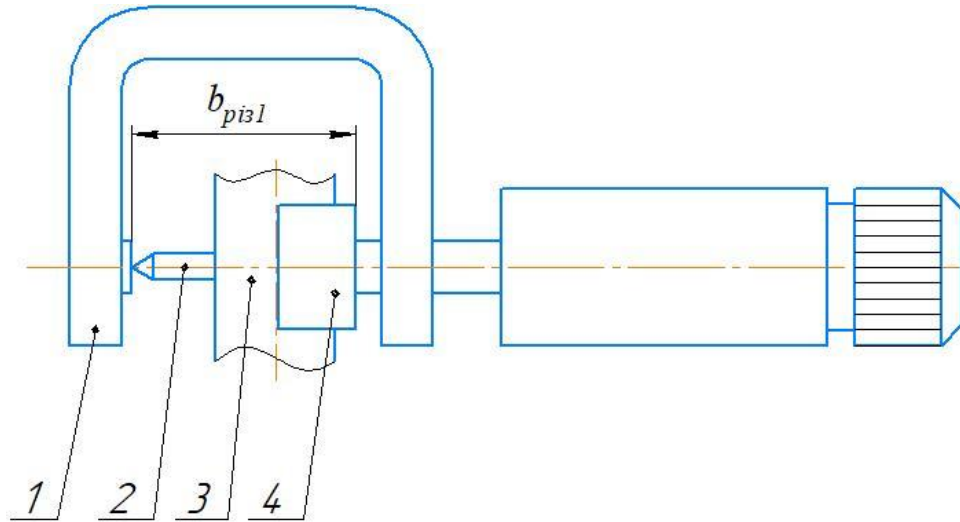


Рис. 19 - Схема установки вильоту різця

- 1 - мікрометр
- 2 - різець
- 3 - розточний вал
- 4 - шліфоване кільце

7. Розраховували похибка вимірювального пристрою  $\Delta_{\epsilon_y}$ , мм:

$$\Delta_{\epsilon_y} = 0,05 - (n \cdot t), \quad (29)$$

де  $n$  - число неодружених проходів різця.

8. Для підтвердження необхідної точності механізму диференціальної подачі різця була розточена кришкова частина ЛКП до першого торкання з блочною через інтервал  $t = 0,01$  мм (одну поділку лімба подачі). При цьому необхідне розрахункове число робочих проходів різця тр розраховували за формулою:

$$m_p = \frac{\Delta_{\kappa \min} - \Delta_{\delta \min}}{t}. \quad (30)$$

9. З урахуванням сумарної поправки на знос кромки різця  $\Delta_{zn \text{ сум}}$ , мм розраховували похибка механізму диференціальної подачі різця  $\Delta_{mn}$ , мм:

$$\Delta_{mn} = \frac{(m_p - m_\phi) t - \Delta_{zn \text{ сум}}}{m_\phi}, \quad (31)$$

де  $m_{\phi}$  - фактичне число проходів різця до першого торкання блокової частини ЛКП.

## **Етап 2.**

Визначення загальної похибки і трудомісткості розточення ЛКП розробленим обладнанням здійснювали на блоці циліндрів двигуна А- 41 в наступній послідовності:

1. Устаткування базували в крайніх ліжках блоку циліндрів (№1 і №5). 1
2. Виставляли різець і розточують ліжку № 2.
3. Встановлювали вимірювальний пристрій і контролювали розмір ліжку, в зв'язку з можливим зносом кромки різця і порушення точності обробки.
4. Операції по пункту 3 і 4 були виконані для ліжок №3 і №4.
5. Виробляли переустановку обладнання. При цьому воно базувалося по ліжках №2 і №5.
6. Операції по пункту 3 і 4 були виконані, для ліжку №1.
7. Виробляли переустановку обладнання. При цьому воно базувалося по ліжках №1 і №4.
8. Операції за пунктом 3 і 4 були виконані, для ліжку №5.

Розточування ЛКП блоку циліндрів двигуна А-41 здійснювалася в описаній послідовності на величину (по діаметру) 0,18 мм, тобто на діаметр 116,18 мм.

Після розточення проводився контроль параметрів ЛКП (по овальності, конусності, несоосности).

Овальність і конусність контролювали стандартними вимірювальними приладами (нутромірами індикаторними). При цьому вимірювання проводили шляхом описаної методики мікрометражу (глава 3, пункт 3.1) тільки в трьох площинах: «ближній», «середньої», «телекомунікації». Визначення площині вимірювань починали від лобової частини двигуна. Для визначення максимальної овальності брали різницю максимального і мінімального з середніх значень відхилення по трьом повторностям в трьох площинах. Для визначення максимальної конусности брали різницю мінімального і

максимального середніх відхилень від номінального діаметра за трьома площинах. При вимірах інсталяційний розмір нутромера становив 116,18 мм (116 мм - номінальний діаметр ЛКП, 0,18 мм - величина розточки по діаметру).

Неспіввісність контролювали розробленим устаткуванням за допомогою вбудованих вимірювальних пристроїв. Вимірювання проводили шляхом поздовжнього переміщення розточувального вала в чотирьох площинах, причому, або за блочною (рисунок 20а), або по кришкових (рисунок 20б) частинам ЛКП.

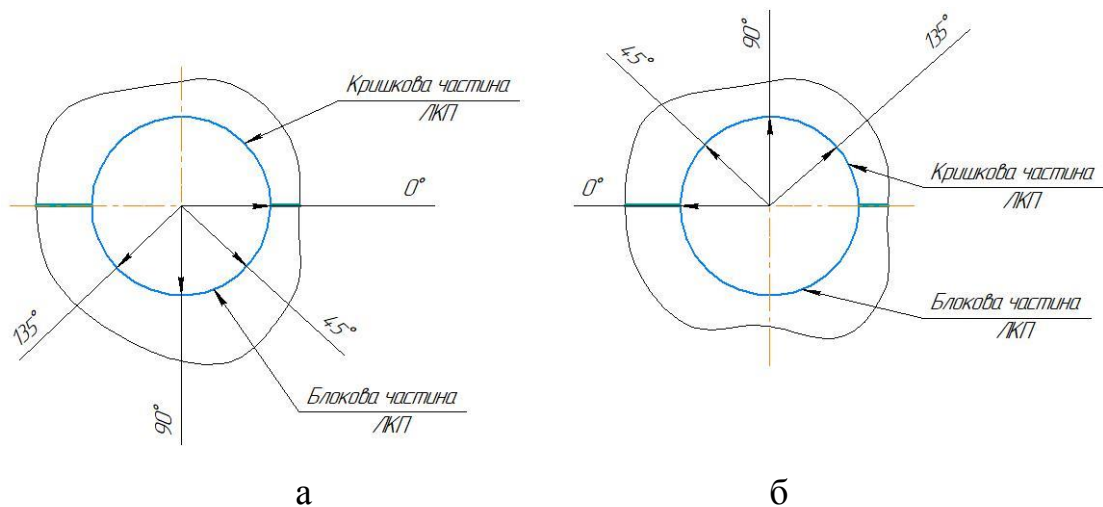


Рис. 20 - Схеми напрямків вимірювань для визначення неспіввісності ліжок корінних підшипників КШМ

а - вимірювання за блочною частини ЛКП;

б - вимірювання по кришкових частини ЛКП.

Вимірювання несоосности за блочною частини ЛКП є найбільш доцільними через те, що вона менше схильна до наклепу ніж кришкових. У зв'язку з цим похибка несоосности за рахунок відхилення форми ЛКП буде мінімальною.

