

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет “Запорізька політехніка”**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни  
**«Системи паливоподачі бензинових, бензогазових  
та газових двигунів»**  
для студентів освітньо-професійних програм  
«Двигуни внутрішнього згорання»,  
«Колісні та гусеничні транспортні засоби»  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Системи паливоподачі бензинових, бензогазових та газових двигунів» для студентів освітньо-професійних програм «Двигуни внутрішнього згорання», «Колісні та гусеничні транспортні засоби» усіх форм навчання / Укладачі: Георгій СЛИНЬКО, Наталя РЯБОШАПКА, Роман СУХОНОС. Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2025. 46 с.

Укладачі:

Георгій СЛИНЬКО, професор, д.т.н.  
Наталя РЯБОШАПКА, ст.викл.  
Роман СУХОНОС, ст.викл.

Рецензент:

Наталія ЄВСЄЄВА, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Віктор АЛМАЄВ, зав.лаб.

Затверджено на засіданні кафедри  
“Автомобілі, теплові двигуни та  
гібридні енергетичні установки”  
протокол № 1  
від “29” серпня 2025 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Транспортного факультету  
протокол № 1  
від “11” вересня 2025 р.

## ЗМІСТ

|                                                                     | стор. |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Вступ.....                                                          | 4     |
| 1 Загальні вказівки.....                                            | 5     |
| 1.1 Мета викладання та задачі вивчення дисципліни.....              | 5     |
| 1.2 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни.....             | 6     |
| 1.3 Програма навчальної дисципліни та питання для самоконтролю..... | 9     |
| 2 Розрахунок витрати повітря через дифузор карбюратора..            | 23    |
| 2.1 Основні відомості.....                                          | 23    |
| 2.2 Зміст індивідуальних завдань.....                               | 25    |
| 2.3 Контрольні запитання.....                                       | 28    |
| 3 Розрахунок витрати палива через головний жиклер карбюратора ..... | 29    |
| 3.1 Основні відомості.....                                          | 29    |
| 3.2 Зміст індивідуальних завдань.....                               | 31    |
| 3.3 Контрольні запитання.....                                       | 32    |
| 4 Розрахунок збагачувача (економайзера) .....                       | 32    |
| 4.1 Основні відомості.....                                          | 32    |
| 4.2 Зміст індивідуальних завдань.....                               | 36    |
| 4.3 Контрольні запитання.....                                       | 38    |
| 5 Розрахунок форсунки системи розподіленого впорскування            | 38    |
| 5.1 Основні відомості.....                                          | 38    |
| 5.2 Зміст індивідуальних завдань.....                               | 43    |
| 5.3 Контрольні запитання.....                                       | 44    |
| Рекомендована література .....                                      | 45    |

## ВСТУП

Дисципліна «Системи паливоподачі бензинових, бензогазових та газових двигунів» є однією з базових при підготовці магістрів за освітньо-професійними програмами G11.02 "Двигуни та енергетичні установки", G11.05 "Транспортні засоби".

Самостійна робота студентів є невід'ємною складовою навчального процесу у вищій технічній освіті, що спрямована на поглиблення знань, розвиток аналітичного мислення та формування професійної компетентності майбутніх фахівців.

Дана дисципліна формує знання про сучасні та перспективні системи подачі палива в двигунах внутрішнього згоряння, включаючи карбюраторні, інжекторні, комбіновані (бензогазові) та газові системи паливоподачі. Особлива увага приділяється питанням економічності, екологічності, керованості та надійності цих систем в умовах експлуатації.

Самостійна робота здобувача має сприяти кращому засвоєнню теоретичного матеріалу, активізувати самостійну аналітичну і пошукову діяльність, сформувати навички застосування отриманих знань до практичних завдань; підготувати студентів до практичних занять, рубіжного контролю та складання заліку.

В методичних вказівках наведено:

- перелік тем для самостійного вивчення;
- питання для самоконтролю;
- короткі теоретичні відомості;
- приклади типових задач і методику їх розв'язання;
- завдання для практичної роботи.

Застосування матеріалу, викладеного у вказівках, дозволить майбутньому фахівцю глибше зрозуміти принципи побудови та функціонування карбюраторних, інжекторних, комбінованих (бензогазових) та газових систем паливоподачі; ознайомитися з особливостями конструкцій бензинових та газобалонних установок; підготуватись до впровадження сучасних систем керування подачею палива у практичній діяльності.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

## 1.1 Мета викладання та задачі вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни *«Системи паливоподачі бензинових, бензогазових та газових двигунів»* базується на вивченні циклу дисциплін підготовки бакалаврського рівня: "Вища математика", "Теорія механізмів і машин", "Автомобілі. Основи конструкції", "Деталі машин", "Експлуатаційні властивості автомобіля", «Теоретичні основи теплотехніки», «Теорія двигунів внутрішнього згорання», «Гідравліка, гідро- і пневмоприводи», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», «Конструкція двигунів внутрішнього згорання», «Експлуатація і ремонт двигунів внутрішнього згорання», «Електричне обладнання ДВЗ», «Палива, мастила та охолоджуючі рідини» тощо.

*Метою* викладання дисципліни *«Системи паливоподачі бензинових, бензогазових та газових двигунів»* є формування у здобувачів вищої освіти знань і компетентностей щодо теорії, принципу дії, влаштуванню та технічним характеристикам систем паливоподачі бензинових, бензогазових та газових двигунів; ознайомлення студентів з методами та засобами діагностики технічного стану систем паливоподачі; розширення досвіду у відношенні перспективних напрямків вдосконалення цих систем.

Основними *задачами* навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок майбутніх фахівців. Здобувач вищої освіти має *знати і розуміти*:

- принципи роботи систем паливоподачі у бензинових, бензогазових і газових двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), їх конструктивні особливості та функціональні призначення;

- класифікацію та основні елементи паливних систем (карбюраторних систем; систем розподіленого та безпосереднього упорскування палива; бензогазових систем з перемиканням виду палива; газових систем з редукторно-розподільними пристроями; сучасних електронних систем керування подачею палива);

- вимоги до паливних систем з точки зору паливної економічності, динамічної стабільності роботи, запуску двигуна, нормування викидів шкідливих речовин;

- методи розрахунку та підбору основних елементів паливних систем для конкретних типів двигунів;

- принципи електронного керування системами упорскування;
- тенденції розвитку паливних систем з урахуванням екологічних норм (EURO-6 тощо).

В результаті навчання здобувач вищої освіти має *уміти*:

- аналізувати процеси підготовки паливоповітряної суміші та впливу різних типів паливних систем на ефективність і екологічність роботи двигуна;
- аналізувати та порівнювати різні схеми паливоподачі за технічними, експлуатаційними та екологічними показниками;
- обґрунтовувати вибір паливної системи для заданого типу двигуна з урахуванням його призначення та умов експлуатації;
- розробляти (модернізувати) схеми систем паливоподачі з урахуванням вимог екологічності, економічності та ресурсу;
- проводити інженерний розрахунок паливоподачі;
- оцінювати вплив виду палива та тип системи на робочі процеси ДВЗ, токсичність відпрацьованих газів, динаміку та економічність;
- аналізувати технічний стан паливної системи за допомогою комп'ютерної діагностики та методів функціональної перевірки;
- виявляти та усувати несправності паливних систем, застосовувати методи профілактики та технічного обслуговування.

## 1.2 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

Викладання дисципліни передбачає наступні форми організації навчального процесу: лекції, практичні заняття, самостійну роботу студента, консультації.

*Мета даних методичних вказівок* – забезпечити єдність процесів самостійного опрацювання тексту рекомендованих підручників (посібників) та самоконтролю за якістю засвоєння програмного матеріалу з дисципліни.

Здобувачу освіти необхідно врахувати, що практичні заняття дають очікуваний ефект тільки за умовою попереднього пророблення ним відповідного теоретичного матеріалу.

Головна мета вищої освіти є формування із здобувача вищої освіти фахівця, який здатний до розвитку та засвоєння нових знань відповідно до вимог сучасності. Тому самостійна робота студента лежить в основі освітнього процесу і формує такі риси особистості, як:

самостійність, творче мислення, вміння планувати роботу, вибирати спосіб (способи) найбільш швидкого і раціонального розв'язання поставленої проблеми (задачі), швидко і якісно вносити корективи в процесі виконання та аналізувати виконану роботу, бачити перспективи розвитку.

Самостійна робота студентів є важливою складовою професійної підготовки майбутніх фахівців. Вона спрямована на поглиблення теоретичних знань, розвиток інженерного мислення, удосконалення практичних навичок та формування готовності до самостійного вирішення виробничо-технічних задач.

З огляду на сучасні вимоги до фахівців автомобіле- та двигунобудівної галузей, самостійна робота дозволяє здобувачам:

- закріпити та систематизувати знання про конструкцію, принципи роботи, технічне обслуговування й діагностику двигунів внутрішнього згорання та транспортних засобів;
- розвинути здатність до технічного аналізу, критичного оцінювання технічного стану двигунів внутрішнього згорання та транспортних засобів;
- опанувати методи розрахунків технічних параметрів, експлуатаційних характеристик та оцінки ефективності роботи ДВЗ і транспортних систем;
- удосконалити навички самостійного пошуку, обробки та узагальнення інформації з технічної літератури, нормативної документації та результатів експериментів;
- підготуватися до практичної професійної діяльності в умовах сучасного сервісного обслуговування та експлуатації техніки.

Необхідно наголосити, що самостійна робота виконується за завданням і при методичному керівництві викладача, але без його особистої участі. Самостійна робота підрозділяється на самостійну роботу на аудиторних заняттях і на позааудиторну самостійну роботу.

*Метою практичних занять* полягає у формуванні у студентів:

- практичних навичок аналізу, діагностики, розрахунку та технічного обслуговування систем паливоподачі різних типів двигунів внутрішнього згорання;

- розуміння принципів роботи карбюраторних, інжекторних, газобалонних та комбінованих систем подачі палива;

- здатності визначати оптимальні параметри роботи систем паливоподачі залежно від типу двигуна, умов експлуатації та виду палива;

- ознайомлення з сучасними тенденціями у розвитку систем упорскування палива, у тому числі багатоточковими та безпосередніми системами упорскування;

- розвитку інженерного мислення під час виконання розрахунково-аналітичних та лабораторних завдань, моделювання процесів подачі палива;

- формування навичок користування технічною документацією, схемами, діагностичними приладами та програмним забезпеченням для оцінювання роботи систем паливоподачі.

Вирішувати задачі необхідно, дотримуючись свого варіанта.

Формування умов варіантів задач треба переписувати повністю.

Вирішення задач необхідно супроводжувати короткими поясненнями і докладними обчисленнями. В процесі вирішення задач необхідно спочатку наводити формули, які покладено в основу обчислень, виконати розрахунок в аналітичній формі і лише потім підставляти відповідні числові значення і проводити обчислення. Необхідно вказувати одиниці вимірювання величин, які задано у вихідних даних, і величин, що знайдено внаслідок розв'язання задачі.

При вирішенні задач необхідно дотримуватись прийнятої системи позначок, термінів та Міжнародної системи одиниць.

Після повного розв'язку задачі студент повинен проаналізувати одержані результати та розмірності і прийняти на їх основі ефективне інженерне рішення.

Методами контролю є: усний контроль (усне опитування), письмовий, тестовий, а також методи самоконтролю і самооцінки.

Оцінювання успішності студентів денної форми навчання здійснюється окремо за кожен з двох блоків модулів на відповідному рубіжному модульному контролі за 100-бальною шкалою.

