

**М.В. Красота, доц., канд.техн.наук, І.В. Шепеленко, доц., канд.техн.наук,
І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, В.О.Дубовик, доц., канд. техн. наук**
Кіровоградський національний технічний університет

Зниження пускового зносу автотракторних двигунів зміною параметрів робочого циклу

В статті наведено результати теоретичних досліджень, що містять аналіз причин підвищеного зносу деталей автотракторних двигунів в період пуску та прогрівання, дано рекомендації щодо його зниження.

автотракторні двигуни, зношування деталей, тиск згорання

Пуск та прогрівання холодного двигуна являє собою недостатньо вивчений складний нестационарний процес, при якому різко змінюються умови роботи пар, що труться. На теперішній час не існує єдиної думки про причини підвищеного зносу і зниження надійності роботи пар, що труться, при пуску двигуна, а також про переважний вид зношування в цей період і якісної оцінки частки пускового зносу основних деталей в загальному зносі.

Першими дослідженнями [1, 2, 3], присвяченими цим питанням, встановлено, що за один пуск і прогрівання холодного двигуна зимою циліндри зношуються на величину, що відповідає експлуатаційному пробігу близько 180...200 км і більше. Тому існувала думка, що знос циліндрів при пуску та прогріванні холодного двигуна складає 60 % їх загального зносу. В свою чергу ряд робіт, проведених в теперішній час, показує що пусковий знос циліндрів деяких двигунів складає всього 5...10% від загального зносу.

Різні автори як переважний вид зношування циліндрів двигуна називають корозійно-механічний, молекулярно-механічний, ерозійний тощо. Дослідженнями, проведеними в середині минулого століття підтверджено, що в період пуску та прогрівання двигуна основним видом зношування є корозійно-механічне, що виникає під дією кислот, що утворюються під час конденсації водяних парів та інших продуктів згорання палива при низьких температурах стінок циліндрів. Першими напрямками по підвищенню довговічності двигунів за рахунок зниження пускового і низькотемпературного зносу стало застосування циліндрів з зносостійкими, антикорозійними аустенітними вставками, пористе хромування верхніх компресійних кілець, підвищення якості палив (зниження вмісту сірки) і масел. Однак в деяких роботах [1, 3] показано, що при роботі двигуна на низькотемпературному режимі зношення циліндрів в більшій мірі залежить від твердості матеріалу, ніж від його корозійної стійкості. Такі протирічні відомості можливо пояснити як недостатнім об'ємом вказаних досліджень через їх складність та трудоемність, а також відсутністю повного аналізу виконаних робіт.

Таким чином, існує необхідність продовжити дослідження по виявленню подальших причин зниження надійності і встановлення переважного виду зношування основних деталей в період пуску та прогрівання двигуна, а також визначення частки пускового зносу в їх загальному зносі.

Основні фактори, що визначають зношення двигунів в процесі пуску та прогрівання. Інтенсивне зношування деталей циліндро-поршневої групи в період пуску та прогрівання як правило пояснюють двома основними причинами:

низькотемпературні режими роботи двигуна та незадовільні умови мащення, або так зване масляне голодування.

При пуску-прогріванні двигуна в зимовий час температура деталей довго залишається нижчою температури точки роси, тому на холодних стінках гільзи циліндрів конденсується вода, яка разом з сірчаним та сірчанистим газом, що міститься в продуктах згорання палива утворює відповідно сірчану та сірчанисту кислоту, що володіє високою корозійною агресивністю. Кількість кислоти зростає із збільшенням сірки в паливі.

Масляне голодування проявляється в тому, що при використанні серійних моторних масел з незадовільною температурно-в'язкісною характеристикою затримується на тривалий час надходження свіжого мастила у спряження циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного механізму при пуску та прогріванню двигуна. Крім того, паливо, що не випаровувалося і не згоріло, надходить в камеру згорання, розріджує або змиває масляну плівку із стінок циліндрів і поршневих кілець і оголює металеві поверхні, які труться, що викликає інтенсивне зношування деталей, появу задирів і заїдань спряжень.

Основні фактори, що значним чином підвищують зношування двигуна при пуску є такі, що представлені на рисунку 1.

Вплив параметрів робочого процесу двигунів на знос двигунів

Зовнішні фактори пуску прогрівання двигуна (температурні умови, навантажувальні і швидкісні режими) впливають на зносостійкість деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), однак величина зносу та швидкість зношування цих деталей залежать від, перш за все, умов роботи безпосередньо у спряженні „кільце-гільза, шийка-вкладиш”. Для деталей ЦПГ факторами, що визначають умови роботи спряження гільза-кільце є динамічні параметри запалювання та згорання палива і робочого процесу двигуна.