При контролі несоосности за базові поверхні приймалися крайні ліжку корінних підшипників КШМ, щодо яких виробляли вимірювання. В результаті застосування розробленого обладнання та обґрунтованою схеми базування, не був потрібний розрахунок максимальної неспіввісності. За вказане значення

брали максимально зафіксоване відхилення від співвісності або в позитивну сторону, або в негативний.

При вимірах цанговий затиск, що фіксує розточний вал в подає редукторі, був ослаблений.

Отримані дані по контролю параметрів ЛКП були занесені в таблиці.

Параметри різання (глибина, подача, швидкість, обороти вала) відповідають рекомендаціям В.І. Черноіванова і В.П. Андрєєва [195] стосовно расточке чавунних ЛКП, а також не суперечать теорії різання металів. Внаслідок цього, під час випробувань не виробляли контрольних замірів шорсткості марнування ЛКП спеціалізованими приладами, наприклад, профілометри. Однак для підтвердження її відповідності допустимим межам було застосовано порівняння (за допомогою збільшувального скла) шорсткості поверхні зразковою деталі з шорсткістю поверхні марнування ліжок. Як зразковою деталі була взята кришка корінного підшипника нового блоку циліндрів, у якої шорсткість поверхні задовольняє пропонованим заводами виробниками вимогам ( $Ra = 0,00063 \dots 0,00125$  мм).

Паралельно з расточкой виробляли вибірковий хронометраж з метою виявлення трудомісткості (продуктивності) процесу розточування ЛКП. Причому, крім однієї розточення ліжок блоку циліндрів, після якої контролювали похибки параметрів ЛКП, було вироблено ще дві аналогічні розточення. Це зроблено для підвищення точності визначення трудомісткості розточення ЛКП розробленим обладнанням. ч

Хронометраж проводили за допомогою механічного секундомера.тіпа «Агат». Дані, отримані при хронометражі, переводилися з секунд в хвилини і записувалися в таблицю. За кожною складовою норми часу був розрахований коефіцієнт стійкості  $K_{cm}$  за формулою:

$$K_{уст} = \frac{T_{max}}{T_{min}}, \quad (32)$$

де  $T_{max}$  - максимальна величина складової норми часу, хв;

$T_{min}$  - мінімальна величина складової норми часу, хв.

Розрахунок норми часу на розточення ЛКП одного блоку циліндрів двигуна А-41 на основі отриманих експериментальних даних проведений в розділі 5.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Вивчення форми і величини спотворень ліжок корінних підшипників КШМ

Виконання експериментальних досліджень за методиками глави 3 виявилось практично неможливим у зв'язку з тим, що ремонт ДВЗ вітчизняного виробництва є знеособленим, а це не дозволяє прив'язатися до напрацювання таких двигунів через знос колінчастого вала. На відміну від вітчизняних, ремонт двигунів іноземного виробництва не знеособлений.

Для обґрунтування можливості використання при проведенні досліджень даних мікрометражу ЛКП по двигунах іноземного виробництва були проведені порівняльні статистичні дослідження. При цьому використовувалися тільки ДВЗ, у яких блоки циліндрів не пройшли процес штучного старіння.

Відповідно до розроблених методиками проводився мікрометраж ліжок корінних підшипників КШМ результати якого наведені в додатках В, Г, Д.

Мікрометраж ЛКП 76 блоків циліндрів двигунів різних марок (25 двигунів вітчизняного виробництва і 51 - іноземного) дозволив виявити, що незалежно від типу двигуна ліжка корінних підшипників мають порушення геометричної форми і відхилення за розміром.

Статистичний аналіз даних мікрометражу показав, що відмінності величин спотворень ліжок корінних підшипників КШМ блоків циліндрів розглянутих двигунів не є значними. Відсутність істотної різниці між ними підтвердив дисперсійний аналіз.

Проведений двухвиборочний F-тест дисперсій за допомогою пакета аналізу даних комп'ютерної програми Excel виявив, що фактичне значення  $F_{\text{факт}}$  становило 1,03, а теоретичне  $F_{\text{теор}}$  було вище і дорівнювало 1,28 ( $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ ). Тому, гіпотеза про рівність дисперсій порівнюваних вибірок не відкидається. Отже, спотворення ЛКП двигунів вітчизняного та іноземного виробництва мають близькі величини.

Для обґрунтування можливості використання при проведенні досліджень двигунів іноземного виробництва порівнювався також характер спотворень їх

ЛКП з характером спотворень ЛКП двигунів вітчизняного виробництва. Для цього була проведена перевірка на відповідність фактичного розподілу рядів спотворень ЛКП теоретичного.

Відомо, що в основі емпіричного розподілу результатів вимірювань лежать певні математичні закономірності, які в генеральній сукупності, тобто при великій кількості спостережень ( $n \rightarrow \infty$ ), характеризуються деякими теоретичними розподілами. Проведений ряд аналітичних процедур дозволив підібрати розподіл, яке з достатнім ступенем точності описує спостережувані дані.

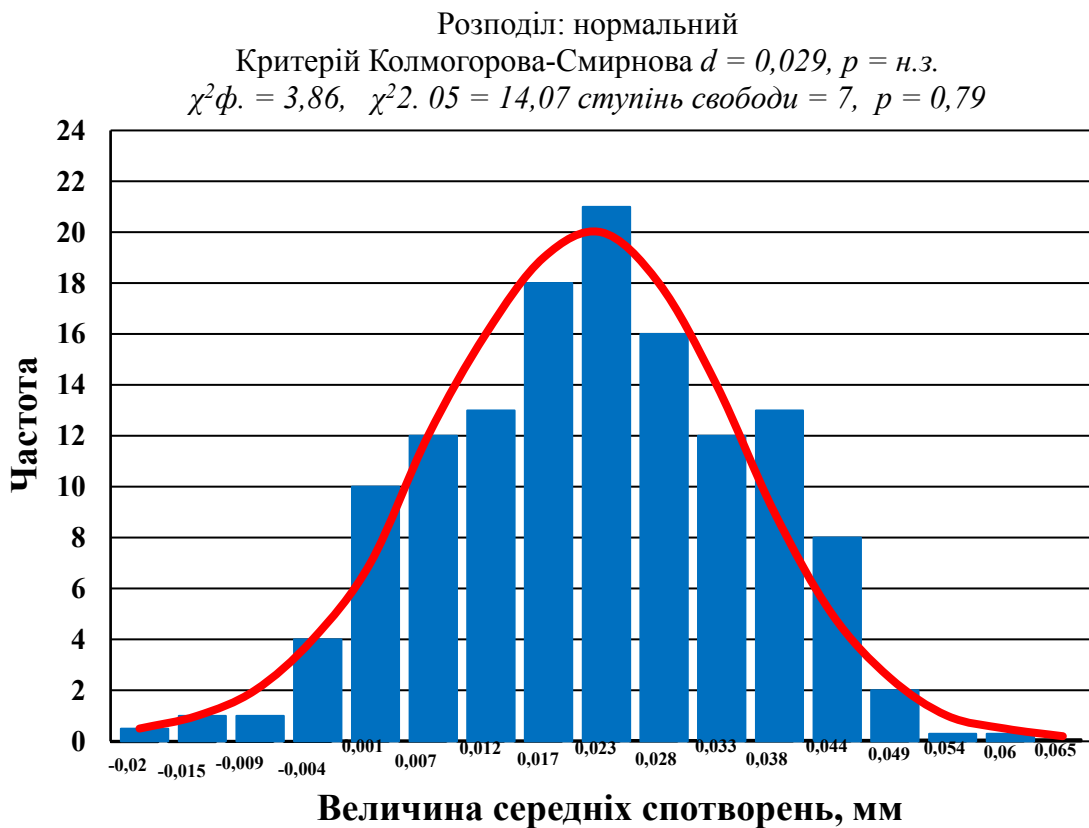
При підборі кривої теоретичного розподілу для ряду розподілу величин спотворень ліжок корінних підшипників КШМ було припущено, що вона є, мабуть, нормальної. Аналогічний висновок був зроблений і для ряду розподілу розмаху цих значень.