При оцінюванні роботи студента увага також приділяється якості, самостійності та своєчасності здачі виконаних завдань викладачу, згідно з графіком навчального процесу.

Студента слід вважати атестованим, якщо сума балів, одержаних за результатами підсумкової/семестрової перевірки успішності, дорівнює або перевищує 60. Залік проставляється не в балах, а "зараховано/незараховано".

### **1.3 Програма навчальної дисципліни та питання для самоконтролю**

#### **Тематичний план дисципліни**

**Тема 1. Загальна схема та характеристики карбюратора.** Загальна схема подачі палива в карбюраторних двигунах; готування суміші; характеристики елементарного та ідеального карбюраторів.

**Тема 2. Система живлення в карбюраторних двигунах.** Головна система дозування карбюратора; допоміжні пристрої карбюратора; багатоканальні карбюратори; компоновка карбюратора.

**Тема 3. Електронне керування паливоподачею у карбюраторних двигунах.** Вимоги до електронних систем управління паливоподачею бензинових двигунів; особливості підсистем керування паливоподачею у двигунах з іскровим запалюванням; комбіновані підсистеми керування запалюванням та впорскуванням бензину; датчики та виконавчі пристрої електронних систем управління паливоподачею та запалюванням у двигунах з іскровим запалюванням.

**Тема 4. Газові енергетичні установки на транспортних засобах.** Класифікація, типи, принцип дії паливних систем газових двигунів; характеристики газоподібного палива.

**Тема 5. Системи живлення бензогазових двигунів.** Розрахунок пристроїв для введення газу в циліндри двигуна, газобалонне обладнання (ГБО), безпека газобалонного обладнання; системи живлення двигунів на стиснутому газі, системи живлення двигунів на зрідженому газі, ГБО шостого покоління

**Тема 6. Системи живлення газодизелів.** Визначення потужності дизеля та газодизеля, змішане регулювання газоповітряної суміші газодизелів, схеми регулювання газоповітряної суміші газодизелів.

**Тема 7. Водневі енергетичні установки.** Моторні властивості водню; принцип роботи й типи водневого двигуна; небезпека водневого палива.

**Тема 8. Газові редуктори** високого та низького тисків; схеми та принцип роботи.

### **Теми для самостійної роботи:**

**Тема 1.** Система компенсації складу суміші із зменшенням розрідження у жиклера; система компенсації складу суміші з компенсаційним жиклером.

#### *Запитання для самоконтролю:*

1.1 Що таке компенсація складу паливоповітряної суміші і навіщо вона потрібна в системах живлення карбюраторного типу?

1.2 Як зміна розрідження у паливному каналі впливає на якість суміші при зростанні частоти обертання двигуна?

1.3 У чому полягає принцип дії системи компенсації складу суміші шляхом зменшення розрідження у жиклера?

1.4 Які конструктивні елементи карбюратора забезпечують зменшення розрідження в зоні паливного жиклера?

1.5 Як впливає форма розпилювача та конфігурація дифузора на зміну розрідження з оборотами двигуна? У яких режимах роботи двигуна така система є найефективнішою?

1.6 Що таке компенсаційний жиклер, і як він впливає на дозування пального?

1.7 Як влаштована паливна система з компенсаційною камерою або каналом повітря?

1.8 Чим відрізняється робота головного жиклера і компенсаційного жиклера?

1.9 Як забезпечується стабільність складу суміші при зміні навантаження та обертів двигуна?

1.10 У чому полягає перевага системи з компенсаційним жиклером порівняно з системою, де використовується зміна розрідження?

1.11 Які недоліки можуть виникнути при використанні обох типів компенсацій у практиці?

1.12 Як системи компенсації впливають на паливну економічність і токсичність відпрацьованих газів?

1.13 У яких типах карбюраторів застосовуються системи з компенсаційними жиклерами?

1.14 Як перевірити ефективність роботи компенсаційної системи при діагностиці ДВЗ?

1.15 Які особливості мають сучасні електронно-керовані системи компенсації у порівнянні з класичними механічними рішеннями?

1.16 Яким чином зміна діаметра компенсаційного жиклера впливає на кількість пального, що подається?

1.17 Як математично описується залежність кількості пального від розрідження в системі компенсації?

**Тема 2.** Система компенсації складу суміші з регулюванням розрідження в дифузорі; система компенсації складу суміші із змінним перерізом жиклера.

*Запитання для самоконтролю:*

2.1 Яка мета систем компенсації складу паливоповітряної суміші в карбюраторних системах?

2.2 Як зміна розрідження у дифузорі впливає на дозування палива?

2.3 У чому полягає принцип дії системи компенсації за рахунок регулювання розрідження в дифузорі?

2.4 Якими конструктивними засобами досягається зміна розрідження в дифузорі?

2.5 Яку роль відіграє зміна геометрії дифузора або розташування паливних каналів?

2.6 Як впливає така система на збагачення/збіднення суміші на різних режимах?

2.7 У яких режимах двигуна така компенсація найбільш ефективна?

2.8 Як працює система компенсації із змінним перерізом паливного жиклера?

2.9 Які технічні рішення використовуються для регулювання перерізу жиклера?

2.10 Як зміна площі перерізу жиклера впливає на витрату палива при зростанні частоти обертання колінчастого вала? Які переваги дає ця система у порівнянні з фіксованими жиклерами?

2.11 Які складності або ризики пов'язані з реалізацією змінного жиклера в експлуатації?

2.12 У чому полягає основна різниця між регулюванням розрідження в дифузорі та зміною перерізу жиклера?

2.13 Яка з обох систем має кращу стабільність складу суміші у широкому діапазоні обертів і навантажень?

2.14 Які приклади застосування обох типів компенсації реалізовані у серійних або експериментальних двигунах?

2.15 Як впровадження зазначених систем впливає на витрату палива, динамічні характеристики двигуна та токсичність вихлопу?

2.16 Як впливає температура повітря або зміна атмосферного тиску на ефективність компенсації?

2.17 Як проводиться розрахунок змінного перерізу жиклера залежно від заданих параметрів режиму?

2.18 Якими засобами можна керувати адаптивною системою компенсації (датчики, електроніка)?

2.19 Які перспективи інтеграції таких систем у сучасні адаптивні карбюратори або гібридні паливні системи?

**Тема 3.** Конструкція та принцип дії допоміжних пристроїв карбюратора.

*Запитання для самоконтролю:*

3.1 Яке призначення допоміжних пристроїв у карбюраторі?

3.2 Як допоміжні системи впливають на роботу двигуна у перехідних та нестійких режимах? У чому різниця між основними і допоміжними паливними системами карбюратора?

3.3 Яке призначення пускового пристрою в карбюраторі? Які типи пускових пристроїв застосовуються в карбюраторах?

3.4 Як змінюється склад суміші в процесі пуску холодного двигуна?

3.5 У чому полягає відмінність між пусковим клапаном і автоматичним повітряним засліном?

3.6 Що таке економайзер і яка його функція? За яких режимів активується економайзер повного навантаження?

3.7 Які типи економайзерів використовуються? Як економайзер впливає на паливну економічність двигуна?

3.8 Яке призначення насоса прискорення в карбюраторі? Як працює насос прискорення при різкому відкриванні дросельної заслінки?

3.9 З яких елементів складається механізм насоса прискорення?

3.10 Як об'єм пального, що подається насосом, залежить від швидкості відкривання дроселя?

3.11 Як забезпечується стабільна робота двигуна на холостому ході? Які елементи входять до системи холостого ходу?

3.12 Яким чином здійснюється регулювання складу суміші на холостому ході?

3.13 У чому відмінність між автономною та залежною системою холостого ходу?

3.14 Що таке перехідна система і навіщо вона потрібна? Як перехідна система забезпечує плавний перехід від холостого ходу до режиму середніх навантажень?

3.15 Яке призначення має збагачувач суміші та як він реалізується?

3.16 Як функціонує система зрівнювання тиску у поплавковій камері?

3.17 Які пристрої обмеження подачі палива застосовуються в сучасних карбюраторах?

3.18 У чому особливість конструкцій допоміжних систем у карбюраторах з електропневматичним керуванням?

3.19 Які несправності найбільш характерні для допоміжних систем карбюратора? Як діагностувати несправність насоса прискорення або економайзера?

3.20 Які методи регулювання пускового пристрою найбільш ефективні?

3.21 Як зміна температури навколишнього повітря впливає на роботу допоміжних пристроїв?

3.22 Як математично описується робота економайзера чи насоса прискорення?

3.23 Які сучасні інженерні підходи застосовуються при моделюванні допоміжних систем карбюратора?

3.24 У чому полягає актуальність вивчення допоміжних пристроїв у контексті модернізації старих типів ДВЗ?

**Тема 4.** Електронні системи керування паливоподачею у бензинових двигунах.

*Запитання для самоконтролю:*

4.1 Які функції виконує електронна система керування паливоподачею у бензиновому двигуні?

4.2 Яка різниця між механічним та електронним керуванням подачею палива? Які переваги дає застосування електронного керування в бензинових системах упорскування?

4.3 Які основні компоненти входять до складу електронної системи керування (ЕСК) паливоподачею?

4.4 Яку роль виконують: ЕБУ (електронний блок управління), датчики, форсунки, дросельна заслінка?

4.5 Яка структура замкненого контуру керування паливоподачею?

4.6 Які типи датчиків забезпечують інформацію для ЕСК?

4.7 Як працюють датчики температури охолоджувальної рідини (ЕСТ), масової витрати повітря (MAF), положення дросельної заслінки (TPS), кисневий датчик ( $O_2$  sensor /  $\lambda$ -зонд)?

4.8 Як впливає сигнал з кожного датчика на розрахунок кількості палива? Яким чином ЕБУ обчислює кількість палива для упорскування?

4.9 Що таке паливна карта (fuel map)? Як вона формується?

4.10 Як працює алгоритм відкритого та замкненого циклу керування?

4.11 Як реалізується адаптивне керування паливоподачею (STFT, LTFT)?

4.12 Як система керування реагує на зношування двигуна або зміну умов навколишнього середовища?

4.13 У чому відмінність між впускним упорскуванням (MPI), безпосереднім упорскуванням (GDI), послідовним, паралельним, груповим упорскуванням?

4.14 Як змінюється логіка керування при використанні турбонаддуву?

4.15 Що таке стехіометрична суміш і як електроніка підтримує  $\lambda = 1$ ?

4.16 Як працює лямбда-регулювання зворотнього зв'язку?

4.17 У чому полягає керування збагаченням суміші при різних режимах роботи двигуна?

4.18 Як ЕСК підтримує оптимальну суміш у режимах холодного пуску, холостого ходу, навантаження?

4.19 Які функції самодіагностики має електронна система?

4.20 Що таке OBD-II і як він використовується для контролю паливоподачі?

4.21 Які типи кодів несправностей (DTC) пов'язані з паливоподачею?

4.22 Як відбувається самонавчання ЕБУ після обнулення налаштувань?

4.23 Як система керування паливоподачею взаємодіє з системою запалювання, системою рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), каталітичним нейтралізатором?

4.24 Як впливає електронне керування паливом на зниження викидів шкідливих речовин?

4.25 Які сучасні технології впроваджуються в електронних системах паливоподачі?

4.26 Яка роль CAN-шини у сучасних ЕСК паливоподачі?

4.27 Як застосовується штучний інтелект у нових типах ЕБУ?

4.28 Як розвиватимуться системи паливоподачі у зв'язку з переходом до гібридних або електрифікованих силових установок?