Відомо [4], що зношення деталей ЦПГ виражають наступною залежністю

$$I = \alpha \cdot p^m v^n t,$$

де α - коефіцієнт питомого зносу, що враховує вплив умов тертя (мащення, температура, абразивна та корозійна агресивність тощо);

p - питомий опір поршневого кільця на стінку гільзи циліндра;

v – швидкість переміщення деталей;

m і n – показники впливу тиску і швидкості на знос;

t – тривалість роботи.

Показник $m=2...3$ вказує на сильну залежність зносу деталей від тиску p . Тиск у спряженні гільза-кільце залежить від динамічних параметрів робочого процесу: максимального тиску p_z , жорсткості згорання d_p/d_α і періоду затримки запалення t_i .

Тиск поршневого кільця на стінку гільзи циліндра обумовлено силою пружності кільця і тиском продуктів згорання при робочому ході або повітря при такті стиснення, що прориваються в зазор між кільцем та поршневою канавкою. Сила притискання кільця від тиску газів в десятки разів більше сили пружності кільця і при досить великих зазорах між кільцем і канавкою поршня по висоті максимальний тиск на перше поршневе кільце в заклєчному просторі практично не відрізняється від максимального тиску p_z . Під дією динамічних параметрів p_z і d_p/d_α збільшуються навантаження на деталі і інтенсивніше зношуються поверхні, що труться. Взаємозв'язок між цими показниками підтверджує східимість індикаторної діаграми тиску робочого такту з епюрою зносу циліндрів. Розміщення дільниці максимального зношування гільзи співпадає з зоною максимального тиску продуктів згорання p_z .

У зв'язку з тим, що безпосередньо і основний вплив на деталі ЦПГ двигунів мають умови роботи їх в циліндрі, що визначаються головним чином динамічними

параметрами процесу загорання та запалення палива, при дослідженні зносостійкості цих деталей слід враховувати зміну показників робочого процесу двигуна під дією зовнішніх експлуатаційних факторів.

