

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет “Запорізька політехніка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни
**“Системи паливоподачі і управління двигунів внутрішнього
згорання”**

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 і управління ДВЗ» для студентів освітньо-професійних програм «Двигуни внутрішнього згорання», «Колісні та гусеничні транспортні засоби» усіх форм навчання / Укладачі: Георгій СЛИНЬКО, Наталя РЯБОШАПКА. Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2025. 55 с.

Укладачі: Георгій СЛИНЬКО, д.т.н., професор
Наталя РЯБОШАПКА, ст.викл.

Рецензент: Наталія ЄВСЄЄВА, к.т.н., доцент

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.....	8
2 Розрахунок витрати повітря через дифузор карбюратора.....	27
2.1 Основні відомості	27
2.2 Зміст індивідуальних завдань	29
2.3 Контрольні запитання	32
3 Розрахунок витрати палива через головний жиклер карбюратора.....	32
3.1 Основні відомості	32
3.2 Зміст індивідуальних завдань	35
3.3 Контрольні запитання	35
4 Розрахунок збагачувача (економайзера).....	36
4.1 Основні відомості	36
4.2 Зміст індивідуальних завдань	39
4.3 Контрольні запитання	41
5 Розрахунок розмірів плунжерної пари паливного насоса високого тиску (ПНВТ)	41
5.1 Основні відомості	41
5.2 Зміст індивідуальних завдань	44
5.3 Контрольні запитання	45
6 Розрахунок періоду затримки та упорскування палива в системі паливоподачі дизеля	47
6.1 Основні відомості	47
6.2 Зміст індивідуальних завдань	51
6.3 Контрольні запитання	52
Список літератури	54

ВСТУП

Дисципліна “**Системи паливоподачі і управління ДВЗ**” є важливою складовою професійної підготовки магістрів за освітньо-професійними програмами G11.02 ”Двигуни та енергетичні установки”, G11.05 ”Транспортні засоби”. Її вивчення спрямоване на формування глибоких теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для проектування, експлуатації, обслуговування та модернізації сучасних двигунів внутрішнього згорання, що відповідають сучасним вимогам економічності, екологічності, надійності та динамічних характеристик.

Методичні вказівки призначені для організації самостійної та практичної роботи студентів. Вони містять перелік тем, які необхідно опрацювати, основні теоретичні положення, завдання для самоконтролю, приклади розрахунків, а також контрольні питання. Самостійна робота спрямована на поглиблення розуміння принципів функціонування систем паливоподачі і управління ДВЗ, розвиток логічного мислення, аналітичних здібностей і технічної грамотності.

Особлива увага приділяється вивченню конструкції та принципу дії систем подачі палива для бензинових, дизельних та газових двигунів. Актуальність тематики зумовлена стрімким розвитком технологій управління ДВЗ, впровадженням гібридних силових установок, а також посиленням міжнародних стандартів щодо викидів шкідливих речовин.

Засвоєння матеріалу цієї дисципліни дозволяє майбутнім фахівцям ефективно вирішувати задачі експлуатації, діагностики та удосконалення систем живлення двигунів внутрішнього згорання, що є надзвичайно актуальним в умовах розвитку сучасного автомобіле- та двигунобудування та підвищених вимог до екологічності транспорту.

Вказівки містять опис змісту та послідовності виконання практичних робіт, вимоги до оформлення звітної документації, а також перелік контрольних запитань для перевірки рівня засвоєння матеріалу.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

1.1 Мета викладання та задачі вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни *«Системи паливоподачі і управління ДВЗ»* 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 і управління ДВЗ» є формування у здобувачів вищої освіти знань і компетентностей щодо теорії, принципу дії, влаштуванню та технічним характеристикам систем паливоподачі і управління ДВЗ; 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 повинен знати, розуміти та уміти:

- принцип роботи і технічні характеристики систем паливоподачі бензинових ДВЗ з примусовим запаленням суміші (карбюраторних та інжекторних), систем газових ДВЗ і газодизелів, систем дизельних двигунів;
- виконувати динамічні розрахунки системи паливоподачі ДВЗ;
- напрями та шляхи підвищення їхнього технічного рівня на основі сучасних досягнень світової і вітчизняної науки та техніки.

Результатами навчання мають бути:

- знання і розуміння засад математичних методів моделювання та оптимізування систем паливоподачі ДВЗ;
- знання принципів дії, конструкції і технічних характеристик систем та приладів паливоподачі;

- вміння використовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації систем паливоподачі і управління ДВЗ та технологій їх виготовлення стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам;
- навички обслуговування, ремонту та експлуатації систем паливоподачі ДВЗ;
- вміння враховувати при прийнятті рішень основні фактори техногенного впливу на навколишнє середовище і основні методи захисту довкілля, охорони праці та безпеки життєдіяльності.

1.2 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

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

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.

Самостійна робота студентів повинна бути основою вищої освіти тому, що тільки знання які студент отримав самостійно будуть визначати його в майбутньому, як фахівця.

Метою практичних занять є розрахунки витрати повітря через дифузор карбюратора та витрати палива через головний жиклер карбюратора; розрахунок економайзера; розрахунок розмірів плунжерної пари паливного насоса високого тиску; розрахунок періоду затримки та упорскування палива в системі паливоподачі дизеля.

При виконанні цієї роботи студент має освоїти основні підходи та принципи побудови математичної моделі систем паливоподачі з примусовим запаленням суміші та дизельних ДВЗ; визначити вихідні дані для розрахунків; виконати розрахунки систем; подати у графічному вигляді отримані результати та проаналізувати їх.

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, практична перевірка, 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

Змістовий модуль 1. *Паливні системи карбюраторних та газових двигунів*

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; багатокамерні карбюратори; компоновка карбюратора.

Тема 3. Паливні системи газових двигунів. Типи, принцип дії паливних систем газових двигунів; розрахунок пристроїв для введення газу в циліндри двигуна.

Змістовий модуль 2. *Паливні системи дизельних двигунів*

Тема 4. Загальні уявлення про паливні системи дизельних двигунів та процес паливоподачі. Вплив паливної апаратури на ефективні та економічні показники дизеля; функції паливних систем дизеля та вимоги, що ставляться до них.

Тема 5. Конструкція, принцип дії та розрахунок елементів систем паливоподачі дизельних двигунів. Паливні насоси високого тиску (ПНВТ), типи та принцип роботи; плунжерні пари ПНВТ. Клапани ПНВТ. Типи, принцип роботи. Розрахунок клапанів; конструкція, принцип дії та розрахунок основних параметрів форсунок.

Теми для самостійної роботи:

Тема 1. Система компенсації складу суміші із зменшенням розрідження у жиклері. Система компенсації складу суміші з компенсаційним жиклером.

Запитання для самоперевірки:

1.1 Що таке система компенсації складу паливоповітряної суміші?

1.2 Яка мета застосування систем компенсації у карбюраторних системах?

1.3 Як змінюється розрідження у жиклері при зміні режимів роботи двигуна?

1.4 У чому полягає різниця між статичним і динамічним розрідженням у паливному каналі?

1.5 У чому полягає принцип роботи системи компенсації складу суміші шляхом зменшення розрідження у жиклері?

1.6 Як зміна розрідження впливає на витрату палива у змішувальній камері?

1.7 Які конструктивні елементи забезпечують зниження розрідження в зоні паливного жиклера?

1.8 Як змінюється якість суміші при переході двигуна з мінімального на середній та високий навантажувальні режими у цій системі?

1.9 Що таке компенсаційний жиклер і яка його роль у формуванні складу суміші?

1.10 Як забезпечується стабільність складу суміші при використанні компенсаційного жиклера?

1.11 Як впливає атмосферний тиск у компенсаційній системі на дозування палива?

1.12 Поясніть вплив поплавкової камери та компенсаційної камери на роботу основного дозуючого елемента.

1.13 Які основні переваги й недоліки має система з компенсаційним жиклером порівняно з системою без компенсації?

1.14 Яким чином можна експериментально визначити ефективність компенсаційної системи в карбюраторі?

1.15 Як впливають температурні умови та тиск на роботу компенсаційного жиклера?

1.16 Чому важливо забезпечувати стабільний склад суміші в різних режимах роботи двигуна?

1.17 Які сучасні системи подачі палива замінюють або доповнюють системи компенсації в карбюраторних двигунах?

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

Запитання для самоперевірки:

2.1 Що таке компенсація складу паливоповітряної суміші в карбюраторних системах?

2.2 Яка мета використання систем компенсації у процесі дозування палива?

2.3 Як впливає розрідження в дифузорі на подачу палива?

2.4 Що розуміють під поняттям "адаптивність системи змішування" у карбюраторах?

2.5 У чому полягає суть регулювання розрідження в дифузорі для компенсації складу суміші?

2.6 Як змінюється тиск у дифузорі залежно від частоти обертання колінчастого валу двигуна?

2.7 Які конструктивні елементи впливають на розподіл розрідження у змішувальній камері?

2.8 Яким чином зміна розрідження дозволяє уникати перезбагачення суміші на високих навантаженнях?

2.9 Що таке змінний переріз жиклера і як він реалізується конструктивно?

2.10 Як змінний переріз жиклера впливає на кількість палива, що подається у дифузор?

2.11 Які механізми або пристрої можуть регулювати переріз жиклера під час роботи двигуна?

2.12 У чому відмінність роботи постійного та змінного перерізу жиклера при переході з холостого ходу на навантаження?

2.13 Які переваги має система зі змінним перерізом жиклера порівняно з класичним нерегульованим жиклером?

2.14 У яких режимах роботи двигуна найбільше проявляється ефективність такої компенсації?

2.15 Які є недоліки або конструктивні складнощі при реалізації змінного перерізу жиклера?

2.16 Як забезпечується надійність та стабільність роботи такої системи при зміні температур і навантажень?

2.17 Які є альтернативні методи компенсації складу суміші в сучасних системах подачі палива?

2.18 Як можна експериментально дослідити ефективність зміни перерізу жиклера?

