

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів
створенням інноваційного діагностичного комплексу в умовах
автомобільної роти бази забезпечення Командування
Повітряних Сил Збройних Сил України»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи
1АТ-21м спеціальності 274 –

Автомобільний транспорт

_____ Огороднік Д.О.

Керівник: д.т.н., професор каф. АТМ

_____ Поляков А.П.

« ____ » _____ 2022 р.

Опонент: _____

« ____ » _____ 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

_____ к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« ____ » _____ 2022 р.

Вінниця ВНТУ– 2022 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ І ДИЗЕЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА СКЛАДОМ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНА.....	10
1.1 Склад відпрацьованих газів дизелів транспортних засобів, їх вплив на довкілля і людину.....	10
1.2 Вимоги до шкідливих викидів транспортних засобів і технічних нормативів екологічної безпеки.....	14
1.3 Інструментальні методи діагностування подачі палива дизелів і можливості використання інформації про склад відпрацьованих газів з метою контролю параметрів сумішоутворення. Висновки по першому розділу.....	21 35
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ НА ПОКАЗНИКИ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ ЯЗТА-238 ТА НАПРАЦЮВАННЯ ДВИГУНА І ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ В МЕЖАХ РЕСУРСУ ДО КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ НА ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ І ДИМНІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ.....	36
2.1 Методика досліджень впливу регулювальних параметрів паливної апаратури на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238.....	36
2.2 Дослідження впливу напрацювання двигуна і паливної апаратури в межах ресурсу до капітального ремонту на техніко- економічні показники і димність відпрацьованих газів дизелів.....	42
2.3 Дослідження впливу складу відпрацьованих газів на технічний стан паливної апаратури і дизеля.....	48
Висновки по другому розділу.....	63
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ.....	64
3.1 Розробка розрахункових моделей оцінки паливних показників на основі балансу складу відпрацьованих газів.....	64
3.2 Перевірка адекватності методу діагностування за даними моторних випробувань дизелів.....	70
Висновки по третьому розділу.....	84

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ	85
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.	85
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.	88
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.	93
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.	95
Висновки по четвертому розділу	97
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	99
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.	100
5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.	102
Висновки по п'ятому розділу	108
ВИСНОВКИ	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112
ДОДАТКИ.	117

ВСТУП

Актуальність теми. Однієї з організаційно-технічних складових процесу у сфері технічного огляду транспортних засобів являється впровадження автоматизованих інформаційних систем (АІС) в пунктах технічного огляду транспортних засобів, безпеки транспортних засобів в умовах їх експлуатації входять дані про димність відпрацьованих газів в режимі вільного прискорення (ВП) роботи дизельного двигуна. Ці заходи явилися, по суті, розвитком практики системи інструментального контролю екологічних показників транспортних засобів в умовах експлуатації.

Розвиток цих заходів на сучасному етапі обумовлений тим, що транспортні засоби з поршневіми двигунами внутрішнього згорання, будучи найважливішою складовою транспортного процесу [1-4], стали споживати основну масу вироблюваних у світі паливно-мастильних матеріалів – продуктів нафтопереробки [5, 6] і відпрацьованими газами наноситься значний збиток довкіллю і здоров'ю людини [7-10]. Збільшення виробництва дизелів, їх переважне застосування на вантажному транспорті [11,12] роблять ці двигуни основними, а іноді і єдиним джерелом забруднення повітря високотоксичними і канцерогенними шкідливими речовинами [5, 13-16].

Так сумарна встановлена потужність автомобільних ДВЗ, оцінюється величиною 1,3...1,6 млрд. кВт [17], при цьому вони виділяють в атмосферу близько 29,4 млн. т в рік окислу вуглецю С (що складає, приблизно, 68% валового викиду С); 2,0 млн. т оксидів азоту NO_x (31%) 6,0 млн. т вуглеводнів СН (42%) [18, 19]. Є дані [20] про те, що в загальному забрудненні атмосфери планети ДВЗ усіх типів вносять: 93% по викидах СО, більше 65% по викидах СН, 50% – по викидах NO_x і до 30% по викидах сажі.

У зв'язку з відміченими чинниками аналізоване завдання сучасної і перспективної організації контролю технічних і екологічних нормативів безпеки транспортних засобів виходить за рамки технічного і інформаційного забезпечення їх безпечної експлуатації за діючими

стандартами. Надзвичайно актуальний сьогодні аналіз ефективності методів контролю з позицій, по-перше, негативної дії транспортних засобів на довкілля і людину [11, 21-24] і, по-друге, – можливості експрес-контролю споживаного ними вуглеводневого палива [25]. Тобто – розробка на базі діючих методів і процедур контролю технічного стану дизельних двигунів транспортних засобів нових методик технічного діагностування по складу відпрацьованих газів.

Для вирішення цього завдання в її екологічній частині стає актуальним звернути особливу увагу на найбільш небезпечні, з урахуванням індексу токсичності [20], речовини: полідисперсні частки, зокрема, – дизельної сажі [10], визначальній показник димності відпрацьованих газів, вуглеводні, чадний газ (монооксид вуглецю) і оксиди азоту.

Сажа обмежує видимість водіїв, має здатність утримуватися в атмосфері декілька діб [26] і виконує транспортну функцію, адсорбуючи на своїй поверхні поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) мутагенного, і алергенного дії. Порівняно недавно було встановлено [27], що сажа значно активізує канцерогенну активність паливно активних речовин, зокрема, найсильнішого з них – БП ($C_{20}H_{12}$).

Контроль технічного стану ТЗ за показниками токсичності, димності ВГ і витрати палива, не дивлячись на вищевідзначену актуальність, не є самоціллю при вирішенні проблеми негативної дії ТЗ на довкілля і людину. Актуальніша розробка методичних інструментів визначення з їх допомогою (ідентифікації) несправності, тобто, розробка алгоритмів інструментального діагностування ДВЗ – розпізнавання несправностей.

При цьому слід мати на увазі, що тенденції зміни димності і токсичності ВГ дизелів можуть не співпадати з показниками паливної економічності [28-31], що обумовлене відмінністю в механізмах утворення продуктів неповного згорання палива (і пов'язаною з цим паливній економічності) з одного боку і високотемпературних окислювальних механізмів формування оксидів азоту – з іншою [1, 32-35].

Успішне рішення цього складного, такого, що не має однозначної відповіді комплексного завдання [36], можливо лише на основі проведення поглиблених теоретичних і багатофакторних експериментальних досліджень зв'язку викидів сажі та інших шкідливих речовин з технічними параметрами, зокрема, – регулюваннями ТЗ, при використанні сучасних інструментальних засобів контролю [37].

Серед експлуатаційних властивостей технічних систем дизелів, що мають безпосередній зв'язок з показниками потужності, паливної економічності і складу ВГ, що діагностуються, доцільно виділити технічний стан паливної апаратури (ПА), циліндро-прошневої групи (ЦПГ), систем повітряподачі, газорозподілу [3]. Найбільший вплив на економічність і склад ВГ робить технічний стан ПА [2, 29]. Дослідженнями встановлено, що до 75% експлуатаційних відмов дизелів доводиться на ПА; причому біля 50% отказов в роботі ПА обумовлено відхиленнями її регулювальних параметрів в процесі експлуатації від номінальних значень [3].

Розробці методичного рішення розглянутих питань присвячена робота. Дослідження направлено на вдосконалення методів інструментального контролю технічного стану дизельних двигунів шляхом розробки і застосування діагностування технічного стану ДВЗ і ПА з використанням аналізу складу ВГ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методики діагностування паливно-екологічних показників дизельних двигунів транспортних засобів на основі теоретичного і експериментального дослідження взаємозв'язків між складом відпрацьованих газів, технічним станом ДВЗ та витратою палива.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі основні завдання:

- проведення досліджень стану дизельних двигунів транспортних засобів за екологічними і паливно-економічними показниками;

- обґрунтування методу технічної діагностики стану дизельних двигунів транспортних засобів в умовах експлуатації з використанням

аналізу складу ВГ;

- розробка методики і процедури інструментальної діагностики технічного стану дизельних двигунів транспортних засобів по паливно-економічним показникам на основі аналізу складу ВГ;

- розробка рекомендацій щодо розширення застосування методики безрозбірної діагностики технічного стану двигунів транспортних засобів за складом відпрацьованих газів з урахуванням умов експлуатації.

Об'єкт дослідження - вплив технічного стану основних систем двигуна, деталей циліндро-поршневої групи на склад відпрацьованих газів та витрату палива

Предмет дослідження - технічний стан двигуна внутрішнього згорання на різних режимах роботи.

Методи досліджень. Математичне, фізичне та імітаційне моделювання покладено в основу методики діагностування дизельних двигунів транспортних засобів за екологічними і паливно-економічними показниками. Метод стендових випробувань застосований при моделюванні несправностей у паливної апаратури. Цифрові методи реєстрації та обробки результатів застосовані при експериментальних дослідженнях.

Наукова новизна одержаних результатів.

- отриманими закономірностями зв'язку технічного стану дизелів з димністю і складом відпрацьованих газів в умовах реальної експлуатації транспортних засобів;

- теоретично обгрунтованою методикою експрес-контролю витрати палива по аналізу складу ВГ;

- пропозиціями по подальшому розвитку методики діагностування з метою визначення конкретних несправностей ДВЗ.

Практична значимість отриманих результатів.

Впровадження в експлуатацію результатів дослідження дозволить підвищити ефективність технічного огляду ТЗ, повніше використати

міжремонтний ресурс, робити обслуговування машин і їх складових частин по фактичному стану і скоротити витрати часу, праці і матеріальних засобів на виконання профілактичних робіт.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час провадження експериментів.

За результатами дослідження визначено наступні положення:

1. Закономірності зв'язку напрацювання дизелів транспортних засобів з витратою палива, димністю і складом газів, що відпрацювали, в умовах реальної експлуатації.

2. Методика технічного діагностування паливних показників дизельних транспортних засобів в умовах експлуатації з використанням аналізу складу відпрацьованих газів.

3. Рекомендації по розширенню застосовності розробленої методики з метою визначення конкретних несправностей ДВЗ транспортних засобів по складу відпрацьованих газів.

Публікації. Основні положення та результати досліджень за участі автора обговорені на І науково-технічній конференції Вінницького національного технічного університету (НТК ВНТУ) у 2021 році та опубліковані у трьох тезісах:

1. Огороднік Д.О. Аналіз шляхів удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту військової інженерної техніки на гусеничній базі. // А.П. Поляков, Д.О. Огороднік / ВНТУ, 2022 р. І науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету (НТК ВНТУ) Режим доступу до ел. ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12098>.

2. Огороднік Д.О. Порівняння системи технічного обслуговування і ремонту військової інженерної техніки в зарубіжних країнах. // А.П. Поляков, Д.О. Огороднік / ВНТУ, 2022 р. L науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету (НТК ВНТУ) Режим доступу до ел. ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12099>.

3. Огороднік Д.О. Особливості організації експлуатації військової інженерної техніки. // А.П. Поляков, Д.О. Огороднік / ВНТУ, 2022 р. L науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету (НТК ВНТУ) Режим доступу до ел. ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12103>.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ І ДИЗЕЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА
СКЛАДОМ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНА

1.1 Склад відпрацьованих газів дизелів транспортних засобів, їх вплив на довкілля і людину

Відпрацьовані гази ДВЗ є сумішшю газоподібних, рідких і твердих (у вигляді аерозольних часток) з'єднань органічного і неорганічного походження і є нині предметом пильного вивчення із застосуванням новітніх методів досліджень: оптичної спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу, маспектрометрії, хроматографії, атомно-адсорбційного аналізу, лазерного відображення і інших. Загальне число різних сполук, виявлених у ВГ ДВЗ, нині налічує декілька сотень і безперервно зростає у міру розширення досліджень [1, 2].

У загальному випадку склад і кількість шкідливих речовин у ВГ ДВЗ транспортних засобів залежать від виду палива, типу двигуна і режиму його експлуатації (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні інгредієнти у складі відпрацьованих газах ДВЗ транспортних засобів, млн⁻¹

Інгредієнт, показник	Паливо		
	Дизильне	Газ	Бензин
Оксид вуглецю	200-400	10-8000	300-50000
Вуглеводні	до 300	до 600	до 10000
Альдегіди	до 20	Сліди	до 40
Оксиди азоту	200-2000	300-800	1000-4000
Сажа, г/м ³	до 0,25	Сліди	до 0,05
Бенз (а) пірен, мкг/м ³	до 20	до 0,8	до 80
Озонотвірний потенціал, мг/міл.	до 270	до 50	до 550

Як впливає з табл. 1.1, для двигунів з іскровим запаленням і дизелів характерними токсичними складовими ВГ є окисел углероду, незгорілі вуглеводні, альдегіди, оксиди азоту. До шкідливих складових відносяться також частки – зневоднений аерозоль ВГ, що затримується фільтром із склотканини, покритий пластиком, при температурі, що не перевищує 52 °С, частинки сажі, незгорілих залишків палива і олії, незгорілих вуглеводнів (з палива і олії), сірчаної кислоти, сірчаноокислих екстрактів з води і органіки, металів, окалини і мінералів з присадок олії і омиваних газом металевих поверхонь самого двигуна. Останніми роками, у зв'язку з небезпекою забруднення довкілля озоном, стали звертати увагу на схильність палив до утворення останнього в атмосфері під впливом сонячної радіації – "озонотвірний потенціал".

Нині існують різні оцінки негативної значущості тих або інших токсичних компонентів ВГ відносно їх дії на довкілля і людину [1, 2]. Очевидно, певна неузгодженість різних оцінок пов'язана з тим, що комплексна дія шкідливих речовин на людину і довкілля вивчена ще недостатньо повно. Цілий ряд речовин канцерогенної і мутагенної дії може позначитися негативно на здоров'ї у ряді подальших поколінь людей [8, 13, 16, 23, 32, 33]. Проте, накопичені данні [9] дозволяють поставити на перше місце по токсикологічній небезпеці оксиди азоту NO_x , окисел вуглецю C , вуглеводні CH і сажу, що є джерелом димлення дизелів і адсорбентом ПАВ, зокрема, бенз(а)пірена.

Сажа з точки зору дії на організм людини займає особливе місце. Дослідження [7] показали, що при зміні 130 мг сажі в 1 м^3 ВГ вони стають видимими, а при зміні 600 мг сажі в 1 м^3 ВГ останні набули кольору середньої чорноти. Питома поверхня часток сажі знаходиться в межах до $75 \text{ м}^2/\text{г}$. Отже, в 1 м^3 видимих ВГ є поверхня для можливого осадження на ній до 10 м^2 шкідливих речовин, а в 1 м^3 ВГ середньої чорноти до 45 м^2 . За сучасними уявленнями [5] сажа, будучи переносником бенз(а)пірена, грає

активну роль в утворенні злоякісних пухлин.

Канцерогенна дія без(а)пирена пояснюється його взаємодією з білками і нуклеїновими кислотами, що викликають порушення, що ведуть до трансформації нормальних клітин в пухлинні. Механізм дії бенз(а)пирена до кінця не розкритий. Проте дією бенз(а)пирена можна пояснити виникнення професійного раку у сажотрусів, парафінщиків і інших працівників, шкіра яких піддавалася тривалому забрудненню смолами, а також випадки раку легенів у працівників газової промисловості. Досліди, що проводяться, на тваринах показали, що при введенні мишам і щурам по 1-2 мг бенз(а)пирена в олії саркоми виникають вже через 4-5 місяців; при змазуванні їм шкіри (0,5% розчином у бензолі) через 2-3 місяці з'являються папіломи, а через 4-5 місяців – рак майже у 100 тварин [15, 16].

Разом з вуглеводнями оксиди азоту NO і NO_2 грають особливу роль у фотохімічних процесах, що відбуваються в тропосфері і стратосфері при сонячному світлі, що є причиною утворення фотохімічного смогу і появи в повітряному приземному шарі високих концентрацій нітрозамінов і озону O_3 [18]. Приземний озон утворюється в циклі складних фотохімічних реакцій за участю різноманітних малих газових складових [24], серед яких основними компонентами, що ініціюють появу озону, являються не лише оксиди азоту NO_x , але і окисел вуглецю CO , а також численні вуглеводні CH , альдегіди і кетони.

Тренд щорічного приросту концентрацій приземного озону на більшості станцій контролю [24] коливається в межах від 1 до 3. Сьогодні тільки в Західній Європі, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я [10], у регіонах, де спостерігається перевищення допустимих концентрацій озону, мешкає більше сотні мільйонів людей.

Характер дії конкретних компонентів ВГ на організм людини детально викладений в [3]. У таб. 1.2 приведені загальні відомості про токсикологічну небезпеку окремих речовин ВГ.

Таблиця 1.2 – Склад основних з'єднань ВГ дизелів

Речовина або клас речовин	Зміст, %	Якісна характеристика токсичності	Клас небезпечності	<u>ПДК,</u> <u>мг/м³</u>
Азот (N ₂)	75-78	нетоксичний	-	-
Кисень (O ₂)	2-20	нетоксичний	-	-
Вуглекислий газ (CO ₂)	0,5-12	нетоксичний	-	-
Пари води	10-12	нетоксичний	-	-
Водень (H ₂)	0,01-0,5	нетоксичний	-	-
Окисел вуглецю (CO)	0,001-1,0	КЯ, НС	4	20
Вуглеводні (СН) в перерахунку на пропан (C ₃ H ₈)	0,001-0,2	КЯ, КТ, Г, НС, Н, П, ПО, СС, С, РС	2-4	300
Оксиди азоту (NO _x) в перерахунку на NO ₂	0,02-0,2	КЯ, КТ, НС, О, П, РС	2	2,0
Сажа	0,01-1,0		4	4,0
Альдегіди в перерахунку на акролеїн (C ₃ H ₄ O)	0,001-0,01	Г, Н, НЯ, НС, О, П, ПО, РС, С	2-3	0,02
Формальдегід (CH ₂ O)	0,0001-0,002	О, П, ПО, НС, РС, С	2	0,5
Бенз(а)пирен	-	К, М	1	1,5*10 ⁻⁴

Прийняті в табл. 1.2 скорочення означають наступне: О-загальна токсична дія, Г-ураження зорового нерва і сітківки очей, помутніння кришталика, опіки рогівки; К-канцероген; КТ-отрути, що діють на кровотворення (викликають зміну кількості лейкоцитів, еритроцитів); КО-кров'яні отрути (викликають безпосередню зміну складу крові); М-мутаген; Н-наркотики; НС-ураження нервової системи; НЯ-нервові отрути; П-ураження печінки; ПО-ураження нирок; РС-дратують слизові оболонки очей і дихальних шляхів; С-утворення смогу; СС-поразка судинної системи; У-задушлива дія.

1.2 Вимоги до шкідливих викидів транспортних засобів і технічних нормативів екологічної безпеки

Сучасні тенденції розвитку автомобільної промисловості, а також активне зближення України останнім часом з Євросоюзом зобов'язують до застосування відповідних міжнародних вимог по екологічній безпеці транспортних засобів [38].

За прогнозами захисту довкілля від токсичних викидів транспортних засобів, і, зокрема, дизелів транспортних засобів, норми Євро-3, Євро-4 і Євро-5 при їх введенні і дотриманні дозволять до 2025 року понизити викиди NO_x на 70%, твердих часток на 90% по порівнянню з 1995 роком.

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі норми токсичності для вантажних дизельних автомобілів (Правила №49 ЕСК ООН)

Компонент відпрацьованих газів	Гранично допустимі значення викидів шкідливих речовин, г/(кВт*год)			
	01.10.1990 р.	I етап, “Євро 1” з 01.10.93 р.	II етап, “Євро 2” з 01.10.96 р.	III етап, “Євро 3” з 01.10.99 р.
СН	2,4	1,23	1,1	0,6
NO_x	14,4	9,0	7,5	5,0
СО	11,2	4,9	4,0	2,0
Частки	-	0,36	0,15	0,1

У таб. 1.4 – 1.7 приведені вимоги ЄС по граничних значеннях викидів, що вводяться з 2000 року (Євро – 3), з 2005 року (Євро – 4), а також, так звані "форсовані" екологічні вимоги, які застосовуються на добровільній основі.