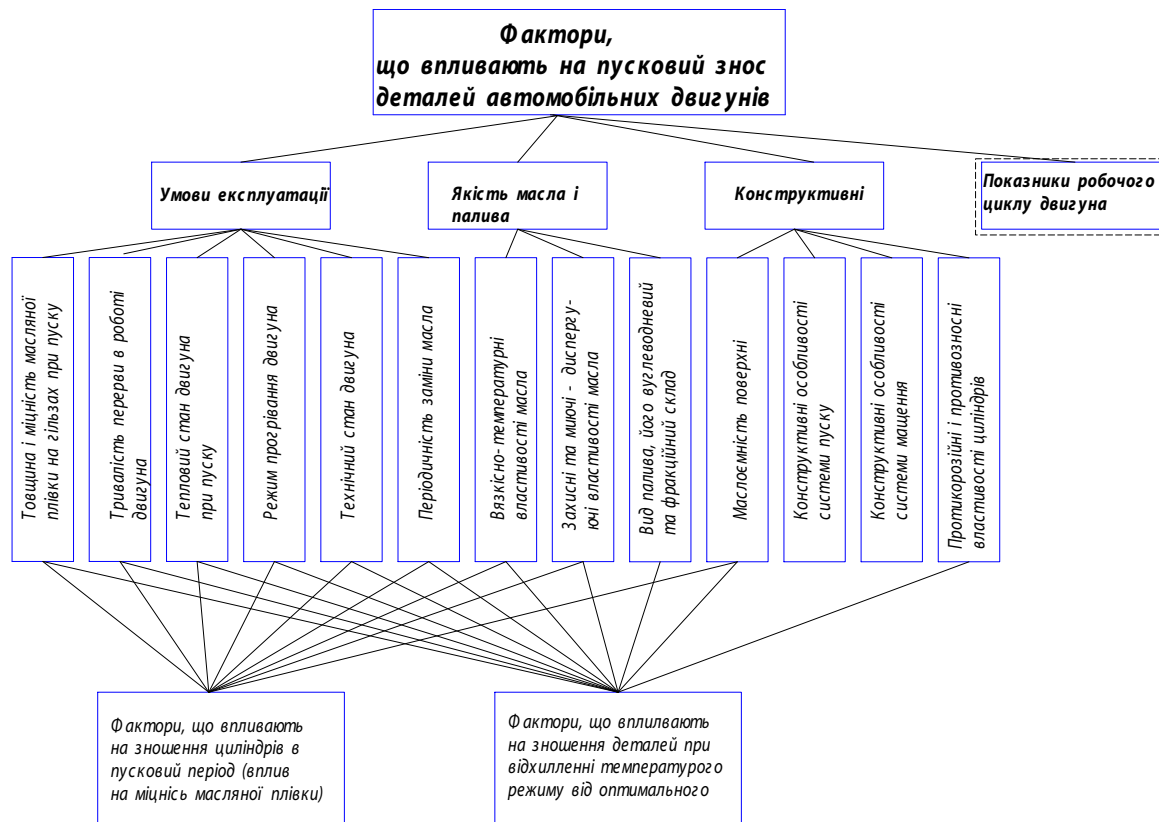


Рисунок 1 - Фактори, що визначають пусковий знос двигуна

Пуск двигуна в умовах низьких температур відрізняється від інших режимів роботи досить різким зростанням динамічних параметрів процесу згорання палива [5, 6] особливо в початковий період пуску-розгону. Максимальний тиск першого спалаху іноді в 2,5 рази більший p_z холостого ходу, а тиск шостого спалаху в 1,4 рази. Навіть при температурі зовнішнього повітря 20°C максимальний тиск вихрокамерного двигуна в період затримки запалення палива τ_i збільшується в 4 рази, а жорсткість згорання приблизно в 10 раз.

Для глибшого і повнішого розуміння і обґрунтування практичних рекомендацій по підвищенню зносостійкості деталей двигунів на пускових режимах слід враховувати основні процеси зношування, що відбуваються на поверхні тертя під дією динамічних навантажень на деталі ЦПГ при жорсткому згоранні палива в період пуску, а також можливі шляхи управління цими процесами.

Найбільш сприятливими для двигунів є умови рідинного тертя в сполученнях циліндро-поршневої групи і кривошипно-шатунного механізму, при яких деталі сполучень розділені шаром мастила товщиною, що перевищує в 1,5..2 рази сумарну висоту у мікронерівностей поверхонь, що труться.

Товщина шару масла зменшується з підвищенням навантаження або зниженням частоти обертання колінчастого валу при інших рівних умовах, тому для забезпечення рідинного тертя у важко навантажених, а також зношених спряженнях слід застосовувати більш в'язкі мастила.

При динамічному згоранні палива в початковий період пуску та різкій зміні навантажувального або швидкісного режиму шар мастила складає 4...6 мкм, що є недостатнім.

Шляхи зниження зношення двигунів в пусковий період. Підвищення довговічності і безвідмовності автотракторних двигунів на пускових режимах, а також їх ефективний і надійний пуск в умовах низьких температур забезпечуються комплексом організаційно-технічних заходів і конструктивних рішень

Вплив динамічних параметрів робочого процесу двигуна на довговічність деталей слід враховувати при розробці основних напрямів і практичних рекомендацій по зниженню пускового зносу в початковий період пуску-розгону, а також в період наступного прогрівання двигуна роботою на холостому ходу або під навантаженням.

На теперішній час недостатньо вивчена можливість зниження пускового зносу двигунів шляхом зміни показників робочого циклу.

В даній роботі на основі проведених досліджень пропонується спосіб зниження пускових зносів шляхом зміни параметрів робочого циклу та виконується оцінка правомірності таких змін з точки зору економічності та екологічності двигуна.

Як показав аналіз досліджень процесів зношення автомобільних двигунів в період пуску-розгону, який відбувається протягом декількох секунд, пусковий знос складає більше 50 % зносу двигуна за загальний період пуску і прогрівання на холостому ходу протягом 10...15 хв.

Інтенсивному зношуванню за короткий час можливо запобігти, якщо знизити динамічні параметри процесу згорання палива. Максимальний тиск згорання p_z і жорсткість згорання d_p/d_α перших спалахів палива слід обмежувати.

Аналіз індикаторних діаграм сучасних двигунів, а також епюр зношення деталей двигуна показує, що довговічність двигунів можливо значно зменшити зміщенням зони дії p_z і d_p/d_α в процесі пуску-розгону від в.м.т. на лінію розширення. Досягти такого результату можливо двома шляхами: збільшенням періоду затримки запалення палива при пуску τ_i , наприклад зменшенням цетанового числа, а також значним зменшенням кута випередження впорскування палива (кута випередження запалення у випадку бензинових двигунів) лише на період пуску-розгону двигуна. Після пуску-розгону двигуна до стійких обертів холостого ходу кут випередження впорскування (запалення) повинен автоматично збільшуватися до оптимального.

