

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Модернізація двигуна внутрішнього згоряння шляхом автоматичного
регулювання фаз газорозподілу»**

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Калінін Є.І.

(ПІБ)

Керівник кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Колеснік І.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Міклашук Роман Андрійович

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

тракторів і автомобілів та

д.т.н., проф. **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання кваліфікаційної роботи студенту

Міклащуку Роману Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність _____ 274 «Автомобільний транспорт»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Модернізація двигуна внутрішнього згоряння шляхом автоматичного регулювання фаз газорозподілу»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «06» лютого 2026р. №397 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: _____ 01.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Технічна документація автомобіля

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ (актуальність та мета досліджень);

Обґрунтування теми;

Регулювання фаз газорозподілу;

Конструкторська частина;

Безпека життєдіяльності;

Техніко-економічна ефективність пропонованого пристрою;

Висновки; Список використаних джерел;

(перелік питань, які потрібно розробити)

Перелік графічного матеріалу: газорозподільний механізм та його види; регулювання фаз газорозподілу; способи регулювання фаз; пристрій для автоматичного регулювання фаз газорозподілу; розрахунок габаритно-масових параметрів пристрою для автоматичного регулювання фаз газорозподілу; безпека життєдіяльності; техніко-економічна ефективність пропонованого пристрою.

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис) **Колеснік І.В.**
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис) **Міклащук Р.А.**
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний в об'ємі 8 листів графічної частини формату і пояснювальної записки на 44 сторінках. Пояснювальна записка містить 5 розділів, в яких знаходиться 16 рисунків і 3 таблиці.

У будь-якому сучасному автомобілі, комбайні чи тракторі так званим "серцем" є двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). І незалежно від того, який він (бензиновий або дизельний, чотиритактний або двотактний і т.д.), головне його завдання полягає у перетворенні теплової енергії на механічну роботу за допомогою згоряння палива в робочій камері двигуна.

Дипломний проект присвячений питанню модернізації двигуна внутрішнього згоряння шляхом автоматичного регулювання фаз газорозподілу.

Мета роботи. Розробити конструкцію для автоматичного регулювання фаз газорозподілу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Даний пристрій вимагає подальшого дослідження та доопрацювань. Як пропоновані видозміни можна відзначити збільшення числа провідних шестерень з двох до трьох (або навіть до чотирьох), з метою рівномірного розподілу мас, або, наприклад, встановлення тільки однієї параболічної опори, тому як маси, важіль і шестерні між собою жорстко закріплені, і для зсуву їх може знадобитися лише одна опора.

Ключові слова: двигун, газорозподільчий механізм, фази газорозподілу, регулювання.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Обґрунтування теми	6
1.1 Газорозподільний метод та його види	6
1.2 Пристрій та принцип роботи газорозподільного механізму	8
1.3 Фази газорозподілу	17
2 Регулювання фаз газорозподілу	19
2.1 Існуючі способи регулювання (зміни) фаз газорозподілу	19
2.2 Опис пропонованої конструкції для автоматичного регулювання фаз газорозподілу	23
3 Конструкторська частина	25
3.1 Розрахунок габаритно-масових параметрів пристрою регулювання фаз газорозподілу	25
3.2 Розрахунок телескопічного важеля на вигин	29
4 Безпека життєдіяльності	31
4.1 Інструкція з охорони праці для слюсаря з ремонту автомобілів під час роботи з пристроєм для автоматичного регулювання фаз газорозподілу	31
4.1.1 Загальні вимоги	31
4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи	32
4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи	32
4.1.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	33
4.1.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи	33
4.2 Розрахунок заземлення	34
5 Техніко-економічна ефективність пропонованого пристрою	35
5.1 Розрахунок витрат на виготовлення пристрою для автоматичного регулювання фаз газорозподілу	35
5.2 Розрахунок економії від підвищеної витрати пального	38
Висновок	41
Список використаних джерел	42
Додатки	44

ВСТУП

У будь-якому сучасному автомобілі, комбайні чи тракторі так званим "серцем" є двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). І незалежно від того, який він (бензиновий або дизельний, чотиритактний або двотактний і т.д.), головне його завдання полягає у перетворенні теплової енергії на механічну роботу за допомогою згоряння палива в робочій камері двигуна.

І для підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згоряння фахівці створюють нові конструкції цих двигунів, модернізуючи вже наявні деталі, вузли та інші механізми.

Одним із таких механізмів, якому потрібна модернізація, є газорозподільний механізм (ГРМ).

Більшість двигунів, яка використовується в сільському господарстві нашої країни, не має принципової відмінності конструкції газорозподільного механізму від аналогів 30-х років минулого століття. І якщо в чомусь і були ці зміни, то вони стосувалися, перш за все, клапанів (змінювалася кількість клапанів, що використовуються на одному циліндрі). До того ж, не вирішувалося головне завдання. У всіх таких ДВЗ оптимальне значення фаз газорозподільного механізму підходить лише до одного режиму роботи, і в інших режимах роботи це оптимальне значення фаз ГРМ призводить до зниження ефективних показників.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ

1.1 Газорозподільний механізм та його види

Газорозподільний механізм (скорочена назва - ГРМ) призначений для своєчасної подачі повітря або паливно-повітряної суміші (залежно від двигуна) у циліндри та випуску з цих циліндрів відпрацьованих газів. Все це відбувається завдяки своєчасному відкриття та закриття клапанів.

Головне завдання або вимога полягає в найкращому наповненні циліндрів паливно-повітряної суміші або повітря, а також в найкращому очищенні циліндрів від суміші, що відпрацьовала.

За типами механізму управління впуском та випуском газорозподільні механізми діляться на гільзові, золотникові, поршневі та клапанні.

Конструкцію з гільзовим управлінням газорозподілу створили інженером з Америки Чарльзом Найтом. Суть даної конструкції полягала в наступному: переміщення гільзи вгору-вниз здійснювалося завдяки приводу від розподільного валу через косозубі шестірні. Незважаючи на повну безшумність роботи двигуна з таким газорозподілом, через високу витрату масла та складність конструкції така система не прижилася в наш час.

Також не набув широкого поширення золотникового принципу газорозподілу. Даний принцип може бути здійснений тільки в двотактних двигунах, як і поршковий принцип.

А ось клапанні механізми газорозподілу використовуються не лише на двотактних, а й на сучасних чотиритактних двигунах.

Дані механізми класифікуються за розташуванням клапанів на:

- нижньоклапанні;
- верхньоклапанні;
- Зі змішаним розташуванням клапанів.

Також є класифікації за кількістю клапанів (від 2 до 5) та за кількістю розподільчих валів (1 або 2).

У нижньоклапанному двигуні клапани розташовані в блоці збоку від циліндрів тарілками вгору і рухаються від розподільного валу. При цьому допускається різне чергування випускних та впускних клапанів. До плюсів такого розташування можна віднести простоту конструкції, відносний малий шум, а також компактність, так як всі деталі газорозподільного механізму знаходяться всередині блоку. І слід згадати, що спрощується система мастила, оскільки розподільний і колінчастий вали знаходяться в одному загальному картері.

Одним з важливих недоліків такого двигуна є непростий шлях паливно-повітряної суміші, тому на високих оборотах заповнення циліндрів знижується. І, незважаючи на простоту конструкції такого двигуна, погіршується обслуговування газорозподільного механізму через його складність. Через такі недоліки даний тип двигуна був витіснений двигуном, з верхнім розташуванням клапанів.

Газорозподільні механізми із верхнім розташуванням клапанів мають практично всі сучасні двигуни. Головною перевагою такого двигуна є компактність камери згоряння. Завдяки цьому покращується наповненість циліндрів паливно-повітряною сумішшю і, отже, така робота двигуна є набагато економічнішою.

Схеми даних двигунів представлені рисунку 1.1.

При змішаному розташуванні клапанів головною особливістю є різне розташування впускного та випускного клапана: перший розташований у головці блоку, а другий – у блоці. Перший розпочинає свою роботу за допомогою штанг штовхачів, а другий – за допомогою розподільчого валу. Цей двигун, можна сказати, є перехідним від нижньоклапанного до верхньоклапанного [1].