Таблиця 1.4 – Вимоги ЄС для великовантажних автомобілів, що вводяться з 2000 року (Євро-3) і 2005 року (Євро-4) року

Дата	СО	СН, г/(кВт*год)	NO_x	Частки	Димність
2000	2,1	0,66	5,0	0,10; 0,13 ¹⁾	0,8
2005	1,5	0,46	3,5 ²⁾	0,02	0,5
ЕЕУ ³⁾	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15

1) для двигунів з робочим об'ємом циліндра менше $0,75\text{дм}^3$ і

номінальною частотою обертання більше 300 мін^{-1} ;

2) з 1 жовтня 2008 р. гранична величина для NO_x буде встановлена 2,0;

3) "форсовані" вимоги.

Виробники автомобілів, що відповідають "форсованим" вимогам, отримують економічні пільги від Урядів своїх держав.

Таблиця 1.5 – Вимоги ЄС до автомобілів M1 і N1 класу 1 ($m < 1,305$ кг), що вводяться з 2000 року (Євро-3) і 2005 року (Євро-4)

Дата	CO, г/км		HC, г/км		NO _x , г/км		HC+ NO _x , г/км		Частки, г/км
	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	
2000	23 (30%)	0,64 (40%)	0,20 (40%)	-	0,15 (40%)	0,50 (20-40%)	-	0,56 (20-40%)	0,05 (35-50%)
2005	1,0 (70%)	0,50 (54%)	0,10 (54%)	-	0,08 (68%)	0,25 (60-70%)	-	0,30 (58-68%)	0,025 (68-75%)

* у дужках дані міри посилення по відношенню до рівня Євро-2

Таблиця 1.6 – Вимоги ЄС до автомобілів N1 класу 2 ($1,305 \text{ кг} < m < 1,760 \text{ кг}$), що вводяться з 2000 (Євро-3) і 2005 (Євро-4)

Дата	CO, г/км		HC, г/км		NO _x , г/км		HC + NO _x , г/км		Частки, г/км
	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	
2000	4,17	0,80	0,25	-	0,18	0,65	-	0,72	0,07
2005	1.81	0,63	0,13	-	0.10	0,33	-	0,039	0,04

Таблиця 1.7 – Вимоги ЄС до автомобілів N1 класу 3 ($m > 1,760$ кг), що вводяться з 2000 року (Євро-3) і 2005 року (Євро-4)

Дата	CO, г/км		HC, г/км		NO _x , г/км		HC+ NO _x , г/км		Частки, г/км
	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	бенз.	диз.	
2000	5,22	0,95	0,29	-	0,21	0,78	-	0,86	0,10
2005	2,27	0,74	0,16	-	0,11	0,39	-	0,46	0,06

Передбачається ближчим часом введення нових екологічних показників автомобілів і двигунів. Для дизельних автомобілів категорій N1, N2, M2, M3 для цілей схвалення типу терміном дії до 1 року були встановлені вимоги Євро-1 до 1.01.2000 року і (табл. 1.8).

Введення державних стандартів на базі Правил ЄЕК ООН істотно змінило ситуацію. Вступає в силу система контролю за виконанням

стандартів за усіма наслідками, що випливають. Проте, введення в дію державних стандартів, само по собі, не знімає проблем в частині виробництва і реалізації на ринку екологічно чистих транспортних засобів.

Більш того, одномоментне і неухильне виконання цих стандартів може призвести до настільки ж одномоментної зупинці виробництва практично на всіх автомобільних і моторних заводах країни.

За методичну основу Правил прийнятий випробувальний тест, який передбачає послідовне зняття 13-ти стаціонарних режимів роботи двигуна.

У число нормованих викидів шкідливих речовин ВГ введені так звані «частки» (РМ – від англійського Particulate Matter) – нерозчинні (сажа, сульфати, оксиди металів, абразивні частинки) і розчинні (вуглеводні).

Таблиця 1.8 – Обмеження щодо викидів шкідливих речовин з ВГ

Викиди шкідливих речовин ТЗ, одиниці виміру	Категорії ТЗ, маса, кг	Граничнодопустимі величини			
		СО	СН+ NO*	частинки	палив. ісп / 4)
Працюючих на не етилованому бензині і ТЗ з дизелями, г/км	M1 ⁽¹⁾ – все N1 ⁽²⁾	2,72	0,97	0,14	2
	m < 1250 кг	2,72	0,97	0,14	2
	1250 < m < 1700	5,17	1,4	0,19	2
	m > 1700 кг	6-9	1,7	0,25	2
З іскровими двигунами, робота на бензині, г / (кВт год)	M2, M3, N2, N3				
	з V _h < 5,9 л з V _h > 5,9 л	30 80	21 17		
З дизелями, г/(кВт·год)	M1 (повна маса > 3,5 т) і M2, M3, N1, N2, N3	на 3 роки			
		4,0	1,1	7,0	0,15
		на 1 рік			
		4,5	1,1	8,0	0,36
		на 1 рік			
4,0	1,1	7,0	0,15		
Димність відпрацьованих газів	M1, M2, M3, N1, N2, N3	коефіцієнт поглинання світлового потоку (K), 1/м; 1,065 < K < 2,26 залежно від режиму двигуна			

1) за винятком: ТЗ, призначених для перевезення більше 6 пасажирів, включаючи водія; ТЗ, максимальна маса яких перевищує 2,5 тонни;

2) а також включаючи ТЗ категорії М, які вказані в 1);

3) тільки для дизелів;

4) для ТЗ з бензиновими двигунами, г/ісп.

5) нормовані показники повинні зберігатися протягом пробігу 80000 км.

Наявність сажі (твердого вуглецю) в ВГ ДВЗ трактується як «димність ВГ» – або як чисто характеристика непрозорості ВГ (в % шкали Hartridge при оптичному способі вимірювання димомірами), або як сажовміст (в одиницях шкали Bosch, при фільтраційному способі вимірювання сажомірами). Між зазначеними одиницями виміру, а також між ними і масовою концентрацією сажі в ВГ дизелів існує певна кореляція (табл. 1.9).

Таблиця 1.9 – Співвідношення між одиницями димності і вмісту сажі в відпрацьованих газах дизелів

Концентрація сажі, г/м ³	Одиниці Bosch	Одиниці Hartridge (для приладу з вимірювальною базою 0,43 м)	
		%	м ⁻¹
0,025	0,9	10	0,245
0,05	1,75	20	0,519
0,1	2,6	30	0,829
0,125	3,3	40	1,188
0,2125	3,85	50	1,612
0,325	4,6	60	2,131
0,43	5,15	70	2,800
0,65	5,7	80	3,743
0,75	6,35	90	5,355
0,95	7,0	94,5	6,900

З точки зору виявлення відповідності між поняттями «частки» і «димність» необхідно брати до уваги ту обставину, що непрозорість ВГ залежить від дисперсності сажі (чим дрібніше сажа, тим більше димність при тій же масовій концентрації сажі в ВГ), від наявності частинок парів води (які не відносять до небезпечних частинок), а також від наявності частинок рідких вуглеводнів – масла і палива. У зв'язку з цим, перерахунок димності з одиниць Hartridge в одиниці Bosch слід вважати наближеним.

Метод прямого вимірювання масової концентрації частинок не завжди доступний, тому робляться спроби визначення викиду частинок з ВГ дизелів на основі розрахункових методів. Наприклад, наступного типу:

$$PM = 1,024 * C + 0,505 C_n H_m.$$

В цьому випадку вміст сажі ідентифікується з нерозчинними частинками, а вуглеводні – з розчинними. Таким чином, передбачається, що частки складаються на 67% з нерозчинних частинок і на 33% з розчинних.

При випробуваннях по 13-ті ступінчастому циклу відповідно до методики Правил ЄЕК ООН № 49-02 закономірність зміни концентрації РМ (рис. 1.1, дані фірми «Perkinz») відрізняється від відповідної закономірності зміни димності ВГ (характерне зміна, наведено також на рис. 1.1). Димність ВГ максимальна на режимах зовнішньої швидкісної характеристики (режими № 6 – максимальний крутний момент, і № 8 – номінальна потужність). Концентрація ж частинок максимальна на режимах навантажень нижчі за середні – режими № 3 і № 12 – 25% навантаження від відповідно режиму № 6 і № 8. Таким чином, незважаючи на те, що емісія часток в основному визначається викидом сажі, в даному випадку максимальна концентрація РМ відповідає режимам з підвищеним, очевидно, викидом вуглеводнів.

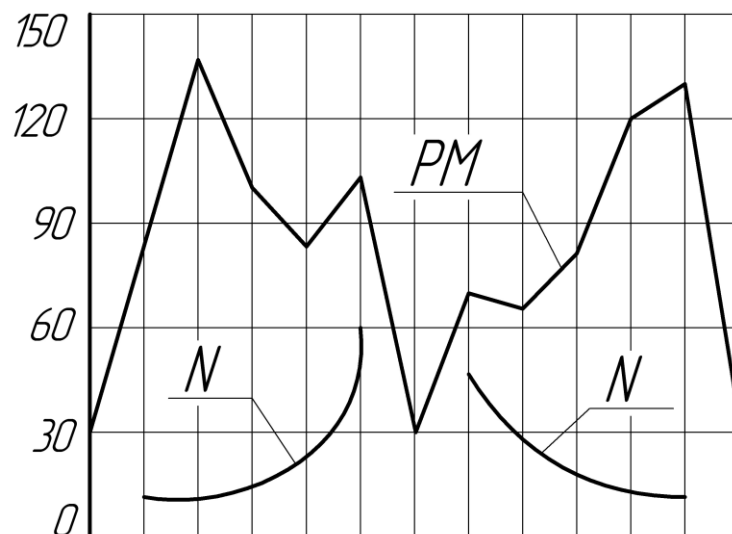


Рисунок 1.1 – Співвідношення концентрації частинок (РМ, г/м^3) і димності ВГ (14,%) при випробуваннях по 13-ті режимному циклу Правил ЄЕК ООН №49-02

Оцінка димності відпрацьованих газів в Європейських країнах на рівні

Євро-2 регламентувалася Правилами № 24 ЄЕК ООН. Оцінка димності ВГ дизелів проводиться при стендових випробуваннях на режимах зовнішньої швидкісної характеристики і ВП, а в умовах експлуатації на режимах максимальної частоти обертання холостого ходу і ВП. Основним нормуємим параметром димності є коефіцієнт поглинання світла (K , m^{-1}), який характеризує ослаблення світлового потоку видимій частині спектру при проходженні їм одиниці довжини стовпа нерозбавлених відпрацьованих газів.

Граничні норми димності показані на графіку (рис. 1.2) і встановлюються в залежності від номінальної витрати відпрацьованих газів.

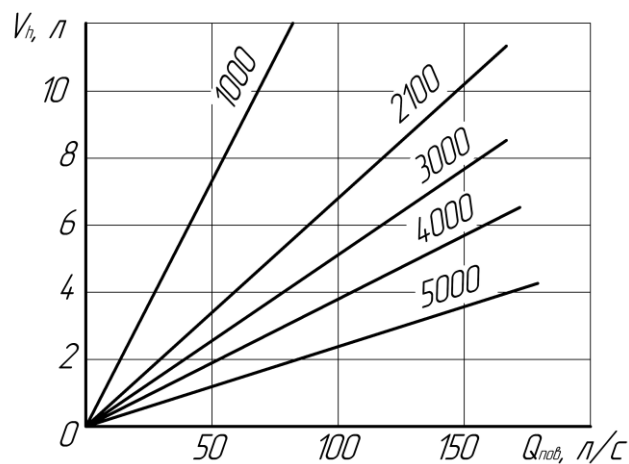
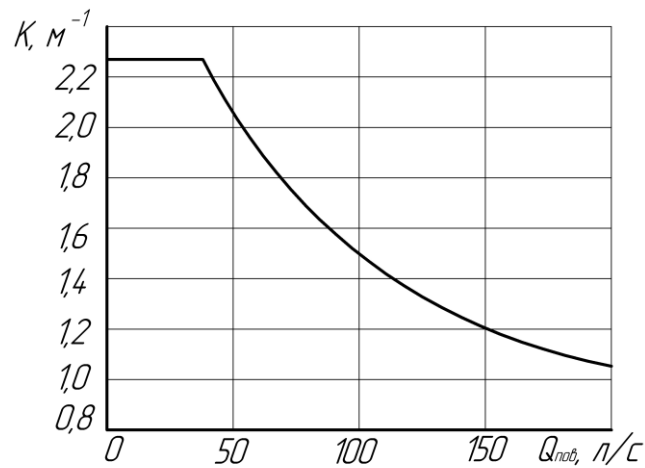


Рисунок 1.2 – Предельно припустими норми димності ВГ дизелів за правилами № 24 ЄЕК ООН [38]

Граничні норми димності показані на графіку (рис. 1.2) і встановлюються в залежності від номінальної витрати відпрацьованих газів, що визначається за формулою:

$$Q_{or} = \frac{V_h \cdot n}{m},$$

де V_h – робочий об'єм циліндрів дизеля, дм^3 ;

n – частота обертання колінчастого вала двигуна, с^{-1} ;

m – коефіцієнт тактності.

Правила № 24-03 встановлюють граничні значення димності ВГ на сталих режимах, які не повинні перевищувати значень, зазначених в табл. 1.10.

Таблиця 1.10 – Граничні значення димності ВГ за правилами № 24-03 ЄЕК ООН.

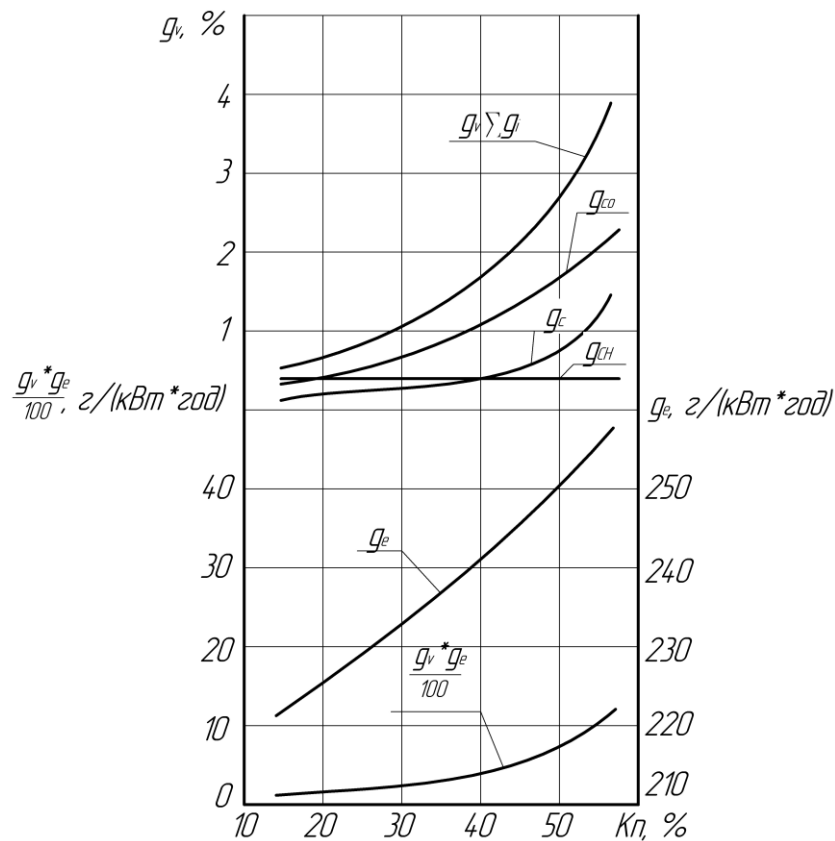
Витрата відпрацьованих газів, л/с	Граничне значення коефіцієнта	Витрата відпрацьованих газів, л/с	Граничне значення коефіцієнта
<42	2,260	125	1,345
45	2,190	130	1,320
50	2,080	135	1,300
55	1,985	140	1,270
60	1,900	145	1,250
65	1,840	150	1,225
70	1,775	155	1,205
75	1,720	160	1,190
80	1,665	165	1,170
85	1,620	170	1,155
90	1,575	175	1,140
95	1,535	180	1,125
100	1,495	185	1,110
105	1,465	190	1,095
110	1,425	195	1,080
115	1,395	>200	1,065
120	1,370		

Виміряна димність ВГ на режимі вільного прискорення дизелів з турбонадувом не повинна перевищувати, більш ніж на $0,5 \text{ м}^{-1}$ граничне

значення, що відповідає максимальному коефіцієнту поглинання, виміряного при випробуваннях в сталих режимах.

1.3 Інструментальні методи діагностування подачі палива дизелів і можливості використання інформації про склад відпрацьованих газів з метою контролю параметрів сумішоутворення

Витрата палива в двигуні – один з головних параметрів ефективності його роботи. Він безпосередньо пов'язаний з механічним і хімічним недогоранням палива (рис. 1.3) і тому розробці методів його діагностування в умовах експлуатації приділяється особлива увага дослідників.



g_{CH} – втрати за CH ; g_{CO} – втрати за CO ;
 g_c – втрати по сажі; g_v – сумарні втрати;

Рисунок 1.3 – Результати розрахунку недовикористання тепла при неповному згорянні палива

Найбільш поширеними, в даний час, є методи оцінки витрат, засновані на безпосередньому вимірі маси (ваги) або обсягу палива, що витрачається двигуном за певний проміжок часу [39, 40]. Ці методи принципово прості і забезпечують достатню точність вимірювань, однак, їм властиві істотні недоліки, які роблять скрутним їх застосування в умовах рядовий експлуатації і, особливо в польових умовах. Це обумовлено застосуванням вагових пристроїв високого класу точності, мірних судин або іншого спеціального обладнання. Крім того, при застосуванні цих методів, двигун повинен бути переведений на живлення з мірних судин, що вимагає розбирання паливної системи.

Труднощі організації визначення витрати палива при експлуатації пояснюються також специфічністю процедур і умов вимірювання: досить широкий діапазон вимірюваної витрати (2...70 л/год), необхідність наявності громіздкого обладнання для забезпечення навантаження двигуна, значний перепад температур навколишнього повітря. Певні труднощі у вимірюванні витрати палива дизеля пов'язані з пульсуючим характером подачі паливоподкачиваючим насосом і нерівномірним рухом паливного потоку по трубопроводах.

Витрата палива дизеля може бути визначена також на виході з форсунок. На цьому принципі заснований, наприклад, паливовимірювач ГОСНИТИ КИ-4818, якій застосовується в даний час на пересувних діагностичних установках [40]. Він дозволяє вимірювати як повну об'ємну витрату палива, так і окремо по циліндрах. Але застосування його також вимагає розбирання системи паливоподачі високого тиску, що пов'язано з великими витратами часу, а при частому розбиранні, – зниженням надійності двигуна.

Для цілей експлуатаційного контролю більш зручні методи непрямого вимірювання об'єму витраченого палива [40] шляхом:

- вимірювання швидкісного напору потоку палива або перепаду тиску на звужуючому пристрої (діафрагма, сопло);

- введення в потік палива трубок Вентурі або ротаметра;
- прокачування палива через фіксовані мірні обсяги з підрахунком кількості прокачаної його доз електричним лічильником;
- введення в потік палива різного роду датчиків, які перетворюють його фізичні параметри (тиск, швидкість, магнітну проникність і т. д.) в електричні величини і подальшого їх вимірювання і т. д.