В якості критеріїв згоди, що підтверджують справедливість вищесказаного, використовували критерій Колмогорова-Смирнова і  $\chi^2$  - Пірсона. Перший показник відрізняється простотою, але при невідомих теоретичних значеннях параметрів дає дещо завищені оцінки. Другий є більш популярним [17, 167].

У формулу  $\chi^2$  підставляли не величиною, отримані виміром, а тільки їх частоти. При перевірці за допомогою цього критерію гіпотези про відповідність емпіричних розподілів нормальному слід мати не менше 50 спостережень [51]. У зв'язку з цим, аналізу піддавали 130 спостережень по двигунах вітчизняного виробництва, 230 - по що не була піддана процесу штучного старіння. Нечисленні крайні групи в ряду розподілів об'єднували і відповідно до цього коректували число ступенів свободи. Останній показник при визначенні відповідності наявних розподілів нормальному закону приймали рівним числу груп без трьох ( $k - 3$ ), так як обчислення теоретичних частот були пов'язані з трьома умовами, що визначають нормальний розподіл, а саме: об'ємом вибірки, середнім значенням ознаки і дисперсією. На підставі зазначених трьох умов будувалося теоретичне нормальний розподіл.

Використовувані критерії показали, що нормальна крива розподілу дійсно вирівнює досліджувані ряди розподілів середніх величин і розмахів спотворень корінних ліжок двигунів які не пройшли штучного старіння (Рис. 21.). У зв'язку з цим можна вважати, що, характер спотворень ЛКП двигунів вітчизняного та іноземного виробництва є схожим.

Аналіз результатів мікрометражних вимірювань ЛКП двигунів показав, що спотворені ліжку, найчастіше мали овальну форму (Рис. 22 I, 22 II). При цьому їх діаметр збільшувався в порівнянні з номінальним або за деякою частини окружності, або по всьому колу ЛКП.



Розподіл: нормальний  
 Критерій Колмогорова-Смирнова  $d = 0,056$ ,  $p = н.з.$   
 $\chi^2_{ф.} = 10,09$ ,  $\chi^2_{2.05} = 11,07$  ступінь свободи = 5,  $p = 0,73$

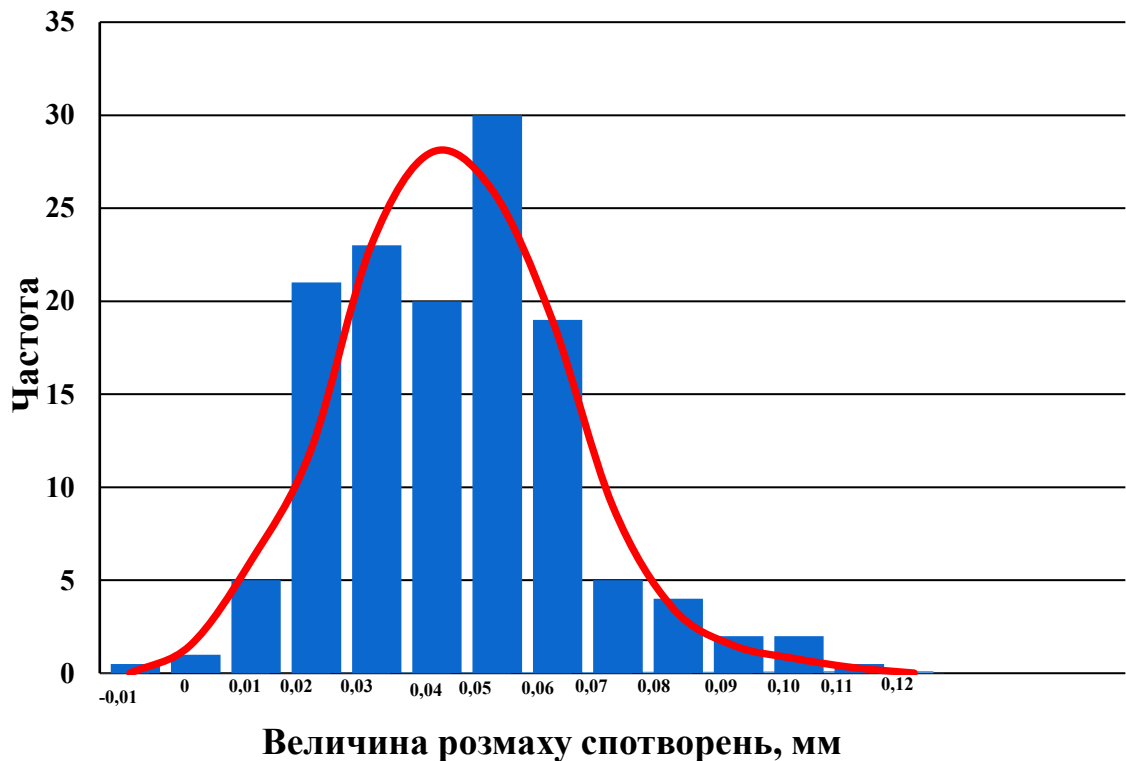
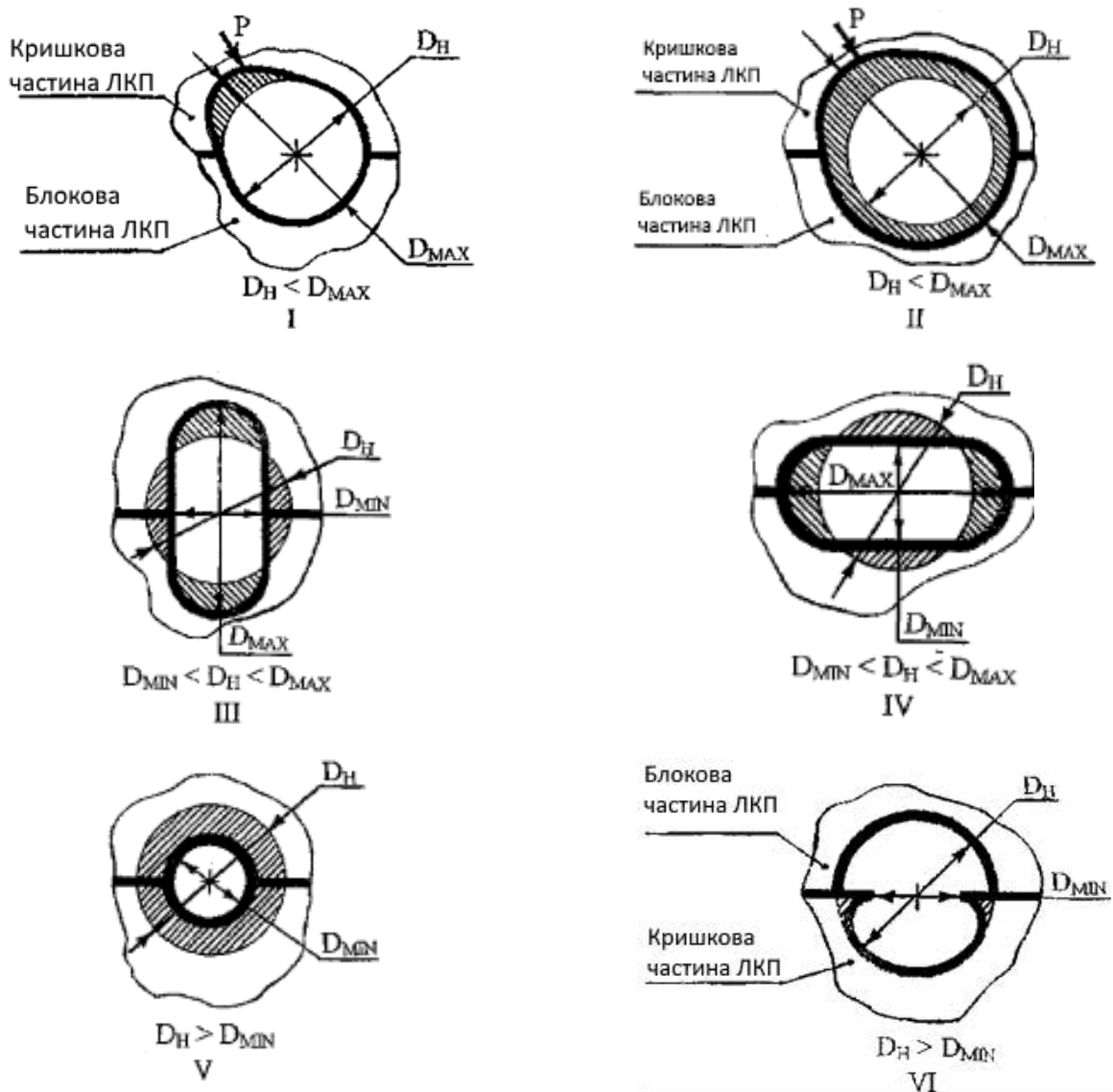