**Тема 5.** Особливості схем живлення двигунів стиснутим та зрідженим газами; переваги та недоліки при використанні цих систем.

*Запитання для самоконтролю:*

5.1 Які види газових палив використовуються в ДВЗ?

5.2 У чому принципова різниця між стиснутим природним газом (CNG) та зрідженим нафтовим газом (LPG)?

5.3 Які типи двигунів можуть працювати на газовому паливі?

5.4 Яка загальна схема газопостачання двигуна стиснутим природним газом?

5.5 Які конструктивні елементи входять до складу паливної системи CNG?

5.6 Яким чином здійснюється редукування тиску у CNG-системі?

5.7 Як реалізується впорскування або дозування стиснутого газу в циліндри? Які системи безпеки передбачені в установках на CNG?

5.8 Як влаштована система живлення LPG і як вона відрізняється від CNG?

5.9 У чому полягає робота газового редуктора-випарника?

5.10 Які типи упорскування застосовуються в системах LPG?

5.11 Як відбувається перемикання з бензину на газ у двопаливних системах?

5.12 У чому полягає різниця у запасі енергії, тиску зберігання, температурі випаровування між CNG і LPG?

5.13 Які конструктивні та експлуатаційні відмінності мають баки для CNG і LPG?

5.14 Як впливає тип газу на улаштування системи подачі, системи упорскування, керування подачею?

5.15 Які основні переваги використання стисненого або зрідженого газу в ДВЗ порівняно з бензином чи дизелем?

5.16 У чому полягають недоліки та обмеження газобалонного обладнання?

5.17 Як використання газового палива впливає на ресурс двигуна, температуру згорання, утворення відкладень?

5.18 Який вплив мають газові системи на екологічність і токсичність відпрацьованих газів?

5.19 Як зміна типу палива впливає на потужність, ККД, паливну економічність двигуна?

5.20 Які складності виникають при встановленні та обслуговуванні ГБО (газобалонного обладнання) на транспортних засобах?

5.21 Які системи контролю і діагностики використовуються в сучасних ГБО 4–5 покоління?

5.22 Як зміна температури навколишнього середовища впливає на роботу CNG і LPG систем?

5.23 Які вимоги до безпеки, сертифікації та нормативно-технічної документації газових систем в Україні та ЄС?

5.24 Які тенденції розвитку мають газові системи живлення у світовій та українській автопромисловості?

5.25 Як впроваджуються електронні системи керування газовим упорскуванням?

5.26 Які перспективи має використання біометану або синтетичного метану у транспорті?

**Тема 6.** Особливості паливної апаратури для роботи на легких, важких і сірчистих паливах.

*Запитання для самоконтролю:*

6.1 Як класифікуються рідкі палива для ДВЗ за густиною, температурою кипіння та хімічним складом?

6.2 Які відмінності у фізико-хімічних властивостях легких, важких та сірчистих палив?

6.3 Як ці властивості впливають на процес упорскування, сумішоутворення та згорання?

6.4 Які особливості конструкції паливної апаратури для легких фракційних палив?

6.5 Як змінюється стратегія упорскування при роботі на бензині чи гасі в дизельному двигуні?

6.6 Які складності виникають при переході дизеля на легкі палива?

6.7 Які вимоги ставляться до форсунок, паливних насосів та фільтрів при роботі на важких паливах?

6.8 Як впливає підвищена в'язкість і наявність смолистих компонентів на елементи паливної апаратури?

6.9 Які системи підігріву або підготовки палива застосовуються при роботі на мазуті?

6.10 Як забезпечується розпилювання та повне згорання важкого палива в камері згорання?

6.11 Як вміст сірки у паливі впливає на зношування елементів паливної апаратури?

6.12 Які конструктивні заходи вживають виробники для захисту системи упорскування від впливу сірки?

6.13 Як застосування сірчистих палив впливає на довговічність насос-форсунок, паливних рейок, дозаторів?

6.14 Які матеріали та покриття застосовуються для підвищення корозійної стійкості елементів апаратури?

6.15 Які системи впорскування є універсальними для різних типів палив?

6.16 Як адаптується електронне керування подачею палива при переході між легким і важким паливом?

6.17 Які типи форсунок забезпечують оптимальну роботу на змішаних або нестабільних паливах?

6.18 Які основні проблеми експлуатації паливної апаратури на важких або сірчистих паливах?

6.19 Як організовується технічне обслуговування систем паливоподачі при роботі на нестандартних паливах?

6.20 Які рекомендації зберігання, фільтрації, підігріву та підготовки застосовуються для таких палив?

6.21 Як використання сірчистих палив впливає на склад відпрацьованих газів та викиди  $\text{SO}_x/\text{NO}_x$ ?

6.22 Які заходи потрібно реалізувати для зниження токсичності вихлопу при роботі на важких паливах?

6.23 Які економічні переваги і ризики супроводжують перехід на альтернативні важкі або залишкові палива?

6.24 Які новітні технології дозволяють підвищити надійність паливної апаратури при використанні палив низької якості?

6.25 Які тенденції існують у стандартизації вимог до паливної апаратури для мультипаливних ДВЗ?

**Тема 7.** Системи займання газоповітряної суміші в газових двигунах.

*Запитання для самоконтролю:*

7.1 У чому полягають особливості займання газоповітряної суміші порівняно з бензиново-повітряною?

7.2 Які фізико-хімічні характеристики газового палива впливають на процес займання?

7.3 Який мінімальний рівень енергії потрібен для займання природного та скрапленого газу?

7.4 Що таке температура самозаймання газового палива, і як вона впливає на вибір системи запалювання?

7.5 Які основні типи систем займання застосовуються в газових ДВЗ?

7.6 У чому відмінність між традиційною батарейною системою запалювання та електронною мікропроцесорною?

7.7 Що таке система з розподіленим іскровим запалюванням і які її переваги?

7.8 Як працює система каталізаторного займання і де вона застосовується?

7.9 З яких основних елементів складається система запалювання газового двигуна?

7.10 Які типи свічок запалювання використовуються для газових двигунів і чим вони відрізняються від бензинових?

7.11 Яку функцію виконує електронний блок керування у сучасних газових системах запалювання?

7.12 Як впливає тиск у камері згорання на параметри іскри?

7.13 Як визначається оптимальний кут випередження запалювання для газового палива?

7.14 Як змінюється момент запалювання при переході з бензину на метан або пропан-бутан?

7.15 Які датчики використовуються для адаптації кута випередження в реальному часі?

7.16 Як впливають якість газу, вміст домішок і тиск на роботу системи запалювання?

7.17 Які основні несправності характерні для систем займання в газових ДВЗ?

7.18 Як здійснюється діагностика системи запалювання газового двигуна?

7.19 Які параметри контролюються при технічному обслуговуванні системи запалювання?

7.20 Які системи запалювання використовуються в:

- газобалонних автомобільних ДВЗ;
- стаціонарних газопоршневих агрегатах;
- когенераційних установках?

7.21 Як адаптуються системи займання при зміні навантаження і частоти обертання?

7.22 У чому переваги і недоліки іскрового займання в газовому ДВЗ порівняно з дизельним запалюванням (самозайманням)?

7.23 Які труднощі виникають при переведенні дизельного двигуна на роботу з іскровим запалюванням і газоповітряною сумішшю?

7.24 Як впроваджуються гібридні системи займання в сучасних метано-бензинових установках?

7.25 Які новітні технології займають провідне місце у вдосконаленні систем запалювання для газових ДВЗ?

7.26 Яку роль відіграє високовольтна мікроплазма, лазерне займання або радіочастотне запалювання у майбутніх системах?

7.27 Які вимоги висуваються до систем запалювання з погляду екологічних стандартів (Euro 6 тощо)?

7.28 Як цифрові системи керування покращують ефективність займання та знижують викиди?

**Тема 8.** Особливості паливних систем двигунів, що працюють на водні; конструктивні схеми водневих силових установок на транспортних засобах; виробництво та зберігання водню.

*Запитання для самоконтролю:*

8.1 Які фізико-хімічні властивості водню визначають його як паливо для ДВЗ і паливних елементів?

8.2 Які існують типи двигунів та силових установок, що можуть працювати на водні?

8.3 У чому полягає принципова різниця між використанням водню в ДВЗ та у водневому паливному елементі (Fuel Cell)?

8.4 Які складові входять до паливної системи двигуна, що працює на водні?

8.5 Які технічні рішення використовуються для подачі водню у камеру згорання?

8.6 Як впливає тип упорскування водню (впускне, безпосереднє, стехіометричне) на характеристики двигуна?

8.7 Які проблеми виникають у водневому ДВЗ?

8.8 Які типи паливних елементів використовуються на транспорті?

8.9 Які системи подачі водню до паливного елемента найпоширеніші?

8.10 Які функції виконує блок керування та охолодження у Fuel Cell-системі?

8.11 Яким чином паливний елемент генерує електроенергію з водню та кисню?

8.12 Назвіть основні типи силових схем на водні.

8.13 Як водневі установки поєднуються з електричними накопичувачами (акумуляторами, суперконденсаторами)?

8.14 Які конструктивні та експлуатаційні відмінності водневих автомобілів від електромобілів?

8.15 Назвіть основні способи виробництва водню. Які технології дозволяють зробити виробництво водню екологічно нейтральним?

8.16 Які джерела енергії доцільно використовувати для електролізу водню на транспорті?

8.17 Які існують методи зберігання водню? Які вимоги до водневих балонів за тиском, матеріалом і безпекою?

8.18 Які існують ризики при зберіганні та транспортуванні водню? Як вирішуються проблеми витоків, детонації та займання водню?

8.19 Які екологічні переваги використання водню на транспорті?

8.20 Які складності впровадження водневого транспорту в масове використання?

## **Тема 9. Принцип роботи газогенераторних установок.**

### *Запитання для самоконтролю:*

9.1 Що таке газогенераторна установка і для чого вона використовується? Які види палива можуть застосовуватись у газогенераторах?

9.2 У чому переваги газогенераторного палива порівняно з рідким або газоподібним традиційним паливом?

9.3 Які основні типи газогенераторів за способом продувки? Які основні типи газогенераторів за типом палива?

9.4 У чому полягає різниця між автотермічним і аллотермічним режимами газифікації?

9.5 Які основні процеси відбуваються під час газифікації палива у газогенераторі?

9.6 Що таке зона піролізу, окислення, відновлення та очищення в газогенераторі?

9.7 Які хімічні реакції відбуваються в різних зонах газогенератора?

9.8 Як утворюється генераторний газ і з чого він складається?

9.9 Які основні вузли входять до складу газогенераторної установки?

9.10 Які матеріали застосовуються для футерування та теплової ізоляції камери згоряння?

9.11 Яку роль відіграють фільтри, циклони та охолоджувачі в складі установки?

9.12 Як здійснюється подача повітря або кисню в камеру газифікації?

9.13 Яким чином генераторний газ подається до циліндрів двигуна?

9.14 Які зміни потрібно внести у конструкцію ДВЗ для роботи на генераторному газі?

9.15 Які особливості сумішоутворення і займання генераторного газу?

9.16 Як змінюються характеристики двигуна (потужність, ККД, витрата палива) при переході на генераторний газ?

9.17 Які основні труднощі в експлуатації газогенераторних установок? Які вимоги до палива за вологістю, зольністю та розміром частинок?

9.18 Як здійснюється запуск та вивід у роботу газогенераторної системи?

