

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**О. С. МИТРОФАНОВ, А. Ю. ПРОСКУРІН,
А. С. ПОЗНАНСЬКИЙ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до випробування двигунів 2Ч 7,2/6 та 6ЧН 12/14
за навантажувальною характеристикою**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ ♦ НУК ♦ 2015

УДК 621.431(076)
ББК 31.365я73
М 66

Автори:

О. С. Митрофанов, канд. техн. наук, доц. каф. ДВЗ;
А. Ю. Проскурін, асист. каф. ДВЗ;
А. С. Познанський, асист. каф. теоретичної механіки

Рецензенти:

С. І. Сербін, д-р техн. наук, проф., директор Машинобудівного інституту НУК;
В. М. Шандиба, канд. техн. наук, доц. каф. ДВЗ

Митрофанов О. С.

М 66 Методичні вказівки до випробування двигунів 2Ч 7,2/6 та 6ЧН 12/14 за навантажувальною характеристикою / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін, А. С. Познанський. – Миколаїв : НУК, 2015. – 45 с.

Наведено схеми та опис експериментальних стендів і двигунів. Викладено порядок виконання лабораторних робіт й обробки результатів.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання при вивченні курсів "Теорія ДВЗ", "Теорія робочих процесів ДВЗ", "Суднові двигуни внутрішнього згоряння".

УДК 621.431(076)
ББК 31.365я73

Навчальне видання

**МИТРОФАНОВ Олександр Сергійович
ПРОСКУРІН Аркадій Юрійович
ПОЗНАНСЬКИЙ Андрій Станіславович**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до випробування двигунів 2Ч 7,2/6 та 6ЧН 12/14
за навантажувальною характеристикою**

Комп'ютерне верстання *В. Г. Мазанко*

Коректор *М. О. Паненко*

© Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю.,
Познанський А. С., 2015

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2015

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,6. Об'єм даних 1795 кб.
Тираж 15 прим. Вид. № 44. Зам. № 14.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

ЗМІСТ

1. Загальні вказівки до проведення лабораторних робіт	4
1.1. Техніка безпеки	4
1.2. Порядок підготовки до робіт	6
1.3. Звітність із лабораторних робіт	6
1.4. Загальні вказівки до виконання графіків	7
2. Випробування двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6) з іскровим запаленням за навантажувальною характеристикою	9
2.1. Опис двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6)	9
2.2. Підготовка до пуску двигуна	16
2.3. Пуск та зупинка двигуна	16
2.4. Опис експериментальної установки	18
3. Випробування дизельного двигуна 6ЧН 12/14 за навантажувальною характеристикою	21
3.1. Опис двигуна 6ЧН 12/14	21
3.2. Пуск. Обслуговування та зупинка двигуна	27
4. Зняття навантажувальної характеристики	30
5. Визначення основних параметрів робочого циклу двигунів та побудова залежностей	32
6. Визначення похибки основних параметрів	35
6.1. Похибка визначення розходу за допомогою звужуючого пристрою на всмоктуванні	35
6.2. Похибка визначення температури відпрацьованих газів	37
6.3. Похибка визначення витрати палива	37
6.4. Похибка визначення обертів двигуна	37
6.5. Похибка визначення тиску газів у циліндрі	38
Список рекомендованої літератури	40
Додатки	42

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для проведення лабораторних робіт у лабораторії кафедри ДВЗ установлені наступні стенди: "Стенд на базі двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6) з іскровим запаленням", "Стенд на базі дизельного двигуна 6ЧН 12/14".

Мета лабораторних досліджень на вказаних стендах наступна:

- практичне ознайомлення з конструкцією і роботою дизельних двигунів та двигунів з іскровим запаленням;
- отримання практичних навиків у знятті навантажувальних характеристик, індикаторних діаграм та дослідженні особливостей робочого процесу двигунів при роботі на різних видах палива (дизельному пальному, бензині, пропан-бутані);
- зіставлення теоретичних знань студентів з результатами власних експериментальних досліджень.

Проведення випробувань на стендах в основному полягає у визначенні основних параметрів та побудов отриманих залежностей, кожна з яких описана у відповідних розділах методичних вказівок.

1.1. Техніка безпеки

Двигуни, призначені для проведення на них лабораторних робіт, є натурними об'єктами.

Всмоктуючі патрубки двигунів можуть затягувати легкі предмети (частини одягу, дрантя і под.), що може стати причиною аварії. Канали цих патрубків при нормальній експлуатації перекриті запобіжними ґратами, проте незалежно від цього слід гарантовано виключити можливість попадання в них будь-яких предметів при роботі з двигунами.

Частини двигуна, що обертаються, мають значну енергію, здатну при руйнуванні призводити до суттєвих пошкоджень тих об'єктів, в які вони потраплять.

Ці ж частини можуть "захопити" частини одягу випробувачів, якщо одяг містить елементи, що не відповідають правилам роботи з рухомими механізмами (не можна носити вільні шарфи, краватки, незастебнуті пояси, вільні шнури тощо). У нормально працюючих машинах частини, які обертаються, ретельно відбалансовані і захищені кожухами, що виключає можливість виникнення небезпеки при роботі з ними. Робота без захисних кожухів або при виникненні сильних вібрацій не допускається.

Газ (пропан-бутан) у балонах досить небезпечний та при неправильному поводженні може призвести до вибуху.

Грубе порушення умов експлуатації поршневого двигуна призводить до серйозних наслідків. Так, робота дизельного двигуна без охолодження може призвести до перегріву та руйнування двигуна. Відсутність масла протягом декількох секунд виводить з ладу двигуни. Тому до лабораторних робіт допускаються особи, що пройшли відповідну теоретичну підготовку, інструктаж з техніки безпеки при роботі в лабораторії, а також вивчили конструкцію, принцип дії і правила обслуговування лабораторних установок.

У разі виявлення будь-яких несправностей експериментальної установки необхідно або не приступати до виконання роботи, або зупинити двигун і повідомити про це керівників.

Робота на стендах без присутності навчального майстра або викладача суворо забороняється. Під час виконання лабораторних робіт студенти не повинні виконувати дії, не передбачені завданням і не узгоджені з викладачем або навчальним майстром.

1.2. Порядок підготовки до робіт

Вивчити будову досліджуваного двигуна і стенда. При виконанні робіт бригадним методом кожен член бригади веде робочий звіт, в який при підготовці роботи заносяться наступні дані:

- назва роботи та її мета;
- схема стенда з докладним підрисунковим написом;
- принциповий вигляд кривих, які будуть побудовані за експериментальними даними;
- послідовність виконання роботи на стенді;
- формули для виконання обчислень;
- таблиці вимірювань і обробки результатів.

1.3. Звітність із лабораторних робіт

Кожен член бригади звітує про виконану роботу індивідуально. Визначення основних параметрів роботи випробовуваних двигунів слід виконувати відповідно до рекомендацій розділу 5. Помилки результатів необхідно обчислювати відповідно до загальних умов при випробуванні двигунів та використовуючи рекомендації розділу 6. Результати вимірювань і результати їх обробки треба заносити в таблиці, форми яких наведені в розділах з описами лабораторних робіт.

Звіт повинен містити наступні елементи:

- числовий приклад обробки результатів для одного з режимів, вказаного викладачем – із записом алгебраїчних

формул, короткими коментарями, підстановкою числових значень і одиниць вимірювань (для кінцевих результатів);

- зведену таблицю результатів;

- графіки шуканих залежностей (на форматі А4) – виконуються вручну на міліметровому або звичайному папері у вигляді комп'ютерної роздруківки за дозволом викладача.

1.4. Загальні вказівки до виконання графіків

Графіки будуються вручну на міліметровому папері або звичайному аркуші А4, подаються у вигляді роздруківок з комп'ютера (за рішенням викладача).