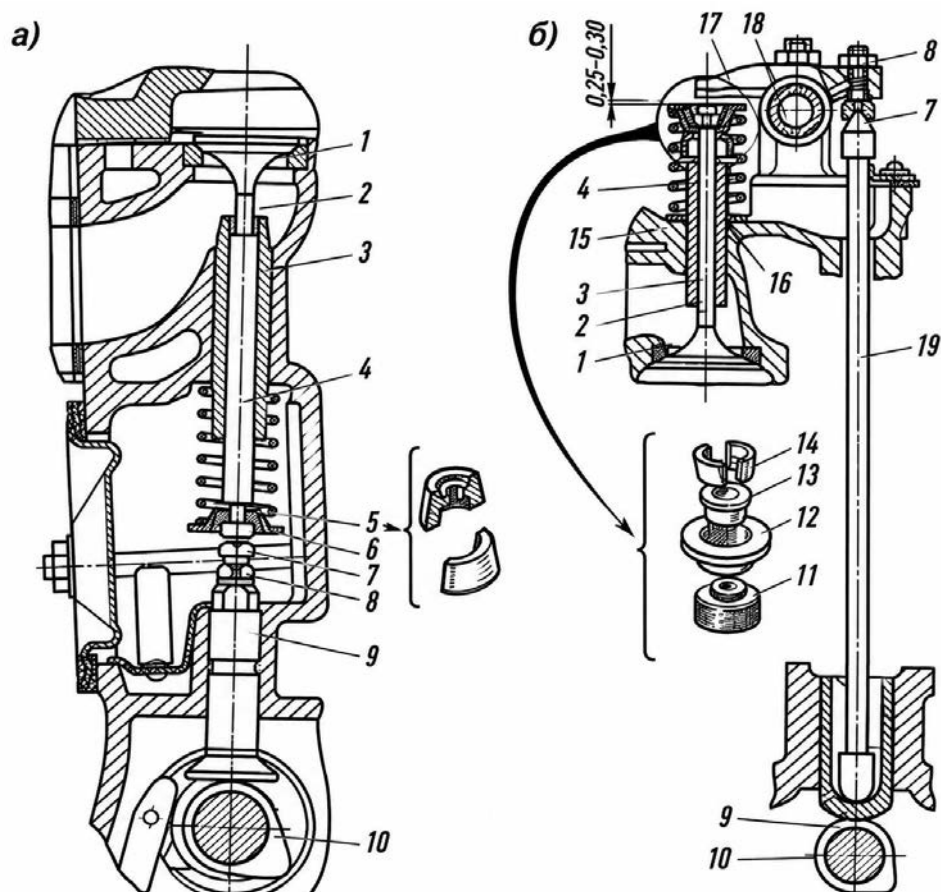


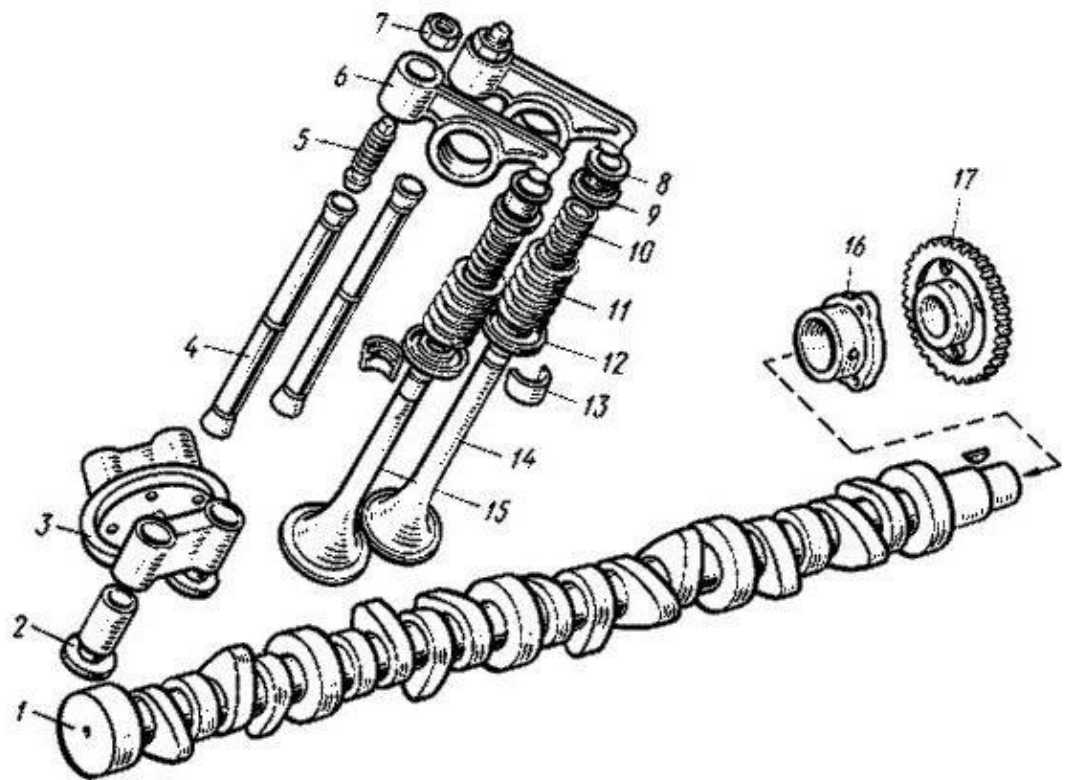
Рисунок 1.1 – Схеми газорозподільних механізмів з різним розташуванням клапанів: а-нижнім; б-верхнім.

Також розрізняють одно- і двовальні газорозподільні механізми. Їхня відмінність полягає в кількості розподільних валів в головці блоку циліндрів (в одновальному ГРМ- один вал, а в двовальному відповідно два).

1.2 Пристрій та принцип роботи газорозподільного механізму

На сучасних чотиритактних двигунах внутрішнього згоряння переважно застосовуються клапанні газорозподільні механізми. У цьому прикладі і розглянемо пристрій ГРМ і його роботи[2].

Основні елементи газорозподільного механізму представлені рисунку 1.2.



1-розподільний вал; 2- штовхач; 3- напрямна штовхачів; 4- штанга; 5- регулювальний гвинт; 6- коромисло; 7- контргайка; 8- втулка; 9- тарілка; 10 пружина внутрішня; 11 пружина зовнішня; 12 - шайба; 13-сухар; 14 - впускний клапан; 15-випускний клапан; 16 - фланець; 17 шестірня.

Рисунок 1.2 – Схема приводу клапана.

Розглянемо кожен елемент окремо.

Розподільний вал служить для керування клапанами механізму газорозподілу. Його обертання забезпечує своєчасне відкриття та закриття клапанів газорозподільного механізму відповідно до роботи циліндрів даного двигуна та фаз газорозподілу, про які ми поговоримо трохи пізніше.

Самі розподільні вали виготовляють із високоміцної загартованої сталі та в деяких випадках із чавуну.

Цей розподільний вал приводиться в рух завдяки приводу колінчастого валу. При цьому обертання колінчастого валу в два рази швидше за розподільний, тобто за один оборот розподільного валу відбувається 2 обороти колінчастого валу.

Привід розподільного валу може мати три типи передачі: ланцюгова, ремінна та зубчаста. Всі ці приводи мають свої плюси та мінуси.

Ланцюговий привід довговічніше з усіх представлених видів, але має досить велику масу в порівнянні з іншими, внаслідок чого потрібні додаткові пристрої для натягу ланцюга.

Ремінний привід досить простий у використанні. У порівнянні з ланцюгом він не вимагає будь-якого мастила і безшумний. Але цей привід поступається своїм обмеженим ресурсом зубчастим, який використовується в сучасних двигунах.

На розподільчому валу знаходяться кулачки та опорні шийки, які представлені на рис. 1.3.

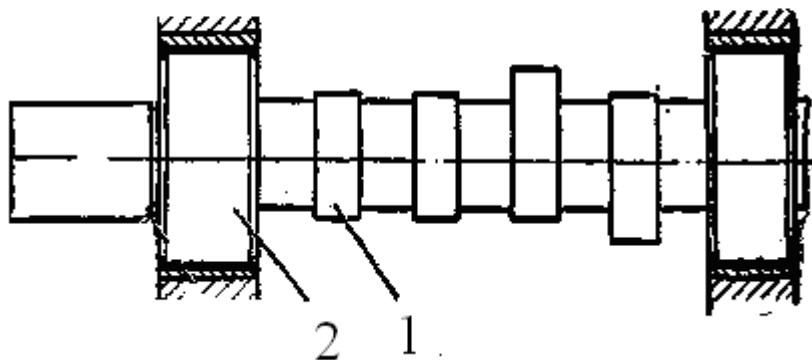
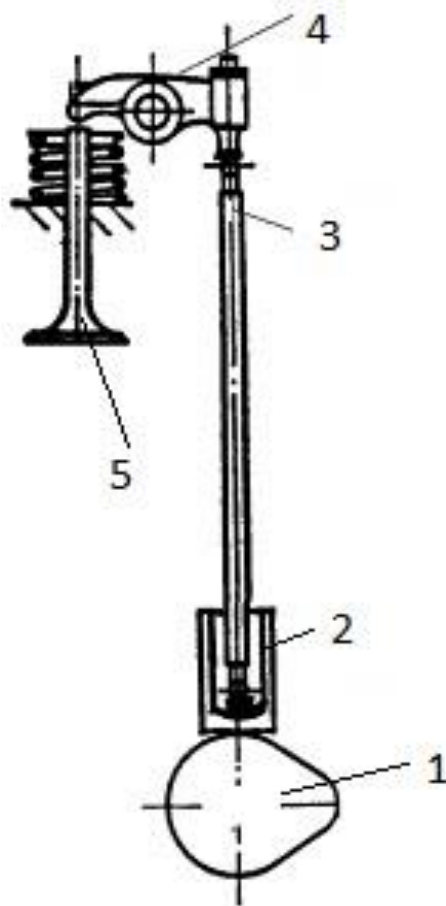


Рисунок 1.3 – Розподільний вал: 1-кулачок; 2-опорна шийка.