2.19 Чи можливе поєднання обох типів компенсації — через зміну розрідження та змінний переріз — в одній системі? Обґрунтуйте.

2.20 Яким чином електронне керування може покращити точність компенсації складу суміші?

Тема 3. Конструкція та принцип дії допоміжних пристроїв карбюратора.

Запитання для самоперевірки:

3.1 Що таке допоміжні пристрої карбюратора і яке їхнє призначення?

3.2 Чому стандартної головної дозуючої системи недостатньо для ефективної роботи карбюратора в усіх режимах двигуна?

3.3 Яка конструкція та принцип дії системи холостого ходу?

3.4 Як змінюється склад суміші у режимі холостого ходу?

3.5 Як відбувається перехід від холостого ходу до малих навантажень?

3.6 Для чого служить економайзер потужності в карбюраторі? Які типи економайзерів застосовуються у карбюраторах?

3.7 Поясніть принцип дії механічного та пневматичного економайзерів.

3.8 Яке призначення прискорювального насоса?

3.9 Як працює прискорювальний насос при різкому відкритті дросельної заслінки? Які конструктивні типи прискорювальних насосів вам відомі?

3.10 Які пристрої забезпечують пуск двигуна в холодному стані?

3.11 Як працює ручна і автоматична система пуску холодного двигуна (повітряна заслінка)?

3.12 У чому полягає різниця між системою автоматичного підсмоктування і ручного?

3.13 Яке значення має вентиляція поплавкової камери?

3.14 Як працює система відведення парів бензину?

3.15 Чи можуть допоміжні системи впливати на токсичність відпрацьованих газів?

3.16 Що таке емульсійна трубка і яке її призначення?

3.17 Як реалізується компенсація складу суміші за допомогою допоміжних каналів?

3.18 Яким чином у конструкції карбюратора забезпечується стабільність дозування при різних режимах роботи?

Тема 4. Процес паливоподачі та супроводжуючі його фізичні явища в дизелях.

Запитання для самоперевірки:

4.1 У чому полягає суть процесу паливоподачі в дизельному двигуні?

4.2 Які етапи охоплює процес паливоподачі в дизелі?

4.3 Які системи паливоподачі використовуються у сучасних дизелях? Опишіть конструкцію та принцип дії систем.

4.4 Які фізичні процеси супроводжують подачу палива в камеру згорання дизеля?

4.5 Що таке кавітація та як вона впливає на елементи паливної системи?

4.6 Як впливають тиск, температура і в'язкість на умови подачі палива?

4.7 Яке значення має стискуваність палива при впорскуванні?

4.8 Як формується паливний факел при упорскуванні в дизелі?

4.9 Від чого залежить структура та геометрія паливного факела?

4.10 Які типи розпилю палива застосовуються в дизельних системах?

4.11 Які параметри характеризують процес упорскування палива?

4.12 Які фізичні умови забезпечують якісне розпилювання палива в дизелі? Як впливають швидкість струменя, тиск упорскування та форсунка на якість розпилю?

4.13 Як відбувається змішування палива з повітрям у дизелі?

4.14 Які фактори впливають на інтенсивність утворення паливоповітряної суміші?

4.15 У чому полягає різниця між процесами змішування у дизельному та бензиновому двигунах?

4.16 Що таке хвиля тиску у паливопроводі і як вона впливає на процес впорскування?

4.17 Як впливає гідроудар на роботу системи впорскування?

4.18 Які заходи використовуються для зменшення впливу гідравлічних коливань у системі?

4.19 Як змінюються параметри паливоподачі залежно від в'язкості, щільності та температури палива?

4.20 Чим відрізняється поведінка різних видів дизельного палива під час упорскування?

4.21 Як впливає якість дизпалива на надійність та ефективність паливної системи?

Тема 5. Тертя та зношування прецизійних сполучень ПНВТ, витікання палива.

Запитання для самоперевірки:

5.1 Які елементи паливного насоса високого тиску (ПНВТ) належать до прецизійних сполучень?

5.2 Які особливості конструкції прецизійних пар (плунжерна пара, розподільник, голка форсунки)? Чому ці елементи потребують високої точності виготовлення та мінімальних зазорів?

5.3 Які види тертя реалізуються в прецизійних парах ПНВТ?

5.4 Як впливає мікрогеометрія поверхонь на характер тертя?

5.5 Яким чином в'язкість палива впливає на гідродинамічне або змішане тертя у плунжерній парі? Що таке граничне змащування і коли воно виникає у ПНВТ?

5.6 Які основні механізми зношування характерні для прецизійних сполучень? Як впливають тверді домішки у паливі на зношування плунжера і втулки?

5.7 Які експлуатаційні фактори прискорюють зношування? Які зони прецизійних сполучень є найбільш вразливими до витікання палива?

5.8 Як впливає зношення на герметичність плунжерної пари? Які наслідки має витік палива в зазорах: для роботи ПНВТ, тиску впорскування, екологічних параметрів?

5.9 Які конструктивні заходи спрямовані на зменшення тертя у ПНВТ?

5.10 Яке значення має точність обробки та якість поверхні у забезпеченні довговічності плунжерних пар?

5.11 Як впровадження сучасних покриттів (типу DLC, нітридування) впливає на термін служби прецизійних сполучень?

5.12 Які ознаки вказують на зниження герметичності або зношення плунжерної пари?

5.13 Якими методами проводиться діагностика стану прецизійних пар ПНВТ?

5.14 Як змінюється робота двигуна при порушенні герметичності ПНВТ?

5.15 Які вимоги до дизельного палива допомагають зменшити тертя і знос у ПНВТ?

Тема 6. Профілювання кулачків.

Запитання для самоперевірки:

6.1 Що таке профілювання кулачка і яке його основне призначення? Які основні елементи профілю кулачка?

6.2 Як впливає форма профілю кулачка на кінематику газорозподільного механізму?

6.3 Які типи кулачкових механізмів використовуються в ДВЗ?

6.4 У чому відмінність між кулачками з жорстким і гнучким приводом?

6.5 Які кулачкові передачі використовуються для керування клапанами?

6.6 Які параметри визначають роботу кулачкового механізму? Яким чином профіль кулачка впливає на динаміку відкривання і закривання клапанів?

6.7 Як обирається закон руху (гармонічний, поліноміальний, циклоїдальний) при профілюванні кулачка?

6.8 Які математичні методи використовуються для побудови профілю кулачка?

6.9 Що таке інверсний метод профілювання і як він застосовується?

6.10 Як впливає вибраний закон руху на навантаження та знос механізму?

6.11 Які основні вимоги до точності виготовлення профілю кулачка? Які технології виготовлення профільованих поверхонь кулачків застосовуються на практиці?

6.12 Як здійснюється контроль якості профілю кулачка?

6.13 Яким чином профілювання кулачків дозволяє оптимізувати роботу ГРМ на різних режимах?

6.14 Що таке фазове регулювання кулачків і як воно впливає на роботу двигуна?

6.15 Як зміна профілю впливає на шумність і довговічність приводу клапанів?

6.16 Які сучасні програмні засоби застосовуються для моделювання і оптимізації профілю кулачка?

6.17 Як використання змінного підйому клапанів (Variable Valve Lift) пов'язане з профілюванням кулачків?

Тема 7. Конструкція та принцип дії розподільчих насосів.

Запитання для самоперевірки:

7.1 Що таке розподільчий паливний насос і яке його призначення в дизельному двигуні? Які основні переваги та недоліки розподільчих ПНВТ порівняно з рядними?

7.2 Які типи розподільчих насосів існують за принципом приводу і регулювання?

7.3 Чим відрізняються розподільчі насоси з механічним і електронним управлінням?

7.4 Які типи приводів використовуються у розподільчих насосах?

7.5 Які основні конструктивні елементи входять до складу розподільчого ПНВТ?

7.6 Яке призначення мають плунжерна пара, розподільчий вал, регулятор обертів, зворотні клапани?

7.7 Як реалізується підвід, стиснення, розподіл і подача палива у розподільчому ПНВТ?

7.8 Який принцип роботи розподільчого насоса високого тиску?

7.9 Як забезпечується дозування палива в залежності від режиму роботи двигуна?

7.10 Яким чином відбувається розподіл палива до окремих форсунок?

7.11 Як здійснюється регулювання циклової подачі палива в розподільчому насосі?

7.12 Як працює регулятор обертів, вбудований у розподільчий насос?

7.13 Як реалізується обмеження максимальної подачі палива?

7.14 Які елементи забезпечують зміщення моменту впорскування?

7.15 Які основні причини несправностей розподільчих насосів?

7.16 Як впливають зношування прецизійних пар на роботу насоса?

7.17 Які методи діагностики застосовуються для оцінки стану ПНВТ?

7.18 Які особливості мають розподільчі насоси при запуску двигуна в холодну погоду?

7.19 Які відмінності мають сучасні електронно-керовані розподільчі насоси (типу VE з ЕБУ)?

Тема 8. Матеріали та технології виробництва форсунок.

Запитання для самоперевірки:

8.1 Яке призначення форсунки в системі паливоподачі дизельного двигуна?

8.2 Які основні вимоги висуваються до форсунок сучасних дизелів?

8.3 Як класифікують форсунки за конструкцією та принципом дії?

8.4 Які основні матеріали застосовуються для виготовлення корпусу форсунки?

8.5 Які властивості повинен мати матеріал для голки форсунки?

8.6 Чому для прецизійних сполучень у форсунках використовують леговані сталі?

8.7 Яке значення мають жаростійкість, твердість і корозійна стійкість при виборі матеріалів?

8.8 Які методи зміцнення поверхонь застосовуються до голки та корпусу форсунки?

8.9 Що таке нітридування, і яке його призначення у виробництві форсунок?

8.10 Як впливають DLC-покриття (Diamond-Like Carbon) на термін служби прецизійних елементів?

8.11 Які основні технологічні операції включає процес виготовлення форсунки?

8.12 Як досягається висока точність обробки отворів розпилювача?

8.13 Які методи використовують для контролю герметичності та якості розпилювання?