При побудові графічних залежностей необхідно вибирати співвідношення масштабів осей таким чином, щоб картинка графіка наближалася до квадрата або прямокутника зі співвідношенням сторін не менше 1 : 3.

Абсолютний масштаб кожної шкали вибирається за схемою, наведеною нижче.

Кожне ділення шкали може відповідати або 1, або 2, або 2,5, або 5 одиницям вимірювання параметра даної шкали. Можливо також збільшення названих цифр у 10, 100, 1000 разів. Розмірність масштабу має вигляд дробу, в чисельнику якого одиниця вимірювання параметра шкали, а в знаменнику – одиниця вимірювання довжини осі. Розглянуте значення параметра, поділене на обраний масштаб, дає довжину відрізка на шкалі при визначенні координати точки. Ціна розподілу повинна бути в 5...10 разів більша від абсолютної похибки вимірювання параметра осі.

Осі повинні мати рівномірну розбивку шкал, а площа графіка розкреслена прямокутниками через розбивку цих шкал. Розбивка виконується через 1; 2; 2,5; 5 поділок шкал або через числа поділок, кратних зазначеним у $10n$ раз. Відповідно цифрові підписи на шкалах ідуть тільки по лініях розбивки

у вигляді ряду цілих чисел, (наприклад, у вигляді ряду 1, 2, 3, 4, 5, і т. д. або 2, 4, 6, 8, 10 і т. д., або 5, 10, 15, 20, 25 ...). Нулі і коми краще не використовувати, рекомендується їх врахувати загальним множником поряд з позначенням шкали.

На підготовленій шахматці наносяться експериментальні точки. Точки, що належать до однієї кривої, відзначаються однаковими геометричними значками: кружками, квадратами, ромбами.

Криві залежностей проводяться через побудовані масиви точок з усередненням положення кривої. Остаточне положення кривих формується за допомогою лекала за попередньо побудованими від руки тонкими кривими.

2. ВИПРОБУВАННЯ ДВИГУНА УД-25 (2Ч 7,2/6) З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЕННЯМ ЗА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

Мета роботи – практичне ознайомлення з будовою та експлуатацією бензинової електростанції на базі двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6); вивчення характеру змінення основних показників робочого циклу двигуна при роботі за навантажувальною характеристикою; зняття індикаторних діаграм та визначення індикаторних показників двигуна.

2.1. Опис двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6)

Двигун 2Ч 7,2/6 (рис. 1) – чотиритактний, бензиновий, спроектований на базі двигуна моделі МЕМЗ-966 (965) автомобіля "Запорожець". Такі двигуни можуть використовуватися для приводу електричних агрегатів живлення та пересувних електростанцій, різних будівельних і дорожніх машин. Основні параметри двигуна наведені в табл. 1.

Кривошипно-шатунний механізм (див. рис. 1) перетворює зворотно-поступальний рух поршня в обертовий рух колінчастого вала. Він складається з колінчастого вала 10, шатуна 8, поршня 6, поршневого пальця 3, циліндра 1 і маховика-вентилятора 9.

Колінчастий вал *10* (рис. 2) – сталевий цільноштампований, обертається на двох підшипниках кочення, з яких задній запресовується безпосередньо в картер, а передній – в опору, встановлену в розточку картера.

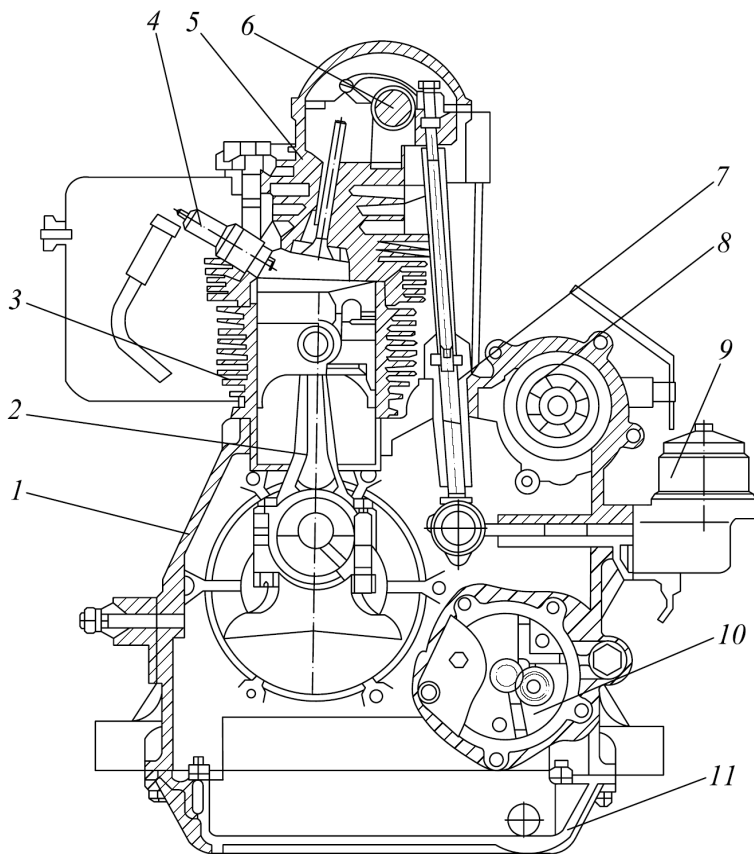


Рис. 1. Двигун 2Ч 7,2/6 (поперечний переріз):

1 – картер; *2* – поршень та шатун; *3* – циліндр; *4* – свічка запалення А-11У (СН-200) ГОСТ 2043–54 (з прокладкою); *5* – головка циліндра; *6* – валик, коромисло клапанів; *7* – штовхач клапана; *8* – регулятор; *9, 10* – відповідно паливний та масляний насоси; *11* – піддон

Таблиця 1. Основні параметри двигуна з іскровим запаленням
2Ч 7,2/6

№ з/п	Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
1	Кількість циліндрів	шт.	2
2	Робочий об'єм циліндрів	см ³	490
3	Діаметр циліндра	мм	72
4	Хід поршня	мм	60
5	Ступінь стиснення	—	6
6	Частота обертання колінчастого вала	об/хв	3000
7	Ефективна потужність	кВт	5,88
8	Питома ефективна витрата палива	кг/(кВт·год)	0,320

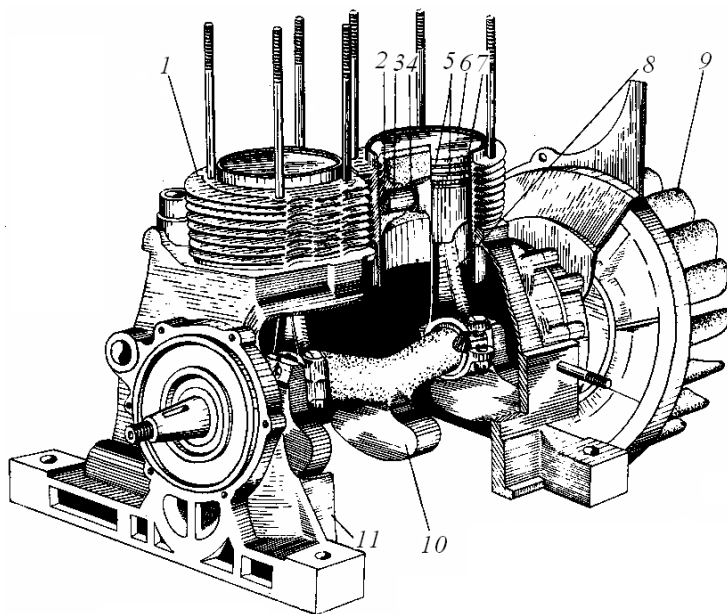


Рис. 2. Кривошипно-шатунний механізм:

1 – циліндр; 2 – кільце стопорне поршневого пальця; 3 – поршковий палець; 4 – втулка шатуна; 5 – кільця поршневі компресійні; 6 – поршень; 7 – кільце поршневе маслоз'ємне; 8 – шатун; 9 – маховик-вентилятор; 10 – колінчастий вал; 11 – картер

Ущільнення колінчастого вала в картері й опорі здійснюється з допомогою манжетів. Для забезпечення рівномірного чергування спалахів двоциліндрового двигуна УД-25 колінчастий вал має одноколінну форму (тобто обидві шатунні шийки розташовуються на одній осі).