Кількість кулачків відповідає кількості впускних та випускних клапанів двигуна внутрішнього згорання. Кулачок здійснює обертальний рух, має форму ексцентрика та взаємодіє з іншою ланкою – штовхачем. До головних переваг кулачка слід віднести простоту конструкції та здатність реалізувати будь-який закон руху виконавчого механізму.

Кількість опорних шийок зазвичай дорівнює кількості корінних підшипників колінчастого валу.



1-кулачок; 2- штовхач; 3- штанга штовхача; 4 коромисло; 5- клапан.

Рисунок 1.4 – Схема приводу штовхача

Така деталь газорозподільного механізму як штовхач служить передачі зусиль розподільного валу, за допомогою кулачка, до штанг коромисел або безпосередньо клапанам (рисунок 1.4). Вони можуть бути виготовлені з високоміцної сталі або чавуну.

Існує три типи штовхачів: механічні, гідравлічні та роликові. Механічні штовхачі є найстарішими, найпростішими та найдешевшими. Через свою невелику вагу, механічні штовхачі дозволяють двигуну обертатися набагато швидше перед спрацюванням клапанів. Основними недоліками механічних штовхачів є необхідність частого регулювання клапанів та шум від їхньої роботи.

Гідравлічні штовхачі є найпопулярнішим типом, що використовується на двигунах. Вони мають невелику внутрішню камеру, де накопичується

моторне масло, і контрольний клапан для запобігання зворотному потоку масла. Ці особливості дозволяють штовхачеві автоматично компенсувати різницю в клапанних зазорах. Стандартні гідравлічні штовхачі відносно недорогі і не вимагають технічного обслуговування, проте, на високих обертах вони прагнуть «прокачуватися» і зависають клапани. Існують спеціальні штовхачі, які розширюють діапазон обертів достатньо, щоб задовольняти потреби практично будь-якого двигуна. Гідравлічні штовхачі є найбільш популярним типом штовхачів, які використовуються на форсованих двигунах, і добре працюють у всіх умовах.

Роликові штовхачі клапанів є найкращими та найдорожчими штовхачами. Вони збільшують потужність та покращують паливну економічність шляхом зменшення тертя. Роликові штовхачі є і в механічному, і в гідравлічному варіантах.

Також на рисунку 1.4 представлена штанга штовхача, яка є порожнистим циліндричним стрижнем зі сталевим наконечником. Вона служить передачі зусилля від штовхачів до коромисел. Зазвичай її виготовляють із зносостійкого алюмінієвого сплаву або з середньовуглецевої сталі.

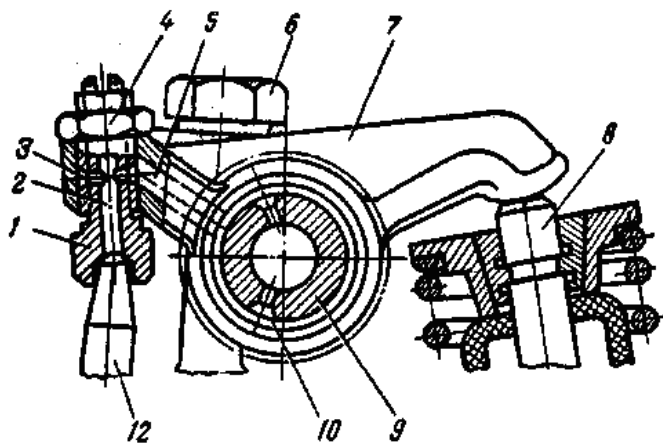


Рисунок 1.5 – Схема коромисла

Коромисло 7 служить передачі зусилля від штанги 12 (під час руху розподільного валу) до стрижня клапана 8. Воно є важіль з двома плечима,

одне з яких довше, що знаходиться біля штанги, а інше- біля клапана. Цей важіль кріпиться на осі. На малюнку 1.5 зображено схему коромисла. Для забезпечення нормальної роботи механізму газорозподілу коромисло повинно мати достатню жорсткість при мінімальному моменті інерції.

В один кінець коромисла 7, зазвичай звернений до штанги 12, повертається регулювальний болт 1 з кріпить його контргайкою 4. на зовнішній поверхні болта виконується кільцева проточка 3, а в тілі висвердлюються осьовий і радіальні канали 2 для підведення мастила до 3 осі коромисла чи, навпаки, від штанги до втулки осі коромисла. Осі коромисла встановлюються на бронзових втулках 10. У більшості випадків для коромисел застосовуються загальні осі 9. Внутрішні канали таких осей використовуються для підведення мастила до втулок коромисел і їх тертьових поверхонь через масляні канали 5. При встановленні на загальних осях спіральними пружинами, що одягаються на вісь, а коромисла на кінцях осі – шплінтами. Осі коромисел поміщаються у спеціальних кронштейнах та кріпляться до головки блоку болтами 6.

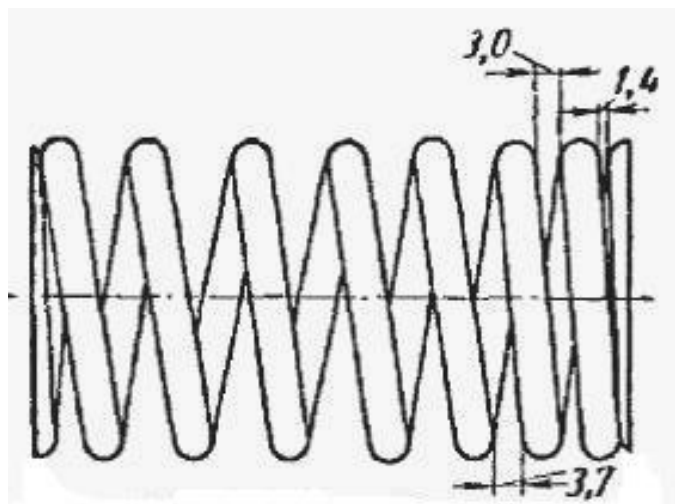


Рисунок 1.6 – Схема клапанної пружини

Клапанні пружини (внутрішні та зовнішні) повинні своєчасно закривати клапан, забезпечувати щільну посадку клапана в сідло, утримувати його у закритому стані та не допускати відриву від провідних деталей у періоди відкриття та закриття. Пружина в процесі роботи піддається впливу змінних

динамічних навантажень, частота яких у швидкохідних двигунах може виявитися порівнянною з частотою власних коливань пружини. У цих умовах напруги в робочих елементах пружини можуть зрости до неприпустимих значень, що може спричинити або руйнування пружини, або порушення сталої роботи всього механізму газорозподілу.

З урахуванням викладеного для забезпечення надійної роботи механізму газорозподілу клапанні пружини повинні мати значну силу пружності, мати високу частоту власних коливань і витримувати великі напруги при дії змінних динамічних навантажень.

Найбільшого поширення набули циліндричні гвинтові пружини. Число робочих витків таких пружин зазвичай 4...10. Для утворення опорних поверхонь кінцеві витки в пружинах зближуються до дотику і зішліфовуються, тому загальна кількість витків пружини на два-три витки більша за кількість робочих витків.

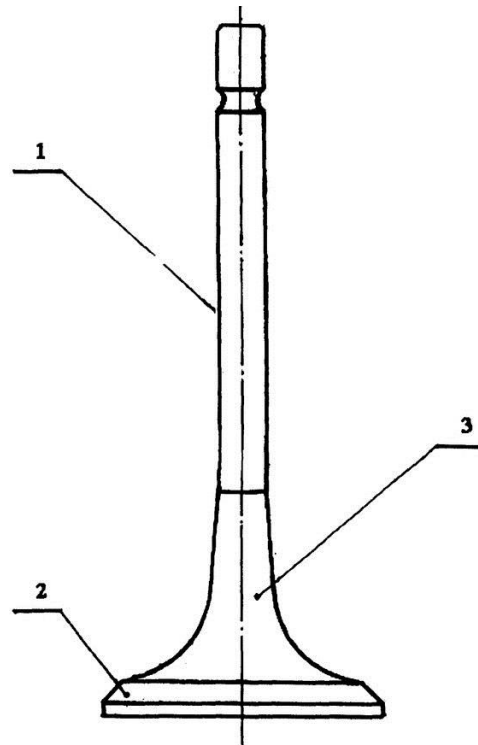
Крок витків пружин найчастіше застосовується постійним. У разі небезпеки виникнення резонансу пружини можуть виготовлятися зі змінним кроком, при цьому крок змінюється або до нерухомого кінця пружини, або від середини до обох кінців, це представлено на малюнку 1.6. у цих цілях іноді практикується використання конічних пружин, які великою основою встановлюються на нерухому поверхню головки блоку.

При нижньому розташуванні клапанів зазвичай кожен клапан встановлюється одна пружина, при верхніх клапанах – одна, дві й у поодиноких випадках – три пружини.

У разі використання двох пружин підвищується надійність роботи механізму газорозподілу та зменшуються розміри пружин. Зазвичай характеристика пружин вибирається такою, щоб кожна їх сприймала половинну навантаження. У деяких випадках навантаження зовнішньої пружини приймається 60-70% від сумарного зусилля. Напрямок витків зовнішньої та внутрішньої пружин робиться різним з тим розрахунком, щоб при поломці однієї з них її витки не потрапили між витками іншої.