Рис. 21 - Узгодження кривої нормального розподілу з рядами розподілів середніх спотворень і розмаху спотворень ліжок корінних підшипників КШМ двигунів внутрішнього згання

У ряді випадків ліжку витягувалися в вертикальній площині. При цьому відбувалося зменшення діаметра ліжку в порівнянні з номінальним в площині роз'єму і збільшення його в площині, перпендикулярній площині роз'єму (рисунок 22 III).

Найчастіше навпаки, діаметр ліжку збільшувався в площині роз'єму і зменшувався в перпендикулярній їй площині (рисунок 22 IV).

Також часто зустрічалися спотворення ліжок, при яких спостерігалось заниження діаметра в площині стику (рисунок 22 V). Заниження діаметра ЛКП по всьому колу зустрічалися рідше (рисунок 22 VI).



$P$  - навантаження від дії газових сил  
 $D_H$  - номінальний діаметр ЛКП  
 $D_{MAX}$  - максимальний діаметр ЛКП  
 $D_{MIN}$  - мінімальний діаметр ЛКП



 - зони збільшених розмірів ЛКП  
 - зони зменшених розмірів ЛКП

Рис. 22 - Види спотворень ліжок корінних підшипників КШМ

Слід зазначити, що спотворення ліжок корінних підшипників КШМ у двигунів марок А - 41, СМД - 14 і А - 01М, що зумовлюють зниження діаметра, досягали лише 15% загального числа спостережуваних спотворень.

У таблиці 5 наведені результати статистичної обробки даних, отриманих мікрометриванієм ЛКП вітчизняних і закордонних блоків, які не пройшли штучне старіння, які підтверджують аналогічний характер їх спотворень. Величини останніх характеризувалися подібними дисперсією, розмахом, мінімумом і максимумом.

Таблиця 5 - Дані по описовій статистиці величин спотворень ліжок корінних підшипників

Марка двигуна	Середн є	Станд. похибк а	Медіан а	Мода	Станд. відхиле ння	Дисперсі я	Ексцес	Ассиме трия	Розмах	MIN	MAX
А-41	0,022	0,0018	0,019	0,025	0,014	0,000184	-0,422	0,750	0,053	0,001	0,054
СМД-14	0,021	0,0020	0,024	0,030	0,014	0,000197	-0,589	-0,520	0,054	-0,011	0,043
А-01М	0,036	0,0013	0,036	0,036	0,006	0,000040	-0,401	-0,158	0,023	0,023	0,046
Середнє	0,024	0,0012	0,023	0,019	0,014	0,000191	-0,587	-0,123	0,065	-0,011	0,054

## 4.2. Результати випробувань розточувального обладнання

Перевірка розточувального обладнання і технології його застосування здійснювалася шляхом дослідних випробувань.

Робота розточувального обладнання (Розділ 2, рис. 8) відбувалася в такий спосіб: електропривод 16 через муфту 17 і подає редуктор 12 приводив в обертання розточний вал 1, що базується через фланці 4 і 5 в прокладках 9 і 10 (вкладиші) або через втулки, що встановлюються в ЛКП. Крім обертання, завдяки подає редуктора 12 вал 1 поздовжньо переміщався. Расточной вал 1 пересувався в антифрикційних втулках заодно з вбудованими в нього розточувальними головками 3, в яких були закріплені ріжучі інструменти (різці) 21. При цьому ріжучі інструменти 21, обертаючись, розточуються ліжку 8.

Рівномірність подачі вала 1 забезпечувалася редуктором 12, а плавність і стабільність частоти обертання валу - маховиком 14, закріпленим на валу затискачем 15. Для повернення вала 1 в початкове положення електропривод 16 через з'єднання до хвостовика розточувального вала 18. При цьому проводилася його зворотна подача без зміни напрямку обертання електроприводу, причому, дана подача була в два рази швидше прямий.

Після розточення під вбудовані в вал 1 вимірювальні пристрої 2 встановлювалися індикатори годинникового типу 19 і вимірювальні штоки 20 для контролю розмірів розточуються ЛКП. Після розточення всіх ліжок перевірялася їх несоосність переміщенням розточувального вала 1 з вимірювальними пристроями 2 уздовж осі ліжок 8. При контролі несоосности затиск 13 на редукторі 12 був ослаблений.

В процесі випробувань для економічного обґрунтування ефективності розробленого обладнання проводились хронометражні дослідження, що сприяють визначенню норми часу на процес розточування ЛКП. За наведеною в розділі 3 методикою, отримані хронометражні ряди, були перевірені на стійкість. При цьому їх можна вважати стійкими, так як коефіцієнт стійкості не перевищує 1,65, а допустимий при машинно-ручному характері роботи коефіцієнт дорівнює 2.

На Рис. 23...29 представлений загальний вид розточувального обладнання, його основні конструктивні елементи і установка обладнання на розточуються блок циліндрів в ліжку корінних підшипників.

На Рис. 30 представлена кінематична схема подає редуктора, яка дозволяє представити принцип його роботи.

В результаті проведення експериментальних досліджень було встановлено:

1. Похибка вимірювального пристрою становить  $\pm 0,005$  мм.
2. Похибка механізму диференціальної подачі різця  $\pm 0,005$  мм.
3. Відхилення від необхідних параметрів точності розточуються ліжок корінних ліжок КШМ:

- по овальності - не більше 0,010 мм;
- по конусности - не більше 0,005 мм;
- по несоосности - не більше 0,015 мм;
- по відхиленню від необхідного діаметра - не більше  $\pm 0,005$  мм;
- по відхиленню від шорсткості - не більше 0,00125 мм.