На передньому кінці колінчастого вала встановлюються шарикопідшипник, мастильний підшипник, розподільча шестерня, деталі запуску, а також маховик-вентилятор. Останній одночасно виконує функцію корпуса центрифуги.

На задньому кінці колінчастого вала встановлений другий підшипник кочення. Вільний конусний кінець колінчастого вала служить для установлення муфти приводу.

Шатуни 8 (див. рис. 2) сталі штамповані двотаврового перетину. У верхню головку запресована тонкостінна бронзова втулка. Нижня головка – роз'ємна, в ній встановлюються тонкостінні біметалеві вкладиші, які утримуються штампованими замками від зміщень. Вкладиші взаємозамінні.

Поршні 6 відлиті з алюмінієвого сплаву. На кожному поршні два компресійних 5 та одне маслоз'ємне кільце 7. Для забезпечення рівномірного зазору між циліндром і тронком поршня під навантаженням передбачена форма тронка еліптична й конічна.

Пальці 3 сталеві пустотілі. Посадка їх у шатунах ковзна, а в порушених – щільна. Фіксуються пальці пружинними кільцями.

Залежно від розміру пальці поділяються на чотири групи і позначаються чорною, зеленою, жовтою і червоною фарбами. Такі ж колірні мітки наносяться на бобишку поршня і верхню головку шатуна. Для забезпечення необхідної посадки зазначених деталей їх слід підбирати однієї кольорової групи.

Циліндри 1 відливаються зі спеціального чавуна. За діаметром так само, як і поршні, вони поділяються на три гру-

пи і позначаються буквами А, Б, В, вибитими на верхньому ребрі циліндра і днищі поршня. Слід підбирати поршні і циліндри однакових груп.

Маховик-вентилятор 9 відлитий з алюмінієвого сплаву. Він забезпечує вихід поршня з мертвих точок і подачу охолоджуючого повітря до циліндра й головки двигуна.

Картер двигуна відлитий з алюмінієвого сплаву. Спереду в нього вставляється опора переднього підшипника колінчастого вала, яка кріпиться шістьма шпильками. У розточку на передній стінці вставляється масляний насос, а в припливі на правій стороні – редуційний клапан. До картера ліворуч кріпиться кронштейн осі пускової педалі. У провушину, на правій стороні картера, спереду вставляється магнето, ззаду до неї кріпиться регулятор.

Система газорозподілу. Розподільчий механізм забезпечує впуск робочої суміші в циліндри і випуск відпрацьованих газів. Двигуни мають верхнє розташування клапанів.

До основних деталей системи газорозподілу належать: розподільчий вал, що обертається на осі, шестерня розподільчого вала, штовхачі і штанги штовхачів, втулки штовхачів, запресовані в картер, клапани, пружини клапанів, тарілки й сухарики, валик коромисел, коромисла і головка.

Розподільчий вал – сталевий; крім кулачків газорозподілу на валу передбачений кулачок для приводу бензонасоса. Вал має підшипники ковзання з бронзової стрічки. Шестерня розподільного вала виготовлена з магнієвого сплаву і кріпиться до розподільного вала трьома заклепками.

Штовхачі сталеві грибоподібні з плоскою тарілкою. У стрижні мають свердління для підведення масла до штанги.

Впускний клапан відрізняється від випускного матеріалом і більшим діаметром тарілки. Коромисла клапанів

виготовлені з легованої сталі. На кожному циліндрі встановлюється по одному правому та одному лівому коромислу, які відрізняються нахилом площини коромисла до його осі. Довгі плечі коромисел закінчуються гартованими циліндричними поверхнями, що спираються при роботі на торці впускних клапанів і торці ковпачків впускних клапанів. У бобишку короткого плеча коромисла вкручено регулювальний гвинт з контрувальною гайкою, що служить для регулювання зазору.

Головка виконана з алюмінієвого сплаву із запресованими сідлами і втулками клапанів, кріпиться до картера шпильками, що проходять крізь ребра циліндра. Клапанна коробка закривається зверху кришкою.

Система охолодження забезпечує відведення тепла від стінок циліндра і головки. Двигун має повітряну примусову систему охолодження. У систему охолодження входять: маховик-вентилятор, кожух маховика, кожух циліндрів, кожух виведення повітря. Регулювання ступеня охолодження двигуна проводиться шляхом відкриття або закриття жалюзі в кожусі маховика-вентилятора.

Паливна система. На двигуни УД-25 встановлюється карбюратор К-16М (К45М). Він пристосований для роботи з відцентровим регулятором. Дросельна заслінка керується важелем зі сферою, на яку впливає важіль регулятора. Для ручного керування дроселем у верхній частині є поводок. Повітряна заслінка керується вручну.

На карбюраторі передбачена можливість (у разі необхідності) регулювання роботи двигуна на малих обертах холостого ходу. Малі оберти холостого ходу не повинні перевищувати 1600 об/хв. Регулювання якості суміші на холостому ходу проводиться гвинтом. Повітря в карбюратор подається через інерційно-масляний повітряний фільтр.

Рівень палива в камері поплавця підтримується постійним (19 ± 2 мм) за допомогою поплавця і запірної голки. При опущеному поплавці канал, через який надходить паливо з бензонасоса, відкритий. Паливо, заповнюючи камеру поплавця, піднімає поплавок, який запірною голкою перекидає канал підведення палива. Поплавкова камера карбюратора не збалансована.

Система змащення. Масло з картера через сітчастий маслоприймач забирається шестерним масляним насосом, потім частина масла надходить по каналах у картері та опорі переднього підшипника в мастильний підшипник і далі, по отворах в колінчастому валу, – в центрифугу. Звідти очищене масло по центральній трубці і похилим свердлінням у колінчастому валу подається до шатунних підшипників. Інша частина масла від насоса направляється до осі розподільчого валика і втулок штовхачів.

При підйомі четвертого штовхача двигуна УД-25 відбувається збіг каналу втулки і штовхача, масло надходить по штанзі через коромисло в клапанну коробку. Злив масла з голівки відбувається через кожухи штанг і трубку зливу масла.

Масляна система забезпечена редукційним клапаном, який підтримує постійний тиск масла. Тиск масла в магістралі контролюється показником тиску масла, встановленим у порожнині редукційного клапана.

Наявності в системі змащення робочого тиску відповідає вихід штифта показника тиску масла не менше 3 мм. За необхідності вимірювання фактичного тиску масла або дистанційного контролю споживачем може бути встановлений манометр типу МТС-16У.

Система запалення. Суміш у камері згоряння запалюється свічкою запалення від магнето високої напруги.

На двигуні УД-25 встановлюється двоіскрове магнето М-151 (спеціальне з дистанційним натискними клемами

виключення запалення, пилонепроникного виконання, лівого обертання з пусковим прискорювачем МС-151).

Магнето в зборі з пусковим прискорювачем забезпечує кут запізнювання $+30^\circ$ по валу ротора магнето. Кріплення магнето до двигуна – фланцеве, на трьох болтах.

2.2. Підготовка до пуску двигуна

1. Проведіть зовнішній огляд двигуна і перевірте затягнення кріплення, з'єднання важеля регулятора з дросельною заслінкою карбюратора, з'єднання проводів високої напруги з магнето і свічками.

2. Після тривалої стоянки двигуна перевірте спрацьовування прискорювача і наявність іскри на електродах свічки. У разі відсутності іскри зачистіть контакти магнето.