Клапанні пружини виготовляються навивкою із дроту діаметром 3...6 мм. Матеріалом для них є сталі 65Г, 50ХВА, С65, С65А. Після навивки клапанні пружини піддаються термічній (загартування та відпустка до HRC 40 – 48) та механічній обробці.

Головним недоліком клапанних пружин є старіння, тому що втрачається пружність з часом.



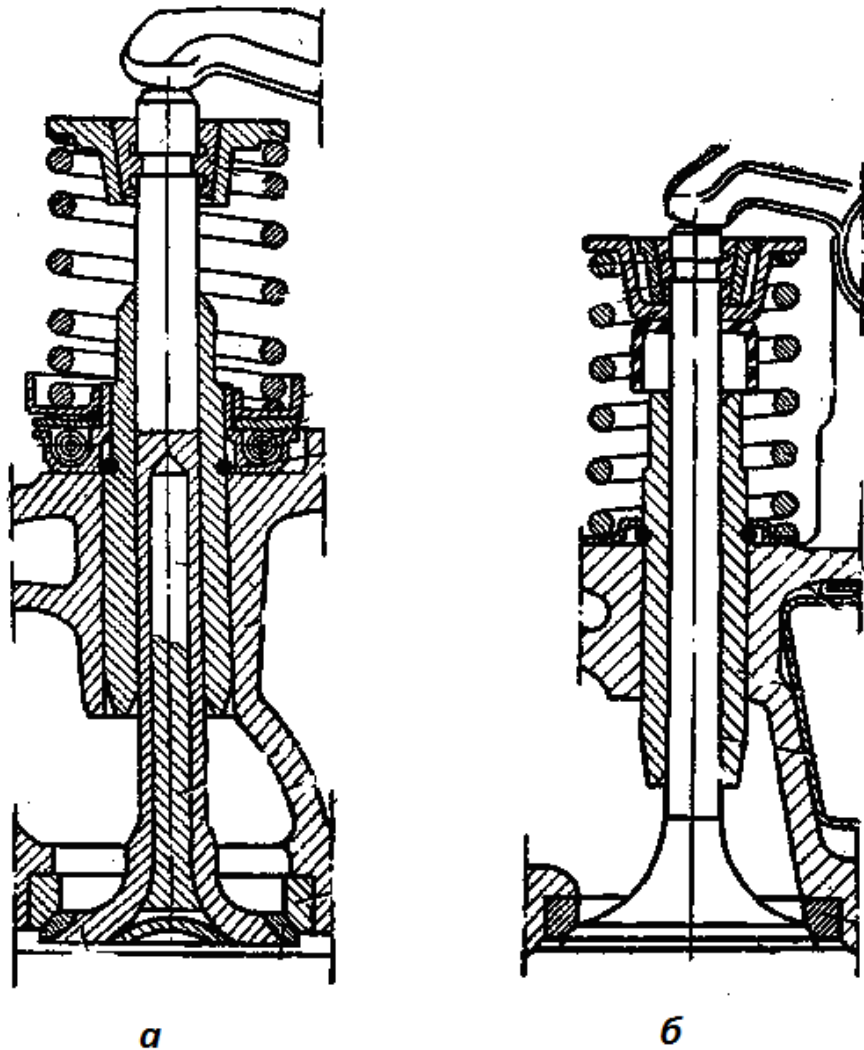
1 стрижень клапана; 2-конус клапана; 3 тарілка клапана.

Рисунок 1.7 – Схема клапана.

Одними з основних деталей газорозподільного механізму є клапани. Вони служать для подачі паливно-повітряної суміші в циліндри двигуна внутрішнього згоряння і видачі газів, що відпрацювали, за допомогою періодичного відкриття і закриття каналів. Як видно з малюнку 1.7 клапани складаються з трьох основних частин: стрижень, конус та тарілка.

Стрижень клапана має циліндричну форму і у верхній частині кріпиться клапанною пружиною. Також він є порожнистим і всередині натрієве наповнення для того, щоб відбувалося охолодження.

Конус і тарілка є головкою клапана. Вони бувають різними залежно від типу клапана.



а – випускний клапан; б – впускний клапан.

Рисунок 1.8 – Клапани у зборі

Існують два види клапана: випускний та впускний (рисунок 1.8). Для кращого заповнення циліндрів свіжої паливно-горючої сумішшю розмір головки впускного клапана виготовляють з більшим діаметром, ніж головку випускного клапана. А також варто відзначити, що випускні клапани, через те, що виводять відпрацьовані гази, нагріваються більше, ніж впускні, і тому їх виготовляють із жаротривкої сталі. А для впускних клапанів використовують хромисті середньовуглецеві сталі.

1.3 Фази газорозподілу

Ефективність роботи двигуна, наприклад потужність і момент, що крутить, залежить від безлічі факторів. Одним із таких факторів є фази газорозподілу. Від того як своєчасно відкриватимуться і закриватимуться випускні та впускні клапани, залежить витрата палива, і це безпосередньо залежить на потужність двигуна [3].

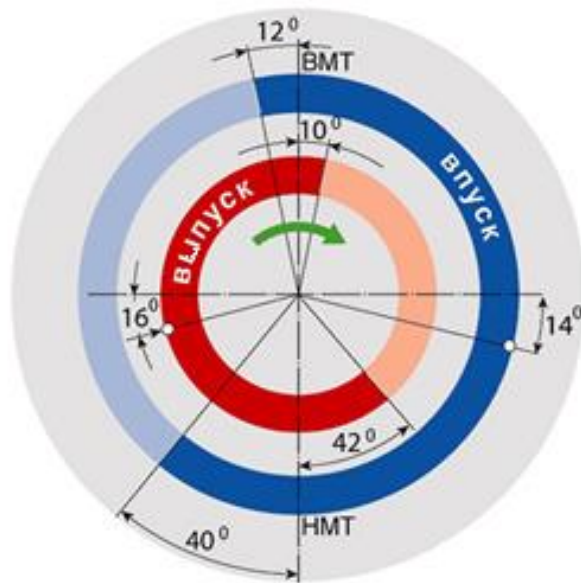


Рисунок 1.9 – Схема фаз газорозподілу

На рисунку 1.9 представлений цикл газорозподілу. У циліндрі працюючого карбюраторного двигуна за один цикл відбуваються чотири такти: впуск паливно-повітряної суміші, стиск, робочий хід і випуск газів, що відпрацювали.

Впускному клапану доводиться відкриватися з випередженням, тобто коли поршень не доходить до верхньої мертвої точки (ВМТ) на кутову відстань 12° повороту колінчастого вала. Це робиться для того, щоб циліндр заповнився свіжою паливно-повітряною сумішшю завдяки тому, що впускний отвір буде вже відкритий.

Впускний клапан закривається із запізненням на відстань, що дорівнює 40° повороту колінчастого валу після того, як поршень пройде нижню мертву точку (НМТ). Це потрібно для кращого заповнення циліндра.

Випускний клапан починає відкриватися ще до закінчення робочого ходу, до підходу поршня до НМТ на відстань, відповідне 42° повороту колінчастого валу до НМТ. У цей момент тиск у циліндрі ще досить великий, і гази починають інтенсивно витікати з циліндра, внаслідок чого їх тиск та температура швидко падають. Це значно зменшує роботу двигуна під час випуску та оберігає двигун від перегріву.

Випуск триває після проходження поршнем ВМТ, тобто. коли колінчастий вал повернеться на 10° після ВМТ. Отже, тривалість випуску становить 232° .

2 РЕГУЛЮВАННЯ ФАЗ ГАЗОРОЗПОДІЛУ

2.1 Існуючі способи регулювання (зміни) фаз газорозподілу

Для регулювання фаз газорозподілу було створено безліч механізмів і їх впровадження.

У класичних двигунах відсутнє регулювання, оскільки задані кути фаз газорозподілу налаштовані лише під режим роботи. Такий спосіб дуже небажаний для двигунів, особливо для двигунів тракторів та комбайнів, тому що в роботі у сільському господарстві їм доводиться працювати на полях на різних режимах та в різних умовах. У цих випадках відбувається збільшена витрата палива (частина незгорілого палива виходить в атмосферу, тим самим забруднюючи довкілля). Внаслідок чого втрачається потужність і тим самим знижується ефективність роботи двигуна.

Одним із способів регулювання є зміна положення розподільного валу щодо його початкового положення до колінчастого валу в залежності від того, який режим роботи двигуна необхідний в даний момент. Цей спосіб регулювання фаз газорозподілу досягається декількома способами. Спочатку розглянемо електронне керування, за допомогою бортового комп'ютера.