9.19 Як впливає якість генераторного газу на стійкість і ефективність роботи двигуна? Які екологічні переваги має використання газогенераторного палива?

9.20 Які продукти утворюються при спалюванні генераторного газу, і як зменшити викиди шкідливих речовин?

9.21 Які тенденції розвитку сучасних газогенераторів?

9.22 Як інтегруються газогенератори у гібридні енергосистеми?

**Тема 10.** Основні напрямки розвитку газових систем живлення.

*Запитання для самоконтролю:*

10.1 Які головні технічні вимоги до газових систем живлення сучасного транспорту? Які етапи розвитку пройшли газові системи з початку ХХ століття до сьогодення?

10.2 Чим відрізняються системи 1-го, 2-го, 3-го, 4-го та 5-го покоління?

10.3 Як розвиток електроніки вплинув на еволюцію газових систем?

10.4 Як працює газобалонна система у двопаливному (бензин/газ) ДВЗ?

10.5 Які типи упорскування газу застосовуються сьогодні?

10.6 Як функціонує система самодіагностики і адаптивного керування подачею газу?

10.7 Як забезпечується безпека при експлуатації газового обладнання?

10.8 Які новітні розробки впроваджуються у сучасні газобалонне обладнання (ГБО)?

10.9 Що таке рідке впорскування LPG (Liquid Injection) і які його переваги?

10.10 Як застосовується система подвійного упорскування (Dual Fuel) для дизель-газових двигунів?

10.11 Як використовуються технології штучного інтелекту та машинного навчання для керування ГБО?

10.12 У чому полягають основні екологічні переваги використання газу як моторного палива?

10.13 Як газове паливо сприяє зменшенню викидів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ?

10.14 Як поєднуються газові системи з гібридними силовими установками?

10.15 Які перспективи розвитку систем живлення на біогазі, синтез-газі, водні?

10.16 Які нормативи безпеки регулюють встановлення та експлуатацію ГБО в Україні та ЄС?

10.17 Як сертифікуються газові системи та компоненти (редуктори, форсунки, балони)?

10.18 Які вимоги до випробувань і технічного обслуговування газових систем?

10.19 Які основні проблеми та недоліки залишаються в сучасних газових системах живлення? Як вирішуються питання витоків, нестабільності тиску та детонації при переході на газ?

10.20 Які є обмеження щодо використання газу у високофорсованих або турбодвигунах?

10.21 Які ключові напрямки подальшої модернізації газових систем живлення?

10.22 Які напрями інтеграції ГБО з цифровими системами керування двигуном (ECU, CAN-шини, телематика)?

## **2 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ДИФУЗОР КАРБЮРАТОРА**

### **2.1 Основні відомості**

*Характеристикою карбюратора* називається залежність коефіцієнта надлишку повітря від витрати повітря через дифузор карбюратора або розрядження в дифузорі.

Коефіцієнт надлишку повітря визначається виразом

$$\alpha = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{п}} \cdot l_0}, \quad (2.1)$$

де  $G_{\text{пов}}$  – масова витрата повітря через дифузор карбюратора [кг/с];

$G_{\text{п}}$  – масова витрата палива [кг/с];

$l_0$  – теоретично необхідна кількість повітря [кг/кг палива].

Горюча суміш надходить у кожен циліндр двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) періодично. Тому рух повітря і палива через карбюратор, що живить лише один циліндр, має різко виражений пульсуючий (нестационарний) характер. Зі збільшенням кількості циліндрів, що живляться одним карбюратором, з переходом від чотиритактного циклу роботи ДВЗ на двотактний, пульсація потоку повітря та палива зменшується. Цьому також сприяє наявність впускної системи між карбюратором і впускними елементами двигуна, об'єм якої, по суті, є порожниною, що акумулює. У багатociліндрових двигунах пульсації параметрів потоку повітря стають несуттєвими і рух повітря і палива можна вважати таким, що встановився. Внаслідок малого значення в'язкості повітря, його швидкість у всіх точках кожного поперечного перерізу потоку приблизно однакова.

Канал, яким повітря надходить з атмосфери в циліндр ДВЗ, має змінний перетин – рис. 2.1. Внаслідок цього (згідно з рівнянням Д. Бернуллі) швидкість потоку і тиск по осі каналу змінні. Аналіз процесів в повітряному каналі карбюратора ускладнюється наявністю змінного місцевого опору такого, як дросельна заслінка.

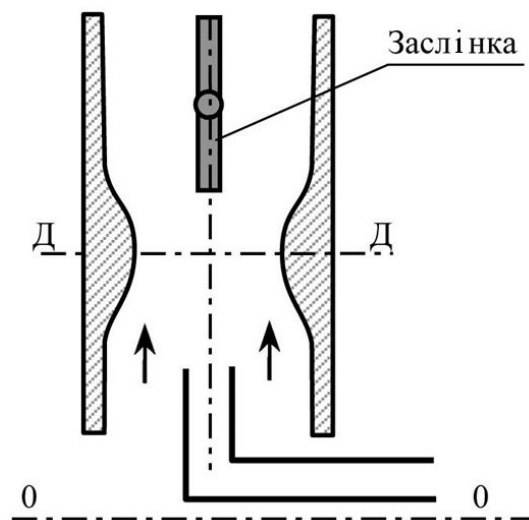


Рисунок 2.1 – Схема повітряного каналу

Витрата повітря через повітряний канал може бути визначена за розміром найменшого перерізу (дифузора) і тиску в ньому – рис. 2.1. Практично перепад між тисками навколишнього середовища  $P_0$  (перетин 0 – 0) та тиском у дифузорі  $P_d$  (перетин Д – Д) не перевищує 0,02 МПа при роботі двигуна з максимальною частотою обертання колінвалу при повністю відкритій дросельній заслінці.

При зміні перепаду тиску  $\Delta P_d = P_0 - P_d$  у зазначених межах можна з достатнім ступенем точності знехтувати впливом стисливості повітря і розглядати його перебіг як рух рідини, що не стискається. Тоді без урахування геометричного напору внаслідок незначної відстані між 0 – 0 та Д – Д та при швидкості повітря біля входу в повітряний канал  $V_0 = 0$  рівняння Д. Бернуллі для зазначених перерізів має такий вигляд:

$$\frac{P_{0 \text{ абс}}}{\rho_{\text{пов}} g} = \frac{P_{d \text{ абс}}}{\rho_{\text{пов}} g} + \frac{V_d^2}{2g} + \xi \frac{V_d^2}{2g}; \quad (1.2)$$

де  $\rho_{\text{пов}}$  – густина повітря [кг/м<sup>3</sup>];  $V_d$  – швидкість повітря в перерізі Д – Д дифузора;  $\xi$  – коефіцієнт опору, що враховує втрати напору між перерізами 0 – 0 та Д – Д.

Перетворюючи рівняння (1.2), отримуємо:

$$\Delta P_d = P_0 - P_d = \frac{V_d^2 \cdot \rho_{\text{пов}}}{2} (1 + \xi).$$

Звідси швидкість повітря у дифузорі:

$$V_d = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{пов}}} \Delta P_d} \quad (1.3)$$

та масові витрати через дифузор:

$$G_{\text{пов}} = \mu_{\text{пов}} f_{\text{пов}} \sqrt{2 \rho_{\text{пов}} \Delta P_d}. \quad (1.4)$$

У наведених рівняннях коефіцієнт витрати дифузора, значення якого визначається експериментально;  $f_{\text{пов}} = \frac{\pi d_d^2}{4}$  – площа поперечного перерізу дифузора;  $d_d$  – діаметр найменшого перерізу дифузора (перетин Д – Д).

Зазначимо, що за  $P_{0 \text{ абс}} = P_{\text{атм}}$   $\Delta P_d = P_{\text{вак}}$  – вакуумметричний тиск у перерізі Д – Д.

## 2.2 Зміст індивідуальних завдань

### 2.2.1 Завдання №1.

Розрахувати масову витрату повітря  $G_{\text{пов}}$  через дифузор карбюратора (рис. 2.2) при зміні перепаду тиску  $\Delta P_d$  у межах від 0.001 до 0.014 МПа. Побудувати графік залежності  $G_{\text{пов}} = f(\Delta P_d)$ .

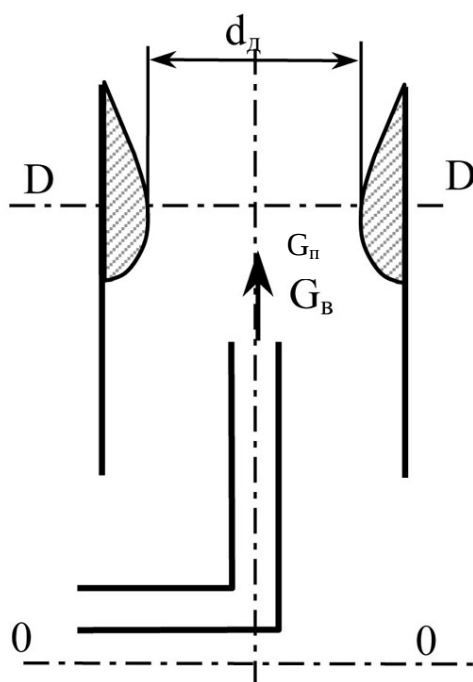


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема дифузора карбюратора

Вихідні дані.

Таблиця 2.1 – Щільність повітря при тиску  $P_0 = 101$  кПа

|                                                            |       |       |       |      |       |       |       |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Температура повітря, $t$ °C                                | 0     | 2     | 4     | 6    | 8     | 10    | 12    |
| Щільність повітря, $\rho_{\text{пов}}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1,288 | 1,279 | 1,270 | 1,26 | 1,252 | 1,248 | 1,234 |
| Температура повітря, $t$ °C                                | 14    | 16    | 18    | 20   | 24    | 30    | 34    |
| Щільність повітря, $\rho_{\text{пов}}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1,225 | 1,217 | 1,209 | 1,2  | 1,184 | 1,161 | 1,147 |

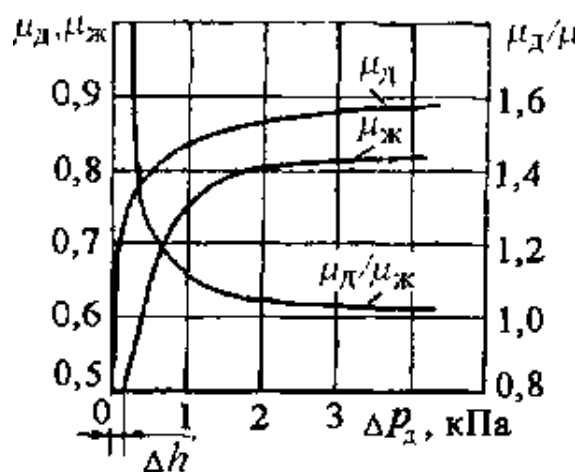
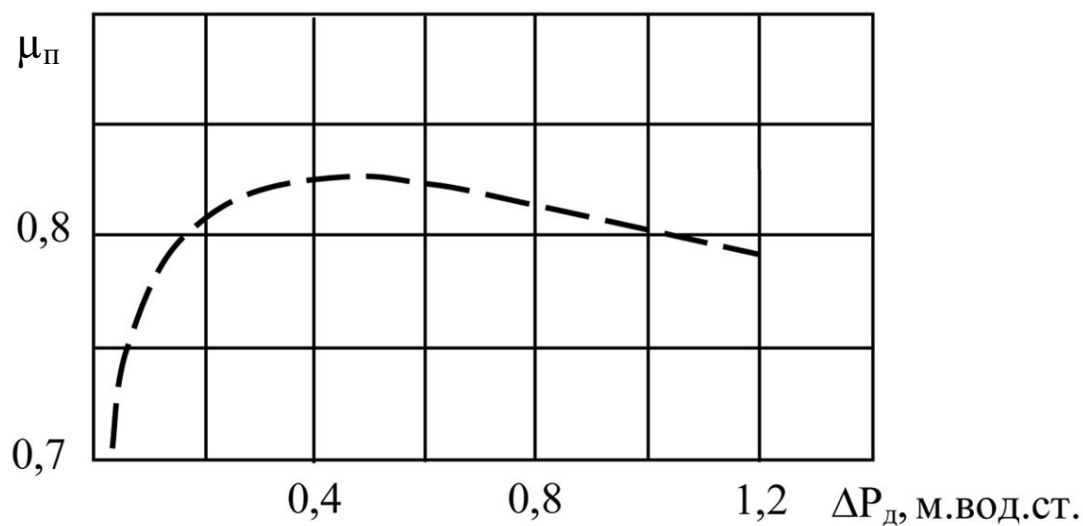