8.14 Як здійснюється термічна обробка елементів форсунки?

8.15 Які відмінності у виробництві форсунок систем Common Rail порівняно зі звичайними механічними?

8.16 Як впровадження лазерної обробки покращує якість отворів розпилювача?

8.17 Які технології мікрообробки використовують для виготовлення точних розпилювальних отворів?

8.18 Як впливають точність виготовлення і матеріали на стійкість до кавітації та зношування?

8.19 Яке значення має змащувальна здатність палива при виборі матеріалів і покриттів?

8.20 Як якість матеріалів і технологій впливає на паливну економічність та екологічність двигуна?

Тема 9. Паливні системи спеціальних схем та конструкцій.

Запитання для самоперевірки:

9.1 Що розуміють під паливними системами спеціальних схем і конструкцій?

9.2 Які фактори обумовлюють необхідність розробки нестандартних паливних систем?

9.3 У чому полягають основні відмінності спеціалізованих паливних систем від типових серійних?

9.4 Які конструктивні особливості мають паливні системи двигунів з перемінними режимами роботи?

9.5 Як забезпечується точне дозування палива при змінних навантаженнях та швидкостях обертання?

9.6 Які інноваційні рішення впроваджуються у багатоконтурних системах подачі палива?

9.7 Яке призначення та принцип роботи систем із подвійною подачею палива (газ/дизель, бензин/спирт тощо)?

9.8 Як забезпечується узгоджена подача та контроль двох видів пального?

9.9 Які системи керування використовуються для адаптації паливної суміші в залежності від умов роботи двигуна?

9.10 У чому полягають особливості конструкції систем упорскування палива з тиском понад 2000 бар?

9.11 Які технічні рішення дозволяють досягти стабільної роботи при надвисоких тисках? Як впливає застосування таких систем на економічність, токсичність і надійність двигуна?

9.12 Як забезпечується робота паливної системи при низьких температурах або високих тисках?

9.13 Які системи резервного живлення передбачені для паливоподачі в екстремальних умовах?

9.14 Які типи альтернативних палив вимагають спеціалізованих систем подачі (водень, біодизель, метанол)? Як адаптуються паливні системи під фізико-хімічні властивості таких палив?

9.15 Які матеріали та конструктивні рішення використовуються для підвищення хімічної стійкості елементів?

9.16 Які системи керування застосовуються для оптимізації роботи спеціальних паливних систем?

9.17 Як реалізується електронна діагностика складних або багатоконтурних паливних систем?

9.18 Які алгоритми передбачені для автоматичного коригування параметрів подачі палива в особливих умовах?

9.19 Які сучасні тенденції розвитку паливних систем спеціальних конструкцій?

9.20 Як застосування цифрових технологій (штучний інтелект) впливає на розвиток таких систем?

Тема 10. Принципи побудови математичної моделі системи паливоподачі дизеля.

Запитання для самоперевірки:

10.1 Що таке математична модель і яку роль вона відіграє в дослідженні систем паливоподачі дизеля?

10.2 Які основні етапи побудови математичної моделі системи паливоподачі?

10.3 З яких основних елементів складається система паливоподачі дизеля?

10.4 Як класифікуються елементи системи паливоподачі за їх функціональним призначенням?

10.5 Які основні фізичні процеси необхідно враховувати при моделюванні паливоподачі дизельного двигуна?

10.6 Які гідравлічні закони використовуються для опису руху палива в системі?

10.7 Як описується процес всмоктування та нагнітання палива в паливному насосі високого тиску (ПНВТ)?

10.8 Які рівняння описують роботу форсунки та процес упорскування палива в камеру згоряння?

10.9 Як враховується стиснення та в'язкість палива у моделі?

10.10 Які припущення приймаються для спрощення математичної моделі системи паливоподачі?

10.11 Що таке лінеаризація моделі та коли вона застосовується?

10.12 Як у моделі враховуються динамічні властивості системи (інерційність, запізнювання, коливання тиску)?

10.13 Які методи використовуються для моделювання нестационарних режимів роботи системи?

10.14 Що таке ідентифікація математичної моделі і як вона виконується?

10.15 Якими методами перевіряють адекватність математичної моделі?

10.16 Як використовується математична модель системи паливоподачі для оптимізації параметрів дизеля?

10.17 Яке значення має модель для діагностики несправностей паливної системи?

Тема 11. Методи розрахунку процесу паливоподачі.

Запитання для самоперевірки:

11.1 Які існують методи розрахунку процесу паливоподачі? Які переваги та недоліки має кожен із методів розрахунку паливоподачі?

11.2 Який метод доцільно застосовувати при розрахунку нестационарного режиму паливоподачі?

11.3 Які параметри впливають на точність розрахунку паливоподачі?

11.4 Які існують методи визначення подачі палива паливним насосом високого тиску (ПНВТ)?

11.5 Що таке індикаторна діаграма паливного насоса, і як вона використовується у розрахунках?

11.6 Як визначити об'єм камери над плунжером у ПНВТ?

11.7 У чому полягає відмінність статичного та динамічного розрахунків паливоподачі?

11.8 Які вихідні дані необхідні для побудови розрахункової моделі паливної системи дизеля?

11.9 Як розраховується тривалість упорскування палива у дизельному двигуні?

11.10 Які основні методи використовуються для розрахунку діаметра форсунки та кількості отворів у ній?

11.11 Що таке коефіцієнт наповнення, і як він враховується при розрахунку паливоподачі?

11.12 Який вплив має тиск у камері згоряння на розрахунок паливоподачі?

11.13 Яким чином розраховується кут випередження впорскування палива?

11.14 Що враховується при виборі перерізу паливопроводу високого тиску?

11.15 Як враховуються втрати тиску при транспортуванні палива у трубопроводах?

11.16 Які методи розрахунку забезпечують відповідність кількості впорскуваного палива умовам навантаження?

11.17 Як здійснюється моделювання процесу паливоподачі за допомогою комп'ютерних програм (наприклад, AVL BOOST, GT-Power)?

11.18 У чому полягає різниця між теоретичною та реальною подачею палива? Які методи верифікації (перевірки) результатів розрахунку паливоподачі використовуються в практиці?

Тема12. Математична модель типової системи паливоподачі дизеля.

Запитання для самоперевірки:

12.1 У чому полягає мета математичного моделювання процесу паливоподачі в дизельному двигуні?

12.2 Які основні завдання вирішуються при розрахунку системи паливоподачі?

12.3 Які параметри включаються до математичної моделі типової паливної системи дизеля?

12.4 Як враховується робота паливного насоса високого тиску в моделі?

12.5 Як описується процес нагнітання палива до форсунки?

12.6 Які основні рівняння застосовуються в моделі паливоподачі?

12.7 Як формується рівняння тиску в паливній магістралі?

12.8 Як математично моделюється робота плунжерної пари ПНВТ?

12.9 Як описується динаміка відкривання та закривання форсунки в моделі?

12.10 Як враховується об'ємна деформація палива та пружність паливних трубопроводів?

12.11 Як у математичній моделі враховується інерційність та запізнення процесів паливоподачі?

12.12 Що таке хвильові процеси в системі паливоподачі і як вони впливають на розрахунок?

12.13 Як використовуються математичні моделі для оптимізації процесу упорскування палива?

12.14 Як впливає точність моделі на достовірність розрахунку витрати палива і тиску упорскування?

12.15 Як за допомогою моделі можна прогнозувати зношування елементів системи паливоподачі?

12.16 Як здійснюється експериментальна перевірка достовірності моделі?

12.17 Які методи ідентифікації параметрів застосовуються при налаштуванні математичної моделі?

Тема 13. Розрахунок основних параметрів та вихідних даних системи паливоподачі дизеля (визначення основних розмірів плунжерної пари ПНВТ; розрахунок основних параметрів форсунки; визначення закону переміщення плунжера ПНВТ).

Запитання для самоперевірки:

13.1 Яка мета розрахунку системи паливоподачі дизеля? Які вхідні дані необхідні для виконання розрахунку системи паливоподачі?

13.2 Які основні розміри плунжерної пари визначаються під час розрахунку?

13.3 Як розраховується діаметр та хід плунжера?

13.4 Як визначається об'єм паливної камери високого тиску?

13.5 Які чинники впливають на вибір діаметра плунжера ПНВТ?

13.6 Як ураховується стисливість палива при розрахунках плунжерної пари?

13.7 Який фізичний зміст має закон переміщення плунжера?

13.8 Які математичні функції можуть описувати переміщення плунжера залежно від кута повороту кулачка?

13.9 Як впливає форма профілю кулачка на характер переміщення плунжера?

13.10 Як визначити момент початку впорскування палива за законом переміщення плунжера?

13.11 Які основні параметри враховуються при розрахунку форсунки?

13.12 Як визначається площа прохідного перерізу отворів форсунки?

13.13 Яким чином визначається витрата палива через отвори форсунки?

13.14 Як враховується гідравлічний опір каналів форсунки при розрахунках?

13.15 Як розраховується тривалість упорскування палива через форсунку?

13.16 Як узгоджуються параметри плунжерної пари та форсунки в єдиній системі паливоподачі?

13.17 Як впливає закінчення переміщення плунжера на тиск у системі та якість розпилу палива?

13.18 Як визначається об'єм палива, що подається за один цикл?

13.19 Як перевіряється правильність розрахунку основних параметрів?

13.20 Як результати розрахунків впливають на технічні характеристики дизеля (потужність, економічність, екологічність)?

Тема 14. Особливості паливної апаратури для роботи на легких, важких і сірчистих паливах.

Запитання для самоперевірки:

14.1 Як класифікуються дизельні палива за густиною, в'язкістю та сірчистістю? У чому полягає вплив фізико-хімічних властивостей палива на роботу паливної апаратури?

14.2 Які типи палив вважаються легкими, важкими та сірчистими? Наведіть приклади.

14.3 Які переваги та недоліки має використання легких палив у дизельних двигунах?

14.4 Як впливає менша в'язкість легких палив на герметичність плунжерної пари? Які конструктивні заходи застосовуються для забезпечення надійної роботи ПНВТ на легких паливах?