3. Переконайтеся у відсутності вологи та бруду в бензонасосі, фільтрі карбюратора і бензопроводі.

4. Наповніть паливний бак профільтованим бензином.

5. Перевірте рівень масла в картері та за необхідності долийте до рівня верхньої позначки. При мінусовій температурі повітря слід масло попередньо підігріти до $+80 \dots 100^\circ\text{C}$. Забороняється підігрів масла відкритим полум'ям.

Примітка. Допускається пуск двигуна при температурі навколишнього повітря до -5°C без користування нагрівальним пристроєм і розігрівання масла.

2.3. Пуск та зупинка двигуна

При запуску холодного двигуна в умовах плюсової температури необхідно:

- прикрити повітряну заслінку приблизно на $1/3 \dots 1/2$ її ходу (важіль повернути в бік мітки);

- відкрити дросельну заслінку приблизно на $1/3 \dots 1/2$ її ходу;

- провести пуск різким натиском на педаль;
- після запуску двигуна закріпити педаль у вихідному положенні;
- перевірити наявність тиску в системі масла по виходу штифта показчика тиску. За відсутності виходу штифта протягом 10...20 с двигун зупинити для виявлення причини відсутності тиску масла;
- поставити обмежувач дросельної заслінки до упору в бік мітки "0" та попрацювати вхолосту на регуляторі одну–дві хвилини;
- після прогріву ввімкнути навантаження;
- гвинтом якості суміші холостого ходу карбюратора провести, за необхідності, його регулювання, для забезпечення стійкої роботи двигуна на експлуатаційних навантаженнях.

Примітка. Не допускаються прогрів і робота двигуна на резонансних оборотах, при яких відбувається сильна вібрація двигуна й можливе переливання палива через поплавкову камеру (для бензоелектричних агрегатів резонансні обороти знаходяться в межах 1000...1250 об/хв).

Проведіть запуск теплового чи гарячого двигуна при трохи або повністю прикритій повітряній заслінці. Дросельна заслінка відкривається на $1/4...1/3$ її ходу або прикрита до упору гвинта мінімальних оборотів.

Для зупинки двигуна прикрийте дросельну заслінку карбюратора і закрийте паливний краник.

Примітка. У разі екстреної зупинки двигуна допускається глушіння тільки вимкнення запалення, для чого потрібно натиснути на кнопку магнето. Однак зловживати цим методом не слід, оскільки подальший запуск двигуна, внаслідок перенасичення суміші та забризкування контактів свічки буде ускладнений.

Якщо при подальшому пуску двигуна доведеться підігріти масло, його необхідно злити відразу ж після зупинки.

При зупинці на тривалий час двигун слід законсервувати.

2.4. Опис експериментальної установки

Лабораторна робота проводиться на двигуні 2Ч 7,2/6, який обладнано навантаженням, вимірювальною апаратурою (датчиком для індиціювання робочого циклу та системою комп'ютерної фіксації отриманих даних, приладами для визначення витрати повітря, палива, а також заміру температур). На рис. 3 наведена схема експериментального стенда та системи вимірювання. Наведена установка дозволяє проводити випробування двигуна як на бензині, так і газоподібному паливі.

Із розхідного бака 12, розташованого на вагах 13, бензин поступає до двигуна 10. Двигун 2Ч 7,2/6 навантажений штатним трифазним електрогенератором змінного струму. Отримана електрична енергія через систему керування навантаженням 14 іде на блок ТЕНів 15.

Значення струму й напруги визначаються у кожній фазі окремо за допомогою перемикача і фіксуються на панелі приладів 18 за допомогою вольтметра 16 та амперметра 17. Також на панелі 18 установлені наступні вимірювальні прилади: тахометр для визначення обертів колінчастого вала двигуна 20; прилади для вимірювання температури відпрацьованих газів по циліндрах 19. Для визначення витрати повітря через двигун на всмоктуванні встановлена витратомірна шайба (лемніската) 26 із U -подібним манометром 27 для фіксації перепаду тиску.

При проведенні досліджень роботи двигуна на газоподібному паливі (пропані, синтез-газі або водні) газ поступає з витратних балонів 1 у загальний ресивер 2, далі через електромагнітний газовий клапан 4 до редуктора низького тиску 5, а потім у двигун 10. Тиск газу в балонах контролюється манометром 3. Витрата газу визначається за допомогою газового лічильника 7. Якість суміші встановлюється за допомогою регулятора якості сумішоутворення 8 та дросельної заслінки 9.

Для того щоб отримати достовірну індикаторну діаграму, чутливий елемент датчика Kistler 7613C був максимально наближений до камери згоряння, при цьому ступінь стискання залишився не змінним. Датчик тиску був вкручений у головку двигуна через бронзовий перехідник. При цьому довжина каналу склала всього 22 мм.

Результати замірів індикаторного тиску передавалися та оброблялися на ПК 25. Відпрацьовані гази через глушник уходять у навколишнє середовище.

Примітка. Експериментальна установка розроблена під керівництвом д-ра техн. наук, проф. Тимошевського Б.Г. та д-ра техн. наук, проф. Ткача М.Р.

3. ВИПРОБУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 6ЧН 12/14 ЗА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

Мета роботи – практичне ознайомлення з будовою та експлуатацією електростанції на базі дизельного двигуна 6ЧН 12/14; вивчення характеру змінення основних показників робочого циклу двигуна при роботі за навантажувальною характеристикою; зняття індикаторних діаграм та визначення індикаторних показників двигуна.

3.1. Опис двигуна 6ЧН 12/14

Лабораторна робота проводиться на двигуні 6ЧН 12/14, обладнаному пристроєм навантаження, апаратурою для індичіювання, пристроями для визначення витрати палива, води, повітря, приладами для вимірювання температури і тиску води, масла, повітря й випускних газів.

Двигун 6ЧН 12/14 (рис. 4) – шестициліндровий, чотири-тактний, нереверсивний; виготовлений Токмакським машинобудівним заводом ім. С.М. Кірова; призначений для роботи на гребний гвинт при установленні його як головний або допоміжний судновий двигун для приводу генератора.

Основні дані двигуна наведені нижче:

Потужність, кВт	110
Частота обертання, с^{-1}	25
Середній ефективний тиск, МПа	0,92
Середня швидкість поршня, м/с	7,0
Максимальний тиск згоряння, МПа	9,2
Ступінь стиснення	13,5
Тиск наддувочного повітря, МПа	0,22

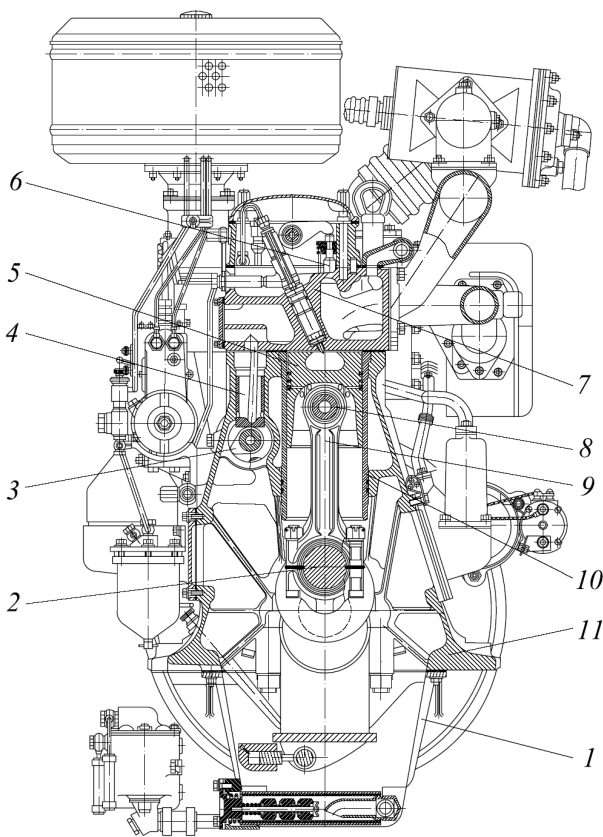


Рис. 4. Двигун 6ЧН 12/14 (поперечний переріз)

Блок циліндрів 11 цільний, відлитий з чавуну, має шість вставних втулок 10 із підвищеною твердістю робочих поверхонь. Міцність і жорсткість блока в поперечних перегородках підвищується за рахунок ребер. Кришки корінних підшипників разом з блоком циліндрів утворюють сім опор для корінних шийок колінчастого вала.