До останньої групи можуть бути віднесені витратоміри, засновані на принципі вимірювання тепловіддачі від нагрітих датчиків в потік палива і вихрові витратоміри. Так, існують пристрої, в яких спеціальний датчик з постійним підведенням теплоти омивається потоком палива в паливопроводі. При зміні кількості палива, що проходить через паливопровід за одиницю часу, змінюється температура датчика, що і фіксує його чутливим елементом – термоперетворювачем. Вихідним сигналом такого пристрою може служити, наприклад, зміна електричного опору термоперетворювача.

Відомі витратоміри, засновані на принципі зміни перепаду температур між двома термоперетворювачами, зміщеними по ходу потоку палива [40]. Проте, ці методи можуть відповідати вимогам оперативного контролю лише у разі постійного знаходження датчиків або мірних пристроїв в системі живлення двигуна. В іншому випадку їх установка не вимагає втручання в паливну систему.

Як показують результати досліджень значний економічний ефект в умовах експлуатації дає спосіб визначення витрати палива дизелів в режимі його вільного розгону без підключення двигуна до гальмової установки [40], оскільки це значно спрощує визначення показників паливної економічності двигуна в польових умовах.

У ГОСНИТИ був розроблений витратомір КИ-12371. Він призначений для вимірювання миттєвого і середнього значень об'ємної витрати палива в діапазоні від 2 до 70 л/год. При діагностуванні дизеля витратомір підключається в паливну магістраль двигуна між фільтром тонкого очищення палива і виходом підкачуючого насоса.

Максимальне значення витрати палива може визначатися в режимі вільного розгону двигуна з використанням ротаметричного диференційно-трансформаторного датчика типу РЕ, шляхом використання імітатора завантаження двигуна (дроселюванням впускного повітряного тракту двигуна) із застосуванням тахометричного датчика типу РЕ (КИ-12371 ГОСНИТИ).

Відомий спосіб визначення витрати палива [41], який заснований на вимірі витрати палива при розгоні з одночасним виміром кількості обертів вала двигуна на ділянках з різними подачами палива. В процесі розгону тахометром вимірюється кількість обертів холостого ходу до повної подачі палива. Надалі відбувається розгін двигуна при повній подачі палива до моменту початку дії регулятора. В цей час вимірюють кількість обертів двигуна. Після початку дії регулятора подача палива зменшується від повної до мінімальної – при досягненні частоти обертання, що відповідає максимальним обертам холостого ходу. Частота обертання вала двигуна фіксуються при цьому тахометром числа обертів.

Велике поширення для транспортних засобів з бензиновими двигунами отримали прилади, що вимірюють об'єми палива і швидкість подачі палива [40]. Перевірка витрати палива в умовах ремонтного підрозділу частини може здійснюватися, наприклад, за допомогою найпростішого витратоміра палива НІІАТ-ІК-10, який монтується між карбюратором і паливним насосом. Відносна похибка вимірювання становить 1,5 – 2,0%.

Більш досконалими приладами є витратоміри безперервної дії – поршневі, мембранні та крильчасті. Витратомір палива ЛО-12 конструкції НІІАТ здійснює вимірювання з точністю $\pm 1\%$ та витратомір палива безперервної дії фотоелектричного типу К-457. Принцип дії витратоміра палива заснований на пропорційності витрати палива частоті обертання ротора. Межа виміру палива від 15 до 2000 см³/хв. Похибка вимірювання $\pm 2,5\%$.

Із зарубіжних зразків раніше були відомі переносні електронні

витратоміри моделі Д-7102 фірми "Ромесс Рогг" (ФРН) [40]. Робота витратомірів заснована на перетворенні величини переміщення поплавця в електричні сигнали. Діапазон вимірювань до 50 л/год з точністю до 2%. Витратомір відноситься до приладів безперервної дії. Його установка на автомобіль займає не більше 5 хвилин.

На підставі аналізу можна зробити висновки про те, що розглянуті методи вимірювання витрати палива не можуть задовольнити повною мірою вимогам оперативного експлуатаційного контролю паливно-економічних показників, оскільки мають ряд істотних недоліків, основним з яких є необхідність часткового розбирання двигунів з втручанням у паливоподаючу систему. Це тягне за собою додаткові трудові витрати і зниження надійності паливної системи і всього двигуна в цілому, внаслідок можливого попадання повітря і інших сторонніх домішок в паливопроводи і порушення герметичності системи паливоподачі після розбирання.

З точки зору вирішення поставленої мети оперативної оцінки паливних показників, певний інтерес можуть представляти методи непрямого виміру паливних показників, що виключають втручання в систему паливоподачі. Діагностичними показниками, за якими можна було б непрямим чином проводити оцінку витрат палива ДВЗ, є компонентний склад і димність ВГ. Застосування методів оцінки технічного стану двигуна і паливної апаратури дизелів по димності і складу ВГ є зручним з точки зору оперативності контролю.

При цьому, представляє певну доцільність поєднання аналізу технічного стану ДВЗ і паливної апаратури дизелів з контролем показників їх екологічної безпеки, наприклад, на станціях інструментального контролю технічного стану транспортних засобів. У разі такого поєднання знизяться витрати на діагностичні обладнання, т.к. засоби контролю токсичності ВГ можуть дати, наприклад, і вихідну інформацію для визначення паливних показників двигуна.

Останнім часом все більш широке застосування для контролю паливної

економічності, токсичності та димності ВГ дизелів знаходить режим вільного прискорення. Вимірювання димності ВГ на режимі вільного прискорення проводиться при десятикратному повторенні циклу зміни частоти обертання від мінімальної до максимальної швидким, але плавним натисканням педалі подачі палива до упору з інтервалом не менше 15 с. Вимір показників здійснюється в останніх чотирьох циклах за максимальним відхиленням даних вимірювання приладом.

Перевагою методу перевірки димності на режимі вільного прискорення є можливість роботи двигуна, хоч і короткочасно, на режимі повних навантажень в широкому діапазоні частоти обертання вала двигуна. Виконати вимірювання можна просто і швидко, відтворюваність режимів досить висока, проте вимірювання димності можуть забезпечити тільки прилади, що працюють на принципі просвічування відпрацьованих газів. Метод вільного прискорення при контролі димності дизелів широко застосовується як при контролі нових, так і тих, які перебувають в експлуатації двигунів транспортних засобів.

Істотний вплив на стабільність і точність вимірювання діагностичних параметрів двигуна, надає спосіб завдання режимів вільного прискорення. Інструкцією з діагностування дизелів приладом ІМД-Ц рекомендується режими вільного прискорення створювати вручну шляхом впливу оператора на важіль керування паливоподачою. Однак, на повне переміщення важеля управління паливоподачою вручну з положення, відповідающому мінімально стійкій частоті обертання холостого ходу до упору різними операторами витрачається від 0,4 до 0,9 с.

Така невизначеність у завданні закону впливу на важіль керування паливоподачою часто призводить до нестабільності результатів вимірювань діагностичних параметрів двигуна. Нестабільність результатів вимірювань кутового прискорення послідовних циклів вільного розгону двигунів транспортних засобів коливається в межах 5...7%. Існуючі пристрої для впливу на важіль управління паливоподачою при безтормозному

динамічному способі навантаження двигунів, виконавчий механізм яких може бути пневматичним, гідравлічним, електромагнітним або електромеханічним, дозволяють підвищити точність і зменшити нестабільність вимірювання параметрів двигунів при діагностуванні. До недоліків цих пристроїв слід віднести громіздкість обладнання, високі ударні навантаження на деталі регулятора паливного насоса, певні труднощі з встановлення часткових режимів за оборотами двигуна.

В останні роки широке застосування знаходить безтормозний динамічний спосіб навантаження двигуна [40, 42, 43] при визначенні потужності, паливних і екологічних показників роботи ДВЗ. Однак, для підвищення точності і стабільності результатів вимірювань діагностичних параметрів при динамічному способі навантаження двигунів, необхідно обґрунтувати закон впливу на важіль керування паливopoдачою, що гарантує роботу двигуна по зовнішній коректорній гілці регуляторної характеристики та розробити пристрій, що реалізує цей закон.

Аналіз літературних джерел показує, що питанням діагностування технічного стану ДВЗ за складом ВГ приділяється значна увага. Є роботи, присвячені дослідженню зв'язків основних регульовальних параметрів двигуна і паливної апаратури по вмісту токсичних компонентів і димності ВГ [18, 21, 22-26].

У роботах [7, 29, 42] проведені дослідження по виявленню впливу зносу двигуна на викиди токсичних речовин. В роботах [29, 33] доводиться можливість застосування токсичності ВГ в якості діагностичних параметрів граничного стану двигунів транспортних засобів. В окремих роботах розглядаються методичні питання діагностування двигунів з використанням аналізу складу ВГ. Так, в роботі [31] наводяться відомості про діагностування загального технічного стану двигунів, в роботах [31-33] – відомості про діагностування циліндро-поршневої групи.

В останні роки в діагностичній практиці стали застосовуватися інструментальні методи, що дозволяють оцінювати за димністю і аналізу

складу ВГ ступінь завершеності окислювальних реакцій, і, отже, – паливної економічності двигуна. Найбільш близько до цього питання підійшли дослідники, що займаються оцінкою використання палива і повітря в робочому циклі двигуна за результатами аналізу складу ВГ. Зазвичай така оцінка зводилася до визначення повітряно-паливного співвідношення (коефіцієнта надлишку повітря) [39, 42, 44, 45].

Великий інтерес представляє метод визначення технічного стану двигуна по складу ВГ і картерних газів, який є серйозним резервом розвитку безрозбірної діагностики ДВЗ в цілому і може являти собою систему діагностики деталей паливної апаратури і ЦПГ. Дійсно, відпрацьовані і картерні гази ДВЗ несуть інформацію про технічний стан, наприклад, паливної апаратури, ЦПГ, можуть побічно вказувати на ступінь теплонапруженості його окремих деталей.

По виходу оксидів азоту можна судити і про регулювання кута випереження паливоподачі, про температуру поршнів і головки блоку циліндрів, про ступінь збільшення нагару (щодо збільшення ступеня стиснення і виходу, внаслідок цього, підвищеної концентрації окислів азоту з відпрацьованими газами). За наявності підвищеного вмісту в картерних і відпрацьованих газах парів води можна визначити нещільності в ЦПГ і системі охолодження двигуна.

Діагностичними ознаками появи несправностей дизеля, пов'язаних з попаданням масла в камеру згоряння, є колір відпрацьованих газів, витрата мастила і значення надлишкового тиску газів у картері двигуна. Чорний колір ВГ є показником нестачі повітря в паливній суміші; наявність синього або темно-синього відтінку в ВГ свідчить про згорянні надлишкової кількості масла. Однієї з розповсюджених причин потрапляння останнього в камеру згоряння є знос поршневих кілець і втулок циліндрів, а також вироблення втулок клапанів і їх ущільнень.

Одним з ефективних способів визначення надмірної подачі палива є контроль температури ВГ і величини розрідження у впускному колекторі в

сталому режимі при повному навантаженні дизеля. Підвищена температура ВГ вказує на зменшення коефіцієнта надлишку повітря. Температура ВГ досить повно характеризує технічний стан дизеля і є легко контрольованим діагностичним параметром.

Для підвищення ефективності діагностування паливно-економічних властивостей автомобіля, а також зниження трудомісткості діагностування була досліджена принципова можливість та розроблено методику кількісної оцінки витрати палива за непрямими критеріями. В якості непрямих параметрів паливної економічності прийнятий аналіз складу ВГ. Даний метод заснований на вимірюванні величин окремих компонентів продуктів згоряння, концентрація яких в значній мірі залежить від технічного стану двигуна і його систем, що впливають на повноту згоряння палива. Якісне уявлення про технічний стан двигуна і його систем дасть аналіз ВГ на димлення, а також вміст CO, CO₂ і CH.

Використання окису вуглецю в якості непрямого параметра паливної економічності дозволяє легко автоматизувати процес діагностування автомобіля, а також контролювати викиди шкідливих речовин у продуктах згоряння на основних експлуатаційних режимах.

В основному така оцінка зводиться до визначення повітряно-паливного співвідношення (коефіцієнта надлишку повітря) в циліндрах двигуна, значення якого може бути визначено, виходячи з балансу основних компонентів складу палива і повітря.

Так, при повному згорянні палива рекомендується до використання залежність, отримана на основі балансу азоту і кисню

$$\alpha = 1 / (1 - 3,785 * (O_2 N_2)), \quad (1.1)$$

де O₂ і N₂ – відповідно вміст вільного кисню і азоту в сухих відпрацьованих газах двигуна, % за об'ємом (% об.).

У разі неповного згоряння в залежність (1.1) вводяться поправки, що враховують вміст у відпрацьованих газах тих чи інших продуктів проміжного

окислення CO, H₂, CH₄

$$\alpha = 1 / (1 - ((791 / (209 \cdot N_2)) \cdot [O_2 - 0,5(CO + H_2 + CH_4)])), \quad (1.2)$$

де CO, H₂ н CH₄ – відповідно вміст окису вуглецю, водню і метану в сухих відпрацьованих газах, % об.

В роботі [33] наводиться залежність

$$\alpha = (0,209 \cdot \beta \cdot N_2) / [(0,791 + \beta)(N_2 - 79,1 + 0,3955 \cdot CO)], \quad (1.3)$$

де β – теоретична хімічна характеристика палива, що дорівнює:

$$\beta = 2,37 \cdot [(H_T - O_T / 8) / C_T], \quad (1.4)$$

де H_T, O_T і C_T – відповідно вміст водню, кисню і вуглецю в паливі в масових частках.

Схожу з (1.3) структуру має залежність, яка виведена на основі балансу азоту з урахуванням неповноти згоряння

$$\alpha = (0,21 \cdot \beta \cdot N_2) / [(0,79 + \beta) \cdot K], \quad (1.5)$$

де K – коефіцієнт обліку неповноти згоряння, вміст компонентів ВГ в об'ємних частках,

$$K = N_2 + 0,79 + 0,395 \cdot [CO + 3 \cdot H_2 + 4 \cdot CH_4 + (2r + n/2) C_n H_m O_r].$$

Спрощений варіант залежності (1.5) може виглядати наступним чином

$$\alpha = (0,21 \cdot \beta \cdot N_2) / [(0,79 + \beta) \cdot (N_2 - 0,79)], \quad (1.6)$$

де N₂ – концентрація азоту в об'ємних частках.

Так як для дизелів характерним є наявність у відпрацьованих газах неокисленого вуглецю у вигляді сажі, то необхідно розглянути залежності, що це враховує.

В роботі [33] рекомендується використання залежно

$$\alpha = N_2 / \{N_2 - 791/209 \cdot [O_2 - 0.5 \cdot CO - (\varphi / (1 - \varphi)) \cdot (CO_2 + CO)]\}, \quad (1.7)$$

де φ – коефіцієнт, що виражає частку вуглецю палива, що виділяється у вигляді сажі.

Остання формула враховує неповноту згоряння як у вигляді сажі, так і у вигляді CO і рекомендується при визначенні α дизелів.

Слід відзначити, що залежності (1.2), (1.3) і (1.7) дають більш точні результати, ніж (1.1), але мають той недолік, що при помилці в аналізі складу ВГ може вийти ще більша відносна помилка у величині знаменника, оскільки він являє собою різницю. Тому в роботі [33] зазначається доцільність заміни залежностей (1.1), (1.2), (1.3) і особливо (1.7) на інші, що мають більш сприятливу структуру. В якості останніх рекомендуються різного роду залежності, засновані на балансі вуглецю і кисню.

Так для відучуючи повного згоряння може використовуватися залежність

$$\alpha = 1 + [0,709 \cdot O_2 / ((0,791 + \beta) CO_2)], \quad (1.8)$$

де CO_2 – зміст двоокису вуглецю в сухих відпрацьованих газах, % об.

При неповному згорянні з наявністю в ВГ може бути рекомендована залежність

$$\alpha = 1 + [(O_2 + 0,5CO) / ((CO_2 + CO) \cdot (1 + \beta/0,791))]. \quad (1.9)$$

Для випадку повного згоряння може бути використана також залежність, заснована тільки на балансі вуглецю

$$\alpha = [0,209(0,791 + \beta \cdot CO_2)] / [(0,791 + \beta) \cdot CO_2], \quad (1.10)$$

і схожа за структурою залежність

$$\alpha = [0,21 / (0,79 + \beta)] \cdot [(0,791 / CO_2) + \beta]. \quad (1.11)$$

Залежності (1.8), (1.9) і (1.10) дають більш точні результати, ніж (1.1) і (1.2), але мають інший недолік – необхідність знання величини β . Цей же

недолік властивий і залежності (1.3). Залежність (1.7), хоча не містить в явному вигляді величини β , але визначення у неї коефіцієнта ϕ здійснюється за формулою, що містить β

$$\phi = 1 - [(\beta \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO})) / (0,209 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - 0,6045 \cdot \text{CO})], \quad (1.12)$$

Таким чином, вищевказаний недолік може бути віднесений і до (1.7).

Для випадку неповного згоряння з утворенням CO і сажі може бути застосована залежність, отримана на основі балансу вуглецю і кисню

$$\alpha = 1 + [\text{O}_2 - 0,5\text{CO} - (\phi / (1 - \phi)) \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO})] \cdot [(\text{CO}_2 + \text{CO}) \cdot (1 + \beta / (0,791(1 - \phi)) + \phi / (1 - \phi))], \quad (1.13)$$

до якої теж може бути віднесений останній недолік.

Необхідно відзначити, що всі розглянуті залежності в різних формах відображають внутрішні взаємозв'язки одного і того ж явища – процесу згоряння палива у двигуні. Тому вони за змістом є взаємопов'язаними і при відомих умовах залежності, засновані на балансі одного елемента, можуть бути перетворені в залежності, відображаючі баланс інших елементів, що беруть участь в процесі згоряння.

Так, у разі повного згоряння, оснований на припущенні, що

$$N_2 = 1 - (\text{CO}_2 + \text{O}_2), \quad (1.14)$$

залежність (1.8) перетворюється до форми, заснованої на балансі вуглецю і кисню

$$\alpha = [0,21 (1 - \text{O}_2 - \text{CO}_2)] / [(0,79 + \beta) - (0,21 - \text{O}_2 - \text{CO}_2)]. \quad (1.15)$$

Для підвищення точності розрахунків може здійснюватися облік зміни величини уявної молекулярної маси відпрацьованих газів при зміні складу суміші. Залежність, заснована на балансі вуглецю, може бути представлена у вигляді [33]

$$\alpha L_0 + 1 = (C_T \cdot \mu_{\text{сyx}} / 12) / (\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{CH} \cdot V_M / 12) + 9 \cdot (1 - C_T), \quad (1.16)$$

де L_0 – стехіометрична кількість повітря, кг/кг палива;

$\mu_{\text{сух}}$ – середня відносна молекулярна маса сухих відпрацьованих газів, у.е.;

СН – вміст вуглеводнів в одиниці об'єму сухих відпрацьованих газів, мг/л;

V_m – молярний об'єм, л.

Вміст СО і СО₂ у відпрацьованих газів необхідно визначати в об'ємних частках. Однак застосування цієї залежності ускладнюється як раз тим, що визначення величини $\mu_{\text{сух}}$ є скрутним.

Для наближеного визначення величини α пропонується вважати величину $\mu_{\text{сух}}$ постійною і рівною 29,25. Однак таке допущення зводить нанівець переваги запропонованої формули і призводить до суттєвих помилок, що підтверджується результатами розрахунків в роботі [33], де пропонується для підвищення точності визначати величину $\mu_{\text{сух}}$ за виразом

$$\mu_{\text{сух}} = [48,5 - 25,6C_T - \text{CO} (27,65 - 20,35C_T + K(45 - 28,2 C_T))]/(1,73 - C_T), \quad (1.17)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від складу застосовуваного палива;

СО – концентрація СО в об'ємних частках.