14.5 Які виклики виникають при роботі паливної апаратури на важких (густих) паливах? Як змінюється в'язкість і текучість важких палив при зниженні температури?

14.6 Які технічні рішення застосовуються для попереднього підігріву палива та покращення його фільтрації?

14.7 Як змінюється навантаження на ПНВТ при подачі важких палив?

14.8 Який негативний вплив має сірка у паливі на елементи паливної апаратури?

14.9 Які корозійні процеси виникають у системі при використанні сірчистих палив?

14.10 Які матеріали та покриття використовуються для захисту плунжерних пар і форсунок від дії сірки?

14.11 Як змінюється інтервал обслуговування паливної апаратури при використанні сірчистих палив?

14.12 Як змінюється конструкція фільтрів та ущільнень залежно від типу палива?

14.13 Які особливості мають системи очищення та сепарації палива при роботі на важких і сірчистих паливах?

14.14 Як вибір типу палива впливає на режим впорскування (тиск, тривалість, форма імпульсу)?

14.15 Як тип палива впливає на знос деталей паливної апаратури (плунжерні пари, голки форсунок)? Які заходи подовжують ресурс паливної апаратури при роботі на альтернативних (важких або сірчистих) паливах?

14.16 Як обирається тип мастильного або захисного складу для підтримання ресурсу паливної системи?

Тема 15. Системи займання газоповітряної суміші в газових двигунах.

Запитання для самоперевірки:

15.1 Яке призначення системи займання в газовому двигуні? Чим принципово відрізняється займання в газових двигунах від займання в бензинових і дизельних двигунах?

15.2 Які види газового палива застосовуються у ДВЗ? Які переваги та недоліки мають газові двигуни?

15.3 . Які типи паливних систем використовуються в газових двигунах? У чому полягає різниця між карбюраторними, інжекторними та змішаними паливними системами?

15.4 Які системи подачі газу застосовуються для стисненого природного газу (CNG) і скрапленого нафтового газу (LPG)?

15.5 Які основні типи газових двигунів за способом займання паливної суміші?

15.6 На які типи класифікуються системи займання газоповітряної суміші за способом створення іскри?

15.7 У чому особливості роботи магнето, контактнотранзисторної, індуктивної та безконтактної систем займання в газових двигунах?

15.8 Які переваги має електронна система займання у порівнянні з класичною?

15.9 Які основні елементи входять до складу сучасної системи займання газового двигуна? Як працює котушка запалювання і як вона взаємодіє з комутатором?

15.10 Як здійснюється дозування газу у традиційних (механічних) системах? Яка роль електронних блоків управління у сучасних газових паливних системах?

15.11 Яка роль датчиків положення колінчастого валу та фаз у роботі системи займання?

15.12 Як формується іскра і які фактори впливають на її енергію? Чому газоповітряна суміш потребує потужнішої або тривалішої іскри для займання порівняно з бензиною?

15.13 Як впливають тиск, температура і склад суміші на процес займання в газовому двигуні?

15.14 Які основні типи пристроїв використовуються для подачі газу в циліндри? Який принцип роботи газових форсунок і мікшерових пристроїв?

15.15 Як впливає розташування газового дозатора на ефективність згоряння?

15.16 Які проблеми можуть виникати при роботі на бідній або збідненій суміші?

15.17 Як здійснюється регулювання кута випередження запалювання в сучасних газових двигунах?

15.18 Які вихідні дані необхідні для розрахунку газових форсунок?

15.19 Як розраховується діаметр жиклера або переріз каналу подачі газу?

15.20 5.3. Як враховується температура та тиск газу при проєктуванні системи?

15.21 Як впровадження детонаційних датчиків впливає на ефективність системи займання?

15.22 Які основні ознаки несправності системи займання газового двигуна? Як перевірити працездатність свічок запалювання, котушки, комутатора в газовому двигуні?

15.23 Які методи діагностики застосовуються для оцінки якості іскри та моменту займання?

15.24 У чому різниця між безпосереднім і розподіленим упорскуванням газу? Які конструктивні особливості притаманні кожному типу упорскування?

15.25 Які переваги безпосереднього упорскування газу?

15.26 Як здійснюється діагностика і обслуговування газових паливних систем?

15.27 Які заходи безпеки необхідно дотримуватись при експлуатації газових двигунів?

15.28 Які основні несправності можуть виникати у системах подачі газу?

Тема 16. Особливості паливних систем двигунів, що працюють на водні.

Запитання для самоперевірки:

16.1 Які переваги та недоліки має водень як паливо для двигунів внутрішнього згоряння? У чому полягає принципова відмінність паливної системи водневого двигуна від традиційної бензинової або дизельної?

16.2 Які існують типи водневих двигунів: двигуни з іскровим займанням (H_2 -ICE) і паливні елементи? Які фізико-хімічні властивості водню найбільш критичні для проєктування паливної системи?

16.3 Як тиск, температура займання, мінімальна енергія запалення та коефіцієнт дифузії водню впливають на безпеку паливної системи?

16.4 Чому зберігання та подача водню вимагає спеціальних умов? Які способи зберігання водню використовуються?

16.5 Як здійснюється подача водню з балонів до двигуна? Які особливості має система регулювання тиску водню перед подачею в циліндри?

16.6 Які типи систем упорскування водню застосовуються?

16.7 У чому полягає перевага прямого впорскування водню в циліндр в порівнянні з упорскуванням у впускний колектор?

16.8 Як впливає дозування водню на процес утворення суміші та детонаційну стійкість? Які особливості горіння водню порівняно з іншими видами палива?

16.9 Які системи займання використовуються у водневих ДВЗ? Як зменшити ризик передчасного займання або зворотного удару (бекфайрінгу) у впускному тракті?

16.10 Які вимоги до матеріалів елементів паливної системи при роботі з воднем?

16.11 Що таке воднєве охрупчування і як воно впливає на довговічність системи?

16.12 Які заходи вживаються для підвищення безпеки системи при високому тиску?

16.13 Які датчики і системи контролю використовуються в паливній системі водневого двигуна?

16.14 Як забезпечується герметичність та контроль витоків водню?

16.15 Які заходи захисту застосовуються у разі аварійного розгерметизування паливної системи?

16.16 Які екологічні переваги має воднева паливна система порівняно з традиційною? Які виклики постають при адаптації існуючих двигунів до роботи на водні?

16.17 Які умови експлуатації найбільш сприятливі для роботи двигунів на водні?

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 багатоциліндрових 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.

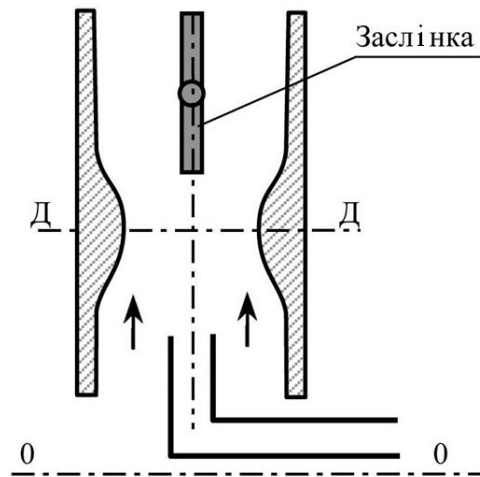


Рисунок 2.1 – Схема повітряного каналу

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:

$$\frac{P_{0 \text{ абс}}}{\rho_{\text{пов}} g} = \frac{P_{d \text{ абс}}}{\rho_{\text{пов}} g} + \frac{V_d^2}{2g} + \xi \frac{V_d^2}{2g}; \quad (2.2)$$

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

Перетворюючи рівняння (2.2), отримуємо:

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

Звідси швидкість повітря у дифузорі:

$$V_d = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{пов}}} \Delta P_d} \quad (2.3)$$

та масові витрати через дифузор:

$$G_{\text{пов}} = \mu_{\text{пов}} f_{\text{пов}} \sqrt{2\rho_{\text{пов}} \Delta P_{\text{д}}}. \quad (2.4)$$

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

Зазначимо, що за $P_{0 \text{ абс}} = P_{\text{атм}}$ $\Delta P_{\text{д}} = P_{\text{вак}}$ – 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 $\Delta P_{\text{д}}$ у межах від 0.001 до 0.014 МПа. Побудувати графік залежності $G_{\text{пов}} = f(\Delta P_{\text{д}})$.

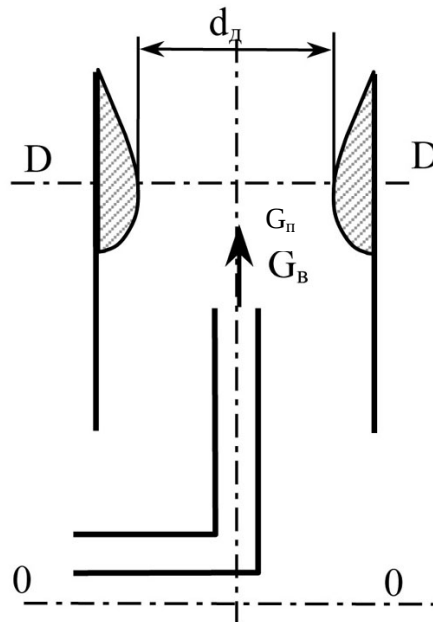
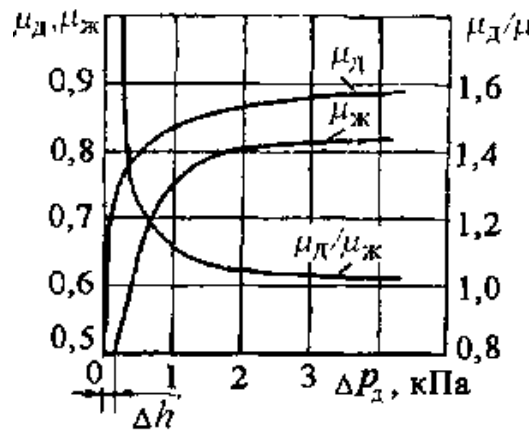
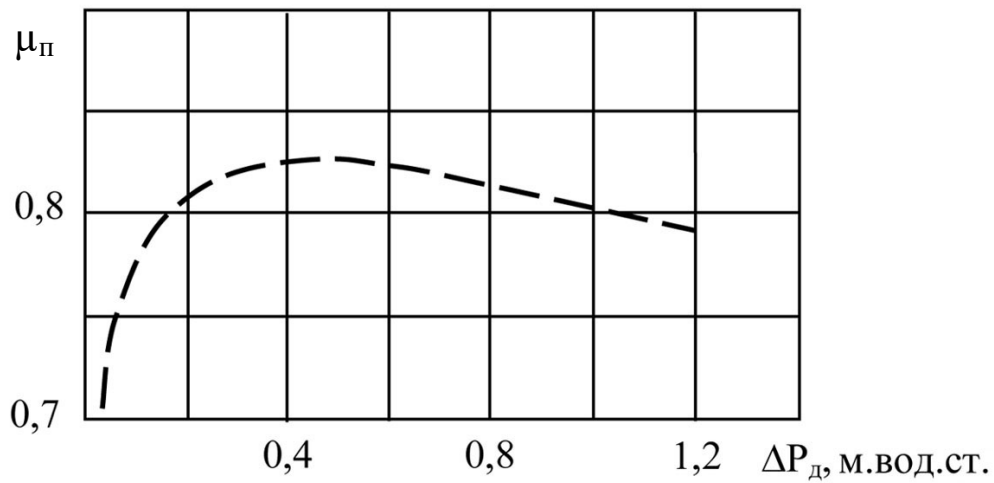