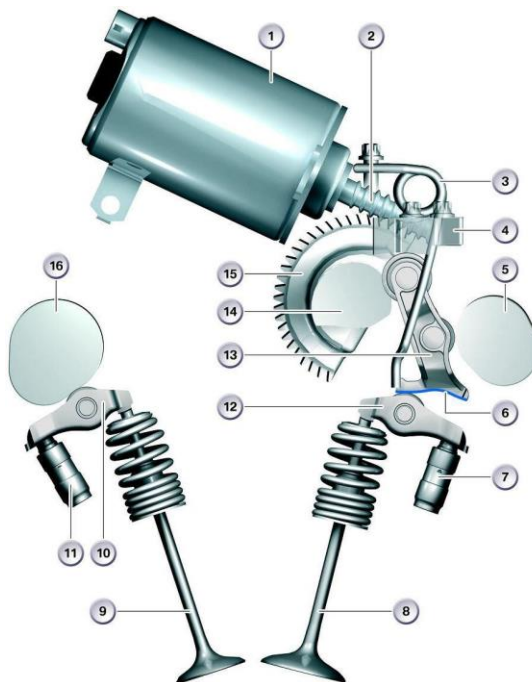


Рисунок 2.1 – Схема «Інтелектуальна Система зміни фаз газорозподілу»

"Інтелектуальна Система зміни фаз газорозподілу" - саме так перекладається аббревіатура WT-I (Variable Valve Timing-Intelligent System). Схема даного пристрою представлена на рисунку 2.1. Сутність цього способу полягає у застосуванні бортового комп'ютера.

Бортовий комп'ютер (ECU) отримує необхідну інформацію про роботу двигуна через датчики положення розподільного та колінчастого валів. Дану інформацію бортовий комп'ютер аналізує та порівнює її з «картою роботи WT-system». І потім він передає команду управління на клапан тиску олії (Camshaft Timing Oil Control Valve). І в залежності від того тиску масла, яке на даний момент часу перепустив Camshaft Timing Oil Control Valve і відбувається поворот розподільного валу впускного на певний кут. Необхідно сказати, що дана система не є єдиною у своєму роді. Існує кілька подібних систем зміни фаз газорозподілу, відомі під іншими назвами.

До переваг цієї системи можна віднести той факт, що за допомогою бортового комп'ютера можна задати будь-яку закономірність зміни фаз газорозподілу.

Але, на жаль, дана система не може протистояти електромагнітному імпульсу та волозі, внаслідок чого вся апаратура виходить з ладу та вимагає негайного ремонту у спеціалізованому ремонтному центрі, який не завжди знаходиться поблизу, особливо якщо враховувати особливості регіону у сільськогосподарському комплексі або на лісозаготівельних господарствах.

Також для регулювання кутів фаз газорозподілу існують патенти на винаходи як іноземного, і вітчизняного виробництва.

Пристрій для регулювання фаз газорозподілу ДВЗ містить співвісно розміщені елемент приводу, з'єднаний з колінчастим валом двигуна, і розподільний вал, пов'язані між собою відцентровим механізмом регулювання фаз, який має вузол передачі зусилля на розподільний вал у вигляді зубчастої передачі. Передача має черв'ячне колесо, жорстко встановлене на розподільчому валу і утворює зачеплення, щонайменше, з двома черв'яками, на кожному з яких жорстко встановлені відцентрові важелі та пружини,

причому останні встановлені з можливістю взаємодії з важелями. Колесо виконано з кількістю зубів за кількістю черв'яків, кожен зуб виконаний у вигляді стрижня, а кожен черв'як встановлений на елементі приводу з можливістю повороту навколо осі і виконаний у вигляді циліндра, що має паз [4].

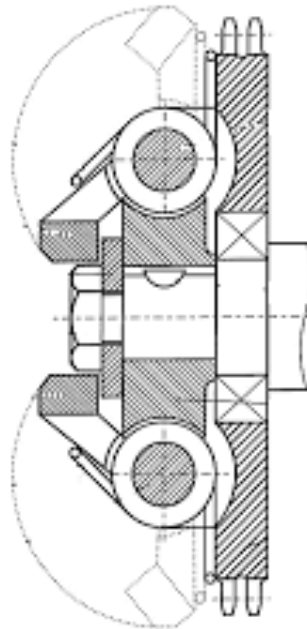


Рисунок 2.2 - Патент на винахід №2330169

До переваг даного способу слід віднести підвищення ефективності в роботі, спрощення конструкції та технологічності. А до недоліків можна віднести великі габарити даної конструкції та нестабільність пристрою. Також не слід забувати про деформацію пружини, так вона може з часом зношуватися, тобто втрачати свою пружність.

Наступний патент, який ми розглянемо, буде американського походження під номером №4955330. Ця схема пристрою представлена рисунку 2.3.

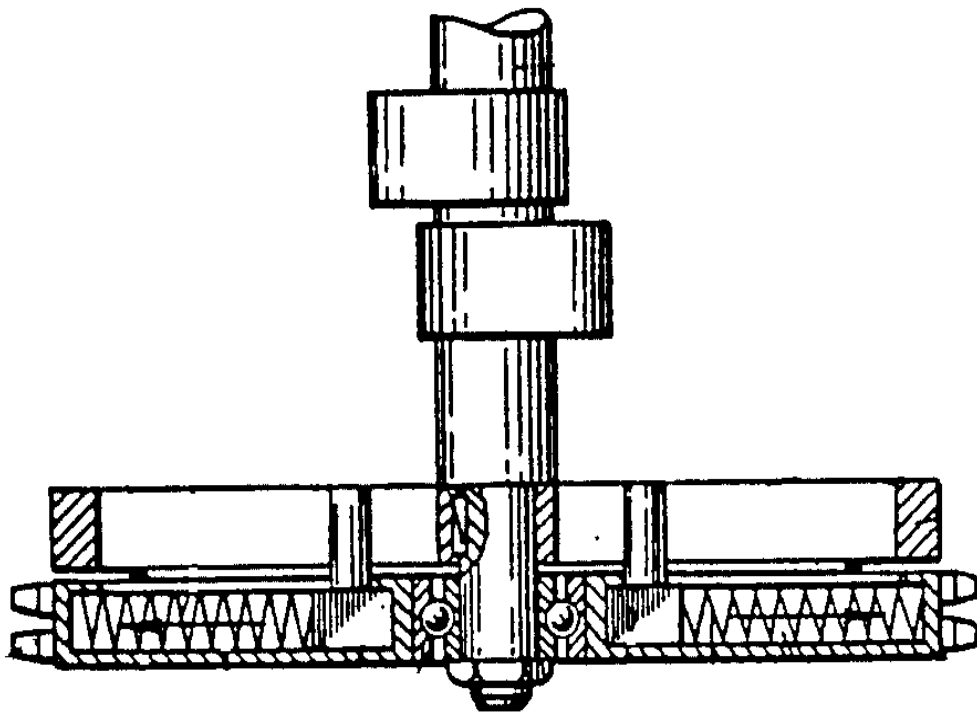


Рисунок 2.3 – Патент на винахід №4955330

Даний пристрій дозволяє змінювати кутове положення розподільного валу, і, отже, кулачка щодо колінчастого валу при зміні швидкісного режиму двигуна. Воно містить співвіснорозміщену шестірню, пов'язану з колінчастим валом двигуна, і розподільний вал з корпусом, з'єднані між собою елементом зв'язку, що включає вісь і профільну поверхню, що забезпечує зміну фаз двигуна [5].

До переваг цього пристрою можна віднести той факт, що воно є плоским і вписується в габарити.

Недоліком описаного пристрою є нестабільність характеристик внаслідок регулювання, а отже, низька надійність роботи всього елемента зв'язку.

Всі описані методи регулювання фаз газорозподілу мають свої недоліки, таким чином всі вони вимагають ретельного аналізу і подальших доробок.

2.2 Опис пропонованої конструкції для автоматичного регулювання фаз газорозподілу

Для автоматичного регулювання фаз ГРМ пропонується пристрій, схема якого представлена на рисунку 2.4, який має перевагу перед іншими способами регулювання та усуває недоліки в даних конструкціях [6].

Запропонований пристрій монтується на шестерні кулачкового валу (1), при цьому використовується жорстке з'єднання з цією шестернею. На кулачковий вал (5) через маточину шестерні передається крутний момент через штифт, при цьому можливе вільне тангенціальне переміщення щодо кулачкового валу на заданий кут. Центральна шестерня (сектор) пристрою (3) жорстко з'єднана зі штифтом кулачкового валу через маточину. Провідні шестерні (2) розташовані симетрично щодо центральної шестерні та закріплені на осях, які у свою чергу закріплені жорстко на диску (8). Між центральною та провідними шестернями утворюється зубчасте зачеплення.

На кожній з провідних шестерень є жорстко закріплені телескопічні важелі (4), які у свою чергу жорстко закріплені з масами (6).

Маси являють собою два еліпсоїди, в яких розташовані по одному мініатюрному підшипнику ковзання. Через них проходить вісь, на якій закріплений ролик, який у свою чергу може рухатися параболічною опорою (7).

При початку роботи двигуна шестерня і пристрій загалом починає обертатися щодо кулачкового валу (а точніше від осі) і на маси починає діяти відцентрова сила. На самому початку при малих значеннях кутової швидкості обертання кулачкового вала, момент, що крутить, від колінчастого валу передається через штифт і маточину шестерні. Відцентрова сила починає збільшуватися із збільшенням кутової швидкості. І при досягненні певного значення кутової швидкості момент, що крутить, на ведучих шестернях може зрівнятися і навіть перевищити значення моменту опору на прокручування кулачкового вала. Завдяки цьому провідні шестерні починають прокручуватися, тим самим починають провертати центральну шестірню. Тим самим від кутової

швидкості залежатиме кутове положення кулачкового валу щодо колінчастого валу. Зі збільшенням кутової швидкості кут повороту важеля збільшується і тим самим збільшується кут випередження відкриття клапанів. У вихідне положення пристрій повертається шляхом зниження кутової швидкості.