У поперечних перегородках блока є канали для підведення масла до корінних підшипників колінчастого вала і підшипників розподільчого вала.

До нижньої площини блока прикріплений піддон 1 з перегородками для заспокоєння масла.

Кришки циліндрів 7 відлиті з чавуна (на два циліндри одна кришка). Стик кришки з блоком циліндрів ущільнений прокладкою. Колінчастий вал 2 виготовлений зі сталі, має шість колін, розташованих у трьох площинах під кутом 120° . У колінчастому валу виконані скісні отвори для підведення масла від корінних до шатунових підшипників. На фланці, до якого прикріплений маховик, виконано маслоз'ємні різьблення і напесований масловідбивач.

Вкладиші корінних і шатунових підшипників виконані біметалічними.

Шатун 9 виготовлений зі сталі, стрижень шатуна двотаврового перетину, у верхню головку шатуна запресована бронзова втулка. Для змащення поршневого пальця в шатуні виконаний осьовий отвір. Поршень 5 з алюмінієвого сплаву, має п'ять канавок, в які встановлено три компресійні і чотири маслоз'ємні кільця (по два маслоз'ємних кільця в кожній канавці). У днищі поршня виконано сферичне заглиблення – камера згоряння, а на головці поршня – тепловий бар'єр (канавка), розташований над верхнім поршневим кільцем. Поршневий палець 8 порожнистий, стальний, плаваючого типу.

Розподільчий вал 3 цілісний, стальний, на ньому розташовані кулачки однакового профілю для приводу впускних і випускних клапанів 6. Вал має центральний отвір для підведення масла до підшипників. Опорні підшипники роз'ємні і складаються з двох половин, що скріплюються пружинним кільцем.

Штовхачі 4 сталі, порожнисті, зі вставною п'яткою під штангу. Впускний і випускний клапани виготовлені зі жаростійкої сталі. Випускний клапан має менший діаметр тарілки, ніж впускний, що збільшує коефіцієнт наповнення повітрям циліндрів. Робочі фаски клапанів виконані під кутом 45° .

Паливна система установки (рис. 5) складається із цистерн запасу палива 25, витратного паливного бака 1, паливних фільтрів грубої 24 та тонкої очистки 2, паливопідкачуючого насоса 23, паливного насоса високого тиску (ПНВТ) 3 поршневого типу й форсунок.

Витрата палива при роботі двигуна заміряється ваговим способом. Бачок 1, підвішений на датчику сили 22, приєднується до ПНВТ або від'єднується від нього за допомогою триходового крана. Датчик сили 22 дозволяє заміряти витрату палива безперервно на кожному режимі роботи. Сигнал з датчика передається та записується на ПК.

Масляна система двигуна автономно-замкнута, циркуляційна, під тиском з "мокрим" картером.

Масляний насос шестерного типу, встановлений на передньому торці двигуна і приводиться в рух від колінчастого вала через систему шестерень.

Від головної масляної магістралі масло через отвори в блоці подається для змащення корінних і шатунових підшипників, приводу ПНВТ 3, розподільчого валу, коромисел клапанів, приводу водяного насоса, розподільчих шестерень, приводу генератора, розподільника повітря, компресора 7 і приводу масляного насоса.

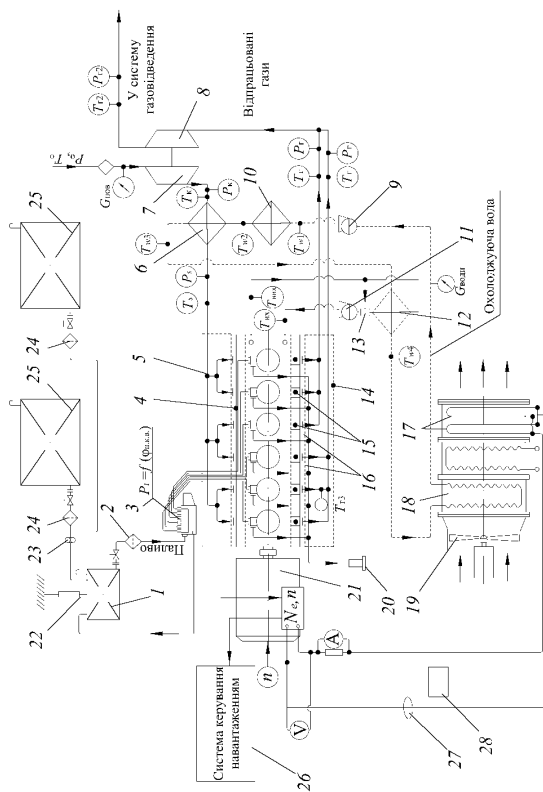


Рис. 5. Схема експериментального стенда на базі двигуна 6ЧН 12/14:

1 – витратна паливна цистерна; 2 – фільтр тонкої очистки; 3 – ПНВТ; 4 – двигун внутрішнього згоряння 6ЧН 12/14; 5 – впускний трубопровід; 6 – охолоджувач наддувочного повітря; 7 – компресор; 8 – турбіна; 9 – насос заборної води; 10 – впускний труборізок; 11 – водяний насос; 12 – водо-водяний охолоджувач; 13 – регулятор температури охолоджуючої води; 14 – впускний труборізок; 15 – датчик температури; 16 – датчик індикаторного тиску; 17 – навантаження; 18 – водо-повітряний охолоджувач; 19 – осьовий вентилятор; 20 – електронні ваги; 21 – електричний генератор; 22 – датчик сили; 23 – насос підкачки палива; 24 – фільтр грубої очистки; 25 – витратна цистерна; 26 – система керування навантаженням; 27 – датчик струму; 28 – вимірювальний перетворювач

У системі змащення також є фільтри грубої і тонкої очистки та охолоджувач масла 10.

Система охолодження установки складається з внутрішнього і зовнішнього контурів охолоджуючої води. Втулки і кришки циліндрів, газовипускний колектор, корпус підшипників турбонагнітача 6 охолоджуються водою внутрішнього контуру. Вода внутрішнього контуру, масло, повітря і газовипускний колектор турбонагнітача, наддувочне повітря охолоджуються водою зовнішнього контуру. Відведення тепла від зовнішнього контуру відбувається у водно-повітряному охолоджувачі 18, який обдувається осьовим вентилятором 19.

Електрична енергія, яка виробляється генератором постійного струму 21, поступає на активне навантаження 17 (блок, що складається із 50 ТЕНів максимальною потужністю 100 кВт), яке обдувається осьовим вентилятором 19. Система керування навантаженням 26 дозволяє за рахунок плавної зміни струму збудження генератора 21 регулювати напругу і струм у ланцюзі навантаження в діапазоні 0...100 %. Це, в сукупності з достатньою стабільністю опору ТЕНів (максимальна зміна опору 2 %), дозволяє змінювати потужність навантаження у всьому допустимому діапазоні потужності ДВЗ. Напруга і сила струму вимірюються вольтметром та амперметром відповідно.

Повітря надходить у відцентровий компресор 7 турбокомпресора ТКР11 через впускний трубопровід, обладнаний вхідним пристроєм. Далі він проходить через охолоджувач наддувочного повітря 6 пластинчасто-ребристого типу та подається у впускний трубопровід 5. Об'ємна витрата повітря визначається за спадом тиску на вхідному пристрої з лемніска́тним профілем перерізу.