Для наближених оцінок можна використовувати залежність, отриману з урахуванням ряду припущень на основі виразів (1.16) та (1.17)

$$\alpha \approx (0,145(1 - \text{CO}))/(\text{CO} + \text{CO}_2 + 0,00187 \text{ СН}) + 0,02. \quad (1.18)$$

Застосування залежності (1.16) дає за даними [33] відносну похибку розрахункових значень α близько 2% порівняно з величинами, отриманими за даними безпосередніх вимірів (при $\alpha > 1$).

Проведений аналіз показує, що для визначення величини α по складу ВГ можуть бути застосовані різні залежності, засновані на балансі основних компонентів палива і повітря. Для зручності використання в практичних цілях бажано застосування співвідношень максимально простих по структурі і включають в себе мінімальну кількість компонентів ВГ. З іншого боку, для зменшення похибки, пов'язані з наявністю хімічного і механічного недогорання палива, доцільно враховувати неокиснені компоненти палива

та продукти їх проміжного окислення.

Залежності, які засновані на балансі азоту (так звані азотні формули) – (1.1), (1.2), (1.3), (1.7), крім формули (1.3), потребують визначення концентрації не менше, ніж двох компонентів ВГ. Формула (1.3), хоча і включає в себе тільки величину концентрації азоту, але має інший недолік – необхідність знання характеристики палива β . Залежності, які засновані на балансі вуглецю і кисню (1.8) – (1.13), мають більш сприятливу структуру, але і їм властиві перші два з перерахованих вище недоліків азотних формул.

Залежності, що враховують зміну уявній молекулярної маси ВГ (1.16), (1.17) також мають істотні недоліки. Застосування їх може дати хороші результати тільки при знанні точної величини $\mu_{\text{сух}}$, що пов'язано з необхідністю проведення повного аналізу ВГ. Визначення величини $\mu_{\text{сух}}$ навіть за наближеними аналітичними залежностями типу (1.7) для практичних цілей важко. «Компромісний варіант» – вважати величину $\mu_{\text{сух}}$ постійної, також не може бути рекомендований, так як він зводить нанівець переваги запропонованих залежностей стосовно розглянутих раніше. Крім того, слід зазначити, що залежність (1.16) внутрішньо суперечлива. З одного боку вона заснована на припущенні повного окислення водню палива до H_2O , а з іншого боку, сама її структура передбачає наявність неокисненого водню в складі вуглеводневих фракцій ВГ теж може бути віднесено і до формули (1.18), тобто вона виведена на базі залежності (1.16).

Найбільшу точність при розрахунку паливних показників дизелів по складу ВГ можуть дати залежності, що враховують зміст найбільш інформативних, з точки зору оцінки паливних показників, компонентів. Такими будуть ті компоненти, зміст яких найбільшою мірою зміниться при змінах навантажувального режиму дизеля. Для підвищення оперативності аналізу доцільно застосування залежностей, які дозволяють проводити розрахунки при наявності даних про вміст в ВГ тільки одного з основних компонент. Бажано також наявність можливості введення в залежності коригувань, що дозволяють підвищити точність розрахунків при значній

неповноти згоряння палива.

Висновки по першому розділу

Проведений аналіз сучасного стану проблеми діагностування еколого-технічних показників дизельних двигунів транспортних засобів за складом відпрацьованих газів показав актуальність обраної теми дослідження. Про це в повній мірі свідчить та обставина, що введені в дію стандарти, які рекомендують застосування результатів аналізу ВГ для діагностики технічного стану ДВЗ і та [46].

Однак, практична реалізація методів діагностування в умовах експлуатації автомобільної техніки і особливо оцінки паливно-економічних показників дизелів, а також технічного стану систем двигуна і паливної апаратури, що чинять безпосередній вплив на показники екологічної безпеки, потребує сьогодні вирішення цілого ряду науково-технічних і методичних питань.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ НА ПОКАЗНИКИ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ ЯЗТА-238 ТА НАПРАЦЮВАННЯ ДВИГУНА І ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ В МЕЖАХ РЕСУРСУ ДО КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ І ДИМНІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ

2.1 Методика досліджень впливу регулювальних параметрів паливної апаратури на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238

Програма досліджень:

- проведення досліджень, які обґрунтовують взаємозв'язок напрацювання двигунів і ПА з характеристиками потужності, паливно-економічними показниками і димністю ВГ, переважно, в реальних умовах експлуатації;

- дослідження можливостей і шляхів вдосконалення методів оцінки технічного стану двигунів і ПА транспортних засобів в умовах експлуатації з використанням аналізу складу ВГ;

- розробка методології оперативної інструментальної безрозбірної діагностики дизельних двигунів транспортних засобів по паливно-економічним показникам;

- проведення аналізу розширення застосовності розробленої методології безрозбірного діагностики параметрів двигуна і ПА за складом ВГ в умовах експлуатації;

- обґрунтування економічної доцільності впровадження розробленої методології діагностики двигуна і ПА за складом ВГ.

Основним завданням експериментальних досліджень було виявлення зв'язку складу ВГ з показниками паливної економічності дизелів в умовах експлуатації та оцінка впливу напрацювання двигунів і ПА на потужність, економічні та екологічні показники роботи дизеля. Як об'єкт досліджень

обрано дизель 8Ч130/140 (ЯМЗ-238) автомобіля КраЗ-6510 (як найбільш поширений серед моделей даного класу транспортних засобів) в комплекті з паливною системою.

Загальна методика досліджень включала: оцінку рівня димності ВГ дизелів транспортних засобів в умовах експлуатації; контрольні випробування паливного насоса, форсунок і розпилювачів на відповідність їх параметрів вимогам відповідних стандартів; безмоторні випробування паливного насоса по оцінці впливу параметрів ПА на показники його роботи; моторні стендові випробування з оцінки впливу регулювальних параметрів ПА на потужність, економічні та екологічні показники роботи дизеля; стендові випробування дизеля в режимах вільного прискорення по оцінці впливу регулювальних параметрів ПА на показники роботи дизеля ЯМЗ-238.

Для проведення експериментальних досліджень з оцінки впливу регулювальних параметрів ПА на показники роботи паливного насоса високого тиску була створена експериментальна установка на базі безмоторного стенду NC-104 «Motorpal» і паливного насоса ЯЗТА-238 з робочим комплектом форсунок. Стенд NC-104 «Motorpal» укомплектований усіма штатними приладами та обладнанням.

Контрольні випробування паливного насоса проводилися на безмоторному стенді NC-104 «Motorpal» з комплектом робочих форсунок ФД-22 і паливопроводів високого тиску з метою перевірки регулювальних параметрів насоса.

Контрольні випробування робочих форсунок проводилися з метою перевірки їх на відповідність стандарту.

Для проведення досліджень з оцінки впливу регулювальних параметрів ПА на потужність, економічні та екологічні показники роботи дизеля, а також для визначення взаємозв'язку димності ВГ з паливною економічністю була створена спеціальна експериментальна установка на базі гальмівного стенду DS-832 і двигуна ЯМЗ-238. Стенд DS-832 укомплектований усіма штатними вимірювальними приладами та обладнанням. Дизель ЯМЗ-238 був

укомплектований відповідно до технічних умов заводу-виробника. Для запуску дизеля при проведенні безтормозних випробувань використовувався стартер СТ-212А.

Методики проведення випробувань відповідали вимогам Правил № 24 СЕК ООН. Для оцінки складу ОГ використовувалися комплексна газоаналітична система АСГА-Т (12) і димомір МК-3 "Hartridge" стендового виконання. Системи відбору проб, пробопідготовки та метрологічного забезпечення газового аналізу відповідали стандартам.

Випробування паливного насоса проводилися відповідно до стандарту на безмоторному стенді NC-104 "Motorpal".

Для оцінки впливу тиску початку впорскування палива форсунками і переміщення регульовального гвинта циклової подачі палива щодо положення, відповідного циклової подачі при номінальній частоті обертання валу ТН на показники паливного насоса на безмоторному стенді знімалися регуляторні характеристики насоса відповідно при тиску початку впорскування палива форсунками P_{ϕ} , рівному 14,5; 16,0; 17,5; 19,0; 20,5 МПа і положення регульовального гвинта циклової подачі палива h_v рівному -0,7; -0,4; 0; +0,4; +0,7 мм,

Циклова подача палива при номінальній частоті обертання валу паливного насоса регулювалася на безмоторному стенді у відповідність стандарту з робочими комплектами форсунок і паливопроводів високого тиску. Контрольні випробування форсунок ФД-22 і розпилювачів форсунок РД 4x0.29 проводилися відповідно до стандарту.

Вимірювання величини переміщення регульовального гвинта циклової подачі палива щодо положення, відповідного циклової подачі при номінальній частоті обертання валу паливного насоса здійснювалося мікрометром з індикаторної голівкою.

В якості оціночних показників роботи паливного насоса були прийняті величини середньої циклової подачі палива $q_{\text{ц}}$, часової подачі палива G і нерівномірності подачі палива по лініях нагнітання σ . Випробування насоса

проводилися на дизельному паливі за ДСТУ 305-82.

Розрахунок оціночних показників паливного насоса проводився відповідно до вимог стандарту. Годинна подача палива G в кг/год підраховувалася за формулою

$$G = 6 \cdot 10^{-3} \left(\sum_{i=1}^z V p_{\tau} \cdot n' \right) / i, \quad (2.1)$$

де $\sum_{i=1}^z V$ - сумарний об'єм палива, що надійшло в мірні ємності, см^3 ;

n' - частота обертання валу паливного насоса, об/хв;

p_{τ} - щільність палива під час випробувань, $\text{кг}/\text{м}^3$;

i - число циклів.

Середня циклова подача палива $q_{\text{ц}}$ в мм^3 підраховувалася за формулою

$$q_{\text{ц}} = \left(\sum_{i=1}^z V \cdot 1000 \right) / z \cdot i, \quad (2.2)$$

z - число ліній високого тиску;

Нерівномірність подачі палива по лініях високого тиску (у %) підраховувалася за формулою

$$\sigma = 200(V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) / (V_{\text{max}} + V_{\text{min}}) \quad (2.3)$$

де V_{max} і V_{min} - відповідно, максимальна і мінімальна подача палива по лініях високого тиску, см^3 .

Сумарна похибка величин вимірювання визначалася як сума доданків:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_i + \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{о}}, \quad (2.4)$$

де δ_i - помилки, що виникають в процесі отримання вихідної інформації;

$\delta_{\text{в}}$ - помилки, пов'язані з процесом обчислення;

$\delta_{\text{о}}$ - помилки оператора.

Відносна помилка або похибка визначалася за формулою

$$\delta = |x_n - x|/x, \quad (2.5)$$

де $|x_n - x|$ – абсолютна похибка;

x – справжня величина параметра.

Джерелами помилок при отриманні вихідної інформації є помилки вибірки та вимірювання. Помилка вибірки визначалася зі ставлення

$$\delta_{\text{виб}} = |m_x - (m\lambda_x)|/(m_x^l) \quad (2.6)$$

де $m_x = M [X]$ – середня генеральної сукупності;

$(m^l) = M [X]$ – середня вибіркова.

Для виключення цієї помилки встановлювався мінімальний обсяг вибірки (кількість об'єктів спостережень відповідно до стандарту) з урахуванням отримання достовірної інформації при відносній помилці ($\delta_{\text{виб}}=0,1$).

Помилки вимірювання складаються з систематичних помилок вимірювального приладу і випадкових помилок, які є результатом взаємодії великого числа незначних окремих факторів. Систематична помилка обумовлена недостатньою точністю використовуваних приборів. Можливість помилки при визначенні потужності двигуна визначається неточностями відліку показань ваг гальмівної установки і частоти обертання колінчастого вала. Точність одного виміру характеризується середньо-квадратичною величиною σ_n зі значень помилок

$$\sigma_n = \left(\sum_{i=1}^m (x_i - m_x)^2 / (m - 1) \right)^{1/2}, \quad (2.7)$$

де m – число вимірювань.

Іноді за міру точності одного виміру приймалася імовірнісна помилка

$$\delta(\rho) = 0,6745\sigma_n \quad (2.8)$$

Випадкові помилки відповідно до закону Гаусса [6] закладаються в

нормальний розподіл. При цьому, чим більше число вимірювань, тим менше ймовірність виходу помилки за певні межі. Помилки обчислювального характеру включають: помилки заокруглень; помилки апроксимації; помилки статистичної перевірки гіпотез.

Помилки округлення підпорядковані нормальному закону з центром розподілу $\sigma_{\text{окр}} = 0$. Середньоквадратичне відхилення помилок заокруглень $\sigma_{\text{окр}}$ дорівнює [6]

$$\sigma_{\text{окр}} = 1/(3)^{\frac{1}{2}} \cdot \delta_{\text{гр.окр}}, \quad (2.9)$$

де $\delta_{\text{гр.окр}}$ – гранична помилка округлення.

Помилки апроксимації пов'язані з недостатньою точністю математичної моделі, яка описує реальний процес. Вони визначаються екстраполяцією за методом найменших квадратів. Помилки, пов'язані з якістю роботи оператора, зайнятого виміром параметра, його реєстрацією та розрахунком, є наслідком недостатньої кваліфікації персоналу та його індивідуальних особливостей і називаються промахами.

З метою виключення їх із статистичного ряду проводять перевірку того, чи виходять ці відмінності за межі випадкової варіації параметра чи ні, для чого:

- знаходять характеристики розподілу m_x , σ_x без промаху;
- виходячи з правила, що в межах випадкової варіації величина помилки не повинна перевищувати $\pm 3\sigma$, виключають, якщо це правило не виконується, тобто

$$(m_x - 3\sigma_x) < x_{\text{пр}} < (m_x + 3\sigma_x), \quad (2.10)$$

де $x_{\text{пр}}$ – значення параметра промаху.

Помилка при визначенні величин параметрів з осцилограм складається з помилки вимірювання (датчика), помилки підсилювача і осцилографа, прийнятої рівною 2% [6], а також помилки при обробці осцилограм, яка залежить від товщини лінії (± 0.5 мм) і масштабних коефіцієнтів кривих

реєстрованих параметрів (частоти обертання колінчатого валу, кутового прискорення, ходу рейки паливного насоса, тиску в циліндрі і т. д.). Для вирішення даного роду технічних завдань максимальна величина похибки повинна знаходитися в межах 2...3%.

2.2 Дослідження впливу напрацювання двигуна і паливної апаратури в межах ресурсу до капітального ремонту на техніко-економічні показники і димність відпрацьованих газів дизелів

У даних дослідженнях проводилася оцінка впливу напрацювання двигуна і ПА на потужності, паливно-економічні показники і димність ВГ дизелів.

Об'єктами випробувань в даних дослідженнях були (табл 2.1.): Дизелі ЯМЗ-238 3-х автомобілів КраЗ-6510 з напрацюванням 700, 3000, 5800 мотогодин; паливні насоси ЯЗТА-238 дизелів ЯМЗ-238 в кількості 3-х штук з напрацюванням. 0, 3000 і 5800 мотогодин; форсунки ФД-22-П (2 комплекти) з напрацюванням 0 і 3000 мотогодин.

Таблиця 2.1 – Відомості про об'єкти випробувань.

Об'єкт	Умовне позначення	Наробіток з початку експлуатації
Дизель ЯМЗ-238	Д1	700
Дизель ЯМЗ-238	Д2	3000
Дизель ЯМЗ-238	Д3	5800
Паливний насос ЯЗТА-238	ПН1	0
Паливний насос ЯЗТА-238	ПН2	3000
Паливний насос ЯЗТА-238	ПН5	5800

У процесі підготовки до моторних випробувань була проведена комплектація ПА (табл. 2.2) та визначено безмоторні характеристики насосів з відповідними робочими форсунками. Випробування проводилися на 3-х

дизелях ЯМЗ-238 автомобіля КраЗ-6510 в послідовності дослідів і згідно комплектації ПА, зазначених в табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Комплектація експериментальних зразків паливної апаратури

Умовне позначення комплекта комплекта ПА	Пнвт з наробітком, мотогодини			Форсунки з наробітком, мотогодини	
	0	3000	5800	0	3000
ПА1	+			+	
ПА2		+			+
ПА3			+		+

Таблиця 2.3 - Дослідні поєднання об'єктів випробувань

Дизель ЯМЗ-238 з наробітком, мотогодини			Комплекти паливної апаратури		
700	3000	5800	ПА1	ПА2	ПА3
+			+		
+				+	
+					+
	+		+		
	+			+	
	+				+
		+	+		
		+		+	
		+			+

Для кожного з 9-ти дослідів, зазначених в табл. 2.3, програмою випробувань передбачалося: зняття зовнішньої регуляторної характеристики; зняття часткової швидкісної характеристики при навантаженні 80%; визначення димності в режимі ВГ вільного прискорення без навантаження.

Основні показники експериментальних зразків паливної апаратури за результатами безмоторних випробувань наведені в табл. 2.4. Оцінюючи за результатами безмоторних випробувань паливних вплив напрацювання насосів в межах 6000 мотогодин і форсунок 3000 мотогодин експериментальній комплектації ПА1, ПА2, ПА3.

Таблиця 2.4 – Основні показники паливних насосів високого тиску ЯЗТА-238 дизелів ЯМЗ-238 за результатами безмоторних випробувань з контрольними і робочими форсунками

Показники	Значення параметрів паливних насосів ЯЗТА-238						
	по стандарту	Наробіток 0 м/год		Наробіток 3000 м/год		Наробіток 5800 м/год	
		з контр. форс.	з роб форс.	з контр. форс.	з роб форс.	з контр. форс.	з роб форс.
1. Циклова подача палива при номінальній частоті обертання, мм ³ /цикл	74,4-73,2	75,3	74,6	75,0	74,6	77,6	74,5
2. Нерівномірність подачі палива по лініям нагнітання при номінальній частоті обертання, %	6	5,6	4,9	2,0	5,5	4,0	6,9
3. Циклова подача палива при частоті обертання $n_{\text{мін(хх)}}$, мм ³ /цикл	не більше 27,1	25,6	-	24,3	23,1	25,5	24,1
4. Нерівномірність подачі палива при частоті обертання $n_{\text{мін(хх)}}$, %	не більше 30	12	-	13	22	27	19
5. Ступінь корекції паливоподачі при частоті обертання, яка відповідає максимальному крутному моменту у % до паливоподавального номіналу	13...18	21,7	19,5	18,5	18,6	12,1	19,5

Можна зробити наступні висновки:

- у досліджуваному діапазоні зміни напрацювання стан ПА дозволяє

шляхом стендових безмоторних профілактичних і регулювальних робіт привести апаратуру в стан який забезпечує виконання вимог стандартів;

- у зазначених межах напрацювання зміна показників паливоподачі носить нерегулярний характер, закономірності якого можуть бути виявлені статистичними випробуваннями;

- не дивлячись на відповідність комплектів ПА вимогам стандартів за основними показниками, в області проміжних частот обертання кулачкового вала (часткових режимів) комплекти ПА мають істотний розкид значень параметрів подачі палива.

Слід зазначити, що в даних експериментах всі комплекти насосів були відрегульовані на значення ступеня корекції подачі палива вище (на 0,5-2,3%) верхнього граничного рівня значень по стандарту (13...18%), що несприятливо відбивається на димності ВГ.

У табл. 2.5 представлені основні показники дизелів ЯМЗ-2381 № Д1, Д2, Д3 при роботі на експериментальних зразках паливної апаратури ПА1, ПА2, ПА3. Результати цих досліджень проілюстровані також на рис. 2.1.

Порівняльний аналіз даних моторних і безмоторних випробувань експериментальних комплектів ПА дозволяє зробити висновок про те, що методи контролю ПА, регламентовані стандартом, не відображають повною мірою тих змін в процесах подачі палива, які виникають під час напрацювання ПА. Підтвердженням цього висновку є суттєва зміна показників роботи двигунів при установці комплектів ПА з різним напрацюванням, хоча при цьому зразки ПА (ПА1, ПА2, ПА3) були відрегульовані за основними параметрами практично однаково і залишаються в межах стандарта.