Щоб регулювати кут корекції при зміні кутової швидкості для оптимальних значень для кожного режиму робіт, конструкцію входить регулюючий пристрій. Воно являє собою параболічну опору, яка призначена для обмеження граничного кута відхилення та фіксації проміжних значень кута.

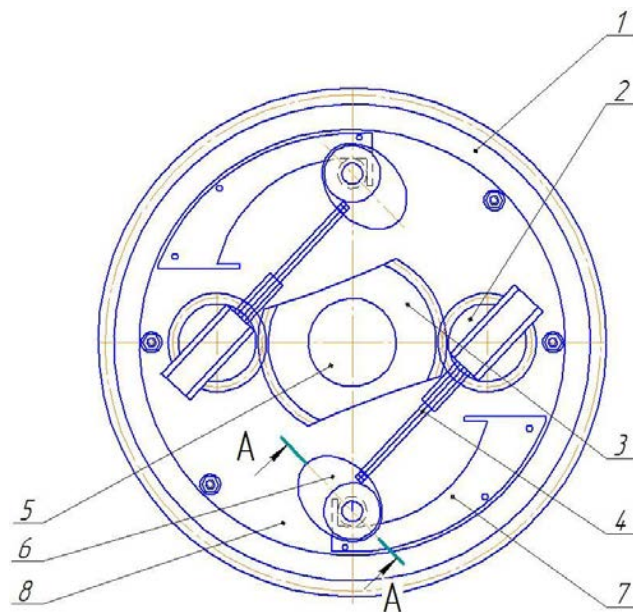


Рисунок 2.4 – Пристрій автоматичного регулювання фаз газорозподілу.

$$OM = 2 \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (3.2)$$

де A - міжосьова відстань, м;

α – кут між важелем та горизонтальною віссю провідної шестерні.

При цьому відцентрова сила дорівнюватиме:

$$F_u = m \cdot \omega^2 \cdot OM = m \cdot \omega^2 \cdot 2A \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (3.3)$$

де m – величина маси, кг;

ω – кутова швидкість початку регулювання, $\frac{рад}{сек}$.

Складова відцентрової сили, що створює крутний момент – $F_{кр}$ визначається за виразом:

$$F_{кр} = F_u \cdot \sin \beta = F_u \cdot \sin(90 - \frac{\alpha}{2}) = F_u \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (3.4)$$

Сила опору на провертання кулачкового валу визначається за такою формулою:

$$F_c = \frac{M_c}{L}, \quad (3.5)$$

де M_c – момент опору на провертання кулачкового валу, Н · м;

L - довжина важеля, м.

Момент, що крутить від цієї сили, обчислюється за формулою:

$$M_{кр} = F_{кр} \cdot O_1M = F_u \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot A = m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot A = m \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \sin \alpha, \quad (3.6)$$

де O_1M – Довжина важеля, м.

Даний вираз набуває максимального значення при $\alpha = 90^\circ$.

Тоді вираз (3.3) для режиму, що відповідає початку роботи коригувального пристрою, можна записати як:

$$M_{кр} = m \cdot \omega_0^2 \cdot A^2, \quad (3.7)$$

або

$$\frac{M_{кр}}{\omega_0^2} = m \cdot A^2 \quad (3.8)$$

де ω_0 - кутова швидкість обертання кулачкового валу, що відповідає початку корекції кутового положення кулачкового валу щодо колінчастого, ;

$M_{кр}$ - момент прокручування кулачкового валу, Н · м;

A – міжцентрова відстань провідної та веденої ланки кінематичного ланцюга відцентрового коректора кутового положення кулачкового валу, м;

m – маса вантажу відцентрового коректора, коли він задана кутова швидкість ω_0 відповідає початку корекції, кг.

Так само до цієї формули можна прийти через баланс сил, використовуючи формулу 3.1 та формули для знаходження інших сил.

Сила тертя, яка утворюється в результаті руху мас параболічної поверхні, обчислюється за формулою:

$$F_{TP} = F_n \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де F_n – нормальна сила, Н;

η – коефіцієнт тертя.

Нормальну силу також можна обчислити через відцентрову силу, за умови, що $\alpha=45^\circ$:

$$F_n = \frac{F_y}{\cos 45^\circ} \quad (3.10)$$

Тоді вираз (3.9) можна записати так:

$$F_{TP} = \frac{\eta \cdot F_y}{\cos 45^\circ} \quad (3.11)$$

Тепер можна розписати умову балансу (3.1), замінюючи сили, запропонованими формулами:

$$\frac{F_y \sqrt{2}}{2} = \frac{M_{KP}}{L} + \frac{\eta \cdot F_y \sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{F_y \sqrt{2}}{2} (1 - \eta) = \frac{M_{KP}}{L}$$

Для подальших обчислень приймемо $OM=R$, $O_1M = A\sqrt{2}$, $A=0,045$ м,
 $M_{KP} = 20H \cdot m$, $\eta=0,05$.

Звідси:

$$\frac{F_y \sqrt{2}}{2} (1 - \eta) = \frac{20}{A\sqrt{2}}$$

$$F_y (1 - \eta) = \frac{20}{A}$$

$$F_y = \frac{20}{A(1 - \eta)} \quad (3.12)$$

Тепер можна прирівняти формули (3.3) і (3.12), зважаючи на те, що радіус ОМ дорівнює міжосьовій відстані А:

$$m \cdot \omega_0 \cdot A = \frac{20}{A(1 - \eta)} \quad (3.13)$$

З цієї формули ми можемо знайти величину маси, яку слід використовувати при заданій міжосьовій відстані та моменту кручення, а також на заданій початковій кутовій швидкості обертання кулачкового валу:

$$m = \frac{20}{A^2 \cdot \omega_0^2 (1 - \eta)} \quad (3.14)$$

Якщо ж ми не враховуватимемо коефіцієнт опору η , то дана формула виглядатиме так:

$$m = \frac{20}{A^2 \cdot \omega_0^2} \quad (3.15)$$

Як бачимо, величина маси вантажів залежить від міжосьової відстані та кутової швидкості початку корекції.

Розглянемо наш випадок. Насамперед нам потрібно вкластися в габарити шестірні ГРМ, при цьому потрібно врахувати, що радіуси провідної та центральної шестерень повинні ставитись один до одного 2:1, а міжосьова відстань i є сума цих радіусів. Таким чином, було прийнято рішення прийняти радіус центральної шестерні 0,030 м, а провідною – 0,015 м. Отже, міжосьова відстань дорівнює 0,045 м.

Кутова швидкість початку роботи коригувального пристрою була обрана, як тільки кутова швидкість розподільного валу досягне 1000 об/хв, тобто $\omega = 1000$ об/хв = 104,72 рад/сек.

Виходячи з даних умов та враховуючи коефіцієнт тертя, величина маси вантажу складає:

$$m = \frac{20}{0,045^2 \cdot 104,72^2 (1 - 0,05)} = 0,948 \text{ кг}$$

3.2 Розрахунок телескопічного важеля на вигин

Для розрахунку конструкції визначимо вихідні дані:

Приймаємо: σ_T – допустиму короточасну напругу, МПа; b – ширина упору, мм; h – висота упору, мм.

Необхідно визначити величину згинального моменту:

$$|M_i| = W_x[\sigma_T] = (bh^2/6) \cdot [\sigma_T], \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (3.2.1)$$

$$|M_i| = 3 \cdot 33^2 \cdot 7 \cdot 10^{-6} / 6 = 0,00381 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Щоб визначити навантаження, що діє на телескопічний важіль, необхідно знати залежність між навантаженням і найбільшим згинальним моментом, для чого необхідно побудувати епюру згинальних моментів:

На рисунку 3.2 представлена епюра згинальних моментів.

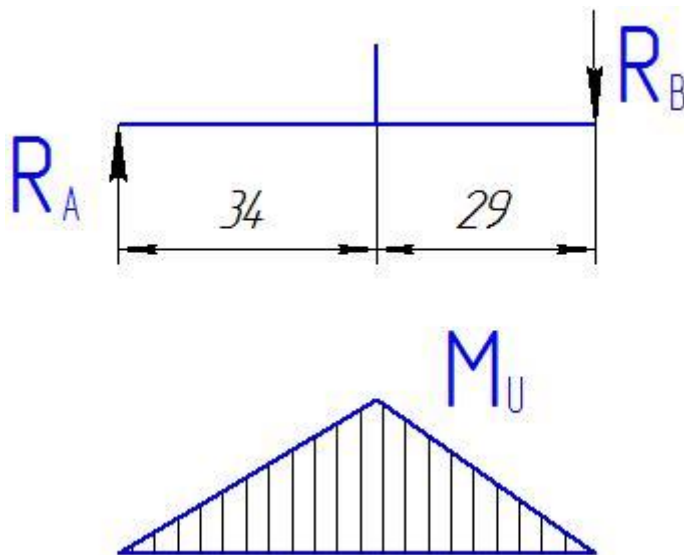


Рисунок 3.2 - Епюра згинальних моментів.