Незважаючи на те, що в таблицях з експериментальними даними відхилення занесені з точністю до 0,001 мм, при визначенні кінцевої похибки вони були округлені до 0,005 мм з урахуванням точності вимірювальних приладів.

Точність розточення ЛКП може бути підвищена шляхом застосування спеціалізованої оснастки для настройки розточувального обладнання (оснащення для установки вильоту різця і налаштування вимірювального пристрою).

За описаною методикою (Розділ 3) було встановлено, що шорсткість марнування ЛКП не перевищує  $Ra = 0,00125$  мм.

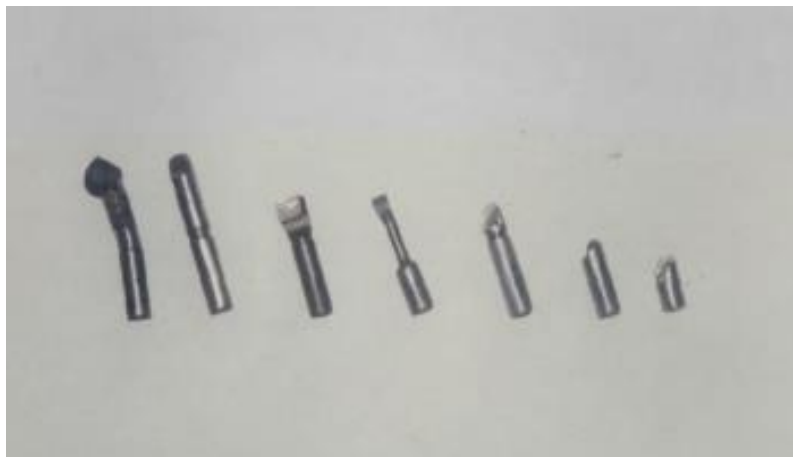


Рис. 23. Різці



Рис. 24. Елементи, що базують розточний вал в ЛКП



Рис. 25 Розточний вал на блоці циліндрів в зборі з маховиком



Рис. 26 Розточний вал на блоці циліндрів в зборі з подаючим редуктором і різцем.



а



б

Рис. 27 – Розточний вал в зборі з елементами вимірювального пристрою (Індикатором годинникового типу і вимірювальним штоком) і різцем  
а - поза блоком циліндрів; б - на блоці циліндрів

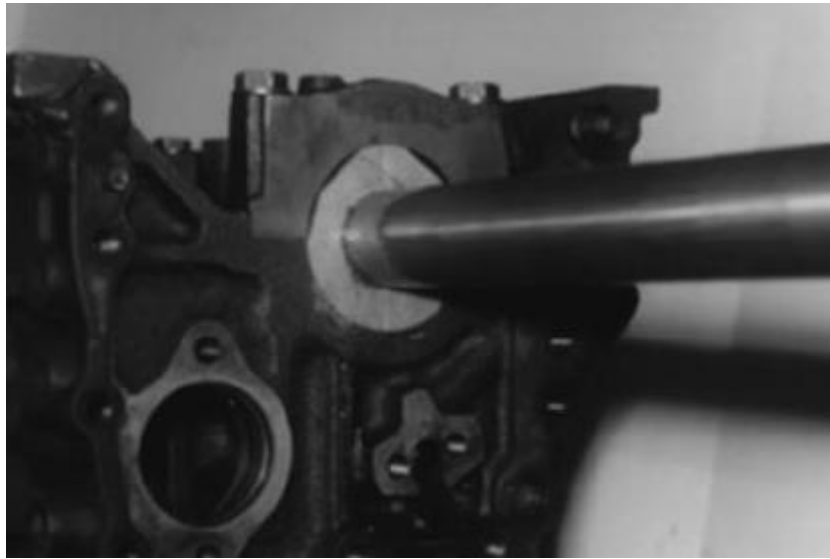


Рис. 28 Базування розточного валу по блоковій частині ЛКП



Рис. 29 Розточена постіль корінного підшипника КШМ

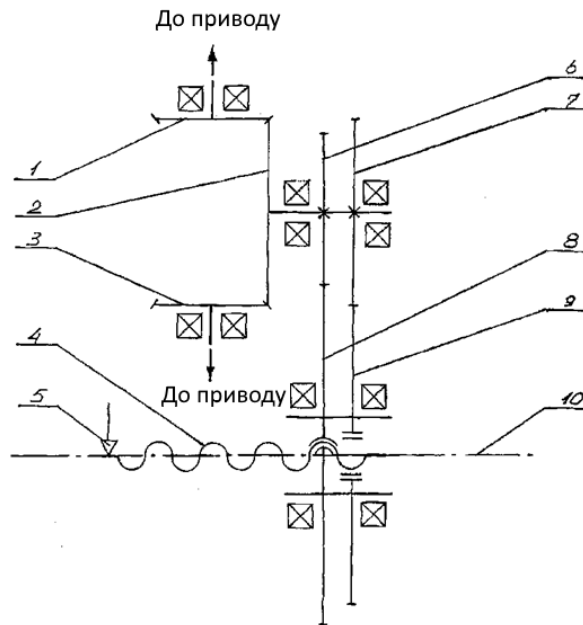


Рис. 30 - Кінематична схема редуктора подачі

- 1 - конічна шестерня прямого ходу
- 2 - ведена конічна шестерня
- 3 - конічна шестерня зворотного ходу
- 4 - блок-втулка із зовнішнім різьбленням і шлицями
- 5 - цанговий затиск для фіксації розточувального вала
- 6 - шестерня циліндрична ( $z = 34$ )
- 7 - шестерня циліндрична ( $z = 35$ )
- 8 - шестерня з нарізним фланцем ( $z = 70$ )
- 9 - шестерня з шліцьовим фланцем ( $z = 69$ )
- 10 - розточний вал

Отримані відхилення по точності не суперечать вимогам технічної документації заводів-виготовлювачів ДВЗ до расточке ЛКП.

Випробування підтвердили доцільність застосування розробленої технології використання розточувального обладнання. Для п'ятипорний ДВЗ за цією технологією передбачається три установки:

1. Базування обладнання в 1 і 5 ліжках блоку циліндрів і розточування 2, 3 і 4 ЛКП.
2. Базування в 1 і 4 ЛКП і розточування 5 ліжку.
3. Базування в 5 і 2 ЛКП і розточування 1 ліжку.

Таким чином, проведені дослідження показали, що дана технологія і пропоноване розточувальне обладнання задовольняють вимогам, що пред'являються до точності розточення ЛКП. Крім того, наведена технологія має мінімальне число технологічних операцій, внаслідок чого є ефективною в застосуванні.

### **4.3. Висновки**

1. Більшість спотворень ЛКП (до 88%) обумовлено збільшенням їх номінального діаметра, причому максимальні величини спотворень не перевищують 0,070 мм.

2. Обґрунтованою величиною ремонтної розточення з урахуванням максимальних величин спотворень несоосности ЛКП, а також припуском на обробку слід вважати 0,180 ... 0,200 мм.

3. Основний вплив на спотворення ЛКП надає низька міцність свежеотлітого чавуну. Спотворення ліжок корінних підшипників КТІТМ двигунів з блоками циліндрів, які пройшли попереднє штучне старіння в 3,1 ... 3,4 рази нижче спотворень ЛКП двигунів з блоками циліндрів, що не піддавалися вказаною процесу.