Всі двигуни ЯМЗ-238, укомплектовані паливною апаратурою, відрегульованою відповідно до стандарта, незалежно від ступеня напрацювання як самого двигуна, так і паливної апаратури – мали місце показники димності, які значно перевищують допустимі значення.

Таблиця 2.5 – Основні показники дизелів ЯМЗ-238 № Д1, Д2, Д3 при комплектації паливною апаратурою ПА1, ПА2, ПА3

Найменування показників	по стандарту	Значення показників дизелів ЯМЗ-238								
		Д1 при комплектації			Д2 при комплектації			Д3 при комплектації		
		ПА1	ПА2	ПА3	ПА1	ПА2	ПА3	ПА1	ПА2	ПА3
1. Експлуатаційна потужність, кВт/к.с.	165,6	166	170	170	170	168	166	167	166	166
	220 ⁺⁵	232	232	230	230	229	226	228	226	225
2. Максимальний крутний момент, Нм (кГс*м)	830	870	871	862	863	849	829	852	841	826
	83	87	87	86	86	85	83	85	84	83
3. Коректорний коефіцієнт запасу крутного моменту, %	не менше 12	19,8	20	18	20	15,7	12,0	18	16	12
4. Питома витрата палива в режимі експлуатаційної потужності, г/(кВт*год) (г/(к.с.*год)	не більше 238	234	236	243	246	243	254	251	249	254
	176	173	176	181	183	181	189	186	184	188
5. Годинна витрата палива в режимі експлуатаційної потужності, кг/год	36	37,7	38,2	38,5	38,5	37,7	38,0	38,5	37,1	37,5
6. Димність ВГ, % при експлуатаційній потужності на:	не більше 40	65	72	74	60	63	70	65	70	72
режимі $n_{\text{макс}}$,	40	88	92	94	93	95	97	92	95	97
при розгоні ВП	40	90	94	94	96	98	96	95	97	95

Регулювання комплектів ПА на значення ступеня корекції паливоподачі по верхньому граничному рівню значно погіршує невідповідність вимогам по димності ВГ. Зроблений висновок повною мірою відноситься до результатів вимірювань димності на режимах ВП двигунів.

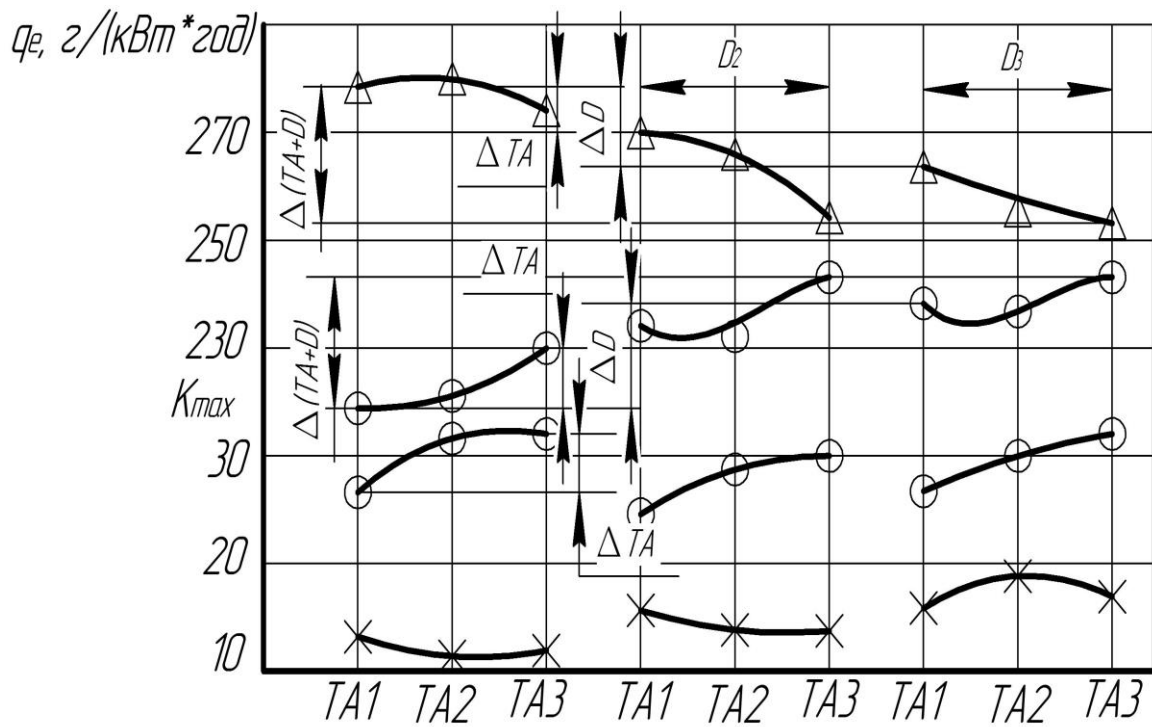


Рисунок 2.1 – Вплив напрацювання паливної апаратури на показники дизеля ЯМЗ-238

Таким чином, діючі стандарти на регулювання ПА дизеля ЯМЗ-238 не забезпечують виконання вимог природоохоронних стандартів. Збільшення напрацювання дизеля і ПА супроводжувалося істотним погіршенням ефективних і паливно-економічних показників. Так сумарна зміна величини g_e і N_e досягло 8%, а значення показників K_M і K_H – 15...25%. Характерно, що на завершальній стадії експериментів (D_3 і T_3) дизель за всіма цими показниками вже не відповідав вимогам ТУ заводу-виробника.

Зміна напрацювання тільки ПА давало – 50% від сумарного збільшення K_H до 100% K_H . В умовах експерименту збільшення g_e на 1%, в результаті напрацювання ПА, супроводжувалося підвищенням величини K_H , K_M на 4...5%. У той же час при цьому не було відзначено зміни значення K_{max} . Зміна напрацювання дизеля обумовило зміну ефективних показників і димності ВГ на режимі холостого ходу, без помітного впливу на величину димності ВГ при роботі дизеля на великих навантаженнях (K_H , K_M).

2.3 Дослідження впливу складу відпрацьованих газів на технічний стан паливної апаратури і дизеля

2.3.1 Постановка експериментів, об'єкти випробувань та експериментальне обладнання

Завданням стендових безмоторних і моторних експериментальних досліджень було вивчення впливу регулювальних параметрів паливоподачі на показники роботи дизельних двигунів транспортних засобів. Як об'єкт досліджень був обраний дизель ЯМЗ-238 (8Ч130/140) з ПНВТ ЯЗТА-238.

Основними досліджуваними параметрами подачі палива, що надають істотний вплив на показники потужності, паливно-економічні та екологічні показники двигунів були прийняті:

- установчий кут випередження впорскування палива ($Q_{\text{ввп}}$);
- тиск початку впорскування палива форсунками ($P_{\text{ф}}$);
- сумарний ефективний прохідний перетин розпилювачів (μ_r , табл. 2.6);
- циклова подача палива, що визначається регулюванням положення гвинта номінальної циклової подачі палива ($g_{\text{ц}}$).

Інтервали зміни регулювальних параметрів ПА вибиралися з урахуванням їх номінальних значень, вказаних в стандарті, і виходячи з діапазону їх номіналу, що мають місце в умовах реальної експлуатації:

Регулювальний параметр	ЯМЗ-238	КамАЗ-740
$Q_{\text{ввп}}$, град п.к.в.	20...32	15...27
$P_{\text{ф}}$, МПа	14,5...20,5	16,0...22,0
$Q_{\text{ц}}$, мм ³ /цикл	57...86	60...100

За стандартом розпилювачі форсунок для двигуна ЯМЗ-238 і його модифікації комплектуються в межах двох робочих груп:

- I група 0,210 – 0,225 мм²;
- II група 0,225 – 0,240 мм².

Таблиця 2.6 – Комплектація розпилювачів по пропускній здатності.

№ комплекту	Пропускна здатність розпилювачів, мм ²	Примітки
1	0,206; 0,207; 0,192; 0,200	Нижче допуску по ТУ
2	0,216; 0,216; 0,214; 0,216	I група комплектації
3	0,225; 0,224; 0,222; 0,222	I група комплектації
4	0,226; 0,225; 0,229; 0,226	II група комплектації
5	0,234; 0,236; 0,236; 0,235	II група комплектації
6	0,274; 0,250; 0,247; 0,242	Вище допуску по ТУ

Програма експериментальних досліджень передбачала проведення безмоторних випробувань на стендах «Моторпал», моторних тормозних випробувань на режимах навантажувальних характеристик і на режимах ВП без навантаження.

Обладнання моторного стенда (на рис. 2.2 показана схема установки з дизелем ЯМЗ-238, поз. 1).

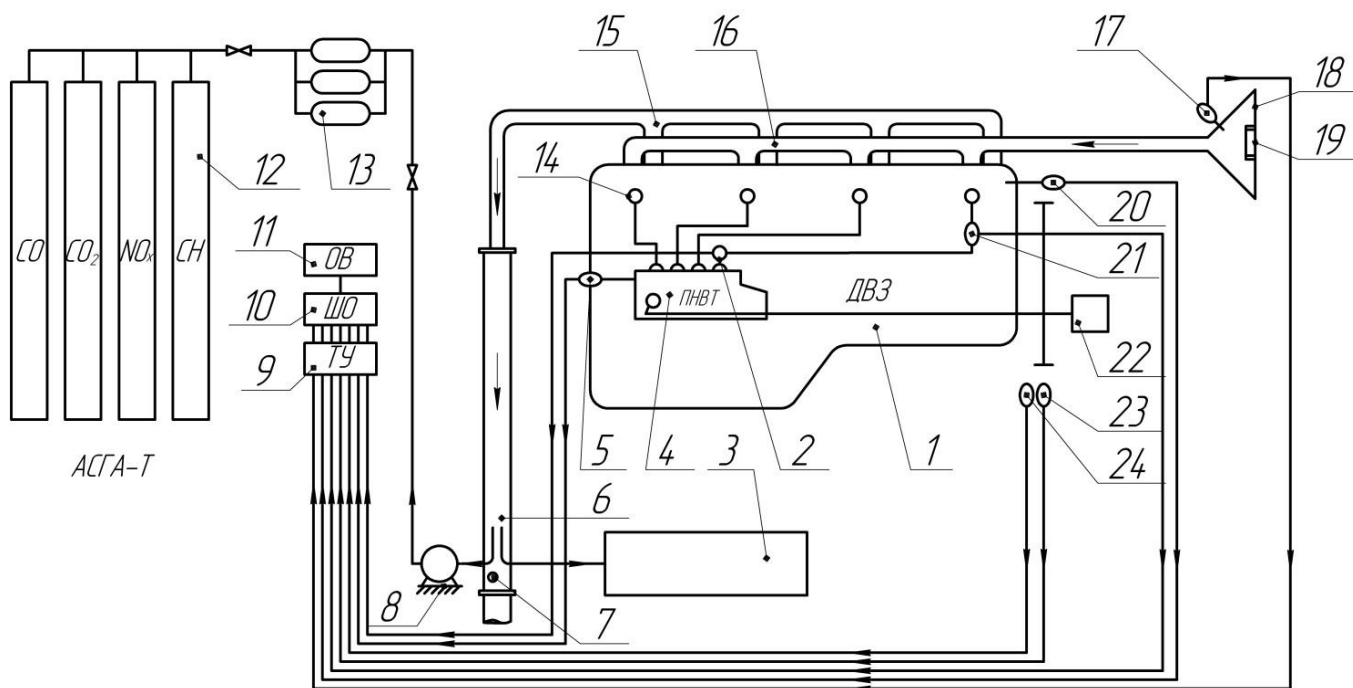


Рисунок 2.2 – Схема установки для діагностування паливної апаратури та дизеля по складу відпрацьованих газів

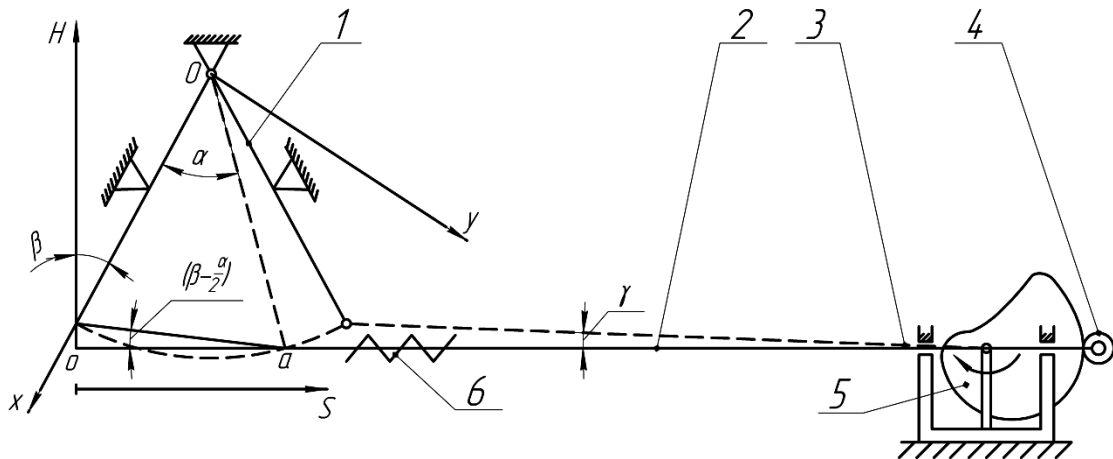
Для проведення діагностування паливної апаратури та дизеля. Для оцінки складу ВГ використовувалися комплексна газоаналітична система АСГА-Т – поз. 12 і димомір Хартрідж МК-3 (поз. 3) стендового виконання. Системи відбору проб (випускний колектор – поз. 15, пробовідбірна вставка – поз. 6, дросель – поз. 7, стимул витрати – поз. 8), пробопідготовки і метрологічного забезпечення газового аналізу (поверочні газові суміші – поз. 13) відповідали стандартам.

Для аналізу перехідних процесів ВП і циклових показників забезпечено індикацію і запис на шлейфний осцилограф Н-117 (поз. 10) наступних параметрів: індикаторного тиску (п'єзоелектричним датчиком – поз. 20); позначки кутів повороту колінчастого вала двигуна через 2,5 град. п.к.в. і ВМТ (фотодатчиком – поз. 23); частоти обертання і прискорення колінчастого вала – індукційним датчиком (поз. 24) приладу ІМД-Ц 24; тиску в паливопроводі перед форсункою (поз. 14) діагностуючого циліндра (тензодатчиком – поз. 21) і підйому голки розпилювача (індукційним датчиком – поз. 2); переміщення рейки ПНВТ (індукційним датчиком – поз. 5); перепаду тиску на пристрої звуження потоку (індукційним датчиком діафрагменного типу – поз. 19) для визначення "миттєвої" витрати повітря через повітрязабірник (поз. 18) і впускний колектор (поз. 16); переміщення важеля управління паливоподачею (ВУП – поз. 22).

Для посилення сигналів датчиків використовувалася тензостанція УТС-12 (поз. 9). Таріровка вимірювальних каналів проводилася до і після досліджень по зразковим вимірювальним засобам відповідно до ординат променів гальванометрів шлейфного осцилографа (поз. 10), на якій імпульсним генератором також подавалася відмітка часу (поз. 11). Для запуску дизеля при проведенні безтормозних випробувань на дизелі ЯМЗ-238 використовувався стартер СТ-212А.

Для завдання і відтворення закону впливу на ВУП, забезпечувати роботу дизеля по зовнішній коректованій гілці регуляторної характеристики, стенд був оснащений задатчиком режимів ВП дизеля (поз. 22), кінематична схема

виконавчого механізму якого представлена на рис. 2.3).



1 – важіль ПН; 2 – трос; 3 – штовхач; 4 – підшипник;
5 – кулачок; 6 – запобіжна пружина.

Рисунок 2.3 – Кінематична схема приводу важеля управління паливоподачею ПНВТ

Для оцінки газових складових ВГ на режимах ВП була підготовлена спеціальна система, що дозволяє виробляти безперервний відбір проб (за кілька циклів ВП) в мішки з кварцової слюди і потім аналізувати середню, пробу (кількість циклів ВП: 6-10).

2.3.2 Вплив параметрів паливної апаратури на показники роботи паливного насоса високого тиску

Безмоторні випробування проводилися для оцінки впливу тиску початку упорскування палива форсунками і величини переміщення регулювального гвинта циклової подачі палива на показники паливного насоса ЯЗТА-238 при номінальній частоті обертання, дорівнює 1100 хв^{-1} на частоті обертання кулачкового валу насоса, що відповідає максимальному крутному моменту двигуна, що дорівнює 700 хв^{-1} . На рис.2.4...2.7 показано зміни середньої циклової $q_{ц}$, часової G подачі палива паливного насоса в залежності від величини переміщення регулювального гвинта циклової

подачі палива та величини тиску початку уприскування палива форсунками.

Аналіз результатів безмоторних випробувань ПА показав, що середнє значення циклової подачі паливного насоса ЯЗТА-238 лінійно залежить від величини переміщення гвинта номіналу на номінальній частоті обертання кулачкового валу, так і на частоті обертання, що відповідає максимальному крутному моменту дизеля. Діапазон розкиду номінальних значень циклової подачі при частоті обертання валу насоса 1100 хв^{-1} , заданий ТУ і рівний $1.8 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ відповідає величині ходу гвинта номіналу $0,2 \text{ мм}$. Максимальне значення циклової подачі палива ($88 \text{ мм}^3/\text{цикл}$) при даній комплектації ПА отримано при вворачиванні гвинта номіналу на $0,7 \text{ мм}$. Подальше його переміщення до збільшення циклової подачі не призводило.