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема дифузора карбюратора

Вихідні дані.

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

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

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

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання № 1

Варіант	Температура повітря, t °С	Діаметр дифузора, d_d , мм	варіант	Температура повітря, t °С	Діаметр дифузора, d_d , 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
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 ΔP_d , кгс/см ²	Діаметр дифузора, d_d , мм	варіант	Перепад тиску ΔP_d , кгс/см ²	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 шістьома 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?

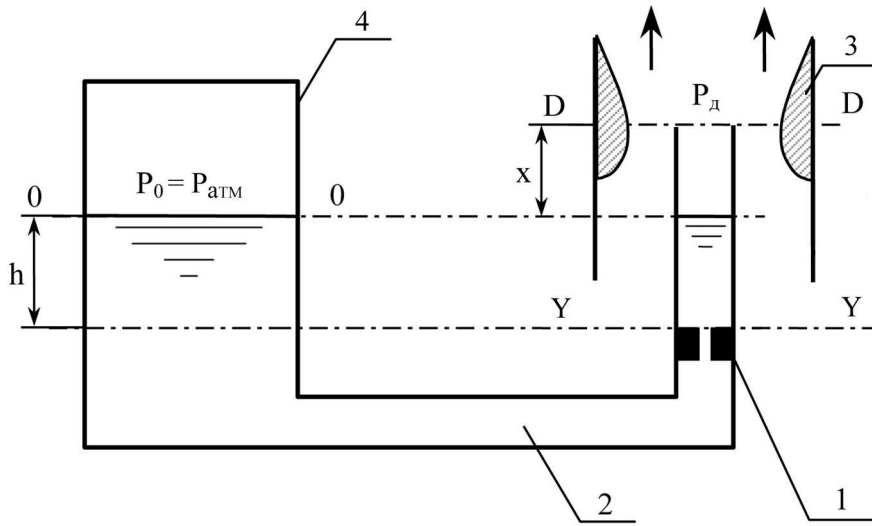
3 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ПАЛИВА ЧЕРЕЗ ГОЛОВНИЙ ЖИКЛЕР КАРБЮРАТОРА

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; α – 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

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

Значення $\mu_{\text{ж}}$ визначається експериментально і залежить від ряду факторів: перерізу жиклера, співвідношення його геометричних розмірів, форми кромки 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 $d_{\text{ж}}$.

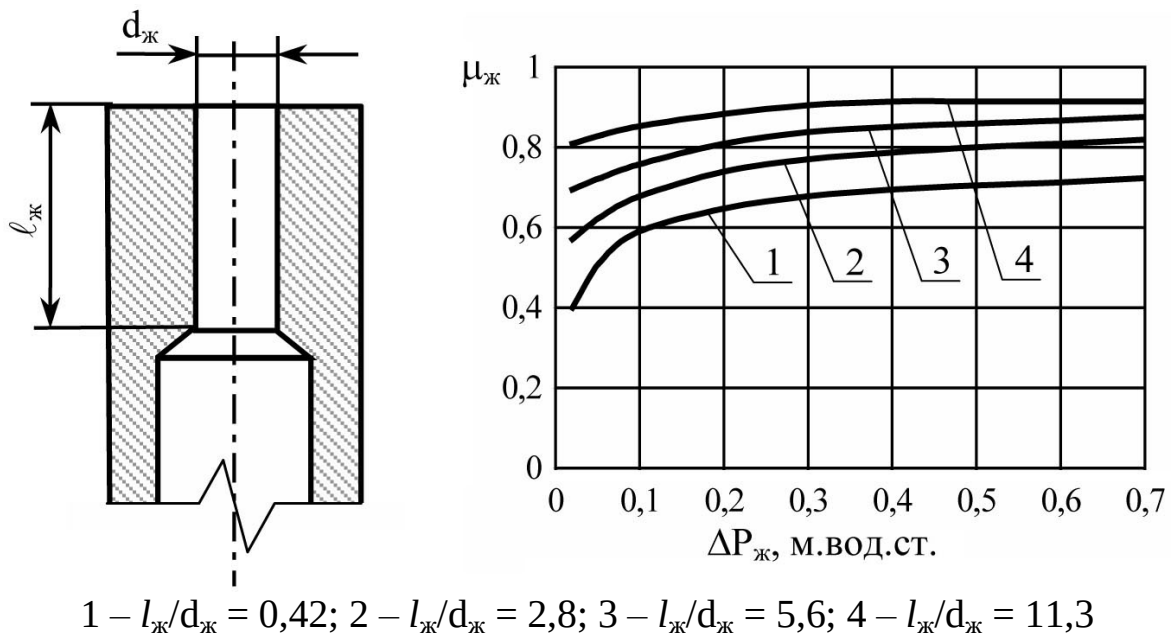


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема жиклера та залежність $\mu_{\text{ж}}(\Delta P_{\text{ж}})$

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 ³
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
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.

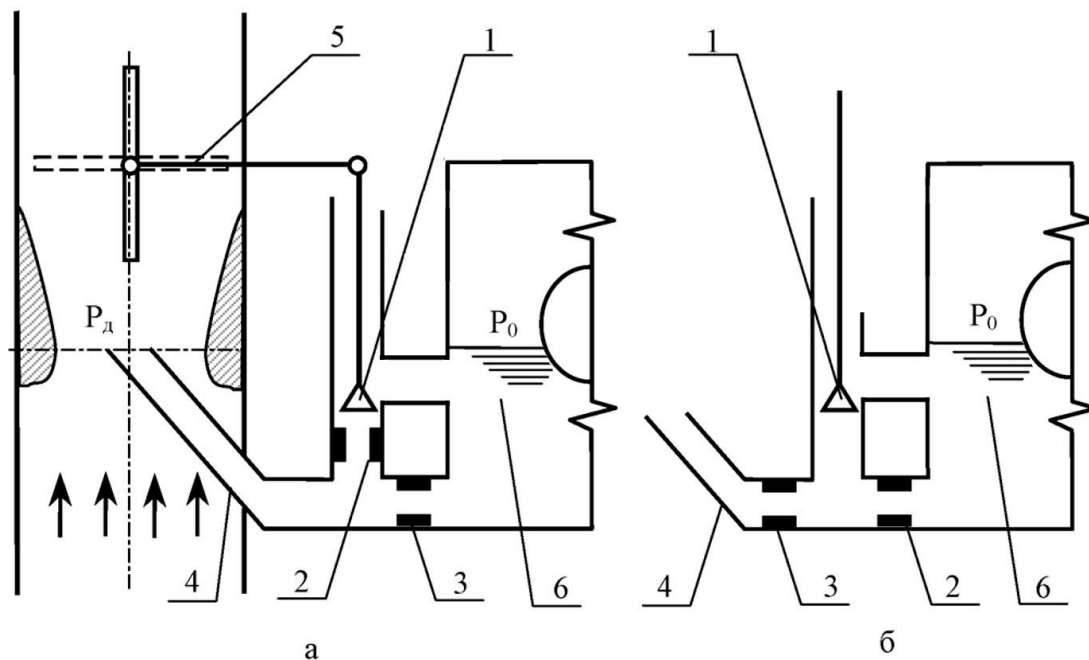
Для усунення зазначених недоліків сучасний карбюратор має у своєму складі спеціальні допоміжні пристрої. До них відносяться збагачувальні пристрої (економайзери, еконостати, насоси-прискорювачі), пристрої для забезпечення економічної роботи ДВЗ з прийнятним рівнем токсичних компонентів у відпрацьованих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

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

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

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

Витрата палива через жиклер збагачувача

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

Сумарна подача, що підводиться до розпилювача

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

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

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

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

Витрата палива через жиклер збагачувача

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

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

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

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

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

Розділивши вираз (4.4) на (4.1), отримуємо

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

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

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

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	$\Delta P_{д}$, МПа	Діаметр головного жиклера $d_{гл.ж}$, мм	Збільшення подачі палива при включенні жиклера та 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

Продовження табл.4.1

1	2	3	4
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
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 головного жиклера $d_{гл.ж}$, мм	Зменшення подачі палива при включенні жиклера та 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

продовження табл.4.2

1	2	3	4
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
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 РОЗМІРІВ ПЛУНЖЕРНОЇ ПАРИ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ (ПНВТ)

5.1 Основні відомості

ПНВТ призначені для подачі палива до форсунок дизельного двигуна.