4. Внаслідок того, що процес наростання міцності чавуну (процес старіння) повністю завершується через 18 місяців, доцільно проводити одне ремонтне розточення в момент першого капітального ремонту ДВЗ. При цьому відновлювана з необхідними параметрами форма ЛКП, всупереч теоретичним припущенням, практично не буде спотворюватися протягом усього строку служби ДВЗ.

5. Запропоноване малогабаритне розточувальне обладнання придатне для чистової розточення ЛКП. Воно характеризується високою точністю, низькими вартістю (не більше 15000 грн), матеріаломісткістю (не більше 18 кг), енергоємністю (не більше 0,4 кВт). Похибка (по овальності, конусності, неспіввісності, відхилення від необхідного діаметра ЛКП, шорсткості) задовольняє технічним вимогам, що пред'являються до расточке ЛКП.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Для оцінки економічної ефективності вдосконалення технології ремонту гнізд корінних підшипників кривошипно-шатунного механізму при капітальному ремонт двигунів внутрішнього згорання

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

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

### 5.1 Розрахунок вартості основних виробничих фондів

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

Вартість основних виробничих фондів визначаємо за формулою:

$$C_{o.f.} = C_{\bar{b}y\bar{d}} + C_{o,\bar{b}.} + C_{in}, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де  $C_{\bar{b}y\bar{d}}$  – вартість існуючого приміщення, придатного для подальшої експлуатації, грн.;

$C_{o,\bar{b}.}$  – вартість існуючого обладнання, грн.;

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

Вартість існуючого приміщення розраховуємо за формулою:

$$C_{\bar{b}y\bar{d}} = C'_{\bar{b}y\bar{d}} \cdot S, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

де  $C_{\bar{b}y\bar{d}}$  – середня вартість будівель-монтажних робіт, віднесених на 1 м<sup>2</sup>,  
 $C'_{\bar{b}y\bar{d}} = 750$  грн/ м<sup>2</sup>;

$S$  – площа розбирально-складальної дільниці, м<sup>2</sup>;

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

Вартість існуючого обладнання складає 40% вартості будівлі:

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

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

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

Тоді, вартість основних засобів буде рівною:

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

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

$$\Delta = C_{\text{оп}} - C_{\text{oi}}, \text{ грн.},$$

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

## 5.2. Розрахунок собівартості розбирання двигуна

Собівартість відновлення одного двигуна визначаємо за формулою:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{з.п}} + C_{\text{н}} + C_{\text{н.в}} + C_{\text{ін}}, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

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

$C_{\text{н}}$  – накладні витрати розбирального-складальної ділянки, грн.;

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

$C_{ін}$  – інші витрати, грн.

Структура заробітної плати має такий вигляд:

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

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

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

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

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

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

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

$T_n$  – норма часу на розбирання одного двигуна,  $T_n = 31,2$  год.;

$$C_{о.з.п.} = \frac{24.7}{100} \cdot 31,2 = 7,70 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата визначається за формулою:

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

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

$$C_{д.з.п.} = 0,07 \cdot 18,1 = 0,54 \text{ грн.}$$

Нарахування на заробітну плату визначається за формулою:

Отже заробітна плата буде становити:

$$C_{zn} = C_{озп} + C_{дзп} + C_{нз}, \quad (5.7)$$

$$C_{zn} = 7,70 + 0,54 + 4,29 = 12,54 \text{ грн.}$$

Для капітального ремонту двигунів на оплату праці приходиться до 24% від вартості прямих затрат. За нормативними рекомендаціями визначаємо, що затрати на запчастини складають 51%, а матеріали 15%, інші витрати – 10%.

Виходячи з цього прямі витрати будуть становити:  $C_{ін} = 245$  грн.;

Прямі витрати на розбирання двигуна будуть становити:

$$P_в = C_{з.п} + C_{ін}, \text{ грн.};$$

$$P_в = 12,54 + 245 = 257,54, \text{ грн.}$$

Накладні витрати для дільниці будуть становити:

$$C_{н.в} = C_{з.п} + (K_ц + K_з), \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $K_ц$  – коефіцієнт для визначення цехових накладних витрат, приймаємо  $K_ц = 0,85$ ;

$K_з$  – коефіцієнт для визначення заводських накладних витрат, приймаємо  $K_з = 0,5$ ;

$$C_{н.в} = 12,54 (0,85 + 0,5) = 16,93, \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати будуть становити:

$$C_{н.в} = 2\% (P_в + H_в), \text{ грн.}; \quad (5.9)$$

$$C_{н.в} = 0,02 (257,54 + 16,93) = 5,5, \text{ грн.}$$

Тоді собівартість розбирання і складання одного двигуна буде становити:

$$C_в = C_{з.п} + C_{н.в} + C_{н.в} + H_в, \text{ грн.}; \quad (5.10)$$

$$C_в = 12,54 + 245 + 5,5 + 16,93 = 279,97 \text{ грн.}$$

Визначаємо повну собівартість двигунів за рік:

$$C_p = C_v * P_{p-c\delta} , \text{ грн.};$$

$$C_p = 279,97 \times 200 = 55994, \text{ грн.}$$

### 5.2.1. Визначення річної оптової ціни

Для визначення річної оптової ціни потрібно враховувати такі відрахування:

- відрахування на науку;
- накопичення;
- податок на добавлену вартість.

Відрахування на науку становить:

$$C_{\text{наук}} = 1\% \times C_v, \text{ грн.}; \tag{5.11}$$

$$C_{\text{наук}} = 0,01 \times 279,97 = 2,8, \text{ грн.}$$

Накопичення буде становити:

$$C_{\text{нак}} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}}), \text{ грн.}; \tag{5.12}$$

$$C_{\text{нак}} = 0,2 (279,97 + 2,8) = 56,55, \text{ грн.}$$

ПДВ становить:

$$\text{ПДВ} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}}), \text{ грн.}; \tag{5.13}$$

$$\text{ПДВ} = 0,2 (279,97 + 2,8 + 56,55) = 67,86, \text{ грн.}$$

Звідси оптова відпускна ціна буде становити:

$$C_{\text{опт}} = C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}} + C_{\text{пдв}}, \text{ грн.}; \tag{5.14}$$

$$C_{\text{опт}} = 279,97 + 2,8 + 56,55 + 67,86 = 407,18, \text{ грн.}$$

Визначаємо річну програму в оптових цінах:

$$C_{ont.p} = 407,18 \times 200 = 81436, \text{ грн.}$$

### 5.3. Прибуток підприємства

Величину прибутку визначаємо за формулою:

$$\Pi = C_{ont.p} - C_{в.p}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

$$\Pi = 81436 - 55994 = 25442, \text{ грн.}$$

### 5.4. Рентабельність підприємства

Рентабельність підприємства визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\Pi}{C_{o.\phi}} \cdot 100 \% ; \quad (5.16)$$

$$P = \frac{25442}{308665,5} \cdot 100 = 8,24 \% .$$

### 5.5. Коефіцієнт фондівдачі

Коефіцієнт фондівдачі визначаємо за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{C_{ont.}}{C_{o.\phi}} ; \quad (5.17)$$

$$K_{\phi} = \frac{81436}{308665,5} = 0,263$$

### 5.6. Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого

Розраховуємо за формулою:

$$B_{n.p} = \frac{C_{omn.p}}{N_{роб}}, \text{ грн}; \quad (5.18)$$

де  $N_{роб}$  – кількість робітників на ділянці, чол.;