Продукти згоряння палива через випускний колектор 14 надходять до радіальної турбіни 8, турбокомпресора ТКР11 і,

після розширення в ній, – у систему газовихлопу лабораторії. Температура відпрацьованих газів на виході з циліндрів у колекторі 14 і за турбіною вимірюється термopарами 15.

З метою отримання достовірної інформації про індикаторний тиск один циліндр двигуна обладнаний охолоджуваним тензoeлектричним датчиком "Сапфір 22Д", який зв'язаний з каналом для клапана пускового повітря таким чином, щоб максимально наблизити його до камери згоряння і мінімально можливо зменшити ступінь стиснення в цьому циліндрі. Забезпечення температурного режиму цього датчика досягнуто застосуванням теплообмінника "труба в трубі", який охолоджується проточною водою.

Частота обертання колінчастого вала визначається тахометром, який установлений на щитку приладів двигуна.

Параметри навколишнього середовища визначаються за допомогою барометра і термометра, встановлених у лабораторії.

Примітка. Експериментальна установка розроблена під керівництвом д-ра техн. наук, проф. Тимошевського Б.Г. та д-ра техн. наук, проф. Ткача М.Р.

3.2. Пуск. Обслуговування та зупинка двигуна

Пуск двигуна здійснюється таким чином. Необхідно натиснути кнопку "Прокачування" і тримати ввімкненою, поки тиск у системі масла не підніметься вище 0,1 МПа ($1,0 \text{ кгс/см}^2$); не відпускаючи кнопки "Прокачування", натиснути кнопку "Пуск" на панелі приладів двигуна і тримати, поки дизель не запрацює. Пуск здійснюється за рахунок генератора струму, який при пуску двигуна працює як пусковий стартер. Після пуску двигуна слід перевірити тиск масла, який має бути не нижче 0,196 МПа (2 кгс/см^2). У перші хвилини роботи холодного двигуна тиск масла може досягати 0,88 МПа (9 кгс/см^2). Якщо через 30...40 с після пуску тиск масла не

досягає необхідної величини, треба зупинити двигун і з'ясувати причину.

Прогрівати двигун на режимі $13,3...15,0 \text{ с}^{-1}$ (800...900 об/хв) необхідно до тих пір, поки температура масла не досягне $+25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого можна переходити на режим номінальної частоти обертання. Двигун дозволяється навантажувати, якщо температура масла не нижче $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиск масла не нижче $0,196 \text{ МПа}$ (2 кгс/см^2). Під час роботи двигуна треба стежити за показаннями приладів, рівнем води в розширювальному бачку внутрішнього контуру, рівнем масла в піддоні, корпусі регулювальника, ванні турбонагнітача, а також за наявністю палива у витратному баку.

При роботі на номінальному режимі параметри двигуна повинні знаходитися в межах, указаних у табл. 2.

Таблиця 2. Параметри роботи двигуна 6ЧН 12/14 при випробуваннях

Параметри	Рекомендовані	Допустимі
Тиск масла, МПа	0,245...0,490	0,196...0,686
Температура масла, $^{\circ}\text{C}$	70...90	100
Температура рідини внутрішнього контуру, $^{\circ}\text{C}$	80...90	98
Тиск води зовнішнього контуру, МПа	0,0190...0,0780	0,0098...0,1180

Не рекомендується тривала робота на малих навантаженнях при температурі масла і охолоджуючої води нижче $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Не дозволяється безперервна робота на холостому ходу тривалістю більше 30 хв.

Зупинка працюючого двигуна здійснюється таким чином:

— зняти навантаження з агрегату;

- знизити частоту обертання колінчастого вала 20 c^{-1} (1200 об/хв);
- працювати на холостому ході, поки температура охолоджуючої рідини не знизиться до 70°C , але не більше 30 хв;
- зупинити двигун поворотом рукоятки вимкнення рейки паливного насоса;
- після зупинки рукоятку поставити в робоче положення.

4. ЗНЯТТЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Навантажувальною характеристикою називають змінення ряду основних параметрів двигуна у функції від навантаження (p_e або N_e) при постійній частоті обертання колінчастого вала.

Викладачем задаються частота обертання колінчастого вала та розбивка потужності в інтервалі 0...100 %.

На основі отриманого завдання визначається режим роботи двигуна при випробуванні та заносяться до таблиці випробувань.

При установленому режимі (стабілізація температур, витрат та вихідної напруги) заміряють усі доступні параметри згідно з протоколом випробувань (дод. А і Б).

Заміри виконуються всіма студентами одночасно за командою бригадира. Також за командою бригадира окремим студентом знімається індикаторна діаграма двигуна і фіксується час її зняття. Значення тиску автоматично зберігається на ПК у відповідному файлі, назва якого відповідає часу заміру.

Зняті показання приладів записуються кожним спостерігачем у свій окремий протокол, та по закінченні вимірювання результати повідомляються студенту, який заповнює загаль-

ний протокол. Після внесення всіх параметрів у загальний протокол бригадир дає сигнал про повторний замір на тому ж режимі роботи двигуна. Два заміри на одному режимі здійснюється з метою виключення випадкових похибок та підвищення точності результатів. По закінченні контрольного заміру двигун переводиться на наступний режим роботи. У випадку, якщо у другому замірі результати суттєво відрізняються від першого, слід провести третій замір параметрів.

5. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНІВ ТА ПОБУДОВА ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

1. Ефективна потужність двигуна визначається за формулою

$$N_e = \frac{UI}{\eta_r 10^3} \text{ кВт},$$

де U – напруга, В; I – сила струму, А; η_r – ККД генератора (0,87).

2. Середній ефективний тиск

$$p_e = 0,12 \frac{N_e}{V_s n i} \text{ МПа},$$

де i – кількість циліндрів; V_s – робочий об'єм циліндра, м³; n – частота обертання колінчастого вала.

3. Часова витрата пального

$$G_{\Pi} = \frac{3600 \Delta G}{\Delta \tau} \text{ кг/год},$$

де ΔG – вага палива в кг за певний проміжок часу $\Delta \tau$;
 $\Delta \tau$ – час витрати ΔG кг палива.

4. Питома ефективна витрата палива

$$g_e = \frac{G_{\Pi}}{N_e} \text{ кг/(кВт} \cdot \text{год)}.$$

5. Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{g_e Q_{\text{H}}},$$

де Q_{H} – нижча теплотворність палива, кДж/кг (44000).

6. Механічний ККД двигуна

$$\eta_{\text{м}} = \frac{p_e}{p_i},$$

де p_i – середній індикаторний тиск, який визначається зі знятої індикаторної діаграми на даному режимі, МПа.

7. Питома індикаторна витрата палива

$$g_i = g_e \eta_{\text{м}} \text{ кг/(кВт} \cdot \text{год)}.$$

8. Індикаторний ККД двигуна

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_{\text{м}}}.$$

9. Індикаторна потужність

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_{\text{м}}} \text{ кВт}.$$

10. Потужність механічних втрат

$$N_{\text{мех}} = N_i N_e \text{ кВт}.$$

11. Витрата повітря двигуном

$$G = \alpha' \sqrt{\Delta h \rho_{\Pi}} \text{ кг/с},$$

де α' – розрахунковий коефіцієнт, який враховує геометричні та конструктивні дані витратомірної шайби; Δh – перепад тиску на витратомірній шайбі, мм вод. ст.; $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря на вході у витратомірну шайбу, кг/м³.

12. Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{0,5G}{14,33G_{\text{п}}},$$

де 14,33 – теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг.

За наведеними вище формулами визначаються необхідні параметри та показники роботи двигуна, після чого вони заносяться до таблиці розрахунків (Дод. В і Г). За даними таблиці розрахунків будуються графіки залежностей роботи двигуна від потужності (рис. 6).