Визначимо реакції та знайдемо:

$$R_a = 34F/63; R_b = 29F/63, \text{ МН}\cdot\text{м} \quad (3.2.2)$$

Найбільший згинальний момент буде в перерізі під вантажем, він дорівнює:

$$M_i = R_a \cdot 29 = (34 \cdot 29 / 63) F_a = 15,7 F_a.$$

Тепер можемо визначити допустиме навантаження:

$$|F| = (29/34) \cdot 15,7 \cdot [M_u] = (29/34) \cdot 15,7 \cdot 0,00381 = 0,051 = 510 \text{ кН} = 51 \text{ кг}$$

Виходячи з цього навантаження ми бачимо, що наш пристрій може витримати до 51кг.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

При експлуатації пристрою для автоматичного регулювання фаз газорозподілу необхідно дотримуватись вимог охорони праці. Охорона праці - система збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

У цьому розділі проаналізовано розробку пристрою для автоматичного регулювання фаз газорозподілу ДВЗ з точки зору безпеки праці, розроблено інструкцію з охорони праці для слюсаря з ремонту автомобілів, зроблено розрахунок заземлення, у графічній частині наведено основні вимоги безпеки для запропонованого пристрою[7].

4.1 Інструкція з охорони праці для слюсаря з ремонту автомобілів під час роботи з пристроєм для автоматичного регулювання фаз газорозподілу

4.1.1 Загальні вимоги

4.1.1.1 Інструкція поширюється на слюсарів з ремонту автомобілів.

4.1.1.2 До роботи можуть бути допущені особи з 18 років, які пройшли інструктаж з безпеки праці.

4.1.1.3 Виконуйте тільки ту роботу, яка передбачена, не допускайте її виконання сторонніх осіб.

4.1.1.4 Під час переключення на іншу роботу вимагайте проведення позапланового інструктажу.

4.1.1.5 Працюйте тільки на справному обладнанні, користуйтеся справним інструментом та пристроями.

4.1.1.6 Вмійте надати першу допомогу постраждалим.

4.1.1.7 Вмійте привести в дію первинні засоби гасіння пожежі.

4.1.1.8 Забороняється працювати у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

4.1.1.9 За порушення цієї інструкції винні несуть відповідальність.

4.1.1.10 У процесі роботи можливий прояв наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів: наявність механізму, що обертається, наявність високої напруги, підвищений рівень шуму на робочому місці.

4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

4.1.2.1 Упорядкуйте своє робоче місце.

4.1.2.2 Робочий одяг не повинен обмежувати рухи, мати кінці, що розвіваються і звисають.

4.1.2.3 Перевірте справність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

4.1.2.4 Перевірте наявність заземлення.

4.1.2.5 Розташуйте інструмент та пристрої так, щоб було зручно та безпечно працювати ними.

4.1.2.6 Отримайте у керівника завдання чи вбрання виконання роботи.

4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи

4.1.3.1 Дотримуйтесь порядку виконання операції під час роботи зі стендом:

1) Перед пуском обладнання переконайтеся, що його робота не завдасть шкоди оточуючим. Одягнути рукав відведення вихлопних газів на вихлопну систему двигуна.

2) Встановити пристрій автоматичного регулювання фаз.

3) Запустити та прогріти двигун

4) Включити електродвигун та встановити режим роботи відповідно до плану випробувань

5) Зафіксувати отримані значення витрати пального

6) Після проведення випробувань вимкнути електродвигун, заглушити двигун, зняти пристрій.

4.1.3.2 У разі виникнення несправностей у системі електроустаткування негайно викличте електрика. Забороняється усувати несправності в електроустаткуванні фахівця.

4.1.3.3 Підтримуйте чистоту та порядок на робочому місці.

4.1.3.4 Не відволікайтеся та не відволікайте інших сторонніми розмовами та справами.

4.1.3.5 Відпочивайте лише у спеціально призначених місцях у відведений для цього час.

4.1.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1.4.1 При появі сторонніх шумів, запаху гару, диму, іскріння електрообладнання, підвищенні нагріву вузлів негайно зупиніть механізми та повідомте про це безпосереднього керівника.

4.1.4.2 Під час загоряння обладнання вимкніть електроенергію, приступіть до гасіння та викликайте пожежну службу.

4.1.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1.5.1 Вимкніть обладнання (механізм).

4.1.5.2 Упорядкуйте робоче місце. Інструменти, пристрої, робочий одяг та ЗІЗ приберіть у відведене для них місце.

4.1.5.3 Заберіть використану ганчірку в металеву скриньку.

4.1.5.4 Вимийте руки та обличчя, прийміть душ.

4.2 Розрахунок заземлення

Для зменшення небезпеки ураження людей електричним струмом застосовують захисні заземлення. Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлень. Захисний контур виконується із сталевих трубних стрижнів діаметром 50 мм.

Опір розтіканню електричного струму R_3 , м визначається за формулою

$$R_3 = 0,9 \cdot \rho / l, \quad (4.2.1)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом/м; $\rho = 34$ Ом/м;

l – довжина стрижня заземлення, м; $l = 2$ м-коду.

$$R_3 = 0,9 \cdot 34 / 2 = 15,3 \text{ Ом}$$

Кількість труб N , шт. визначається за формулою

$$N = R_3 \cdot \eta_c / R_{\text{доп}} \cdot n_E, \quad (4.2.2)$$

де R_3 – нормальний опір заземлення, Ом; $R_3 = 15,3$ Ом;

η_c - коефіцієнт сезонності, $\eta_c = 1,6$;

n_E - коефіцієнт використання заземлювачів, $n_E = 0,7$;

$R_{\text{доп}}$ - нормований опір заземлення, Ом; $R_{\text{доп}} = 10$ Ом

$$N = 15,3 \cdot 1,6 / 10 \cdot 0,7 = 3,49 \text{ шт.}$$

Приймаємо не менше 4 стрижнів, діаметром 50 мм, довжиною 2м.

Таким чином, розроблена інструкція з охорони праці, наведені розрахунки, а також подані в графічній частині основні вимоги безпеки та аналіз конструкторської розробки з погляду охорони праці дозволяють забезпечити безпеку працівників [8].

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНОГО ПРИСТРОЮ

Нині в АПК використовуються понад сотні тисяч сільськогосподарських машин, які вимагають модернізації двигунів внутрішнього згорання. У даних ДВЗ оптимальне значення фаз ГРМ може бути застосовано лише під один режим роботи, що вкрай негативно позначається на ефективних показниках.

Пропонований пристрій дозволяє автоматично змінювати значення фаз ГРМ у міру зміни режимів роботи. Воно дозволяє оптимізувати роботу ДВЗ шляхом зменшення витрати палива, так як при неправильно заданому вугіллі, паливо не буде спалюватися повністю, тим самим потужність буде знижуватися, а паливо, що не згоріло, викидатися в навколишнє середовище.

В даний час витрати на експлуатацію ДВЗ складаються з витрат на ремонт та технічне обслуговування, а також на витрату палива. З кожним роком ціна на пальне підвищується, тому зменшення кількості палива (без втрати потужності та зниження інших ефективних показників) має велике значення при експлуатації сільськогосподарської техніки в АПК.

5.1 Розрахунок витрат на виготовлення пристрою для регулювання фаз газорозподілу ДВЗ

Капітальні вкладення, пов'язані з виготовленням запропонованої конструкції, визначаються за формулою:

$$K_1 = Z_{\text{ПР}} + Z_{\text{ІЗГ}} + Z_{\text{НР}} , \quad (5.1)$$

де $Z_{\text{ПР}}$ - витрати на придбання стандартних виробів та матеріалів, грн.;

$Z_{\text{ІЗГ}}$ - витрати на виготовлення, грн.;

$Z_{\text{НР}}$ - накладні витрати, грн.

Витрати придбання стандартних виробів і матеріалів представлені таблицях 5.1 і 5.2 [9].

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку витрат на придбання стандартних виробів

Найменування	Кількість, шт.	Ціна придбання, грн/шт.	Сума, грн.
1	2	3	4
Болт М4х40	4	1	4
Гвинт М2х20	6	3	18
Гайка М2	6	0,6	3,6
Гайка М4	4	0,5	2
Підшипник 17 кульковий радіальний	4	32	128
Прокладка 200х10	1	36	36
Шайба М4	4	0,3	1,2
Шестерня розподільчого вала УМЗ -4216	1	1284	1284
Ролик 1х0.5	2	6	12
Разом	-	-	1492,8
Транспортні витрати – 20%	-	-	298,56
Всього	-	-	1791,36

Таблиця 5.2 – Витрати на придбання матеріалів

Найменування	Маса, кг.	Ціна придбання, грн/кг.	Сума, грн.
1	2	3	4
Лист, Ст3, товщиною 5мм	1,8	65,93	118,67
Труба, сталь 3сп діаметром 6мм	0,17	38,8	6,6
Смуга сталеві 3х10	0,18	43,79	7,88
Пруток, Ст5 діаметром 7мм	0,1	11,38	1,14
Пруток, Ст5 діаметром 5мм	0,05	10,13	0,51
Разом	-	-	134,8
Транспортні витрати, %	20	-	26,96
Усього	-	-	161,76

Таким чином, витрати на придбання стандартних виробів та матеріалів становитимуть: $Z_{пр} = 1791,36 + 161,76 = 1953,12$

Витрати виготовлення конструкції визначаються за формулою:

$$З_{изг} = T \cdot C_{\text{ч}} \cdot k, \quad (5.2)$$

де T - трудомісткість робіт, чол.-год;

$C_{\text{год}}$ - годинна тарифна ставка, грн/год;

k - Коефіцієнт нарахування на заробітну плату, $k = 0,45$.