Рисунок 2.3 – Коефіцієнт витрати дифузора  $\mu_{\text{пов}}$  ( $\mu_{\text{д}}$ ) залежно від розрядження в ньому  $\Delta P_{\text{д}}$  ( $\Delta P_{\text{д}} = P_0 - P_{\text{д}}$ )

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання № 1

| варіант | Температура повітря, $t$ °C | Діаметр дифузора, $d_{\text{д}}$ , мм | варіант | Температура повітря, $t$ °C | Діаметр дифузора, $d_{\text{д}}$ , мм |
|---------|-----------------------------|---------------------------------------|---------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1       | 2                           | 3                                     | 1       | 2                           | 3                                     |
| 1       | 0                           | 20                                    | 11      | 20                          | 20                                    |
| 2       | 2                           | 25                                    | 12      | 22                          | 25                                    |
| 3       | 4                           | 30                                    | 13      | 24                          | 30                                    |
| 4       | 6                           | 35                                    | 14      | 26                          | 35                                    |
| 5       | 8                           | 40                                    | 15      | 28                          | 40                                    |
| 6       | 10                          | 20                                    | 16      | 30                          | 15                                    |
| 7       | 12                          | 25                                    | 17      | 32                          | 18                                    |

## Продовження табл.2.2

| 1  | 2  | 3  | 1  | 2  | 3  |
|----|----|----|----|----|----|
| 8  | 14 | 30 | 18 | 34 | 20 |
| 9  | 16 | 35 | 19 | 0  | 25 |
| 10 | 18 | 40 | 20 | 2  | 20 |

## 2.2.2 Завдання №2

Розрахувати масову витрату повітря  $G_{\text{пов}}$  через дифузор при зміні його температури в межах від 0 °С до 34 °С. Побудувати графік залежності  $G_{\text{пов}} = f(t)$ .

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до завдання № 2

| варіант | Перепад тиску $\Delta P_d$ , кгс/см <sup>2</sup> | Діаметр дифузора, $d_d$ , мм | варіант | Перепад тиску $\Delta P_d$ , кгс/см <sup>2</sup> | Діаметр дифузора, $d_d$ , мм |
|---------|--------------------------------------------------|------------------------------|---------|--------------------------------------------------|------------------------------|
| 1       | 0,001                                            | 15                           | 11      | 0,008                                            | 15                           |
| 2       | 0,002                                            | 20                           | 12      | 0,006                                            | 20                           |
| 3       | 0,004                                            | 25                           | 13      | 0,004                                            | 25                           |
| 4       | 0,006                                            | 30                           | 14      | 0,006                                            | 30                           |
| 5       | 0,008                                            | 35                           | 15      | 0,008                                            | 35                           |
| 6       | 0,010                                            | 40                           | 16      | 0,010                                            | 30                           |
| 7       | 0,012                                            | 35                           | 17      | 0,020                                            | 25                           |
| 8       | 0,014                                            | 30                           | 18      | 0,040                                            | 20                           |
| 9       | 0,012                                            | 25                           | 19      | 0,012                                            | 15                           |
| 10      | 0,010                                            | 20                           | 20      | 0,010                                            | 20                           |

ПРИМІТКА. Побудову графічних залежностей проводити щонайменше, ніж за шістьма розрахунковими значеннями.

## 2.3 Контрольні запитання

2.3.1 Що таке коефіцієнт надлишку повітря?

2.3.2 За яких умов рух повітря і палива через дифузор можна вважати таким, що встановився?

2.3.3 Чому при розрахунку карбюратора допускається нехтувати стисливістю повітря?

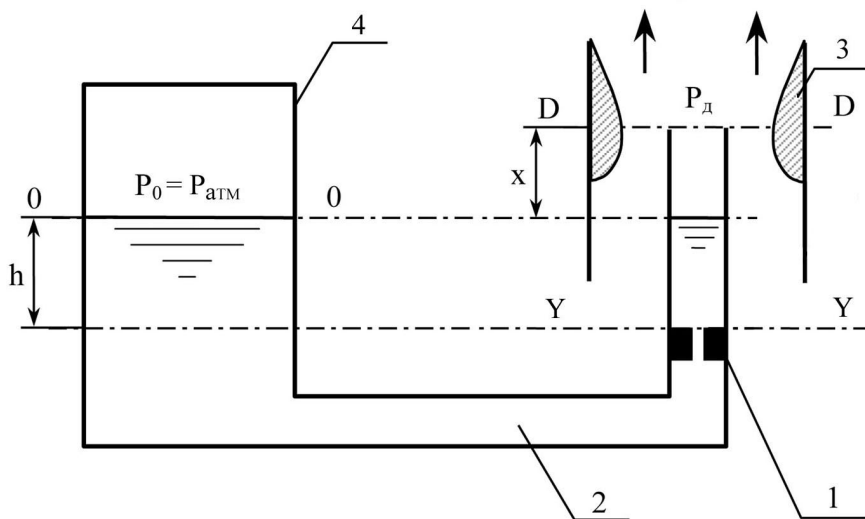
## 3 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ПАЛИВА ЧЕРЕЗ ГОЛОВНИЙ ЖИКЛЕР КАРБЮРАТОРА

### 3.1 Основні відомості

Витікання палива через головний дозуючий жиклер (дросель) карбюратора відбувається під дією різниці тисків в камері поплавця і в дифузорі карбюратора, а також внаслідок різниці рівнів перерізів, що розглядаються (вільна поверхня палива в камері поплавця і площа найменшого перерізу дифузора).

Схема паливної системи найпростішого карбюратора показана на рис. 3.1.

Головний дозуючий жиклер на кожному режимі роботи карбюратора визначає кількість палива, що впливає з камери поплавця. Жиклер може бути встановлений у будь-якому місці гідроканалу між камерою поплавця і вихідним перерізом розпилювача. Вихідний переріз розпилювача розташовується вище рівня палива в камері поплавця на величину  $X = 2 \dots 5$  мм і зазвичай збігається з площиною найменшого перерізу дифузора. Забезпечення величини  $X$  необхідне для запобігання витіканню палива з розпилювача при непрацюючому двигуні та похилому положенні карбюратора, а також внаслідок явища капілярності. Рівень палива в камері поплавця підтримується постійним.



1 – головний дозуючий жиклер; 2 – гідроканал розпилювача; 3 – дифузор; 4 – камера поплавця

Рисунок 3.1 – Паливна система найпростішого карбюратора

Рівняння Д. Бернуллі для перерізів 0 – 0 та Y – Y без урахування гідравлічних втрат у гідроканалі між поплавковою камерою та жиклером, має вигляд

$$h + \frac{P_{\text{атм}}}{\rho_{\text{п}}g} = \frac{P_{\text{у абс}}}{\rho_{\text{п}}g} + \alpha \frac{V_{\text{у}}^2}{2g}; \quad (3.1)$$

де  $P_{\text{у абс}}$  – абсолютний тиск у перерізі Y – Y;  $\alpha$  – коефіцієнт Коріоліса, що враховує нерівномірність швидкості палива по перерізу гідроканалу;  $V_{\text{у}}$  – середня швидкість палива за перерізом потоку.

Вважаючи режими перебігу палива в гідроканалі та жиклері турбулентними, приймаємо  $\alpha \approx 1$ .

З рівняння (3.1) маємо теоретичну швидкість палива

$$V_{\text{у п}} = \sqrt{2g \left( h + \frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{у абс}}}{\rho_{\text{п}}g} \right)}. \quad (3.2)$$

Нехтуючи гідравлічними втратами в гідроканалі після жиклера, отримуємо тиск у перерізі Y – Y

$$P_{\text{у абс}} = P_{\text{д абс}} + (h + X) \rho_{\text{п}}g. \quad (3.3)$$

З (3.2) та (3.3)

$$V_{\text{у п}} = \sqrt{2g \left( \frac{\Delta P_{\text{д}}}{\rho_{\text{п}}g} + X \right)}; \quad (3.4)$$

де  $\Delta P_{\text{д}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{д абс}}$ .

З урахуванням гідравлічних втрат у жиклері та гідроканалі тиск об'ємної витрати має вигляд:

$$Q = \mu_{\text{ж}} f_{\text{ж}} \sqrt{2g \left( \frac{\Delta P_{\text{д}}}{\rho_{\text{п}}g} - X \right)}; \quad (3.5)$$

де  $\mu_{\text{ж}}$  – коефіцієнт витрати жиклера;  $f_{\text{ж}}$  – площа прохідного перерізу жиклера.

Масова витрата через жиклер

$$G_{\text{п}} = \mu_{\text{ж}} f_{\text{ж}} \sqrt{2g \left( \frac{\Delta P_{\text{д}}}{\rho_{\text{п}}g} - X \right)} \cdot \rho_{\text{п}} = \mu_{\text{ж}} f_{\text{ж}} \sqrt{2\rho_{\text{п}}(\Delta P_{\text{д}} - \rho_{\text{п}}gX)}. \quad (2.6)$$

Значення  $\mu_{\text{ж}}$  визначається експериментально і залежить від ряду факторів: перерізу жиклера, співвідношення його геометричних розмірів, форми кромek жиклера, тиску, температури та в'язкості палива, що витікає тощо.

На рис. 3.2 показано зміну  $\mu_{\text{ж}}$  від перепаду тисків  $\Delta P_{\text{ж}}$  на жиклері при різних співвідношеннях його довжини  $l_{\text{ж}}$  та прохідного перерізу  $d_{\text{ж}}$ .