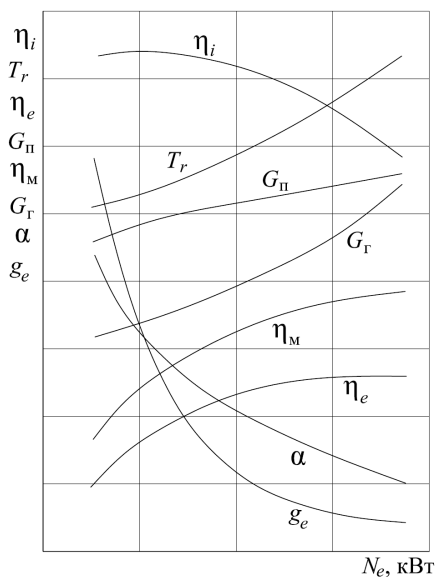


Рис. 6. Навантажувальна характеристика

6. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

6.1. Похибка визначення розходу за допомогою звужуючого пристрою на всмоктуванні

Як відомо, витрату повітря через звужуючий пристрій обчислюють за формулою

$$G = \alpha' \sqrt{\Delta h \rho_{\Pi}} \text{ кг/с.}$$

Тоді відносна похибка складає

$$\delta G = \delta \alpha' + 0,5(\delta \rho_{\Pi} + \delta h_c).$$

Похибка визначення α' залежить від значної кількості чинників, основні з яких:

- точність визначення геометричних розмірів отвору сопла;
- чистота і точність його виготовлення;
- зміна його розмірів зі зміною температури сопла в процесі проведення випробувань і точність урахування впливу цього чинника;
- правильність розташування приймального отвору сопла по відношенню до конструкцій.

Урахування всіх цих чинників вельми складне, а витрати часу на їх визначення в даному випадку вищі за межі, виправдані метою роботи.

У зв'язку з цим рекомендується брати $\delta\alpha' = 1\%$, що відповідає параметрам лабораторних установок.

Похибка визначення густини повітря перед соплом обчислюється за формулою

$$\delta\rho_{\text{п}} = \frac{K_B B_{\text{max}}}{100B} + \frac{\Delta T_0}{T_0},$$

де K_B – клас точності барометра; B – показання барометра; B_{max} – граничне значення шкали; ΔT_0 – абсолютна похибка визначення температури повітря перед соплом; T_0 – абсолютна температура повітря перед соплом.

Абсолютна похибка ΔT_0 повинна визначатися з урахуванням того, що це похибка середньомасової температури повітря перед соплом. У зв'язку з цим для коректної оцінки ΔT_0 слід було б мати цілий ряд точок вимірювання температури T_0 у площині перед вхідним перерізом сопла. Відповідно до навчальних цілей даної роботи такі вимірювання не проводяться і похибку ΔT_0 пропонується взяти орієнтовно рівною 1 К.

Похибка визначення розрідження на соплі δh (або перепаду тиску на витратомірній шайбі $\delta h_{\text{ш}}$) визначається за формулою

$$\delta h = \frac{\Delta h'}{\Delta h},$$

де $\Delta h'$ – абсолютна похибка вимірювання перепаду на водяному п'єзометрі, яким вимірюють розрідження; Δh – вимірний перепад між менісками водяного стовпа в п'єзометрі.

Значення $\Delta h'$ може оцінюватися як можлива похибка перепаду між менісками. При акуратному вимірюванні перепаду металевою лінійкою можна взяти $\Delta h' = 1$ мм.

Таким чином, похибка визначення витрати повинна обчислюватися за формулою

$$\delta G = \delta \alpha' + 0,5 \left(\frac{K_B B_{\max}}{100B} + \frac{\Delta T_0}{T_0} + \frac{\Delta h'}{h} \right).$$

6.2. Похибка визначення температури відпрацьованих газів

Температури випускних газів, масла, охолоджуючої рідини вимірюються за допомогою цифрового приладу 2ТРМ1, при використанні ТХК та ТХА. Дані з приладу надходили до комп'ютера. Замір температур проводився при безпосередньому встановленні чутливого елемента термопари у потік теплоносія. Клас точності приладу 2ТРМ1 – 0,25.

Унаслідок проведення індивідуального тарування термопар було забезпечено сумарну абсолютну похибку вимірювання температури у межах $\pm 0,1$ К у діапазоні 273...973 К.

6.3. Похибка визначення витрати палива

Витрата палива визначається за допомогою електронних ваг з точністю вимірювання 1 г. Час визначається за допомогою таймера комп'ютера з точністю 0,01 с. Тоді похибка визначення витрати палива може бути визначена за наступною формулою:

$$\delta G_{\Pi} = \delta M_{\Pi} + \delta \tau,$$

де δM_{Π} – похибка визначення маси палива; $\delta \tau$ – похибка визначення часу.

6.4. Похибка визначення обертів двигуна

Частота обертів двигуна вимірюється за допомогою цифрового тахометра з точністю 10^{-4} с⁻¹, а частота обертання

колінчастого вала двигуна контролювалася при обробці індикаторних діаграм. Беручи до уваги навчальний характер проведення випробувань двигуна, похибку вимірювання обертів беремо $\delta n = 0,001$.

6.5. Похибка визначення тиску газів у циліндрі

До найбільш розповсюджених джерел похибок при замірі тиску газів у циліндрі насамперед належать:

- коливання тиску газів у каналі (допоміжному об'ємі), який з'єднує циліндр двигуна з датчиком тиску;
- визначення положення верхньої мертвої точки (ВМТ);
- недостатньо висока характеристика частоти вимірювальної апаратури.

Для зменшення похибки, пов'язаної з коливанням тиску, канал, який з'єднує робочий циліндр з датчиком тиску, був виконаний якомога коротшим, з достатньо великим перерізом. Тому похибкою можна знехтувати.

Для визначення положення ВМТ використовувався оптично-електронний датчик. Відповідно до паспортних даних вимірювального комплексу похибка визначення ВМТ не перевищує $\pm 0,1^\circ$ кута повороту колінчастого вала.

Оцінка похибки недостатньо високої характеристики частоти вимірювальної апаратури не виконувалася, оскільки використовується апаратура із частотною характеристикою, на порядок вищою, ніж потрібно для подібних вимірювань.

Наведені дані дозволяють установити, що похибка зняття індикаторної діаграми не перевищує 1 % від реального тиску газів у циліндрі. Згідно з тарувальними кривими датчиків тиску навіть у діапазоні низьких тисків залежності мають лінійний характер.

Власна частота коливань діафрагми сенсора складає $f_d > 100000 \text{ с}^{-1}$. При цьому частота вимірювання тиску газів

у циліндрі двигуна визначається як кругова частота процесу. Якщо припустити, що тиск змінюється за синусоїдальним законом, то частота вимірювання

$$\omega = \frac{180\pi n}{\varphi},$$

де n – частота обертання колінчастого вала, с^{-1} ; φ – кут повороту колінчастого вала, град, на якому фіксується найбільша зміна тиску як на четвертині синусоїди.

Тоді максимальна частота зміни тиску для двигуна 6ЧН 12/14 на номінальному режимі при $n = 1500$ об/хв складає 942 с^{-1} . Звідки відношення $\omega/f_d = 0,02$. При такому співвідношенні частот амплітудна похибка складає менше ніж 1 %, а фазова – 0,5 %.