$$B_{n.p} = \frac{81436}{6} = 13572, \text{ грн};$$

### 5.7 Випуск продукції на 1м<sup>2</sup> площі

Розраховуємо за формулою:

$$f_n = \frac{C_{omn.p}}{F_o}, \text{ грн}, \quad (5.19)$$

де  $F_o$  – площа ділянці, м<sup>2</sup>:

$$f_n = \frac{81436}{287,8} = 282,9 \text{ грн.}$$

### 5.8 Визначаємо величину річної економії

Визначаємо за формулою:

$$E_p = (C_{omn} - C_e) N_{ов}, \text{ грн.}; \quad (5.20)$$

$$E_p = (407,18 - 279,97) 200 = 25442 \text{ грн.}$$

### 5.9 Річний економічний ефект

Визначення економічного ефекту від зниження собівартості ремонту за приведеними витратами для майстерні проводимо за наступними формулами:

$$E_{p.e.эф.} = (П_{з.існ} - П_{з.рек}) \cdot П_{ур}, грн., \quad (5.21)$$

$П_{ур}$  – програма розбирально-складальної ділянки ремонтної майстерні.

$$П_{ур} = \frac{31,17 \cdot 200}{300} = 20,78 \text{ ум.рем.}$$

де 300 – трудомісткість одного умовного ремонту.

де  $П_{рек.}$  – приведені затрати існуючої бази.

$$П_{рек} = C'_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{П_{ур}}, грн. ;$$

(5.22)

$$П_{рек} = 279,97 + 0,15 \cdot \frac{308665,5}{20,78} = 2508 \text{ грн.}$$

Після технічного переоснащення майстерні та обґрунтування організаційних параметрів розбирально-складальної ділянки майстерні по ремонту двигунів:

$$П_{існ} = C_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{П_{ур}}, грн. ; \quad (5.23)$$

$$П_{існ} = 460 + 0,15 \cdot \frac{210008,2}{11,5} = 3199,24 \text{ грн.}$$

Після проведених розрахунків, для розбирально-складальної ділянки з ремонту двигунів Д-245 маємо:

$$E_{p.c.эф} = (3199,24 - 2508) \cdot 20,78 = 14363,9 \text{ грн.}$$

## 5.10. Окупність капіталовкладень

Визначаємо за формулою окупність додаткових капіталовкладень:

$$T = \frac{\Delta C_{o.f.}}{E_p}, \text{ рік} \quad (5.24)$$

$$T = \frac{95657.3}{25442} = 3,75 \text{ роки.}$$

Таблиця 5.1

Техніко-економічні показники

№ п/п	Найменування	Значення
1	Річний випуск продукції: - у натуральному обчисленні, шт. - в оптових цінах, грн.	200 81436
2	Повна собівартість продукції, грн.	55994
3	Основні фонди, грн.	308665,5
4	Загальна площа, м <sup>2</sup> .	287,8
5	Загальна кількість працюючих, чол.	6
6	Прибуток	25442
7	Рентабельність	8,24
8	Коефіцієнт фондівдачі	0,263
9	Випуск продукції на 1м <sup>2</sup> площі	282,9
10	Річний економічний ефект, грн.	14363,9
11	Окупність капіталовкладень, рік	3,75

Річний економічний ефект складає 14363,9 гривень. Витрати на вдосконалення технології ремонту гнізд корінних підшипників кривошипно-шатунного механізму при капітальному ремонт двигунів внутрішнього згорання зможуть окупитися за 3,75 років

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуючі способи ремонту гнізд корінних підшипників КШМ і ремонтне обладнання мають ряд недоліків (низька якість, висока матеріаломісткість і енергоємність, підвищені екологічні ризики). Внаслідок цього актуальним є вдосконалення технології ремонту ліжок корінних підшипників КШМ і обладнання для її реалізації.

2. Аналіз результатів мікрометражу блоків циліндрів ДВЗ показав, що спотворення ліжок корінних підшипників КШМ мають різну спрямованість (форму) і в більшості випадків виходять за граничні величини. Більшість спотворень ЛКП (до 88%) обумовлено збільшенням їх номінального діаметра, причому, максимальні величини спотворень не перевищують 0,070 мм.

3. Статистичний аналіз даних мікрометражу показав, що величини спотворень ліжок корінних підшипників КШМ двигунів мають практично однакові величини і схожі форми спотворень.

4. У початковий період роботи ДВЗ, блоки циліндрів яких не піддавалися штучному старінню, спотворень ЛКП сприяють два фактори - припрацювання і низька міцність свіжовідлитого чавуну. Величини спотворень ЛКП від припрацювання не перевищують 5%. Основний вплив на спотворення ЛКП надає низька міцність свіжовідлитого чавуну. Спотворення ліжок корінних підшипників КШМ двигунів з блоками циліндрів, які пройшли попереднє штучне старіння, більш ніж в 3 рази нижче спотворень ЛКП двигунів з блоками циліндрів, що не піддавалися вказаною процесу.

5. Раціональним методом ремонту ліжок корінних підшипників блоків циліндрів є спосіб ремонтних розточок під збільшені розміри. Він не тільки результативніший і з мінімальними негативними наслідками усуває спотворення ліжок, а й реалізується єдиною технологічною операцією - розточкою.

6. Удосконалення технології ремонту ліжок корінних підшипників КШМ полягає в обґрунтуванні кількості, моментів проведення та величин ремонтних расточек. Одноразову ремонтну розточення ЛКП доцільно проводити в момент першого капітального ремонту ДВЗ. До вказаного моменту чавун набуває регламентовану міцність. При цьому відновлюється з необхідними параметрами

форма ЛКП, яка практично не спотворюється протягом усього строку служби ДВЗ. Обґрунтованої величиною ремонтної розточення по діаметру ЛКП є 0,180 ... 0,200 мм.

7. Запропоноване малогабаритне розточувальне обладнання для чистової розточення ЛКП характеризується високою точністю, низькими вартістю (не більше 15000 грн), матеріаломісткістю (не більше 18 кг), енергоємністю (не більше 0,4 кВт). Міжпорнао схема його базування в ліжках блоку циліндрів дає похибку по зсуву осей ЛКП не більше 0,030 мм, що значно нижче (в 13 разів і більше) похибки консольної схеми базування. Похибка (по овальності, конусності, несоосности, відхилення від необхідного діаметра ЛКП, шорсткості) задовольняє технічним вимогам, що пред'являються до расточке ЛКП.