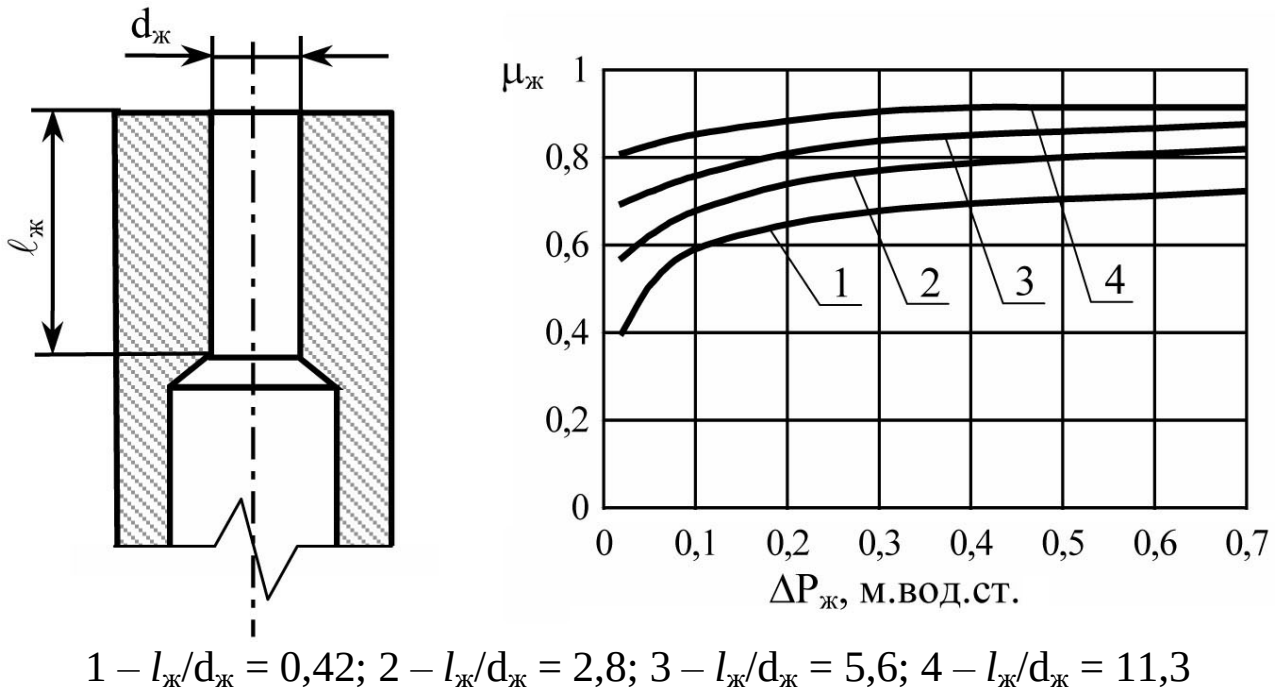


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема жиклера та залежність  $\mu_{\text{ж}}(\Delta P_{\text{ж}})$

Оскільки величина  $\Delta P_{\text{ж}}$  змінюється залежно від режиму роботи двигуна у розрахунках допускається застосування постійним значення  $\mu_{\text{ж}}$ , визначення за середнім значенням  $\Delta P_{\text{ж}}$ .

### 3.2 Зміст індивідуальних завдань

Розрахувати масову витрату палива  $G_{\text{п}}$  через головний дозуючий жиклер при зміні перепаду тиску  $\Delta P_{\text{д}}$  у межах від 0,001 до 0,014 МПа та різних співвідношеннях розмірів жиклера. Побудувати графік залежності  $G_{\text{п}} = f(\Delta P_{\text{д}})$ .

Таблиця 3.2 – Варіанти завдань

| варіант | Діаметр жиклера $d_{\text{ж}}$ , мм | $l_{\text{ж}}/d_{\text{ж}}$ |      | X, мм | Щільність палива, $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|---------|-------------------------------------|-----------------------------|------|-------|---------------------------------------------------------|
| 1       | 2                                   | 3                           | 4    | 5     | 6                                                       |
| 1       | 0,5                                 | 0,42                        | 11,3 | 3     | 700                                                     |
| 2       | 0,55                                | 2,8                         | 11,3 | 4     | 700                                                     |
| 3       | 0,6                                 | 5,6                         | 11,3 | 5     | 750                                                     |
| 4       | 0,65                                | 0,42                        | 5,6  | 3     | 750                                                     |
| 5       | 0,7                                 | 0,42                        | 11,3 | 4     | 750                                                     |

Продовження табл.3.2

| 1  | 2    | 3    | 4    | 5 | 6   |
|----|------|------|------|---|-----|
| 6  | 0,5  | 2,8  | 11,3 | 5 | 700 |
| 7  | 0,55 | 5,6  | 11,3 | 3 | 700 |
| 8  | 0,6  | 0,42 | 5,6  | 4 | 700 |
| 9  | 0,65 | 0,42 | 11,3 | 5 | 750 |
| 10 | 0,7  | 5,6  | 11,3 | 3 | 700 |
| 11 | 0,5  | 0,42 | 5,6  | 4 | 750 |
| 12 | 0,55 | 0,42 | 11,3 | 5 | 700 |
| 13 | 0,6  | 2,8  | 11,3 | 3 | 700 |
| 14 | 0,65 | 2,8  | 5,6  | 4 | 750 |
| 15 | 0,7  | 0,42 | 5,6  | 5 | 700 |
| 16 | 0,75 | 0,42 | 11,3 | 3 | 750 |
| 17 | 0,8  | 2,8  | 11,3 | 4 | 750 |
| 18 | 0,7  | 2,8  | 11,3 | 5 | 700 |
| 19 | 0,6  | 2,8  | 5,6  | 4 | 700 |
| 20 | 0,5  | 2,8  | 5,6  | 3 | 700 |

### 3.3 Контрольні запитання

3.3.1 Де в гідроканалі розпилювача може бути встановлений головний дозуючий жиклер?

3.3.2 З якою метою вихідний переріз розпилювача розташовують вище рівня палива в камері поплавця?

3.3.3 Від яких чинників залежить значення коефіцієнта витрати жиклера?

## 4 РОЗРАХУНОК ЗБАГАЧУВАЧА (ЕКОНОМАЙЗЕРА)

### 4.1 Основні відомості

Головна дозувальна система карбюратора забезпечує приготування суміші необхідного складу тільки для області середніх

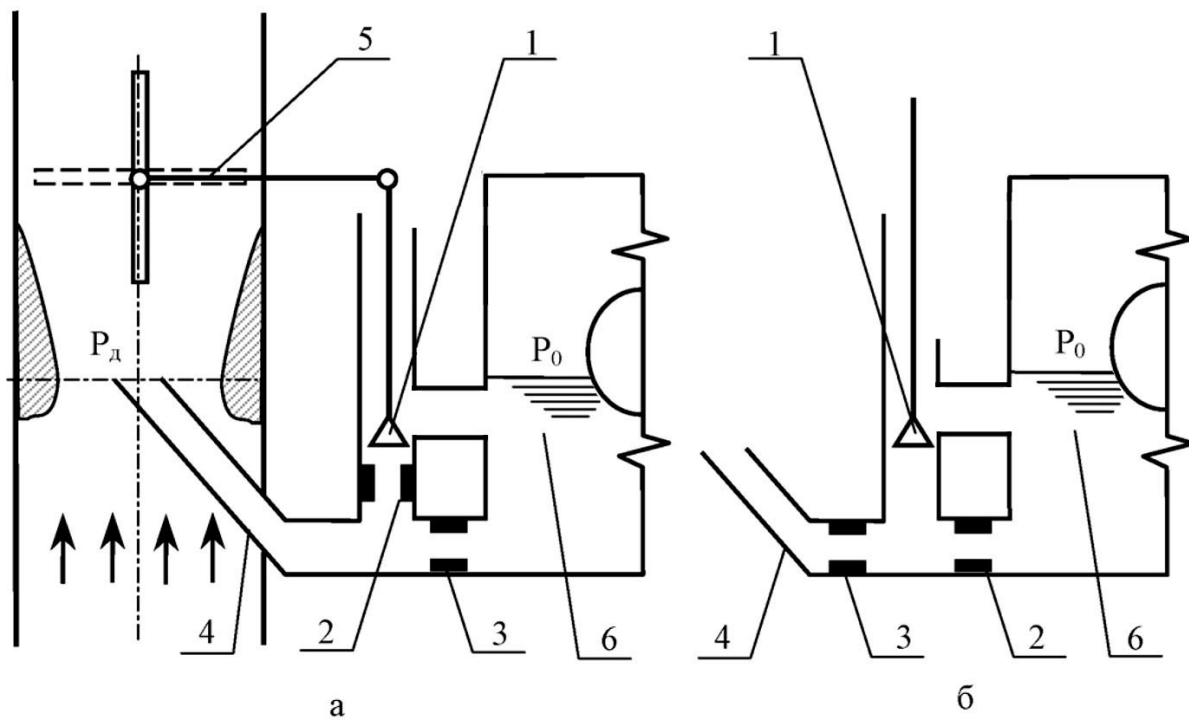
навантажень ДВЗ при його режимі роботи. Карбюратор, який має лише один головний дозуючий пристрій, відрегульований на економічну роботу двигуна, не забезпечує отримання максимальної потужності при повному відкритті дросельної заслінки, надійну роботу на холостому ході, хорошу прийнятність та нормальний пуск двигуна.

Для усунення зазначених недоліків сучасний карбюратор має у своєму складі спеціальні допоміжні пристрої. До них відносяться збагачувальні пристрої (економайзери, еконостати, насоси-прискорювачі), пристрої для забезпечення економічної роботи ДВЗ з прийнятним рівнем токсичних компонентів у відпрацьованих газах на режимах холостого ходу (системи холостого ходу, економайзери примусового холостого ходу, регулятори розрядження).

Для полегшення пуску та прогріву холодного двигуна карбюратори оснащують різними пусковими пристроями. Також карбюратори можуть мати пристрої для забезпечення нормального запуску гарячого двигуна, обмеження максимальної частоти обертання колінвалу тощо.

**Збагачувач (економайзер)** карбюратора – це пристрій, що збагачує горючу суміш до складу, що забезпечує отримання максимальної потужності двигуна при повному або близькому до повного відкриття дросельної заслінки. Для цього за допомогою збагачувача збільшується подача палива на режимах максимальної потужності та зменшується при переході двигуна до середніх навантажень. Таким чином, забезпечується найбільш економічна робота ДВЗ на середніх навантаженнях.

Принцип дії збагачувача ґрунтується на зміні опору паливної системи карбюратора, що зумовлює додаткову подачу палива в змішувальну камеру. У всіх випадках це додаткове паливо подається або через головну систему дозування або через самостійний розпилювач. Жиклер збагачувача, через який подається додаткова порція палива, може бути встановлений паралельно або послідовно з головним жиклером. На рис. 4.1 показані схеми збагачувальних пристроїв з різним розташуванням жиклера збагачувача.



1 – клапан економайзера; 2 – жиклер економайзера; 3 – головний жиклер; 4 – розпилювач; 5 – важіль; 6 – камера поплавця

Рисунок 4.1 – Схема збагачувача економайзера з механічним приводом: (а) з паралельною установкою та (б) з послідовною установкою жиклера економайзера

Для варіанта збагачувача за рис. 4.1,а при відкритті за допомогою важеля 5 клапана 1 паливо підводиться в розпилювач 4 відразу через два жиклери: головний 3 і жиклер збагачувача 2. У цьому випадку прохідний переріз жиклера 3 підбирають так, щоб забезпечити на середніх навантаженнях при закритому клапані збагачувача 1 отримання горючої суміші економічного складу. Перетин жиклера 2 має бути значно меншим за переріз головного жиклера 3, забезпечуючи подачу додаткової кількості палива, необхідного для збагачення суміші (приблизно 15 – 20 % від кількості палива, що подається через головний жиклер).

Витрата (масова) через головний жиклер 3 без урахування компенсаційної системи та величини  $X$  (рис. 3.1) визначається за (3.6) виразом

$$G_{\text{п гл}} = \mu_{\text{гл.ж}} f_{\text{гл.ж}} \sqrt{2 \Delta P_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{п}}}, \quad (4.1)$$

де  $\mu_{\text{гл.ж}}$  і  $f_{\text{гл.ж}}$  – відповідно коефіцієнт витрати та площа перерізу головного жиклера.