Максимальна частота зміни тиску для двигуна 2Ч 7,2/6 з іскровим запаленням на номінальному режимі при $n = 3000$ об/хв складає $1884,9 \text{ с}^{-1}$. Звідки відношення $\omega/f_d = 0,019$. При такому співвідношенні частот амплітудна похибка складає менше ніж 1 %, а фазова – 0,5 %.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Ваншейдт, В. А.** Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст] / В. А. Ваншейдт. – Л. : Судостроение, 1977. – 392 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А. С. Орлина и М. Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.
4. **Наливайко, В. С.** Методические указания к проведению лабораторных работ по курсу "Судовые ДВС" [Текст] / В. С. Наливайко, А. Н. Ступаченко, С. А. Сыпко. – Николаев : НКИ, 1987. – 41 с.
5. **Попов, Г. С.** Испытание двигателя 6ЧН13/14 по нагрузочной и винтовым характеристикам [Текст] : методические руководства и указания к лабораторным работам / Г. С. Попов. – Николаев, 1981. – 17 с.
6. Стационарные малолитражные двигатели УД-15, УД-25 и их модификации [Текст] : техническое описание

и инструкция по эксплуатации. – М. : Энергомашэкспорт, 1991. – 74 с.

7. Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник / Ю. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский, А. И. Лукин [и др.]. – Л. : Судостроение, 1989. – 344 с.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
"Випробування двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6) з іскровим запаленням
за навантажувальною характеристикою"

42

Номінальна потужність, кВт (к. с.) 5,88 (8) Хід поршня, мм 60
Максимальна потужність, кВт (к. с.) 8,82(12) Робочий об'єм, см³ 490
Номінальна частота обертання колінчастого вала, (хв⁻¹) 3000 Ступінь стиснення 6
Діаметр циліндра, мм 72 Питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год) 320

№ з. п.	Параметр	Режим роботи двигуна						
		1	2	3	4	5	6	7 8
1	Вага бензину (або об'єм газу) G_1 , кг (м ³)							
2	Вага бензину (або об'єм газу) G_2 , кг (м ³)							
3	Час витрати бензину Δt , с							
4	Перепад на всмоктуванні Δh , мм							
5	Оберти двигуна, об/хв							
6	Температура ВГ першого циліндра, °С							
7	Температура ВГ другого циліндра, °С							
8	Температура ВГ після глушника, °С							
9	Струм першої фази I_1 , діл.							
	Струм другої фази I_2 , діл.							
	Струм третьої фази I_3 , діл.							
10	Напруга першої фази U_1 , В							
	Напруга другої фази U_2 , В							
	Напруга третьої фази U_3 , В							

Сталі величини:

Температура навколишнього середовища $t_o = \text{---}^\circ\text{C}$ Діаметр шайби на всмоктуванні $d = 40$ мм
Тиск навколишнього середовища $B = \text{---}$ мм рт. ст. Ціна ділення амперметра $i_{\text{амп}} = 0,133$ А/діл.
Густина пропану $\rho_n = 1,99$ кг/м³ Розрахунковий коефіцієнт $\alpha' = 9,9$

Виконав студент _____ гр. _____
Перевірив викладач _____ Підпис _____
Дата _____ р. _____

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
"Випробування дизельного двигуна 6ЧН 12/14 за навантажувальною характеристикою"

Номінальна потужність, кВт	100	Питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год)	221 ± 5 %
Максимальна потужність, кВт	110	Питома ефективна витрата масла, г/(кВт·год)	4,8
Номінальна частота обертання колінчастого вала, (хв ⁻¹)	1500	Максимальний тиск згоряння, МПа	9,2
Діаметр циліндра, мм	120	Середній ефективний тиск, МПа	0,92
Хід поршня, мм	140	Середня швидкість поршня, м/с	7,0
Ступінь стиснення	13,5	Тиск наддувочного повітря, МПа	0,22

№ з.п.	Параметр	Режим роботи двигуна							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вага дизельного палива початкова G_1 , кг								
2	Вага дизельного палива кінцева G_2 , кг								
3	Час витрати пального Δt , с								
4	Перепад на всмоктуванні Δh , мм								
5	Оберти двигуна, об/хв								
6	Температура ВГ першого циліндра, °C								
7	Температура ВГ другого циліндра, °C								
8	Температура ВГ третього циліндра, °C								
9	Температура ВГ четвертого циліндра, °C								
10	Температура ВГ п'ятого циліндра, °C								
11	Температура ВГ шостого циліндра, °C								
12	Температура масла, °C								
13	Температура охолоджуючої рідини, °C								
14	Струм I , А								
15	Напруга U , В								

Сталі величини:

Температура навколишнього середовища	$t_o =$ ___ °C	Розрахунковий коефіцієнт	$\alpha' = 8,44 \cdot 10^{-4}$
Тиск навколишнього середовища	$B =$ ___ мм рт. ст.		

Виконав студент _____ гр. _____

Перевірив викладач _____ Підпис _____ Дата _____ р.

ПРОТОКОЛ РОЗРАХУНКІВ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
"Випробування двигуна УД-25 (2Ч 7,2/6) з іскровим запаленням
за навантажувальною характеристикою"

№ з.п.	Параметр	Розрахункова формула	Режим роботи двигуна							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Часова витрата палива, кг/год	$G_n = \frac{3600(G_1 - G_2)}{\Delta \tau}$ або $G_n = \frac{3600(G_1 - G_2)p_n}{\Delta \tau}$								
2	Часова витрата повітря, кг/год	$G = \alpha' \sqrt{\Delta h p_n}$								
3	Часова витрата ВГ, кг/год	$G^{вт} = G_n + G$								
4	Електрична потужність генератора, Вт	$N = I_1 U_1 i^{амп} + I_2 U_2 i^{амп} + I_3 U_3 i^{амп}$								
5	Ефективна потужність двигуна, кВт	$N_e = \frac{N}{\eta_r \cdot 10^3}$								
6	Середній ефективний тиск, МПа	$p_e = 0,12 \frac{N_e}{V_s n i}$								
7	Питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год)	$g_e = \frac{G_n}{N_e}$								
8	Ефективний ККД двигуна	$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{g_e Q_H}$								
9	Середній індикаторний тиск	p_i								
10	Механічний ККД двигуна	$\eta_m = \frac{p_e}{p_i}$								
11	Питома індикаторна витрата палива, кг/(кВт·год)	$g_i = g_e \eta_m$								
12	Індикаторний ККД двигуна	$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}$								
13	Індикаторна потужність, кВт	$N_i = \frac{N_e}{\eta_m}$								
14	Потужність механічних втрат, кВт	$N_{мех} = N_i - N_e$								
15	Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = \frac{0,5G}{14,33G_n}$								

ПРОТОКОЛ РОЗРАХУНКІВ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
"Випробування дизельного двигуна 6ЧН 12/14 за навантажувальним
характеристикою"

№ з.п.	Параметр	Розрахункова формула	Режим роботи двигуна							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Часова витрата дизельного палива, кг/год	$G_n = \frac{3600(G_1 - G_2)}{\Delta \tau}$								
2	Часова витрата повітря, кг/год	$G = \alpha' \sqrt{\Delta h p_n}$								
3	Часова витрата ВГ, кг/год	$G^{вг} = G_n + G$								
4	Електрична потужність генератора, Вт	$N = IU$								
5	Ефективна потужність двигуна, кВт	$N_e = \frac{N}{\eta_r \cdot 10^3}$								
6	Середній ефективний тиск, МПа	$p_e = 0,12 \frac{N_e}{V_s n i}$								
7	Питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год)	$g_e = \frac{G_n}{N_e}$								
8	Ефективний ККД двигуна	$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{g_e Q_H}$								
9	Середній індикаторний тиск	p_i								
10	Механічний ККД двигуна	$\eta_m = \frac{p_e}{p_i}$								
11	Питома індикаторна витрата палива, кг/(кВт·год)	$g_i = g_e \eta_m$								
12	Індикаторний ККД двигуна	$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}$								
13	Індикаторна потужність, кВт	$N_i = \frac{N_e}{\eta_m}$								
14	Потужність механічних втрат, кВт	$N_{мех} = N_i - N_e$								
15	Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = \frac{G}{14,33 G_n}$								