За способом дозування циклової подачі насоси високого тиску класифікують на насоси: зі змінним ходом плунжера; з

дроселюванням на перепуску; з дроселюванням на всмоктуванні; з клапанним регулюванням; із золотниковим регулюванням.

Вихідним параметром розрахунку плунжерної пари ПНВТ є циклова подача палива. Об'єм робочої порожнини втулки плунжера більший за об'єм $W_{ц\max}$, що відповідає максимально можливій подачі в об'ємних одиницях, тому що в процесі стиснення палива в насосі мають місце об'ємні втрати внаслідок витоків із робочої порожнини та деформації палива. Ці об'ємні втрати враховуються коефіцієнтом подачі насоса ε_n , фізичний зміст якого визначається виразом

$$\varepsilon_n = \frac{Q_n}{Q_{т.н}} = \frac{W_{ц\max}}{W_{п.т}}; \quad (5.1)$$

де $Q_n = Q_{т.н} - Q_{ут} - Q_{сж}$ – дійсна об'ємна подача насоса; $Q_{т.н}$ – теоретична об'ємна подача насоса; $Q_{ут}$ – об'ємні витрати з робочої порожнини насоса; $Q_{сж}$ – об'ємна витрата, що компенсує деформацію палива в робочій порожнині насоса внаслідок його стисливості; $W_{п.т}$ – теоретичний об'єм робочої порожнини насоса.

Слід зазначити, що паливо стискається також у нагнітальному трубопроводі, що у свою чергу під впливом високого тиску розширюється, тобто збільшує свій внутрішній об'єм. Враховуючи це, запишемо вираз для визначення об'єму W_n робочої порожнини ПНВТ, що відповідає повному ходу плунжера

$$W_n = \frac{W_{ц\max}}{\varepsilon_n} + \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3; \quad (5.2)$$

де ΔW_1 – об'єм, що компенсує стисливість палива в нагнітальному трубопроводі; ΔW_2 – об'єм, що компенсує деформацію нагнітального трубопроводу; ΔW_3 – об'єм, що відповідає ходу перепуску.

Об'єм

$$\Delta W_1 = \frac{W_0(P_{\max} - P_{\text{ост}})}{E_T}; \quad (5.3)$$

де $W_0 = \frac{\pi d_{тр}^2}{4} \cdot \ell_{тр}$ – початковий об'єм трубопроводу; $d_{тр}$ та $\ell_{тр}$ – відповідно внутрішній діаметр та довжина трубопроводу; $P_{\max}$ та $P_{\text{ост}}$ – відповідно максимальний тиск та залишковий тиск у трубопроводі; E_n – модуль пружності дизельного палива.

Об'єм

$$\Delta W_2 = \frac{\pi}{4} \left[(d_{тр} + \Delta d_{тр})^2 - d_{тр}^2 \right] \ell_{тр}; \quad (5.4)$$

де збільшення внутрішнього діаметра трубопроводу

$$\Delta d_{тр} = (P_{\max} - P_{\text{ост}}) \cdot \left(\frac{d_{тр}^2 + d_{тр}^2}{d_{тр}^2 - d_{тр}^2} + \mu_n \right) \cdot \frac{d_{тр}}{E_{тр}}. \quad (5.5)$$

Тут $D_{\text{тр}}$ – зовнішній діаметр трубопроводу; $\mu_{\text{п}}$ – коефіцієнт Пуассона; $E_{\text{тр}}$ – модуль пружності матеріалу стінки трубопроводу.

Об'єм ΔW_3 приблизно визначається виразом

$$\Delta W_3 = \phi_h W_{\text{ц max}}, \quad (5.6)$$

де коефіцієнт перепуску $\phi_h \approx 0,3 \dots 0,5$.

Повний хід плунжера насоса

$$h_{\text{п}} = \frac{4W_{\text{п}}}{\pi d_{\text{п}}^2}, \quad (5.7)$$

де $d_{\text{п}}$ – діаметр плунжера насоса. Значення $d_{\text{п}}$ приймається з габаритних та інших умов.

Коефіцієнт подачі насоса $\varepsilon_{\text{н}}$, що залежить від ряду факторів, змінюється в широких межах навіть для однієї і тієї ж системи в залежності від швидкості і навантажувального режимів її роботи і від регульовальних параметрів. Орієнтовні значення даного коефіцієнта наведено у таблиці 5.1.

Об'єм $W_{\text{ц max}}$

$$W_{\text{ц max}} = \frac{g_{\text{ц}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (5.8)$$

де $g_{\text{ц}} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot \tau}{60 n \cdot i}$ – цикова подача.

Тут g_e – питома ефективна витрата палива [г/(кВт·година)]; N_e – ефективна потужність двигуна (кВт); τ – коефіцієнт тактності ($\tau = 1$ – для двотактних двигунів; $\tau = 2$ – чотиритактних двигунів); n – частота обертання коленвала двигуна; i – число циліндрів.

При проектуванні дуже часто використовують спрощений вираз визначення $W_{\text{п}}$

$$W_{\text{п}} = \phi_{\text{п}} \frac{W_{\text{ц max}}}{\varepsilon_{\text{н}}}, \quad (5.9)$$

де значення коефіцієнта $\phi_{\text{п}}$ наведено у табл. 5.1.

Позначаючи відношення повного ходу плунжера до його діаметра через

$$m = \frac{h_{\text{п}}}{d_{\text{п}}},$$

можна визначити $d_{\text{п}}$ і $h_{\text{п}}$ за виразом

$$d_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{4W_{\text{ц max}} \cdot \phi_{\text{п}}}{\pi \cdot m \cdot k_{\text{н}} \cdot \varepsilon_{\text{н}}}}, \quad (5.10)$$

де $k_{\text{н}}$ – кількість насосів на один циліндр; значення m наведені у табл. 5.1.

Якщо виходити не з повного ходу плунжера, а з його активного ходу $h_{\text{а}}$, і позначаючи $m_1 = \frac{h_{\text{а}}}{d_{\text{п}}}$,

тоді

$$d_{\pi} = \sqrt[3]{\frac{4W_{\pi \max} \cdot \phi_{\pi}}{\pi \cdot m_1 \cdot k_H \cdot \varepsilon_H}}; \quad (5.11)$$

Значення m_1 наведено у табл. 5.1.

При визначенні діаметра плунжера d_{π} його активного ходу h_a повний його хід обчислюють за співвідношенням

$$h_{\pi} = m_2 h_a, \quad (5.12)$$

де m_2 – коефіцієнт, що характеризує частину ходу плунжера на перепуск палива після відсічення. Його значення встановлюють на основі аналізу насосів, що добре зарекомендували себе.

Для ПНВТ з клапанним розподілом $m_2 = 1,35 \dots 2,15$, а з золотниковим – $m_2 = 2,3 \dots 6,15$.

Остаточні розраховані значення d_{π} і h_{π} округлюють до найближчого розміру згідно з ДЕСТ.

За вибраним діаметром плунжера визначають зовнішній діаметр втулки D і довжину притертої поверхні плунжера

$$D = (1,8 - 3,1) d_{\pi} \quad (5.13)$$

$$l_{\pi} = (4,5 - 6,5) d_{\pi} \quad (5.14)$$

Правильність вибору діаметра втулки D перевіряють на жорсткість за формулою Ламе, порівнюючи Δd_{π} із Δ_{π}

$$\Delta d_{\pi} = \frac{P_{\max} d_{\pi}}{E_B} \left(\frac{D^2 + d_{\pi}^2}{D^2 - d_{\pi}^2} + \mu_{\pi} \right) < \Delta_{\pi}, \quad (5.15)$$

де Δ_{π} – діаметральний зазор між плунжером та втулкою.

Діаметр круглого наповнювального вікна втулки

$$d_0 = d_{\pi} \sqrt{\frac{V_{cp}}{V_k \cdot i_0}}, \quad (5.16)$$

де i_0 – кількість вікон; V_k – середня швидкість палива у вікні, зазвичай $V_k = (0,5 - 2) \text{ м/с}$; V_{cp} – середня швидкість плунжера дільниці геометричної подачі.

$$V_{cp} = \frac{h_{\pi} \cdot n}{30 \cdot \tau} \left[\frac{\text{мм}}{\text{с}} \right],$$

де $n = \left[\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right]$.

5.2 Зміст індивідуальних завдань

Розрахувати параметри плунжерної пари:

- діаметр плунжера d_{π} ;
- повний хід плунжера h_{π} ;

- зовнішній діаметр втулки D ;
- довжину притертої поверхні плунжера $l_{\text{п}}$;
- діаметр впускного вікна втулки $d_{\text{н}}$.

Визначення параметрів виконати трьома варіантами методики розрахунку:

- використовуючи вирази (5.2) – (5.7);
- використовуючи вирази (5.9), (5.10);
- використовуючи вирази (5.11), (5.12).

Вихідні дані:

- модуль пружності матеріалу втулки $E_{\text{в}} = 20 \cdot 10^6$ МПа;
- модуль пружності матеріалу стінки трубопроводу $E_{\text{тр}} = 20 \cdot 10^6$ МПа;
- коефіцієнт Пуассона матеріалу стінки трубопроводу $\mu_{\text{п}} = 0,28$;
- щільність палива $\rho_{\text{п}} = 920$ кг/м³ – const;
- модуль пружності палива $E_{\text{п}} = 1600$ МПа;
- коефіцієнт перепуску $\phi_{\text{н}} = 0,3 \dots 0,5$;
- число насосів на один циліндр $k = 1$;
- залишковий тиск у трубопроводі $P_{\text{ост}} = 0,2$ МПа;
- діаметральний зазор між плунжером та втулкою $\Delta_{\text{п}} = 0,008$ мм.