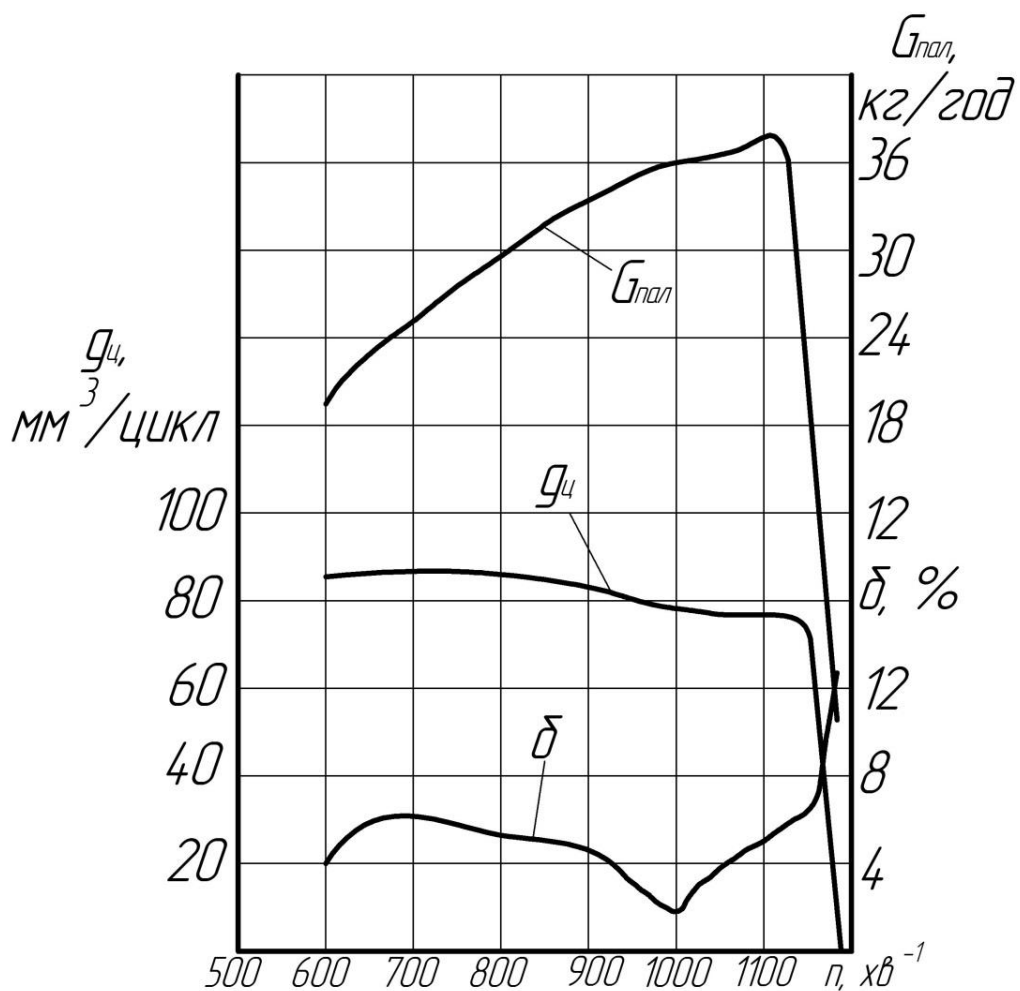


Рисунок 2.4 – Регульовальна характеристика паливного насоса ЯЗТА-238

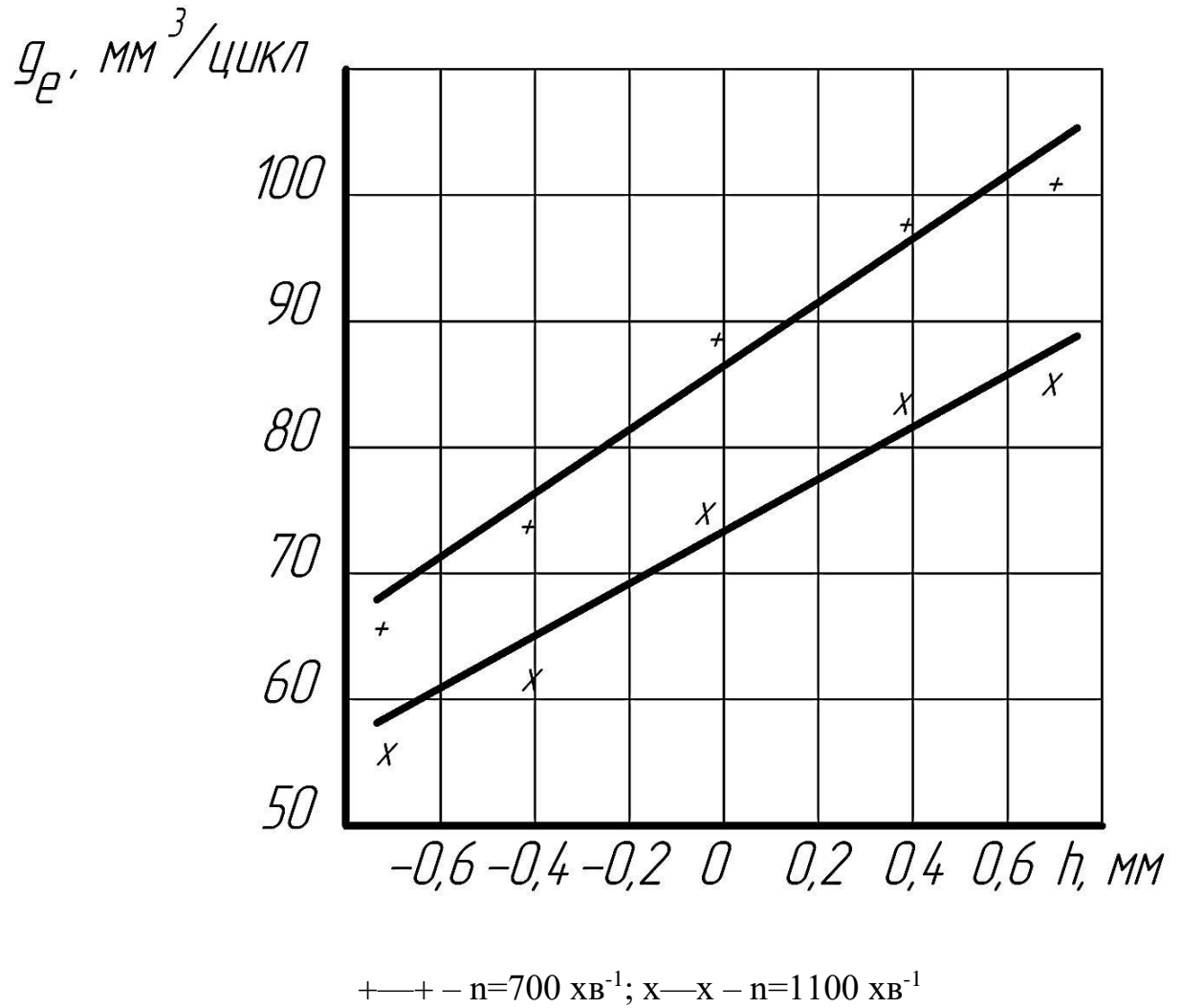
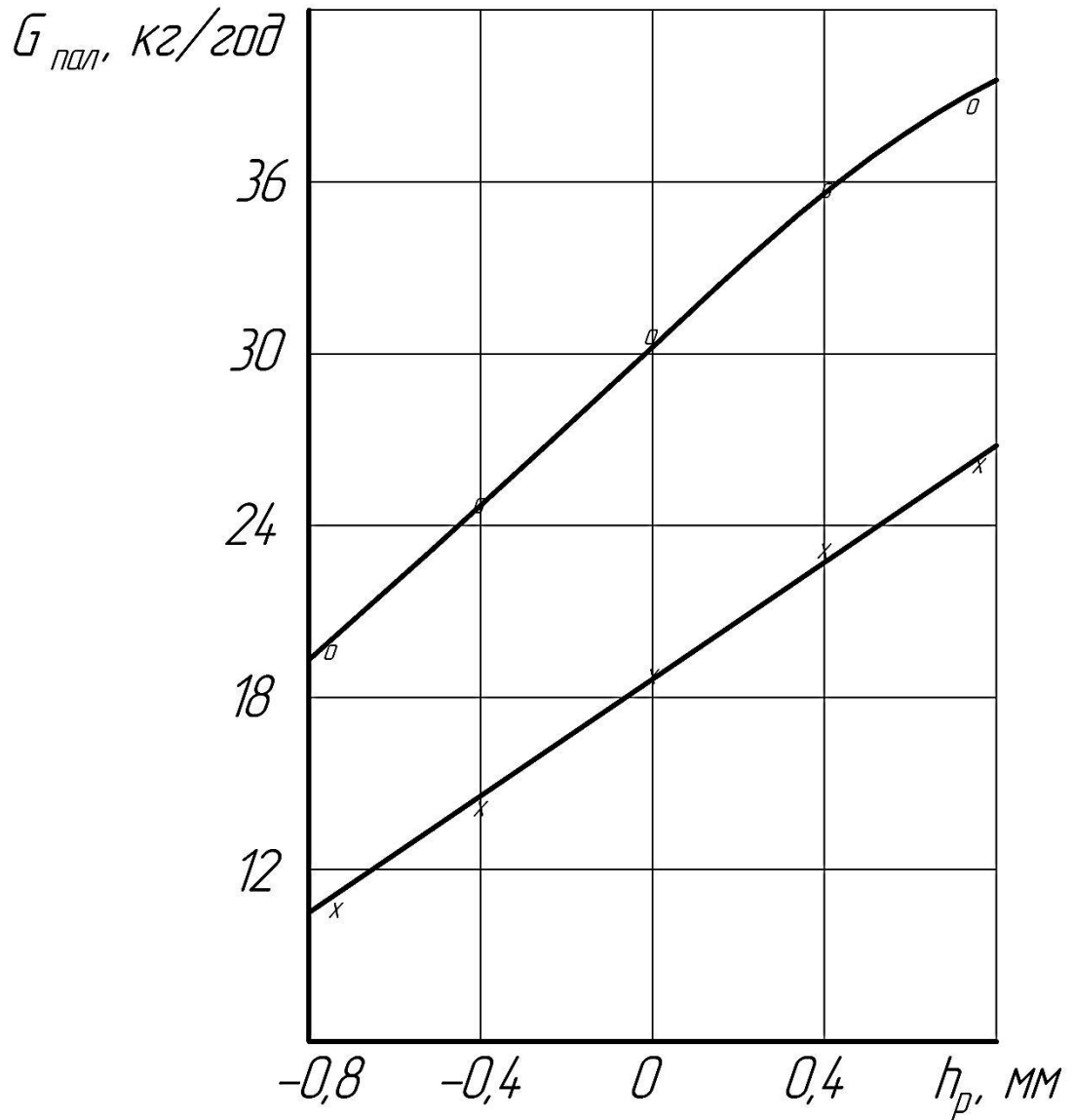


Рисунок 2.5 – Залежність циклової подачі палива паливного насоса ЯЗТА-238 від положення регулювального гвинта циклової подачі палива відносно положення, відповідного номінальній циклової подачі палива



o—o — $n=1100 \text{ хв}^{-1}$; x—x — $n=700 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 2.6 – Залежність годинної витрати палива паливного насоса ЯЗТА-238 від положення регулювального гвинта циклової подачі палива відносно положення, відповідного поминальної циклової подачі палива

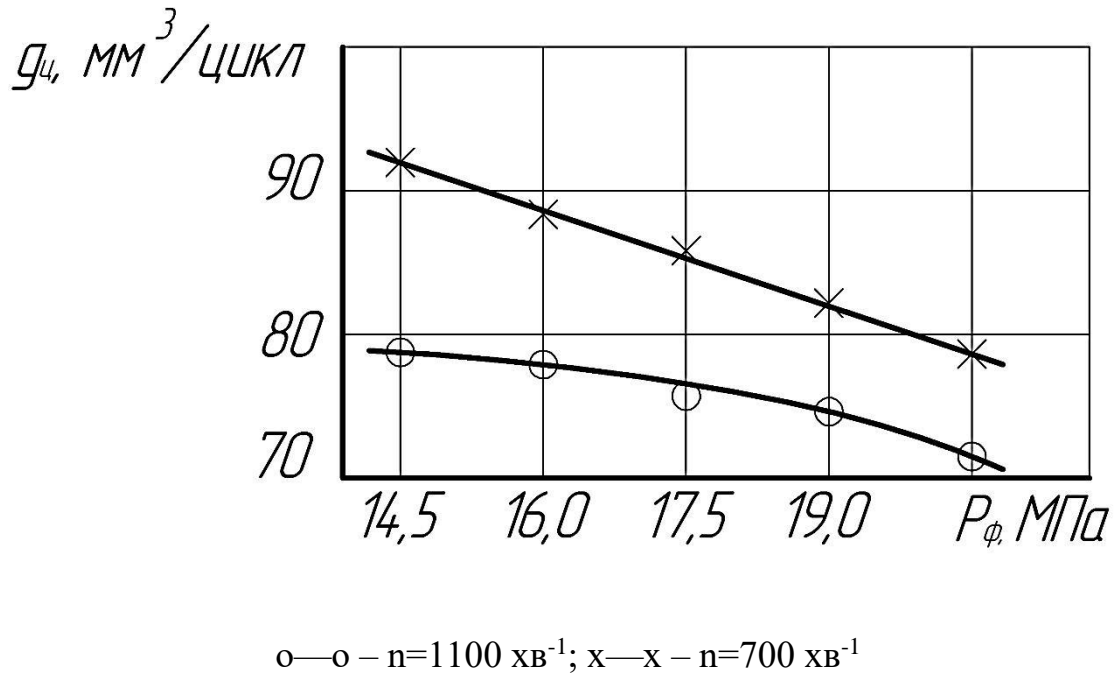


Рисунок 2.7 – Залежність циклової подачі паливного насоса ЯЗТА-238 від величини тиску початку уприскування палива форсунками на різні режимах роботи

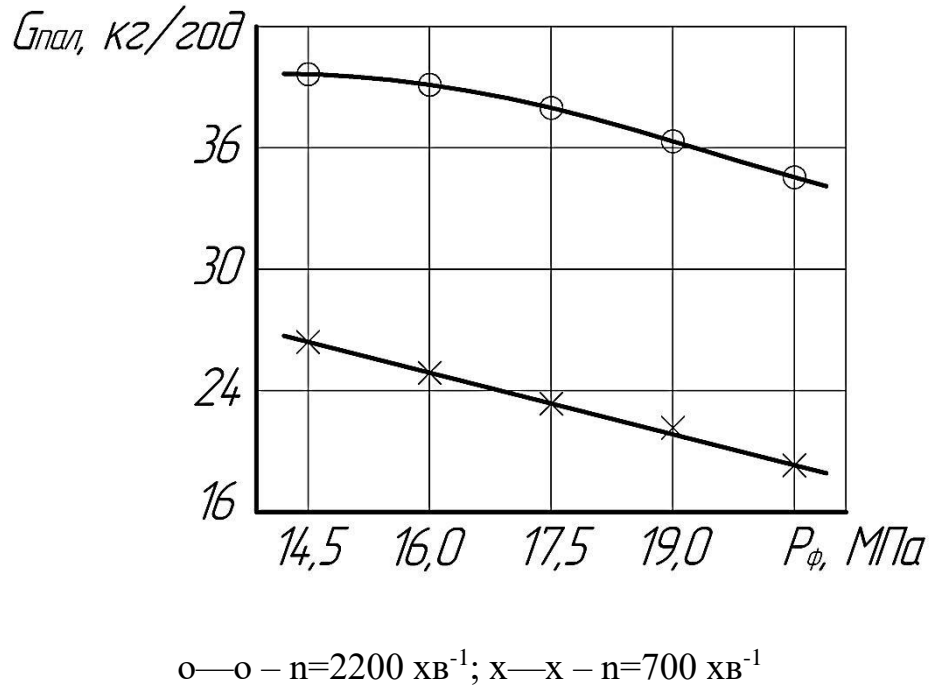


Рисунок 2.8 – Залежність годинної витрати палива паливного насоса ЯЗТА-238 від величини тиску початку уприскування палива форсунками на різних режимах роботи

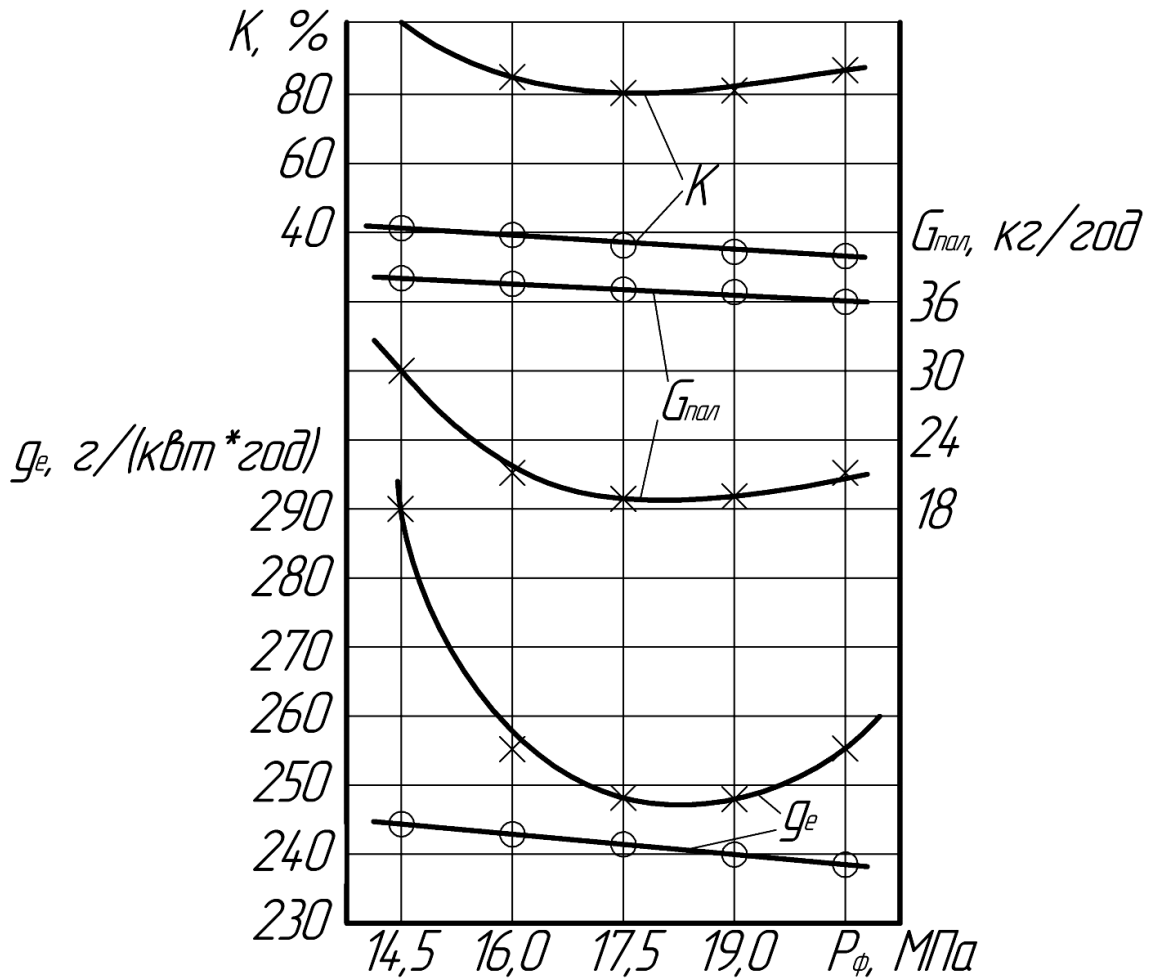
З рис. 2.4, 2.5 видно, що при переміщенні регулювального вінта циклової подачі палива від $-0,7$ мм (відносно положення, відповідного номінальної циклової подачі палива) до $+0,7$ мм призводить до збільшення циклової $g_{ц}$ та часової G подачі палива. Так циклова подача палива при цьому збільшується з 56 до 88 мм³/цикл (на 57%) при частоті обертання вала паливного насоса (n) дорівнює 1100 хв⁻¹ і з $68,5$ до 104 мм³/цикл (на 52%) при $n = 700$ хв⁻¹. Годинна подача палива в цьому випадку збільшується з $12,5$ до $19,1$ кг/год (на 53%) при $n = 1100$ хв⁻¹ і з $9,6$ до $14,5$ кг/год (на 51%) при $n = 700$ хв⁻¹.

Зміна тиску початку уприскування палива форсунками робить істотний вплив на показники роботи паливного насоса. Так збільшення $P_{ф}$ з $14,5$ до $20,5$ МПа призводить до зниження циклової подачі палива з 78 до 71 мм³/цикл (на 9%) при $n = 1100$ хв⁻¹ та з 92 до 78 мм³/цикл (на 15%) при $n = 700$ хв⁻¹. Годинна подача палива при цьому зменшується з $12,8$ до $10,9$ кг/год (на 15%) при $n = 700$ хв⁻¹ та з $17,0$ до $15,6$ кг/год (на 8%) при $n = 1100$ хв⁻¹ (рис.2.6, 2.7).

Аналіз результатів стендових безмоторних випробувань паливного насоса показує, що зниження середніх циклової і часовий подач палива на 5 і більше відсотків, характеризуються як відмова ПН, відбувається при різних значеннях параметрів паливної апаратури залежно від швидкісного режиму насоса. Тому обґрунтування оптимальних значень параметрів ПА необхідно проводити не тільки для номінального режиму роботи дизеля, але і для інших режимів, характерних для умов експлуатації.