Витрати виготовлення конструкції представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати виготовлення пристосування

Найменування робіт	Трудомісткість робіт, чол.-год	Розряд робітника	Годинна тарифна ставка, грн	Всього, грн.
Заготівля металу	1,9	3	120	228
Різання металу	3,1	3	120	372
Фрезерні роботи	1,4	4	150	210
Свердлильні роботи	2,7	3	120	324
Слюсарні роботи	1,5	3	120	180
Разом	-	-	-	1314
Коефіцієнт нарахування на заробітну плату – 0,45	-	-	-	591,3
Усього	-	-	-	1905,3

Накладні витрати становлять 200% від витрат, пов'язаних із виготовленням конструкції:

$$З_{\text{НР}} = 1905,3 \cdot 2 = 3810$$

Таким чином, капітальні вкладення, пов'язані з виготовленням пропонованої конструкції становитимуть:

$$K_1 = 1953,12 + 1905,3 + 3810,6 = 7669$$

Капіталовкладення на пристрій для знаходження оптимального кута фаз газорозподілу на різних режимах роботи складають:

$$K_2 = 11980$$

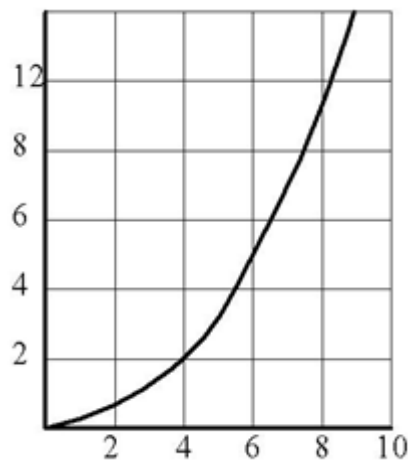
Таким чином, сумарні капіталовкладення на виготовлення одного пристрою для автоматичного регулювання фаз ГРМ дорівнюватимуть:

$$K_{об} = 7669 + 11980 = 19649$$

5.2 Розрахунок економії від підвищеної витрати пального

У процесі експлуатації, а також через похибку при виготовленні деталей приводу газорозподільного механізму або внаслідок некваліфіковано проведеного ремонту приводу газорозподільного механізму, можливе значне відхилення фаз газорозподілу від заданих значень. У той самий час відомо, що правильність фаз газорозподілу одна із найважливіших чинників, які впливають потужність, крутний момент, економічні показники двигуна, забруднення довкілля.

Представимо розрахунок витрати палива при впровадженні пристрою для регулювання фаз ГРМ та розрахунок без даного пристрою. Для другого розрахунку приймемо зсув фаз газорозподілу на шість градусів. Для цих розрахунків скористаємося графіком погіршення економічності від зсуву фаз, представленому рисунку 5.1.



Розрахунок подано на прикладі комерційного автомобілів. При експлуатації автомобіля у місті витрата палива на 100 км становить 11 л. Вартість одного літра дорівнює 54,98 грн. Отже, вартість бензину витраченого на 100 км становить 584,78 грн., на 200 км - 1069,56 грн.

Припустимо, автомобіль на день проїжджає 200 км, і працює 25 днів на місяць. Підрахуємо скільки коштів витрачається на пальне за 12 місяців експлуатації автомобіля за формулою:

$$P_1 = 769,56 \cdot 25 \cdot 12 = 230868$$

З малюнка 5.1 видно, що витрата палива різко збільшується при зсуві фаз на 6 °. Тому витрата палива за 12 місяців становитиме 5 % від коштів, витрачених паливо:

$$P_2 = 230868 \cdot 0,05 = 11543$$

Кожна машина без пристрою для автоматичного регулювання фаз газорозподілу витратиме на 11543 більше, ніж потрібно машині із встановленим пристроєм за півроку експлуатації.

Таким чином, при використанні пристрою для зміни фаз газорозподілу на якомусь підприємстві, можна заощадити 11543 на 1 машину.

Так як на створення одного такого пристрою потрібно 19649, його окупність складе:

$$T_1 = \frac{19649}{11544} = 1,7 \text{ год}$$

Розрахуємо термін окупності при встановленні пристрою на 30 машин, з урахуванням того, що витрати на пристрій для знаходження оптимального кута фаз газорозподілу на різних режимах роботи слід враховувати лише один раз:

$$T_2 = \frac{19649 + 7669 \cdot 29}{11544 \cdot 30} = 0,7 \text{ год}$$

Таким чином, передбачувана окупність пристрою для 30 машин складе 7 місяців.

З даних результатів випливає, що термін окупності даного пристрою знижуватиметься зі збільшенням кількості машин.

ВИСНОВОК

І наприкінці слід зазначити, що параметри ω_0 і $M_{кр}$ є незалежні і постійні для кожного типорозміру ДВЗ, а параметри A і m , що змінюються і задаються конструктором, визначають не тільки обсяг і габарити пристрою, але і ступінь зміни сполучених деталей базової конструкції.

Даний пристрій вимагає подальшого дослідження та доопрацювань. Як пропоновані видозміни можна відзначити збільшення числа провідних шестерень з двох до трьох (або навіть до чотирьох), з метою рівномірного розподілу мас, або, наприклад, встановлення тільки однієї параболічної опори, тому як маси, важіль і шестерні між собою жорстко закріплені, і для зсуву їх може знадобитися лише одна опора.

Також варто зазначити, що пропонований пристрій є економічно вигідним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Трактори та автомобілі. Ч. 1. Автотракторні двигуни: Навч. посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедєв та ін.: За ред. проф. А.Т. Лебедєва. – К.: Вища шк., 2000. – 357 с.: іл.
- 2 Боровських Ю.І., Будова автомобілів / Ю.І. Боровських, Ю.В. Буральов, К.А. Морозов: - Київ.: Вища школа. 1991.
- 3 Навіщо міняти фази газорозподілу [сайт]. Віталій Кабишев, 11 липня 2025 року. URL: <https://www.drive.com/technic> (дата звернення: 30.04.2026)
- 4 Пристрій для регулювання фаз газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння. Пат. № 23301692. №2005132809/06; заявл. 24.10.2005; опубл. 27.07.2008, бюл. №21
- 5 Строков А.П., Макаренко М.Г. Технічне обслуговування і ремонт вантажних і легко-вих автомобілів, автобусів. Кн. 1. Основи будови та експлуатації автопоїздів. Підручник. - К.: Грамота, 2005, - 2005 - 352с.
- 6 Шепеленко І.В. Зміна напружено-деформованого стану робочої поверхні кулачка розподільного валу при відновленні методом наплавлення // Матеріали та процеси в машинобудуванні. – 2025. – № 11(42).
- 7 Березуцький В. В., Мовмига Н. Є., Лісогор О. С., Панчева Г. М. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та навколишнього середовища» кваліфікаційної роботи магістра. Харків : НТУ «ХП», 2020. 28 с.
- 8 Млавець Ю.Ю. Безпека життєдіяльності (конспект лекцій для студентів математичного факультету і факультету післядипломної освіти та доуніверситетської підготовки). – Ужгород: ДВНЗ “УжНУ”, 2015. – 40 с.
9. Козловский В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки у дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

10. Márquez-Cortés, R., Martínez-Trinidad, J., Flores-Martínez, M. et al. Sliding Wear Resistance of Borided AISI 4140 Steel. *J. of Materi Eng and Perform* 32, 9101–9113 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07773-6>

11. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. К.: Либідь, 2006. 400 с.

12. Тимофєєв С.С., Ленів Я.Г. Сучасні вимоги до способів відновлення розподільних валів транспортних дизелів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інженерія поверхні та реновація виробів». 02–06 черв. 2014 р. Ялта. Київ: АТМ України, 2014. С. 131–132.

13. Shepelenko, I., Nemyrovskiy, Y., Lizunkov, O., Vasylenko, I., Osin, R. (2023). The Stress-Deformed State of the Cylinder Liner's Working Surface. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Pitel', J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp. 347-355. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32767-4_33

14. Patil, V.S., Takale, A.M. (2024). Design and Analysis of Cylinder Head Gasket Under Engine Cold Assembly and Cold Start Condition. In: Sahu, R., Prasad, R., Sahoo, K.L. (eds) *Advancements in Materials Processing Technology, Volume 1. AMPT 2023. Springer Proceedings in Materials*, vol 48. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4958-4_29

ДОДАТКИ