8. Річний економічний ефект складає 14363,9 гривень. Витрати на вдосконалення технології ремонту гнізд корінних підшипників кривошипно-шатунного механізму при капітальному ремонт двигунів внутрішнього згорання зможуть окупитися за 3,75 років

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Б. В. Вплив покриттів на основі хрому на зносостійкість гільз циліндрів дизельних двигунів / Б. В. Абрамов, В. С. Коваль // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Транспортне машинобудування. – 2018. – № 34 (1311). – С. 54–61.
2. Андрієнко П. Оптимізація параметрів хонінгування робочої поверхні циліндра для зменшення втрат на тертя / П. Андрієнко, С. Авраменко // Проблеми трибології. – 2020. – № 2. – С. 22–28.
3. Афанасьев В. П. Исследование триботехнических характеристик упрочненных поверхностей цилиндров ДВС / В. П. Афанасьев, С. А. Смирнов // Вестник машиностроения. – 2019. – № 4. – С. 34–39.
4. Бабич А. П. Методи підвищення довговічності деталей циліндропоршневої групи / А. П. Бабич. – К. : Аграрна наука, 2015. – 210 с.
5. Бондаренко В. В. Плазмове напилення як метод відновлення та зміцнення гільз циліндрів / В. В. Бондаренко, Г. М. Лисенко // Ремонт, відновлення та модернізація техніки. – 2017. – № 1. – С. 15–20.
6. Варварюк Є. В. Підвищення зносостійкості гільз циліндрів бензинових двигунів біметалізацією робочої поверхні тертя / Є. В. Варварюк, Б. С. Правдюк // Науковий вісник ХНТУСГ. – 2021. – Вип. 22. – С. 108–114.
7. Визначення величини спрацювання робочої поверхні циліндрів двигунів внутрішнього згоряння / К. Л. Шевченко, С. І. Бондарев // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. – Вип. 275. – С. 228–235.
8. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик. – М. : Колос, 2008. – 415 с.
9. Гелевера О. П. Вплив наноструктурованих покриттів на інтенсивність зношування циліндрів ДВЗ / О. П. Гелевера // Нанотехнології в промисловості. – 2020. – № 3. – С. 88–94.
10. Голуб В. С. Трибологія та надійність машин : підручник / В. С. Голуб. – Львів : Афіша, 2019. – 320 с.
11. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1–2003, ІДТ). – [Чинний від 2007–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.
12. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. – [Чинний від 2016–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2016. – 16 с.
13. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник / В. Г. Дяченко. – Харків : ХАІ, 2006. – 459 с.
14. Жуков В. А. Методи діагностування зносу циліндропоршневої групи / В. А. Жуков // Автомобільна діагностика. – 2016. – № 5. – С. 10–14.
15. Зношування та довговічність гільз циліндрів дизельних двигунів / М. Я.

Пришляк, В. О. Яковенко // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 1 (79). – С. 165–171.

16. Іванов П. В. Спосіб підвищення зносостійкості робочої поверхні циліндра ДВЗ : пат. 123456 Україна, МПК F16J 10/04 / Іванов П. В., Петров В. С. ; заявник та патентовласник Харків. нац. автомобіл.-дор. ун-т. – № u202101234 ; заявл. 15.02.2021 ; опубл. 25.08.2021, Бюл. № 8.

17. Кириченко М. М. Вплив експлуатаційних факторів на зношування гільз циліндрів / М. М. Кириченко, І. Р. Олійник // Вісник аграрної науки. – 2018. – № 11. – С. 45–48.

18. Ковальчук В. О. Вплив легуючих елементів на структуру та властивості зміцнених шарів гільз циліндрів / В. О. Ковальчук // Металознавство та термічна обробка металів. – 2019. – № 6. – С. 30–35.

19. Костенко А. А. Аналіз методів зменшення втрат на тертя в двигунах внутрішнього згоряння / А. А. Костенко // Сучасні проблеми машинобудування : зб. наук. пр. – 2021. – Вип. 2 (24). – С. 78–84.

20. Кухаренко В. Оцінка технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна / В. Кухаренко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: Проблеми надійності машин. – 2018. – Вип. 192. – С. 195–203.

21. Левківський О. О. Підвищення зносостійкості циліндрів автомобільних двигунів при відновленні : кваліф. робота магістра / О. О. Левківський. – Житомир : Поліський нац. ун-т, 2020. – 88 с.

22. Лизогуб В. Я. Трибологічні процеси в циліндро-поршневій групі ДВЗ / В. Я. Лизогуб. – К. : Наукова думка, 2012. – 190 с.

23. Марченко А. П. Двигатели внутреннего сгорания : учеб. пособ. / А. П. Марченко, И. В. Парсаданов, Н. К. Рязанцев [та ін.] ; под ред. А. П. Марченка. – Харків : НТУ "ХПИ", 2006. – 300 с.

24. Методичні рекомендації з виконання курсового проекту з дисципліни "Автомобільні двигуни" / А. В. Бабіч [та ін.]. – Дніпро : НГУ, 2016. – 68 с.

25. Молодык К. В. Восстановление деталей машин / К. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 2003. – 250 с.

26. Немий С. В. Вплив ремонтних змін діаметрів циліндрів автомобільних двигунів на їх характеристики / С. В. Немий, О. Й. Коцюмбас // Вісник Львівського ДУБЖД. – 2016. – № 13. – С. 145–151.

27. Новицький О. Р. Підвищення зносостійкості гільз циліндрів бензинових двигунів біметалізацією робочої поверхні тертя : кваліф. робота бакалавра / О. Р. Новицький. – Житомир : Поліський нац. ун-т, 2022. – 60 с.

28. Охотников Б. Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособ. / Б. Л. Охотников. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 140 с.

29. Петрик М. Тертя і зношування в машинах : основи / М. Петрик, В. Мельник. – Ужгород : Закарпат. іст. музей, 2003. – 160 с.

30. Повышение износостойкости и снижение механических потерь ДВС : обзор соврем. технологий // Automotive Engineering : міжнар. електрон. журн. – 2023. – № 4. – Режим доступу: <http://www.auto-eng.com/>. – Назва з екрана.
31. Прохоренко А. А. Статические характеристики электронного регулятора для дизеля с аккумуляторной топливной системой // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 2. – С. 41–45.
32. Романенко М. Сучасні методи обробки поверхонь тертя в ДВЗ / М. Романенко // Двигунобудування України : електрон. журн. – 2022. – № 3. – Режим доступу: <http://www.engine-journal.org.ua/>. – Назва з екрана.
33. Свічкарьов В. Д. Триботехнічне забезпечення надійності та довговічності ДВЗ : монографія / В. Д. Свічкарьов, І. В. Свічкарьов. – Харків : ХНАДУ, 2016. – 340 с.
34. Татарин А. Методи відновлення блоків циліндрів двигуна автомобіля / А. Татарин, Р. Розум // Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Тернопіль : ЗУНУ, 2023. – С. 55–58.
35. Технології зміцнення поверхонь тертя : навч. посіб. / О. А. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін [та ін.]. – Кременчук : КрНУ, 2021. – 140 с.
36. Тертя, зношування та змащування : енциклопедичний довідник / за заг. ред. О. В. Зарубіна. – К. : Техніка, 2001. – 520 с.
37. Тітов В. А. Підвищення довговічності гільз циліндрів шляхом оптимізації ремонтних технологій : монографія / В. А. Тітов. – К. : НУБіП України, 2019. – 160 с.
38. Федорченко В. В. Композиційні покриття для підвищення зносостійкості деталей ДВЗ / В. В. Федорченко, Г. С. Клименко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2020. – № 5. – С. 98–104.
39. Хефнер Х. Улучшение рабочих характеристик двигателей внутреннего сгорания / Х. Хефнер ; пер. с нем. В. М. Семенов. – М. : Машиностроение, 1985. – 216 с.
40. Шалапко Д. О. Випробування та дослідження двигунів внутрішнього згоряння : метод. вказівки / Д. О. Шалапко, А. А. Андреев, А. В. Дрозд. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – 55 с.
41. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії двигунів внутрішнього згоряння : підручник / В. Ф. Шапко. – Кременчук : КрНУ, 2023. – 180 с.
42. Шляхи зниження механічних втрат у сучасних двигунах внутрішнього згоряння / В. Я. Антонов [та ін.] // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2022. – № 1. – С. 4–9.

# ДОДАТКИ