2.3.3 Вплив основних регулювальних параметрів паливної апаратури на потужності, економічні і екологічні показники дизеля

Залежність основних показників дизеля ЯМЗ-238 від величини тиску початку уприскування палива форсунками наведена на рис. 2.9.



o—o – номінальний режим роботи, $n=2200 \text{ хв}^{-1}$;
 x—x – режим максимального крутного моменту, $n=1400 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 2.9 – Залежність основних показників дизеля ЯМЗ-238 від тиску початку упорскування палива форсунками на різних режимах роботи

При зниженні P_ϕ з 17,5 МПа до 14,5 МПа, на номінальному режимі роботи дизеля, часова витрата палива збільшується на 0,17 кг/год (13%), питома витрата палива збільшується на 3,0 г/(кВт*год) (на 1,3%), димність відпрацьованих газів зростає на 7 одиниць (на 21%). На режимі максимального крутного моменту часова витрата палива збільшується на 1,7 кг/год (16,7%), питома витрата палива збільшується на 41,40 г/(кВт*год)

(16,6%), димність ВГ зростає на 16 одиниць (19,5%).

Збільшення тиску початку уприскування палива форсунками з 17,5 МПа до 20,5 МПа на номінальному режимі роботи дизеля призводить до зниження годинної витрати палива на 0,2 кг/год (1,5%), питомої витрати палива на 3,7 г/(кВт*год) (на 1,5%), димності ВГ на 1 одиницю.

На режимі максимального крутного моменту часова витрата палива збільшується на 0,3 кг/год (2,9%), питома витрата палива збільшується на 7,0 г/(кВт*год) (на 2,8%), димність ВГ зростає на 4 одиниці (4,9%).

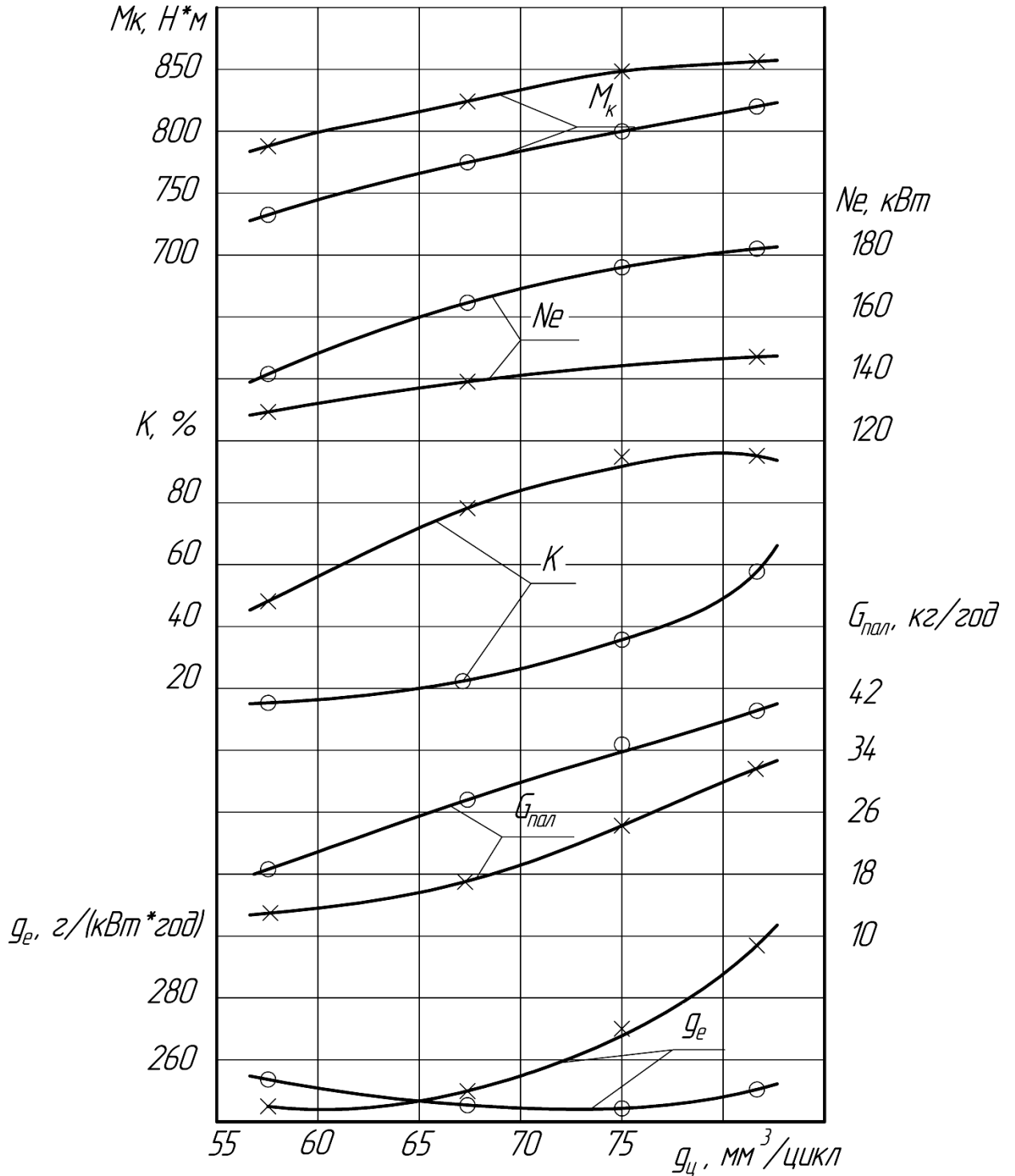
Вплив величини циклової подачі палива на показники роботи дизеля ЯМЗ-238 наведено на рис. 2.10.

При зниженні величини циклової подачі палива з 75мл³/цикл до 58 мм³/цикл, на номінальному режимі роботи дизеля ефективна потужність зменшується на 17,5 кВт (на 30%), годинна витрата палива зменшується на 3,9 кг/год (на 27%), питома витрата палива збільшується на 7,8 г/(кВт*год) (на 3,2%), димність ВГ зменшується на 21 одиницю (на 40%). На режимі максимальній крутного моменту ефективна потужність дизеля знижується при цьому на 7,2 кВт (на 17%), годинна витрата палива зменшується на 2,99 кг/год (на 26%), питома витрата палива зменшується на 29,9 г/(кВт*год).

Збільшення циклової подачі палива з 75мм³/цикл до 82мм³/цикл, на номінальному режимі роботи призводить до збільшення ефективної потужності дизеля на 2,0 кВт (на 3,4%), годинної витрати палива на 0,94 кг/год (на 6,6%), питомої витрати палива на 7,2 г/(кВт/год) (на 3%), димності ВГ на 23 одиниці (на 65,7%).

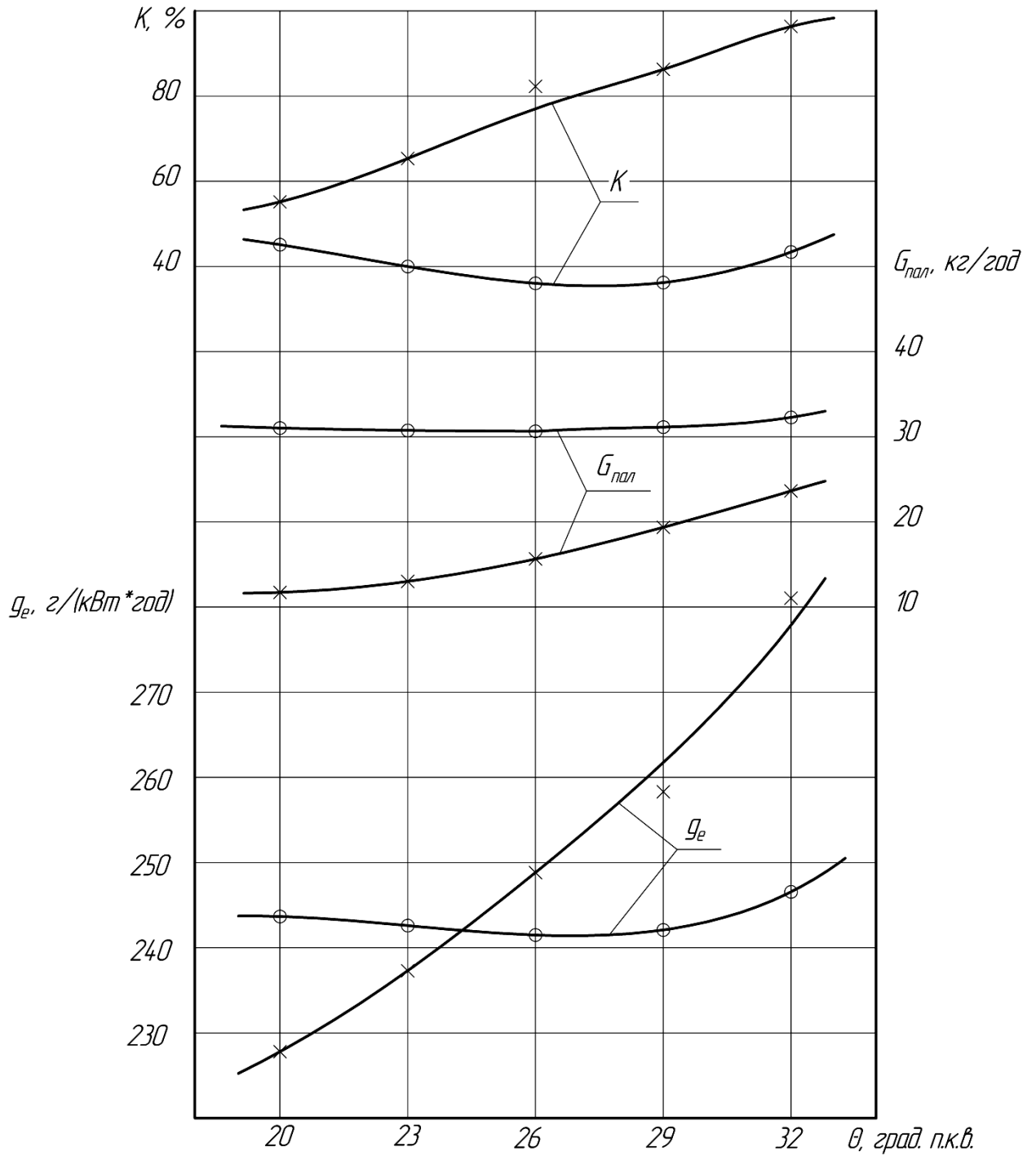
На режимі максимального крутного моменту величина ефективної потужності зростає на 2,0 кВт (на 4,7%), питома витрата палива збільшується на 24,5 г/(кВт*год) (на 9%), годинна витрата палива збільшується на 1,64 кг/год (на 14,3%), димність ВГ зростає на 5 одиниць (на 5,3%).

Залежність показників роботи дизеля ЯМЗ-238 від величини встановленого кута випередження впорскування палива наведена на рис. 2.11.



o-o – номінальний режим роботи, $n=2200 \text{ хв}^{-1}$;
 x-x – режим максимального крутного моменту, $n=1400 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 2.10 – Залежність основних показників дизеля ЯМЗ-238 від величини циклової подачі палива на різних режимах роботи



o---o – номінальний режим роботи, $n=2200$ хв⁻¹;

x---x – режим максимального крутного моменту, $n=1400$ хв⁻¹

Рисунок 2.11 – Залежність основних показників дизеля ЯМЗ-238 від встановлюваного кута випередження впорскування палива на різних режимах роботи

При зміні $\Theta_{\text{ввп}}$ з 26 до 20 градусів повороту колінчастого вала на номінальному режимі роботи дизеля годинна витрата палива збільшується на 0,22 кг/год (на 0,9%), питома витрата палива збільшується на 2,2 г/(кВт·год) (на 0,9%), димність ВГ зростає на 12 одиниць (на 36,3%). На режимі максимального крутного моменту годинна витрата палива знижується на 0,91 кг/год (на 8,9%), питома витрата палива зменшується на 22,8 г/(кВт·год) (на 9,2%), димність ВГ знижується на 37 одиниць (на 42,7%).

При збільшенні $\Theta_{\text{ввп}}$ з 26 до 32 градусів на номінальному режимі роботи дизеля годинна витрата палива збільшується на 0,34 кг/год (на 2,6%), питома витрата палива збільшується на 5,6 г/(кВт*год) (на 2,3%), димність ВГ зростає на 10 одиниць (на 30,3%). На режимі максимального крутного моменту годинна витрата палива зростає на 1,4 кг/год (на 13,7%), питома витрата палива зростає на 34,1 г/(кВ*год) (на 13,7%), димність ВГ збільшується на 14 одиниць (на 17,1%).

У табл. 2.8 показані результати випробувань дизеля ЯМЗ-238 при крайніх поєднаннях регулювальних параметрів ПА згідно табл. 2.7.

В рамках цього дослідження вирішувалися часткові, найбільш актуальні для умов експлуатації, завдання раціоналізації регулювальних параметрів подачі палива.

Оптимальні (по ефективної потужності, питомої витрати палива і димності ВГ) області значень регулювальних параметрів ПА дизеля ЯМЗ-238 для номінального режиму роботи відповідали:

Таблиця 2.7 – Різні варіювання регулювальними параметрами ПА при випробуванні дизеля ЯМЗ-238

Рівень та інтервал варіювання факторами	Дизель ЯМЗ-238		
	$\Theta_{\text{впр}}$, град	$g_{\text{ц(н)}}$, мм ³ /цикл	$P_{\text{ф}}$, МПа
1	2	3	4
Верхній рівень (+)	32	80	20,5

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4
Нижній рівень (-)	20	56	14,5
Основний рівень (0)	26	68	17,5
Інтервал варіювання	6	12	3
План експеримента:			
1	+	+	0
2	-	+	0
3	0	+	+
4	0	+	-
5	0	-	-
6	0	-	+
7	+	-	0
8	-	-	0
9	-	0	+
10	-	0	-
11	+	0	-
12	+	0	+
13	0	0	0
14	0	0	0

Таблиця 2.8 – Дані результатів випробувань дизеля ЯМЗ-238 при різних співвідношеннях регульованих параметрів ПА

№ дос- лід	n=1400хв ⁻¹					n=2200хв ⁻¹				
	N_e , кВт	g_e , г/(кВт·год)	К, %	NO_x , хв ⁻¹	СН хв ⁻¹	N_e , кВт	g_e , г/(кВт·год)	К, %	NO_x , хв ⁻¹	СН хв ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	124,6	227,66	97,0	570	250	166,6	236,75	53,3	760	230
2	125,3	207,35	96,7	115	112	165,2	254,03	52,3	174	97
3	121,4	210,00	95,8	232	51	165,9	223,11	50,3	274	40
4	122,2	230,22	98,0	198	123	167,3	245,41	66,5	257	138
5	117,2	175,45	71,0	160	76	153,2	228,80	13,0	245	45
6	113,1	167,07	42,7	257	93	145,2	242,00	10,8	350	84
7	114,6	179,25	60,8	382	90	148,2	236,93	8,3	400	86

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	120,1	208,97	89,0	150	87	164,3	233,36	35,0	170	62
9	117,6	199,50	81,4	186	72	167,6	232,00	24,0	190	38
10	121,0	190,78	86,0	110	38	160,2	234,14	35,0	154	57
11	120,1	194,14	86,3	75	51	160,2	230,00	34,8	86	46
12	122,2	207,35	60,8	75	90	166,1	232,32	52,1	567	48
13	117,6	179,25	86,3	382	123	159,2	238,01	39,2	482	83
14	125,3	194,14	96,7	257	83	158,9	234,22	22,1	621	112

$\Theta_{\text{ВВП}} = 26...29$ град, $P_{\phi} = 16,0...18,5$ МПа і $g_{\text{цн}}=66...72$ мм³/цикл; на режимі максимально крутного моменту: $\Theta_{\text{ВВП}} = 20...23$ град, $P_{\phi} = 17,5...19,0$ МПа і $g_{\text{цн}}=64...72$ мм³/цикл.

Висновки по другому розділу

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Переверені в умовах експлуатації транспортні дизелі на режимі вільного прискорення мали димність ВГ, що перевищує норми. Близько 45% з них мали димність ВГ більше 90%. Головними причинами, які викликають підвищену димність ВГ, є розрегулювання і несправність паливної апаратури.

2. Істотна відмінність в показниках димності ВГ випробуваних дизелів на режимах максимальної частоти обертання холостого ходу і вільного прискорення дає підставу вважати, що кожен з цих показників відображає специфічні відмінності в технічному стані дизеля і його паливної апаратури.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ І ПАЛИВНО-
ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

3.1 Розробка розрахункових моделей оцінки паливних показників на основі балансу складу відпрацьованих газів

Склад ВГ дизелів є досить інформативним показником їх технічного стану, причому апріорі відомо, що домінуючий чинником, що обумовлює концентрацію нормованих компонентів у ВГ та їх димність, є якість роботи паливної апаратури, яка залежить від її технічного стану та значень регулювальних параметрів. У зв'язку з цим встановлення взаємозв'язку концентрацій окремих компонентів у ВГ та їх димності з паливно-економічними показниками, а також значеннями регулювальних параметрів подачі палива дозволяє використовувати результати газового аналізу з метою технічної діагностики двигунів.

Циклова подача палива двигуна визначається співвідношенням

$$g_{\text{ц}} = 120 \cdot 10^3 \cdot \left[(G_{\beta} \cdot m) / (i \cdot n \cdot \alpha \cdot L_0) \right], \text{ мг/цикл} \quad (3.1)$$

де G_{β} – масова витрата повітря; г/с;

m – коефіцієнт тактності;

i – число циліндрів;

n – частота обертання, хв^{-1} ;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

L_0 – теоретично необхідна кількість повітря для повного сгорання 1 кг палива, кг.пов./кг.пал.

Якщо елементарний склад палива, що характеризується ваговими долями, уявити $C_{\text{пал}} + H_{\text{пал}} + O_{\text{пал}} = 1$, то виходячи з реакцій повного окислення його компонентів можна отримати так зване контрольне рівняння

[6], яке в загальному випадку може бути представлено у вигляді

$$CO_2 + O_2 = O_v - \beta CO_2, \quad (3.2)$$

де O_2 і CO_2 – відповідно вміст вільного кисню і двоокису вуглецю в сухих ОГ, які визначаються газовим аналізом, % об.;

O_v – вміст кисню в використовуваному повітрі, % об.

Введемо позначення:

O_{min} – кількість кисню повітря, необхідне для повного окислення палива, % об.;

$O_{ізб}$ – кількість кисню повітря, невикористаного на окислення палива і залишається в складі ВГ, % об.;

O_{Σ} – сумарна кількість кисню повітря, що надходить в циліндри двигуна, %/

За фізичним змістом рівняння (3.2) можна записати

$$\begin{aligned} O_{min} &= O_{пов} - O_2 = CO_2(1 + \beta); \\ O_{ізб} &= O_2; \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$O = O_{min} + O_{ізб} = CO_2(1 + \beta) + O_2,$$

і для коефіцієнта надлишку повітря

$$\alpha = O_{\Sigma}$$

$$O_{min} = [CO_2(1 + \beta) + O_2]/[CO_2(1 + \beta)], \quad (3.4)$$

або з урахуванням (3.2)

$$\alpha = O_{пов}/[CO_2(1 + \beta)]. \quad (3.5)$$

У разі досконалого згорання палива вміст двоокису вуглецю в ВГ має мати максимальне значення

$$CO_{2max} = O_v/(1 + \beta). \quad (3.6)$$

Підставляючи послідовно в рівняння (3.5) вирази $CO_2(1 + \beta)$ з (3.3) і $O_{пов}/(1 + \beta)$ з (3.6), отримаємо співвідношення, що зв'язують величину α з результатами аналізу ВГ

$$\alpha = CO_{2max}/CO_2;$$

$$\alpha = \frac{O_{пов}}{(O_{пов} - O_2)} \quad (3.7)$$

і далі, підставляючи значення α з (3.7) в (3.1) для 4-х тактного дизеля отримаємо

$$g_{ц} = 1,2 \cdot 10^5 [(CO_2 - G_{пов}) / (i \cdot L_o \cdot CO_{2max} \cdot n)]; \quad (3.8)$$

$$g_u = 1,2 \cdot 10^5 [((O_{пов} - O_2) \cdot G_B) / (i \cdot L_o \cdot O_B \cdot n)]. \quad (3.9)$$

Для порівняння паливних показників різних дизелів зручно скористатися поняттям питомої циклової подачі палива $g_u = g_u / (iV_h)$, тоді будемо мати

$$g_{ц} = 1,2 \cdot 10^5 [(CO_2 - G_B) / (i \cdot V_h \cdot L_o \cdot CO_{2max} \cdot n)]; \quad (3.10)$$

$$g_{ц} = 1,2 \cdot 10^5 [((O_B - O_2) \cdot G_B) / (i \cdot V_h \cdot L_o \cdot O_B \cdot n)], \quad (3.11)$$

де $g_{ц}$ – мг/цикл.л.