Величина  $G_{\text{п.гл}}$  має бути такою, щоб забезпечувався економічний склад горючої суміші, тобто коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha \approx 1$ .

Витрата палива через жиклер збагачувача

$$G_{\text{ж.з}} = \mu_{\text{ж.з}} f_{\text{ж.з}} \sqrt{2 \Delta P_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{п}}}. \quad (4.2)$$

Сумарна подача, що підводиться до розпилювача

$$G_{\text{п}} = G_{\text{п.гл}} + G_{\text{ж.з}}. \quad (4.3)$$

Для варіанта збагачувача за рис. 4.1 б паливо з поплавкової камери проходить послідовно через жиклери 2 і 3. У разі повного відкриття повітряної заслінки відкривається клапан 1 і частина палива, минаючи жиклер збагачувача 2, через головний жиклер 3 потрапляє в розпилювач 4. Опір потоку палива зменшується, витрата палива збільшується і суміш збагачується. Жиклер збагачувача в такому разі повинен мати більший прохідний переріз, ніж головний жиклер, тому що його опір має бути невеликим.

При такому включенні жиклерів переріз головного жиклера підбирають виходячи з умови отримання найбільшої потужності. Переріз жиклера збагачувача підбирають таким чином, щоб при його включенні (клапан 1 – закритий) витрата палива зменшувалась приблизно на 20%.

Масова витрата палива через головний жиклер при включенні жиклера збагачувача визначається з виразу

$$G'_{\text{п.гл}} = \mu_{\text{гл.ж}} f_{\text{гл.ж}} \sqrt{2(\Delta P_{\text{д}} - \Delta P_{\text{ж.з}}) \rho_{\text{п}}}, \quad (4.4)$$

де  $\Delta P_{\text{ж.з}}$  – перепад тисків на жиклері збагачувача.

Витрата палива через жиклер збагачувача

$$G_{\text{п.з}} = \mu_{\text{ж.з}} f_{\text{ж.з}} \sqrt{2 \Delta P_{\text{ж.з}} \rho_{\text{п}}}. \quad (4.5)$$

При закритому клапані 1 дотримується умова нерозривності потоку, тобто  $G'_{\text{п.гл}} = G_{\text{п.з}}$ . Приймаючи  $\mu_{\text{ж.з}} \approx \mu_{\text{гл.ж}}$  із (4.4) та (4.5), отримуємо

$$\Delta P_{\text{ж.з}} = \frac{f_{\text{гл.ж}}^2}{f_{\text{гл.ж}}^2 + f_{\text{ж.з}}^2} \Delta P_{\text{д}} \quad (4.6)$$

Позначаючи  $\frac{f_{\text{ж.з}}}{f_{\text{гл.ж}}} = b$  з (4.4) та (4.6), отримуємо

$$G'_{\text{п.гл}} = \mu_{\text{гл.ж}} f_{\text{гл.ж}} \sqrt{2 \left( \frac{b^2}{1+b^2} \right) \Delta P_{\text{д}} \rho_{\text{п}}}, \quad (4.7)$$

Розділивши вираз (4.4) на (4.1), отримуємо

$$k = \frac{G'_{п\ гл}}{G_{п\ гл}} = \sqrt{\frac{b^2}{1+b^2}}.$$

Звідси

$$b = \sqrt{\frac{k^2}{1-k^2}}. \quad (4.8)$$

Якщо прийняти, що витрата палива при включенні жиклера збагачувача повинна зменшитися на 15 – 20%, (тобто  $k = 0,8 - 0,85$ ), то площа прохідного перерізу жиклера збагачувача буде більшою за прохідний переріз головного жиклера в 1.33 – 1.5 рази.

## 4.2 Зміст індивідуальних завдань

Вихідні дані.

Щільність палива  $\rho_{п} = 700 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_{г\text{л.ж}} = \mu_{ж.з} = 0.72$ .

### 4.2.1 Завдання № 1 (Схема з рис. 4.1, а).

Розрахувати діаметр жиклера збагачувача  $d_{ж.з}$  та масову витрату палива  $G_{п}$  при включеному жиклері збагачувача.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до завдання № 1

| варіант | $\Delta P_{д}, \text{ МПа}$ | Діаметр<br>головного<br>жиклера<br>$d_{г\text{л.ж}}, \text{ мм}$ | Збільшення подачі палива<br>при включенні жиклера та<br>збагачувача, % |
|---------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1       | 2                           | 3                                                                | 4                                                                      |
| 1       | 0,001                       | 0,6                                                              | 20                                                                     |
| 2       | 0,002                       | 0,8                                                              | 15                                                                     |
| 3       | 0,004                       | 1,0                                                              | 20                                                                     |
| 4       | 0,006                       | 0,8                                                              | 15                                                                     |
| 5       | 0,008                       | 0,6                                                              | 20                                                                     |
| 6       | 0,010                       | 0,5                                                              | 15                                                                     |
| 7       | 0,012                       | 0,6                                                              | 20                                                                     |
| 8       | 0,014                       | 0,8                                                              | 15                                                                     |
| 9       | 0,012                       | 1,0                                                              | 20                                                                     |
| 10      | 0,010                       | 0,8                                                              | 15                                                                     |
| 11      | 0,012                       | 0,8                                                              | 20                                                                     |

Продовження табл.4.1

| 1  | 2     | 3    | 4  |
|----|-------|------|----|
| 12 | 0,014 | 0,6  | 15 |
| 13 | 0,012 | 0,5  | 20 |
| 14 | 0,010 | 0,55 | 15 |
| 15 | 0,008 | 0,6  | 20 |
| 16 | 0,006 | 0,65 | 15 |
| 17 | 0,004 | 0,7  | 20 |
| 18 | 0,002 | 0,8  | 15 |
| 19 | 0,001 | 1    | 20 |
| 20 | 0,006 | 0,75 | 15 |

## 4.2.2 Завдання № 2 (схема за рис. 4.1, б)

Розрахувати діаметр жиклера збагачувача  $d_{ж.з}$  масову витрату палива  $G_{п}$  при включеному і вимкненому жиклері збагачувача.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до завдання № 2

| варіант | $\Delta P_{д}$ , МПа | Діаметр<br>головного<br>жиклера<br>$d_{гл.ж}$ , мм | Зменшення подачі палива<br>при включенні жиклера та<br>збагачувача, % |
|---------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1       | 2                    | 3                                                  | 4                                                                     |
| 1       | 0,001                | 0,5                                                | 20                                                                    |
| 2       | 0,002                | 0,55                                               | 15                                                                    |
| 3       | 0,004                | 0,6                                                | 20                                                                    |
| 4       | 0,006                | 0,65                                               | 15                                                                    |
| 5       | 0,008                | 0,8                                                | 20                                                                    |
| 6       | 0,010                | 1                                                  | 15                                                                    |
| 7       | 0,012                | 0,8                                                | 20                                                                    |
| 8       | 0,014                | 0,6                                                | 15                                                                    |
| 9       | 0,012                | 0,8                                                | 20                                                                    |
| 10      | 0,010                | 1                                                  | 15                                                                    |
| 11      | 0,008                | 0,8                                                | 20                                                                    |
| 12      | 0,006                | 0,75                                               | 15                                                                    |
| 13      | 0,004                | 0,6                                                | 20                                                                    |

Продовження табл.4.2

| 1  | 2     | 3    | 4  |
|----|-------|------|----|
| 14 | 0,002 | 0,5  | 15 |
| 15 | 0,001 | 0,65 | 20 |
| 16 | 0,002 | 0,7  | 15 |
| 17 | 0,004 | 0,75 | 20 |
| 18 | 0,006 | 0,8  | 15 |
| 19 | 0,008 | 1    | 20 |
| 20 | 0,010 | 0,8  | 15 |

### 4.3 Контрольні запитання

4.3.1 Пояснити принцип роботи збагачувача при паралельному та послідовному включенні жиклера збагачувача.

4.3.2 Який із варіантів збагачувача є більш економічним?

4.3.3 Пояснити призначення збагачувача.

## 5 РОЗРАХУНОК ФОРСУНКИ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛЕНОГО ВПОРСКУВАННЯ

### 5.1 Основні відомості

Практично всі існуючі системи впорскування можна розділити на три основні групи за місцем впорскування легкого палива:

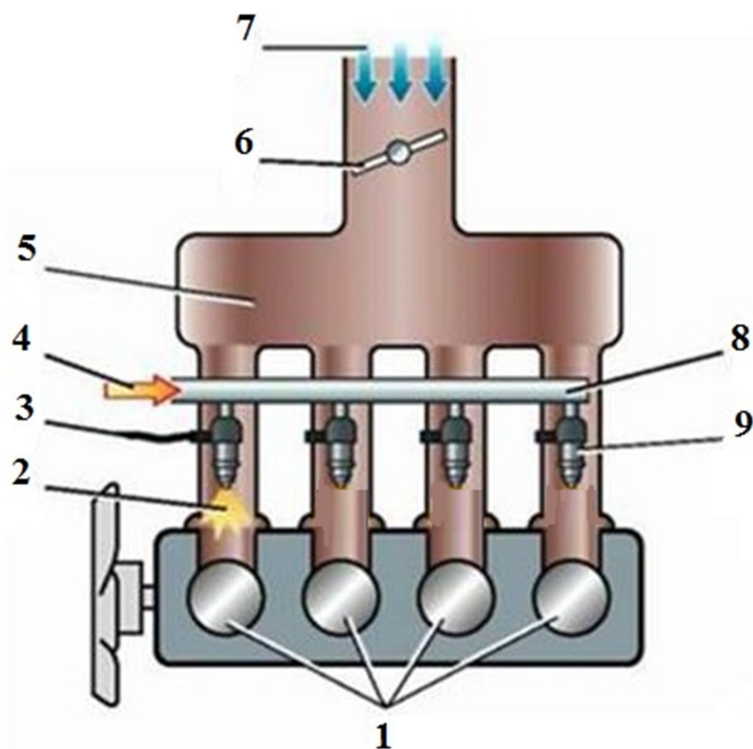
- системи центрального впорскування, в яких одна електромагнітна форсунка здійснює безперервну подачу палива у впускний колектор над дросельною заслінкою, забезпечуючи паливом усі циліндри двигуна. У багатоциліндрових і V-подібних двигунах встановлюються дві форсунки над кожною дросельною заслінкою. За способом сумішоутворення дані системи найбільш близькі до систем подачі палива і сумішоутворення карбюраторних двигунів;

- системи розподільного впорскування над впускними клапанами (рис. 5.1). У цих системах можуть застосовуватися форсунки двох типів: електромагнітні форсунки циклового (дискретного) впорскування, а також форсунки безперервної дії;

– системи впорскування безпосередньо в порожнину циліндра. Ці системи відносяться до принципово нових систем бензинових двигунів з внутрішнім сумішоутворенням, аналогічних системам сумішоутворення дизелів.

Перевагою всіх систем впорскування легкого палива в порівнянні з карбюраторними двигунами є роздільна подача і регулювання кількості і якості палива і повітря, що дозволяє більш точно підтримувати необхідний склад паливоповітряної суміші в кожен момент часу відповідно до постійно змінюваного режиму роботи двигуна.

Другою найважливішою перевагою систем впорскування є використання найостанніших досягнень науки, техніки і технології: електронні блоки управління, в тому числі мікропроцесорні, електромагнітні швидкодіючі форсунки, найрізноманітніші датчики, які контролюють кількість і склад робочої суміші і відпрацьованих газів.