Таблиця 5.1 – Значення вихідних коефіцієнтів

Насоси	$\phi_{\text{п}}$	$\epsilon_{\text{н}}$	m	m_1
Клапанні	1,4 ... 2,0	0,85...0,95	0,4 ... 1,2	0,30 ... 0,60
Золотникові	2,0 ... 2,5	0,66 ... 0,95	0,7 ... 1,8	0,15...0,80
Насос-форсунки	2,0 ... 2,5	0,8 ... 1,0	1,2 ... 1,8	0,40 ... 0,75

Значення коефіцієнта $m_2 = h_{\text{п}}/h_{\text{а}}$, що враховує частину ходу плунжера на перепуск палива після відсічення:

- для насосів з клапанним розподілом $m_2 = 1,35 \dots 2,15$;
- для золотникових насосів $m_2 = 2,3 \dots 6,15$.

5.3 Контрольні запитання

5.3.1 Що називається коефіцієнтом подачі насосу?

5.3.2 Класифікація ПНВТ щодо способу дозування циклової подачі.

5.3.3 Як впливають на параметри плунжерної пари такі конструктивні елементи як: внутрішній діаметр і довжина трубопроводу; товщина стінки; максимальний тиск у трубопроводі; матеріал трубопроводу?

Таблиця 5.2 – Варіанти завдань

Варіанти	Тип насоса (за способом дозування циклової подачі)	Питома ефективна витрата палива, g_e , г/(кВт·година)	Ефективна потужність, N_e , кВт	Частота обертання колінвалу, n , об/хв	Кількість циліндрів, i	Коефіцієнт тактності двигуна τ	Довжина трубопроводу між насосом та форсункою $L_{тр}$, м	Внутрішній діаметр трубопроводу $d_{тр}$, мм	Зовнішній діаметр трубопроводу $D_{тр}$, мм	Максимальний тиск у трубопроводі P_{max} , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Клапанний	236	62	4200	3	4	0,5	4	6	60
2	—	284	81	4300	4	4	1	4	6	60
3	—	222	88	4250	5	4	0,8	5	8	80
4	—	242	169	2600	6	4	0,8	5	8	80
5	—	290	224	2100	6	4	1	4	6	60
6	—	273	234	2200	6	4	1	4	6	60
7	—	238	235	2000	6	4	0,8	5	8	80
8	—	300	346	1900	8	4	0,8	5	8	80
9	—	292	40	1850	4	4	0,6	4	6	50
10	—	286	77	2200	4	4	0,6	4	6	50
11	Золотниковий	280	115	2100	4	4	1	4	6	60
12	—	284	130	2100	4	4	1	4	6	60
13	—	241	136	2800	8	4	0,8	5	8	80
14	—	242	155	2600	8	4	0,8	5	8	80
15	—	245	175	2100	8	4	1	4	6	60
16	—	285	180	2100	6	4	1	4	6	60
17	—	236	62	4200	3	4	0,5	4	6	60
18	—	284	81	4300	4	4	0,8	5	8	80
19	—	222	88	4250	5	4	0,8	5	8	80
20	—	286	77	2200	4	4	0,6	4	6	50

5.3.4 Яким чином впливає на параметри плунжерної пари кількість нерозчиненого газу в паливі?

6 РОЗРАХУНОК ПЕРІОДУ ЗАТРИМКИ ТА УПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА В СИСТЕМІ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЯ

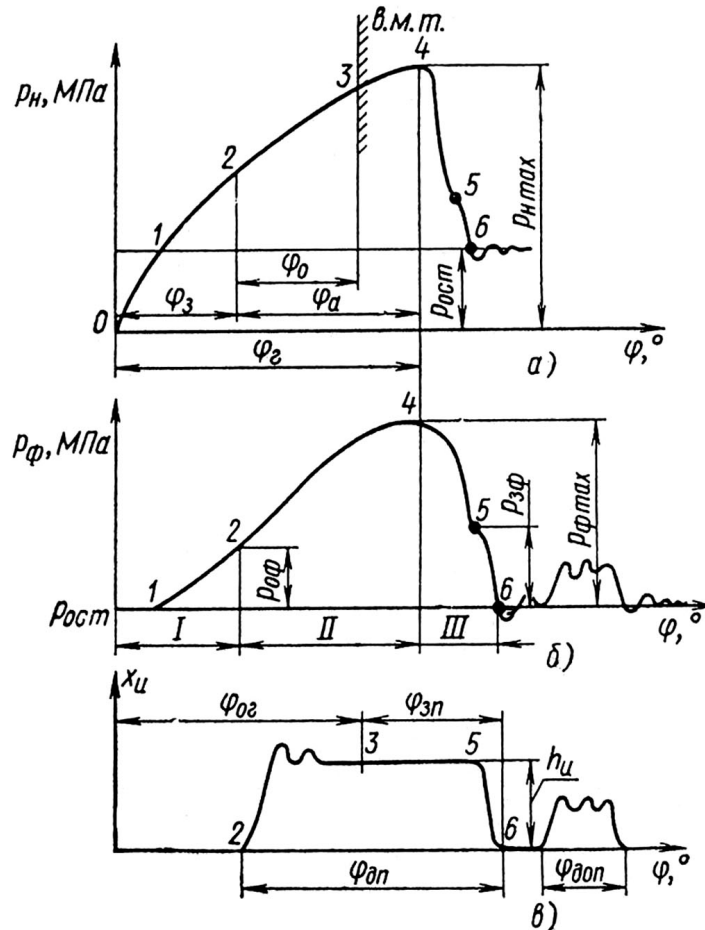
6.1 Основні відомості

Перебіг процесу подачі палива в дизельних двигунах залежить від багатьох конструктивних, експлуатаційних факторів та фізичних властивостей палива. Загалом паливна система дизеля містить три основні елементи: паливний насос високого тиску (ПНВТ), трубопровід та форсунку. Кожен із цих елементів надає певний вплив на формування закону подачі палива. Досконалість конструкцій цих елементів оцінюють у порівнянні найбільш характерних параметрів подачі палива. До цих параметрів відносять кут випередження подачі палива; тривалість подання; характеристики упорскування (закон подачі); тиск подачі; циклову подачу.

Процеси, що відбуваються в системі паливоподачі дизеля, характеризуються зміною тиску після ПНВТ P_n і перед форсункою P_f , відкриттям форсунки у функції від кута повороту кулачкового валу ПНВТ φ – рис. 6.1. Дана діаграма дозволяє встановити характер перебігу процесу подачі палива та визначити всі основні параметри подачі: випередження та тривалість подачі палива у насоса та форсунки, поточні та максимальні тиски в характерних точках, тривалість відкриття форсунки, додаткового упорскування та перепуску.

Тривалість процесу від початку геометричної подачі (точка «0») до початку руху голки форсунки (точка «2») називається періодом затримки та упорскування палива, вираженим у кутах повороту φ_3 . Цей період становить I фазу процесу подачі паливної системи дизеля. Його тривалість залежить від таких основних факторів як: довжина та внутрішній діаметр трубопроводу; об'єм робочої порожнини (кишені) форсунки; робочий об'єм ПНВТ; кількість нерозчиненого повітря у паливі; фізичні властивості палива; величини переміщуваних мас (паливо, голки, пружина) тощо.

Точне визначення тривалості I фази процесу подачі можливе лише експериментальним шляхом на реальному двигуні. Розрахунок з достатньою точністю можливий із залученням математичного моделювання процесів, що протікають у системі та застосуванням комп'ютерних розрахунків. На початковому етапі проєктування



P_n і P_ϕ – тиску відповідно на вході з ПНВТ та у форсунки; X_i – переміщення голки форсунки; $P_{ост}$ – залишковий тиск у системі; $P_{оф}$ – тиск відкриття голки форсунки; $P_{зф}$ – тиск закриття голки форсунки; $\varphi_з$ – період затримки та упорскування палива; φ_o і $\varphi_{ог}$ – дійсний та геометричний кути випередження подачі палива; φ_a – період активного упорскування; φ_r – геометрична тривалість подачі; $\varphi_{дп}$ – дійсна тривалість подачі; $\varphi_{доп}$ – період довприскування; I – III – фази процесу подачі

Рисунок 6.1 – Зміни тиску палива в системі живлення дизеля від кута повороту кулачкового валика за один цикл роботи

системи паливоподачі можливе застосування спрощених розрахунків щодо визначення приблизного значення І фази процесу, приймаючи ряд припущень. До цих припущень належать:

- нехтування тертям та інерційністю палива в трубопроводі;
- нехтування масою голки форсунки;
- нехтування витоками у форсунці;
- щільність палива стала, $\rho_{\text{п}} = \text{const}$.

І фаза подачі складається з часу проходження хвилі тиску (збурення) трубопроводом і часу наростання тиску в кишені форсунки до значення $P_{\text{оф}}$.

Час поширення хвилі тиску трубопроводом

$$t_{\text{в}} = \frac{l_{\text{т}}}{c_{\text{рід}}}, \quad (6.1)$$

де $l_{\text{т}}$ – довжина трубопроводу; $c_{\text{рід}}$ – швидкість звуку (хвилі тиску) у рідині, яка визначається виразом

$$c_{\text{рід}} = \sqrt{\frac{E_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}. \quad (6.2)$$

Тут $E_{\text{п}}$ – модуль пружності палива, $\rho_{\text{п}}$ – щільність палива.

Під впливом тиску трубопровід деформується (розширюється), що впливає на жорсткість системи, «паливо – трубопровід». У цьому випадку визначають наведену (еквівалентну) жорсткість

$$E_{\text{п пр}} = \frac{E_{\text{п}}}{1 + \frac{d_{\text{т}} E_{\text{п}}}{E_{\text{м}} \delta}}, \quad (6.3)$$

де $d_{\text{т}}$ – внутрішній діаметр трубопроводу; δ – товщина стінки трубопроводу; $E_{\text{м}}$ – модуль пружності матеріалу трубопроводу.

Якщо відмінність у значеннях модулів пружності $E_{\text{п}}$ і $E_{\text{п пр}}$ не перевищує 3 ... 5%, то зазвичай у практиці нехтують податливістю трубопроводу, вважаючи його абсолютно жорстким, і в (6.2) використовують модуль пружності палива $E_{\text{п}}$.