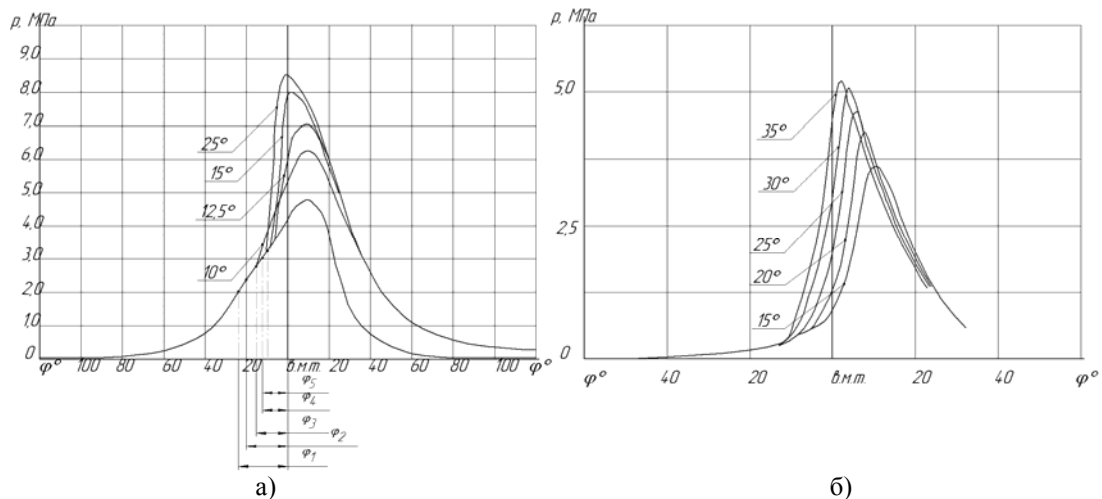
Такі зміни в робочого процесу двигуна при пуску можливі за допомогою спеціальних муфт, що збільшують кут випередження впорскування палива після пуску двигуна, наприклад під дією тиску масла в головній масляній магістралі. В початковий період пуску-розгона коли тиск в системі практично відсутній тиск буде впорскуватися при пізньому куту (після в.м.т.), а з появою тиску в головній масляній магістралі муфта повертає кулачковий валик паливного насосу в бік випередження впорскування палива до номінального кута.

Пристрої, що змінюють кут випередження впорскування палива відомі (відцентрові муфти випередження впорскування палива, муфти з гідравлічним приводом. Однак вони змінюють кут випередження в межах 8...12° п.к.в, що недостатньо для істотного зниження величини та зміщення зони дії p_z відносно в.м.т. на пускових режимах.

Встановлення на двигунах пристроїв, що змінюють кут випередження впорскування (запалення) при пуску дозволить не лише знизити зношення деталей, але й запобігти появі таких складних і важких відказів, як повертання вкладишів колінчастого валу, які виникають, як правило, через передчасне навантаження після пуску непрогрітого двигуна без достатнього і стабільного тиску в системі мащення. При наявності таких пристроїв трогання з місця автомобіля, а також передчасне навантаження двигуна автоматично виключаються, так як двигун не сприйме навантаження і не розвине номінальної потужності до появи тиску масла в головній масляній магістралі.

З метою аналізу впливу зменшення кута випередження впорскування палива на показники двигуна встановлено, що при його малих значеннях двигун працює м'якше, однак його потужність та повнота згорання падають.

З рис. 2 видно, що максимальний тиск зменшується із зменшенням кута випередження впорскування палива (запалювання), також знижується жорсткість роботи двигуна d_p/d_ϕ . Пізнє впорскування (запалювання) приводить до того, що процес згорання відбувається за в.м.т. в процесі розширення і відбувається при повільному підвищенні тиску і малих значеннях d_p/d_ϕ . Пізнє впорскування знижує індикаторні показники (рис. 3).