1 – циліндри двигуна; 2 – розпилюване паливо

Рисунок 5.1 – Система живлення розподіленого (багатоточкового) впорскування палива

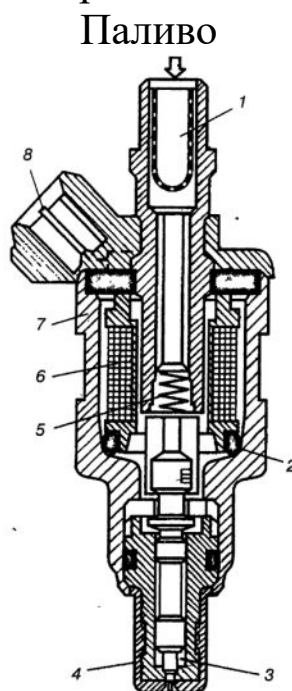
Зазначені переваги систем впорскування легкого палива дозволяють задовольняти зростаючі екологічні вимоги по скороченню

токсичних викидів в атмосферу, економити паливо, підвищувати техніко-економічні й силові характеристики двигунів, знижувати їх масогабаритні параметри.

Разом з тим постійно зростає складність виготовлення двигунів, підвищуються вимоги до якості палива і мастильних матеріалів, ускладнюється технологія виробництва, зростає кількість прецизійних деталей, вузлів, приладів і датчиків, які використовуються в двигунах, що безумовно підвищує як вартість самих двигунів, так і вартість автомобілів в цілому.

Системи розподіленого впорскування для 4-циліндрового двигуна мають 4 електромагнітних форсунок (рис. 5.2). Паливо під тиском  $0,3 \dots 0,5$  МПа, створюваним електричним насосом, подається до паливного акумулятора (рампа форсунок), звідки розпилюється тою чи іншою форсункою, відповідно до порядку роботи циліндрів, в проміжок часу, що відповідає відкриттю впускного клапана відповідного циліндра.

Головною перевагою систем розподіленого впорскування перед іншими є їх відносна простота і менша вартість елементів у порівнянні з системами безпосереднього впорскування.



1 – паливний фільтр; 2 – кільця ущільнювачів; 3 – замикає пристрій; 4 – сідло; 5 – пружина; 6 – електромагніт-соленоїд; 7 – корпус; 8 – електричний роз'єм

Рисунок 5.2 – Конструкція форсунки розподіленого впорскування

*Послідовність розрахунку форсунки системи розподіленого впорскування*

Розрахувати форсунку системи розподіленого впорскування та з каталогу бензинових форсунок [9] для проєктованого двигуна обрати тип паливної форсунки.

Вихідні дані:

$p_c = 2$  МПа – тиск у кінці стиску;

$p_{z_d} = 9,658$  МПа – дійсний тиск у кінці згорання;

$n = 5700$  хв<sup>-1</sup> – частота обертання двигуна;

$\rho_T = 740$  кг/м<sup>3</sup> – щільність бензину;

$\Delta\varphi = 30^\circ$  ПКВ – тривалість подачі палива;

$N_e = 75$  кВт – ефективна потужність двигуна, кВт;

$g_e = 255$  г/(кВт·год) – ефективна питома витрата палива;

$i = 4$  – кількість циліндрів двигуна.

Об'єм палива, який впорскується форсункою за один робочий хід (циклова подача):

$$V_{\text{ц}} = \frac{N_e \cdot g_e \cdot 10^3}{30 \cdot n \cdot i \cdot \rho_T}, \quad (5.1)$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{75 \cdot 254,8 \cdot 10^3}{30 \cdot 5700 \cdot 4 \cdot 0,740} = 37,755 \frac{\text{мм}^3}{\text{цикл}},$$

Для 4-тактного двигуна з номінальною частотою обертання 5700 хв<sup>-1</sup> за 1 хв відбувається  $5700/2 = 2850$  циклів впорскування.

Тоді

$$V_{\text{ц}} = \frac{37,755 \cdot 2850}{1000} = 107,601 \frac{\text{см}^3}{\text{хв}}.$$

При густині бензину  $\rho_T = 740$  кг/м<sup>3</sup> = 0,74 г/см<sup>3</sup> масова циклова подача форсунки складає

$$V_{\text{ц(мас.)}} = \rho_T \cdot V_{\text{ц}} = 0,74 \cdot 107,601 = 79,631 \text{ г/хв}. \quad (5.2)$$

Час витікання палива:

$$\Delta t = \Delta \varphi / (6n) = 30 / (6 \cdot 5700) = 0,000877 \text{ с.} \quad (5.3)$$

Середній тиск газів у циліндрі в період впорскування:

$$p_{\text{ц}} = (p_{\text{с}} + p_{\text{з}_\text{д}}) / 2 = (2 + 9,658) / 2 = 5,829 \text{ МПа.} \quad (5.4)$$

Середня швидкість витікання палива через сопловий отвір:

$$\begin{aligned} w_{\text{ф}} &= \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{т}}} (p_{\text{ц}} - p_{\text{ф}}) \cdot 10^6}, \\ w_{\text{ф}} &= \sqrt{\frac{2}{740} \cdot (5,859 - 0,1) \cdot 10^6} = 123,602 \text{ м/с,} \end{aligned} \quad (5.5)$$

де  $p_{\text{ф}} = 0,1 \text{ МПа}$  – середній тиск розпилювання.

Сумарна площа соплових отворів:

$$\begin{aligned} f_{\text{с}} &= \frac{V_{\text{ц}}}{\mu_{\text{ф}} \cdot w_{\text{ф}} \cdot \Delta t \cdot 10^3}, \\ f_{\text{с}} &= \frac{37,755}{0,7 \cdot 123,602 \cdot 0,000877 \cdot 10^3} = 0,497 \text{ мм}^2, \end{aligned} \quad (5.6)$$

де  $\mu_{\text{ф}} = 0,7$  – коефіцієнт витрати палива.

Діаметр соплового отвору:

$$d_{\text{с}} = \sqrt{4f_{\text{с}} / (\pi m)} = \sqrt{4 \cdot 0,497 / (3,14 \cdot 4)} = 0,398 \text{ мм,} \quad (5.7)$$

де  $m = 4$  – кількість соплових отворів.

За отриманим значенням циклової подачі палива  $V_{\text{ц}} = 107,601 \text{ см}^3/\text{хв}$  з каталогу бензинових форсунок [8] для проєктованого двигуна вибираємо паливні форсунки Bosch 0-280-158-110 (рисунок 5.3) з наступними характеристиками:

– тип EV-14-CL, де С – позначення розпилю (конус), L – типорозмір (довгий 60,65 мм);

- кількість розпилюючих отворів – 4 шт.;
- тиск палива робочий – 3 атм;
- тиск палива максимальний – 8 атм;
- паливоподача (Н-гептан) при робочому тиску – 104,0...116,0 г/хв ( $170 \text{ см}^3/\text{хв}$ );
- опір – 12,0 Ом;
- максимальна напруга бортової мережі – 16 В;
- допустима температура палива (максимальна) –  $70^\circ \text{C}$ ;
- температурний режим роботи – від  $-40^\circ \text{C}$  до  $+110^\circ \text{C}$ .



Рисунок 5.3 – Паливна форсунка Bosch 0-280-158-110

## 5.2 Зміст індивідуальних завдань

*Завдання 1.* Розрахувати форсунку системи розподіленого впорскування та з каталогу бензинових форсунок [8] для бензинового двигуна без турбонаддуву обрати тип паливної форсунки.

Вихідні дані:

$p_c = 1,1 \text{ МПа}$  – тиск у кінці стиску;

$p_{z_d} = 3 \text{ МПа}$  – дійсний тиск у кінці згорання;

$n = 5500 \text{ хв}^{-1}$  – частота обертання двигуна;

$\rho_T = 740 \text{ кг/м}^3$  – щільність бензину;

$\Delta\varphi = 80^\circ \text{ ПКВ}$  – тривалість подачі палива;

$N_e = 91 \text{ кВт}$  – ефективна потужність двигуна, кВт;

$g_e = 240 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$  – ефективна питома витрата палива;

$i = 4$  – кількість циліндрів двигуна.

*Завдання 2.* Розрахувати форсунку системи розподіленого впорскування та з каталогу бензинових форсунок [8] для бензинового двигуна з турбонаддувом обрати тип паливної форсунки.

$p_c = 1,3 \text{ МПа}$  – тиск у кінці стиску;

$p_{z_d} = 8 \text{ МПа}$  – дійсний тиск у кінці згорання;

$n = 6000 \text{ хв}^{-1}$  – частота обертання двигуна;

$\rho_T = 740 \text{ кг/м}^3$  – щільність бензину;

$\Delta\varphi = 100^\circ \text{ ПКВ}$  – тривалість подачі палива;  $N_e = 137 \text{ кВт}$  – ефективна потужність двигуна, кВт;

$N_e = 137 \text{ кВт}$  – ефективна потужність двигуна, кВт;

$g_e = 260 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$  – ефективна питома витрата палива;

$i = 4$  – кількість циліндрів двигуна.

### 5.3 Контрольні запитання

5.3.1 Яке призначення форсунки в системі розподіленого впорскування?

5.3.2 Які параметри враховуються при розрахунку пропускної здатності форсунки?

5.3.3 Як впливає тиск у паливній рампі на продуктивність форсунки?

5.3.4 Як пов'язана продуктивність форсунки з питомою витратою палива та потужністю двигуна?

5.3.5 Яким чином ECU керує відкриттям і закриттям форсунок у системі MPI?

5.3.6 Як змінюється дозування палива в залежності від температури двигуна та сигналів з датчиків (MAF, MAP, TPS, ECT)?

5.3.7 Які наслідки має неправильний підбір форсунки для двигуна?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Артюх О. М., Дударенко О.В., Кузьмін В.В. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 264с. – Режим доступу: [https://document.kdu.edu.ua/info\\_zab/275\\_1460.pdf](https://document.kdu.edu.ua/info_zab/275_1460.pdf)

2. Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2013. 132 с. – Режим доступу:

<https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/172/1/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%20%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D0%B8%20%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83>

3. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. Київ : Арістей, 2006. 476 с.

– Режим доступу: <http://files.khadi.kharkov.ua/laboratoriji/item/1449-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96-%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD%D0%B8.htm>  
l

4. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: в 6 т. Харків : Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004. Т1 : Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. 492 с. – Режим доступу:

<http://mbk.mk.ua/wp-content/uploads/2020/05/1553523240.pdf>

5. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: в 6 т. Харків : Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004. Т3 : Комп'ютерні системи керування ДВЗ. 344 с. –

Режим доступу:

<http://mbk.mk.ua/wp-content/uploads/2020/05/1553523240.pdf>

6. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згоряння : Підручник. Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. 488 с. – Режим доступу: <https://faculty6.khai.edu/library/literature/loadliterature/filename/1552851120.pdf>

7. Дацюк Л.М., Вржещ М.В. Трактори і автомобілі : навч. посіб. Луцьк: Луцький НТУ, 2017. 236 с. – Режим доступу: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A2%D0%90%2020.03.2017.pdf>

8. Білоконь Я.Ю., Вайнтрауб М.А. Уприскувальні системи живлення бензинових двигунів сучасних автомобілів: навч. посіб. Київ : ІІТО НАПН України, 2015. 248с. – Режим доступу: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/165889/1/Upryskuvalni%20supply%20system.pdf>

9. Electronic Fuel Injector (EFI) Flow Data Table [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://users.erols.com/srweiss/tableifc.htm>