На швидкість звуку впливає також тиск та кількість газу, що міститься в паливі в нерозчиненому стані. Модуль пружності палива з урахуванням цих факторів визначається виразом

$$E_{\text{п пр}}(P_i) = E_{\text{п}} \frac{1 + \frac{1}{\gamma^*}}{\frac{1}{\gamma^*} + \frac{P_{\text{атм}} E_{\text{п}}}{P_{i \text{ абс}}^2}}; \quad (6.4)$$

де $\gamma^* = W_{\text{г}}/W_{\text{п}}$ – відносний вміст газу, що знаходиться в паливі в нерозчиненому стані; $W_{\text{г}}$ і $W_{\text{п}}$ – відповідно об'єми газу та палива; $P_{i \text{ абс}}$ – абсолютний тиск; $P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск.

Тиск у трубопроводі під час робочого циклу змінюється від мінімального значення $P_{\text{ост}}$ до максимального P_{max} . У дизелях різних типів $P_{\text{max}} = 30 \dots 200$ МПа. При підвищенні тиску нерозчинений газ перетворюється на розчинений і перестає впливати на модуль пружності палива. Тому за $P \geq 50$ МПа нерозчиненим газом у паливі можна знехтувати, тобто прийняти $\gamma^* = 0$.

Для розрахунку $E_{\text{пр}}$ (6.4) і $C_{\text{рід}}$ (6.2) зазвичай приймають середнє значення робочого тиску.

Для визначення часу наростання Δt тиску в камері форсунки до значення $P_{\text{оф}}$ (5.3) маємо

$$Q_{\text{п}} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{W_{\text{к}} \cdot (P_{\text{оф}} - P_{\text{ост}})}{\Delta t \cdot E_{\text{пр}}(P_i)}, \quad (6.5)$$

де $W_{\text{к}}$ – початковий геометричний об'єм кишені форсунки; ΔW – об'єм палива, що надходить у робочу порожнину за час Δt для компенсації стисливості палива.

Тиск $P_{\text{оф}}$ без урахування тертя між голкою та корпусом форсунки

$$P_{\text{оф}} = \frac{G_{\text{пр}} + f_i P_{\text{с}}}{f_{\text{еф}}}, \quad (6.6)$$

де $G_{\text{пр}}$ – сила попереднього підібгання пружини форсунки; f_i – ефективна площа голки з боку пружини; $f_{\text{еф}}$ – ефективна площа голки з боку робочої порожнини форсунки; $P_{\text{с}}$ – тиск у пружинній порожнині (тиск у зливному трубопроводі).

Об'ємну витрату палива $Q_{\text{п}}$ приблизно можна отримати з наступних співвідношень:

$$Q_{\text{п}} = \frac{g_{\text{ц}}}{\rho_{\text{п}} \Delta t_{\text{п}}}, \quad (6.7)$$

де $g_{\text{ц}}$ – циклова подача [г/цикл]; $\Delta t_{\text{п}}$ – час подачі, що відповідає геометричному куту подачі $\phi_{\text{г}}$ (рис. 6.1)

$$\Delta t_{\text{п}} = \frac{\tau \cdot \phi_{\text{г}}}{360 \cdot n} = \frac{\phi_{\text{гк}}}{360 \cdot n}. \quad (6.8)$$

Тут n – частота обертання коленвала ДВЗ [об / хв]; τ – коефіцієнт тактності ($\tau = 1$ – для двотактних двигунів; $\tau = 2$ – для чотиритактних двигунів); $\phi_{\text{г}}$ та $\phi_{\text{гк}}$ – геометрична тривалість подачі відповідно по куту повороту кулачкового валу ПНВТ та колінвала двигуна.

Таким чином, (6.5)

$$\Delta t = \frac{W_{\text{к}}(P_{\text{оф}} - P_{\text{ост}})}{Q_{\text{п}} E_{\text{пр}}(P_i)}, \quad (6.9)$$

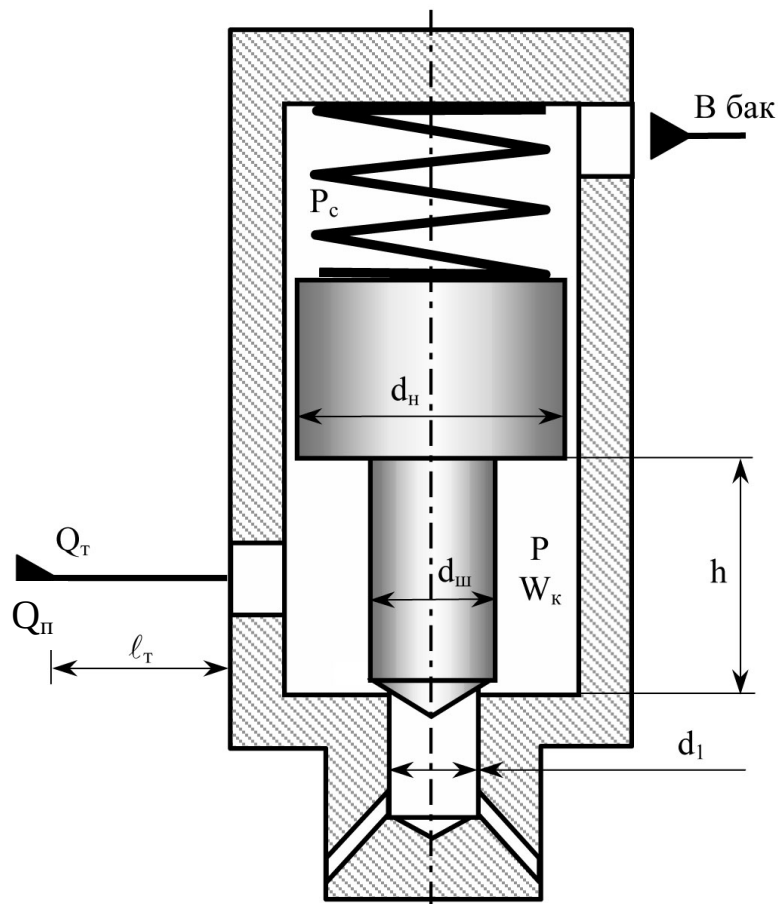
а з урахуванням (6.1) отримуємо тривалість I фази подачі палива

$$t_i = t_b + \Delta t. \quad (6.10)$$

6.2 Зміст індивідуальних завдань

Визначити тривалість I фази подачі палива, приймаючи $\rho_{\text{п}} = 1000 \text{ кг/м}^3 - \text{const}$; $P_c = P_{\text{ост}} = 0,2 \text{ МПа}$; $E_{\text{м}} = 20 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ (Сталь).

Розрахункова схема наведена на рис. 6.2, вихідні дані у таблиці 6.1.



P – тиск у камері форсунки; W_k – об'єм камери форсунки; P_c – тиск у пружинній порожнині (у зливному трубопроводі)

Рисунок 6.2 – Розрахункова схема форсунки з нагнітальним трубопроводом

Таблиця 6.1 – Варіанти завдань

варіант	$d_{ц}, \text{мм}$	$d_{м}, \text{мм}$	$d_{1}, \text{мм}$	$\ell_{г}, \text{мм}$	$d_{г}, \text{мм}$	$\delta, \text{мм}$	$G_{пр}, \text{Н}$	$h, \text{мм}$	γ^*	$g_{ц}, \text{г/цикл}$	$n, \text{об/хв}$	$\varphi_{гк}, \text{град.}$
1	8	7	5	1	6	1	400	30	0,05	0,0387	4200	45
2	8	7	5	1	6	0,8	400	30	0,03	0,0341	4300	50
3	8	7	5	1	6	0,8	600	30	0,08	0,0306	4250	60
4	7	6	4	0,8	6	1	400	25	0,02	0,0874	2600	70
5	7	6	4	0,8	6	0,8	300	25	0,05	0,1718	2100	45
6	7	6	4	0,8	4	1	500	25	0,08	0,1613	2200	50
7	7	6	4	0,8	4	0,8	400	30	0,05	0,1553	2000	55
8	7	6	4	0,5	4	0,8	500	30	0,08	0,2277	1900	20
9	8	6	5	0,5	4	1	600	35	0,03	0,0526	1850	30
10	8	6	5	1	4	1	500	30	0,02	0,0834	2200	40
11	8	6	5	1	4	0,8	400	30	0,08	0,1277	2100	45
12	8	7	6	1	4	0,8	500	35	0,05	0,1465	2100	65
13	8	7	6	0,5	6	1	600	32	0,03	0,0488	2800	20
14	8	7	6	0,5	6	1	400	32	0,02	0,0601	2600	35
15	7	6	4	0,5	6	0,8	300	20	0,05	0,0850	2100	30
16	7	6	4	0,8	4	0,8	400	32	0,08	0,1357	2100	40
17	7	6	4	0,8	4	0,8	300	25	0,10	0,0387	4200	45
18	7	6	4	0,8	4	1	500	30	0,05	0,0341	4300	50
19	8	7	5	1	4	1	400	35	0,10	0,0306	4250	70
20	8	7	5	1	6	0,8	500	30	0,03	0,0834	2200	60

6.3 Контрольні запитання

6.3.1 Які показники належать до параметрів подачі палива?

6.3.2 Що називається періодом затримки та упорскування палива?

6.3.3 Що називається дійсним та геометричним кутами випередження подачі палива?

6.3.4 Що таке дійсна тривалість подачі палива?

- 6.3.5 Як впливають параметри нагнітального трубопроводу (довжина та внутрішній діаметр) на період затримки та упорскування палива?
- 6.3.6 Як впливає об'єм робочої порожнини форсунки на період затримки та упорскування палива?
- 6.3.7 Який вплив на період затримки та впорскування палива має кількість нерозчиненого газу в паливі?
- 6.3.8 Який вплив на процес подачі палива має величина попереднього підтискання пружини форсунки?
- 6.3.9 Який вплив на період затримки та впорскування палива має товщина стінки трубопроводу?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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>

2. 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.html>

3. 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>

4. 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>

5. 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>

6. 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

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 : ПТО НАПН України, 2015. 248с. — Режим доступу:

<https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/165889/1/Upryskuvalni%20supply%20system.pdf>