а – дизельний; б – бензиновий

Рисунок 2 – Індикаторні діаграми двигунів при різних кутах випередження впорскування (запалення) двигунів

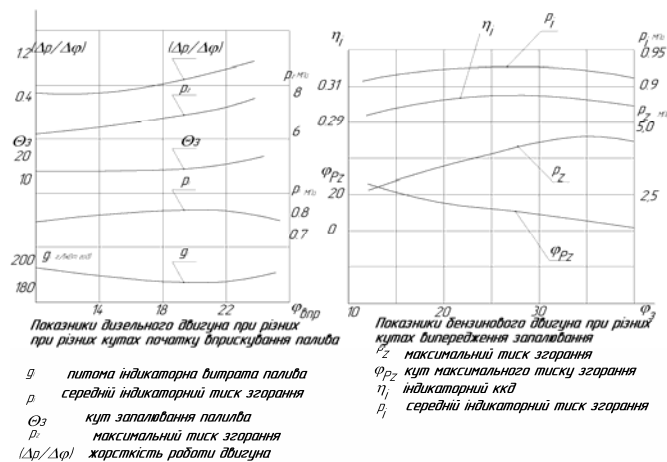


Рисунок 3 – Показники двигунів при різних кутах випередження впорскування (запалювання).

Зменшення кута випередження впорскування палива приводить до зниження максимальної температури циклу, що значно понижує вміст NO, CH у відпрацьованих газах (рис. 4), однак підвищує вміст сажі. Погіршується також економічність дизеля.

Щодо бензинового двигуна, зміна кута випередження практично не впливає на вміст CO у відпрацьованих газах, однак збільшується концентрація CH в продуктах згорання.

Проаналізувавши вищенаведені характеристики можливо зробити висновки, що раціональним кутом випередження впорскування палива дизельних двигунів для зменшення зношування двигуна в початковий період є кут $10...12^\circ$, для бензинових двигунів кут випередження запалення - $15...20^\circ$ п.к.в.

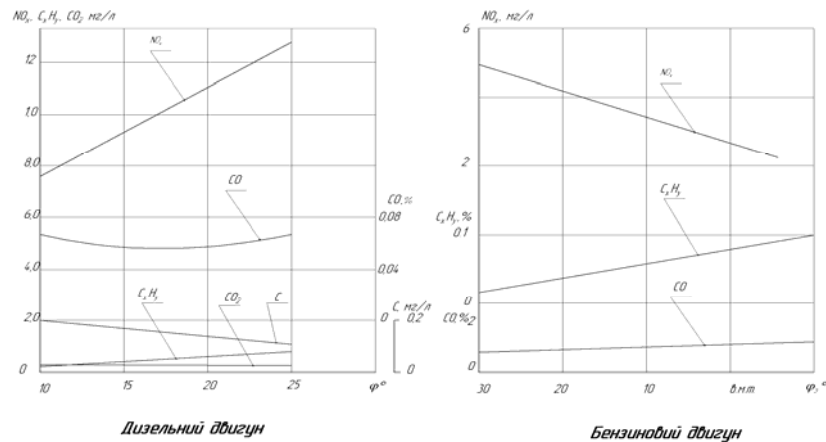


Рисунок 4 – Токсичність двигунів

Висновки. З метою зменшення пускового зносу запропоновано змінювати параметри робочого циклу двигуна для зменшення тиску згорання в пусковий період шляхом зменшення кута випередження впорскування (запалення) та зсування періоду згорання палива у фазу розширення. Проаналізовано параметри двигунів при малому куті випередження палива, встановлено, що внаслідок зменшення кута випередження палива слід очікувати зниження тиску згорання, жорсткості роботи двигуна при певному зниженню потужності. Раціональним кутом випередження впорскування палива дизельних двигунів для зменшення зношування двигуна в початковий період є кут $10...12^\circ$, для бензинових двигунів кут випередження запалення - $15...20^\circ$ п.к.в

Список літератури

1. Григорев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976.
2. Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В., Поляков А.А. Избирательный перенос в узлах трения. – М.: Транспорт, 1969.
3. Попов В.Н., Бугаев В.Н., Ашмарин Н.М. Износостойкость поршневой группы двигателей, Тр. Чимэсх, 1977, вып. 26.
4. Суранов Г.И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске. – М.: Колос, 1982. – 143 с.
5. Суранов Г.И. К исследованию пусковых износов двигателей внутреннего сгорания. – Тр. ЦНИИМЭ, 1978, вып. 90.
6. Сорокин Л.А. О кинетике изнашивания цилиндра-поршневой группы автомобильного двигателя при пуске. – Автомобильная промышленность, 1974, №7.

В статье приведены результаты теоретических исследований, которые содержат анализ причин повышенного износа деталей автотракторных двигателей в период пуска и прогрева, даны рекомендации по их снижению.

In clause the results of theoretical researches are given which contain the analysis of the reasons of deterioration of details of auto tractor engines in the period to start-up, the recommendations for their decrease(reduction) are given.