Значення констант L_o і CO_{2max} , які входять до рівнянь (3.10) і (3.11) в загальному випадку повинні бути вираховані по результатам хімічного аналізу використаного палива. Вираз для L_o з урахуванням вмісту сірки в складі палива буде мати вигляд

$$L_o = (8/3C_T + 8H_T + S_T - O_T)(87,5/O_B + 1/8), \quad (3.12)$$

де $C_{пал}$, $H_{пал}$, $S_{пал}$ і $O_{пал}$ – відповідно вмісту вуглецю, водоводу, сірки і кисню в паливі, масові частини.

Вираз для визначення величини CO_{2max} за хімічним складом палива з

урахуванням вмісту сірки може бути отримано із співвідношення мольних концентрацій компонентів сухих ВГ. При згорянні 1 кг палива в загальному випадку виділиться (в к.моль) $(CO_2)' = S_{\text{пал}}/12$, $(SO_2)' = S_{\text{пал}}/32$, крім того, у ВГ буде присутній залишковий азот

$$(N_2)' = (1 - O_{\text{пов}}/100) \cdot L_o',$$

де $L_o' = L_o/m_{\text{пов}}$ – теоретично необхідна кількість повітря для згорання одиниці маси палива в молевому виразі;

$m_{\text{пов}}$ – середня відносна молекулярна маса повітря.

Кількість CO_2 , віднесене до загальної кількості ВГ, дає величину $CO_{2\text{max}}$

$$CO_{2\text{max}} = 10^2 [(C_{\text{пал}}/12) / (C_{\text{пал}}/12 + S_{\text{пал}}/32 + L_o'(1 - O_{\text{пов}}/100))], \quad (3.13)$$

де $CO_{2\text{max}}$ – % об.

При заздалегідь відомій величині β значення $CO_{2\text{max}}$ може бути також отримано з виразу (3.6).

Отримані співвідношення для $g_{\text{ц}}$ є проте наближеними, оскільки не враховують досить строгій зміни обсягу газів до і після згорання. У роботах [6] вказується, що зміна обсягу газів викликано впливом водню, що входить до складу палива і згорає з утворенням водяної пари. Проведений розрахунковий аналіз [33] показав, що похибка, що вноситься в результати розрахунків $g_{\text{ц}}$ за вищенаведеними залежностями, має в області номінального навантаження дизеля величину близько 2% і зростає при зниженні навантаження, досягаючи величини близько 5,5% в області холостого ходу. Для усунення неточності розрахунків, викликаних цією обставиною, пропонується використовувати уточнені співвідношення для α , які можуть бути представлені у вигляді

$$\alpha = O_{\text{пов}}/(100 + \mu) \cdot [((100 - O_{\text{пов}} + \mu) / (1 + \beta)) \cdot (1 / CO_2) + 1];$$

$$\alpha = [(100 - O_{\text{пов}} + \mu) / (100 + \mu)] \cdot [O_{\text{пов}}/(O_{\text{пов}} - O_2)] + [O_{\text{пов}} / (100 + \mu)], \quad (3.14)$$

де μ – коефіцієнт, що враховує елементарний склад водневовмісного

палива, рівний

$$\mu = 32,82 [(C_{\text{пал}} + 0,37S_{\text{пал}}) / (H_{\text{пал}} - 0,125O_{\text{пал}} + 0,002C_{\text{пал}})]. \quad (3.15)$$

З урахуванням (3.14) вирази для питомої циклової подачі палива можуть бути представлені у вигляді

$$g_{\text{ц}}' = 1,2 \cdot 10^5 [((100 + \mu) \cdot G_{\text{В}} / (i \cdot V_{\text{h}} \cdot L_{\text{o}} - O_{\text{В}}) \cdot [(100 - O_{\text{В}} + \mu) / (1 + \beta)] \cdot (1 / CO_2) + 1) \cdot n]; \quad (3.16)$$

$$g_{\text{ц}}' = 1,2 \cdot 10^5 \cdot G_{\text{пов}} / ((i \cdot V_{\text{h}} \cdot L_{\text{o}}) [((100 - O_{\text{пов}} + \mu) O_{\text{пов}}) / [(100 + \mu) \cdot (O_{\text{пов}} + O_2)] + (O_{\text{пов}} / + \mu)] n). \quad (3.17)$$

Після перетворення і винесення константних величин отримані вирази можуть бути представлені також в наступній формі

$$g_{\text{ц}}' = 1,2 \cdot 10^5 \cdot [(100 + \mu) \cdot (O_{\text{В}} \cdot V_{\text{h}} \cdot L_{\text{o}})] \cdot [G_{\text{пов}} / [((100 - O_{\text{пов}} + \mu) / ((1 + \beta) - CO_2) + 1) \cdot n]]; \quad (3.18)$$

$$g_{\text{ц}}' = 1,2 \cdot 10^5 \cdot [(100 + \mu)] \cdot [G_{\text{пов}} / [((100 - O_{\text{пов}} + \mu) / (O_{\text{пов}} - O_2) + 1) \cdot n]]. \quad (3.19)$$

Застосування останніх залежностей дозволить підвищити точність визначення за даними простого аналізу ВГ.

Однак останні залежності не враховують можливість неповного окислення палива і зв'язування кисню азотом. Для зниження даної похибки необхідно при розрахунках враховувати і ту кількість кисню, яку буде потрібно для повного окислення продуктів реакцій і кисню, що зв'язується азотом повітря. Крім того, буде потрібно внести зміни у значення вмісту двоокису вуглецю у ВГ з урахуванням наявності у складі ВГ компонентів, що містять неокислений вуглець. Найважливішими з таких компонентів, які бажано враховувати при аналізі ВГ, являються наступні: окис вуглецю CO , метан та інші вуглеводні (CH) , оксиди азоту NO і сажа $C_{\text{вг}}$.

В роботах [33] на основі аналізу утворення зазначених сполук виводяться співвідношення для скоригованих значень вмісту кисню і

двоокису вуглецю в ВГ

$$O_2' = O_2 - 0,5CO - 2CH + 0,5NO - 0,187 * C_{\text{вг}}, \quad (3.20)$$

$$CO_2' = CO_2 + CO + CH + 0,187C_{\text{вг}}. \quad (3.21)$$

Визначення масового сажевмісту у ВГ представляє відому складність для умов експлуатації. У той же час між показниками димності ВГ і сажевмісту, як це було показано в розділі 1, існує кореляційний зв'язок. Виконаний статистичний аналіз експериментального матеріалу [42] показав можливість опису даної зв'язку (з ймовірністю 0,95) поліномом 4-го ступення

$$C_{\text{вг}} = 1,26255 \cdot 10^{-4} \cdot K^2 - 1,97748 \cdot 10^{-3} \cdot K + 3,67243 \cdot 10^{-2}, \quad (3.22)$$

де $C_{\text{вг}}$ – г/м³;

K – коефіцієнт ослаблення світлового потоку за шкалою Harttridge, %.

Розраховані за виразами (3.20) і (3.21) значення O_2 і CO_2 підставляються далі у відповідні вирази для $g_{\text{ц}}$ (3.18), (3.19).

Отримані вище співвідношення (3.18, 3.19) можуть бути представлені в більш конкретній формі. Так, для застосовуваних у даний час безсірчистих дизельних палив середньостатистичного складу ($C_{\text{пал}} = 0,857$; $H_{\text{пал}} = 0,133$; $O_{\text{пал}} = 0,01$) та роботі в ординарних кліматичних умовах ($O_2 = 21\%$, $N_2 = 79\%$), вхідні параметри приймають конкретні значення: $L_0 = 14,39$; $CO_{2\text{max}} = 15,39$; $\beta = 0,364$; $\mu = 210,74$ і залежності (3.18, 3.19) перетворюються до спрощеного вигляду:

$$g_{\text{ц}}' = 1,239 \cdot 10^5 (1 / (i \cdot V_h \cdot N)) [G_{\text{пов}} / (289,74 / CO_2 + 1)], \quad (3.23)$$

$$g_{\text{ц}}' = 1,239 \cdot 10^5 (1 / (i \cdot V_h \cdot n)) \cdot [G_{\text{пов}} / (289,74 / (21 - O_2) + 1)]. \quad (3.24)$$

Стосовно до палива обтяжливого фракційного складу, що містить сірку: $C_{\text{пал}} = 0,865$; $H_{\text{пал}} = 0,12$; $O_{\text{пал}} = 0,01$; $S_{\text{пал}} = 0,005$; $L_0 = 13,99$; $CO_{2\text{max}} = 15,33$; $\beta = 0,325$ та $\mu = 236,14$ залежності набувають вигляд:

$$g_{ц}' = 1,373 \cdot 10^5 (1 / (i \cdot V_h \cdot N)) \cdot (O_{пов} / (237,8 / CO_2 + 1)); \quad (3.25)$$

$$g_{ц}' = 1,373 \cdot 10^5 (1 / (i \cdot V_h \cdot n)) \cdot (O_{пов} / (315,14 / (21 - O_2) + 1)). \quad (3.26)$$

За розрахованими значеннями $g_{ц}$, можуть бути визначені й інші паливні показники дизеля, наприклад, часовий ($G_{год}$) і питома ефективна (g_e) витрати палива

$$G_{пал} = (g_{ц}' \cdot i \cdot V_h \cdot n) / (0,6 \cdot 10^5),$$

$$g_e = (3,6 \cdot 10^3 \cdot G_{пал}) / N_e, \quad (3.27)$$

де V_h – робочий об'єм циліндра, л;

N_e – ефективна потужність дизеля, кВт.

3.2 Перевірка адекватності методу діагностування за даними моторних випробувань дизелів

З метою перевірки коректності методу були поставлені стендові випробування на дизелях ЯМЗ-238 (8Ч130/140) і ЯМЗ-238Н (8ЧН130/140). Експерименти виконувалися на навантажувальних характеристиках, відповідних частотах $n=1700 \text{ хв}^{-1}$ і $n=2200 \text{ хв}^{-1}$, зовнішні і часткові (80% навантаження) швидкісні характеристики при вимірюванні цікавлять параметри в повній відповідності з вимогами стандартів. Методика і опис спеціальної вимірювальної апаратури, значення робочих параметрів дизелів на контрольованих режимах, результати аналізу ВГ, розрахунків питомих циклових подач палива і їх зіставлення з даними безпосередніх вимірів наводяться в розділі 2, а також, як приклад, – в табл. 3.1, 3.2. Середні (за всіма характеристиками) значення відхилень від даних безпосередніх масових, вимірювань наведені в табл. 3.3.

При зіставленні відхилень по навантажувальним характеристикам можна помітити закономірно виражене зростання похибки при зниженні вмісту основних контрольованих компонентів ВГ O_2 і CO_2 (рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати зіставлення значень питомих циклових подач палива, розрахованих за складом ВГ, за даними безпосередніх масових вимірювань (розрахунок по залежностям з коригуванням обсягу ВГ – (3.18) і (3.19))

№ зп	P _c , МПа	G _{пал} , г/с	G _{пов} , г/с	O ₂ , % об.	CO ₂ , % об.	g _ц ', вим., мг/ц.л.	Розрахунок по O ₂			Розрахунок по CO ₂		
							g _ц ', мг/ц.л.	δ _{абс} , мг/ц.л.	δ _{опт} , %	g _ц ', мг/ц.л.	δ _{абс} , мг/ц.л.	δ _{опт} , %
1	0,143	1,36	89,5	16,7	3,1	15,621	15,461	-0,16	1,03	15,170	-0,45	2,89
2	0,169	1,51	89,6	16,2	3,4	17,389	17,305	-0,08	0,49	16,733	-0,66	3,78
3	0,337	2,21	89,6	14,0	5,1	25,633	25,256	-0,38	1,47	25,108	-0,53	2,05
4	0,506	3,13	39,9	10,9	7,4	35,966	35,106	-0,86	2,39	35,093	-0,87	2,43
5	0,674	4,33	86,7	6,9	10,5	51,009	48,904	-2,18	4,13	49,650	-1,36	2,66
6	0,506	3,03	87,7	11,1	7,3	34,872	34,387	-0,49	1,39	34,587	-0,23	0,82
Навантажувальна характеристика				n = 2200 хв ⁻¹			δ _{від.ср.} ^{O2} = 1,602%			δ _{від.ср.} ^{CO2} = 2,55 %		

Дизель ЯМЗ-238; ПНВТ – ЯЗТА-238; форсунки ФД-22; Θ_{ввп} = 26 град.

Таблиця 3.2 – Результати зіставлення значень питомих циклових подач палива, розрахованих за складом ВГ, з даними безпосередніх масових вимірювань (розрахунок по залежностям з коригуванням обсягом ВГ і з урахуванням неповноти згоряння палива – (3.20) і (3.21))

№ зп	P_e , МПа	$G_{\text{пал}}$, г/с	$G_{\text{пов}}$, г/с	O_2 , % об.	CO_2 , % об.	$g_{\text{ц}}'$ ВИМ., МГ/Ц.Л.	Розрахунок по O_2			Розрахунок по CO_2		
							$g_{\text{ц}}'$, МГ/Ц.Л.	$\delta_{\text{абс}}$, МГ/Ц.Л.	$\delta_{\text{опт}}$, %	$g_{\text{ц}}'$, МГ/Ц.Л.	$\delta_{\text{абс}}$, МГ/Ц.Л.	$\delta_{\text{опт}}$, %
1	0,125	1,41	89,4	16,5	3,1	16,186	16,276	0,09	0,56	15,695	-0,49	3,03
2	0,210	1,82	93,1	15,5	3,9	20,703	20,618	-0,08	0,41	20,309	-0,39	1,90
3	0,423	2,74	101,9	13,5	5,4	31,458	30,829	-0,03	2,00	30,753	-0,71	2,24
4	0,533	3,80	112,4	11,5	6,9	43,571	42,803	-0,77	1,76	43,098	-0,47	1,08
5	0,843	5,12	125,2	9,4	8,6	53,775	57,337	-1,44	2,45	58,760	-0,01	0,03
6	0,433	3,79	112,4	11,5	7,0	43,576	42,571	-1,01	2,31	43,224	-0,35	0,81
6	0,210	2,78	101,5	13,3	5,5	31,758	31,335	-0,45	1,41	31,149	-0,64	2,00
Навантажувальна характеристика				$n = 2200 \text{ хв}^{-1}$			$\delta_{\text{від.ср.}}^{O_2} = 1,602\%$			$\delta_{\text{від.ср.}}^{CO_2} = 2,55\%$		

Дизель ЯМЗ-238Т; ПНВТ – ЯЗТА-238; форсунки ФД-22; $\Theta_{\text{ввп}} = 26$ град.

Звідси можна зробити висновок про те, що в області малих навантажень дизеля більш точні результати дають розрахунки паливних показників по вмісту O_2 в ВГ, а в області навантажень, близьких до максимальних – по вмісту CO_2 .

Таблиця 3.3 – Середні значення відхилень розрахункових величин від даних безпосередніх масових вимірювань

Розрахункові залежності, які використовуються	Середнє відносне відхилення $\delta_{\text{від.ср.}}$ (%) при врахуванні в якості основного компонента	
	Кисню (O_2)	Двоокису вуглецю (CO_2)
Без коригування обсягу ВГ (3.11) і (3.12)	5,66	7,42
Уточнені з коригуванням обсягу ВГ, без урахування неповноти згоряння(3.18),(3.19)	2,42	3,82
Уточнені з коригуванням обсягу ВГ і з урахуванням неповноти згоряння (3.20), (3.21)	1,99	2,23

Застосування уточнених залежностей з коригуванням обсягу ВГ і з урахуванням неповноти згоряння (3.20) і (3.21) підвищує точність розрахунків (середня похибка по всьому експериментальним режимам знизилась в 1,47 рази). Однак це явище більшою мірою виражено при відносно високому вмісті в ВГ продуктів недосконалого згоряння. При малому вмісті останніх розрахунки як по залежностям (3.18) і (3.19), так і по (3.20) і (3.21) дають близькі результати.

Так, для дизеля ЯМЗ-238 ($n=1700 \text{ хв}^{-1}$) на режимах малих и середніх навантажень погрішність розрахунку g_u' зменшилась всего лишь в 1,18 раза. Це пояснюється повнотою згоряння палива і відносно меншим рівнем температур на цих режимах (вміст CO – 0,02...0,03, CH – 0,002...0,004 і NO_x – 0,02...0,08 % об.). На режимах великих навантажень, при відповідному збільшенні вмісту CO до 0,10...0,97 і NO_x до 0,09...0,12 % об. Точність розрахунків з використанням залежностей (3.20) і (3.21) зросла вдвічі.

При визначенні величини $g_{ц}$ за уточненими залежностями з корекцією об'єму ВГ (3.18) і (3.19) і, особливо, з коригуванням значень змісту контрольованих компонентів (3.20) і (3.21), систематична помилка виміру може вважатися нехтуємо малою, і похибка визначення шуканої величини буде визначатися, в основному, випадковими помилками вимірювань. Оцінимо похибку вимірювань.

Так як визначення величини $g_{ц}$ проводиться непрямим методом, то необхідно враховувати погрішність вимірів всіх функціональних величин. Виходячи з структури залежностей визначення шуканої величини

$$f = C(x_1 \cdot x_2/x_3),$$

де C – постійний коефіцієнт,

а відповідність членів даної залежності з вимірами величинами встановлюється як:

$$x_1 = G_{пов};$$

$$x_2 = O_2(CO_2);$$

$$x_3 = n;$$

$f = g_{ц}$ виводиться рівнянням для оцінки ймовірної відносної погрішності з урахуванням закона складання незалежних випадкових помилок:

$$\frac{\Delta f}{f} = [(1/x_1 \cdot \Delta x_1)^2 + (1/x_2 \cdot \Delta x_2)^2 + (1/x_3 \cdot \Delta x_3)^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.28)$$

Максимальна похибка вимірів $G_{пов}$ в умовах експерименту складала 2% при вимірі n вона була рівна 0,01%. Вимірювання концентрації основних компонентів ВГ (CO_2 і O_2) знаходилось з максимальною похибкою 2,5% від верхньої межі вимірювання. Середні значення концентрації вказаних компонентів ВГ по всім експериментальним режимам складала 4,68 об.% – для CO_2 і 10 об. % – для O_2 . Приведені до цих значень максимальна похибка

вимірювання складала 5,25% – для O_2 і 6,51% – для CO_2 .

Підставляючи вказані значення похибок вихідних величин в вираз (3.28) отримаємо, що максимальна похибка розрахунку повинна складати: 3,81% – при розрахунках по CO_2 і 5,62% – при розрахунках по O_2 . При умові розподілу похибок вихідних величин по нормальному закону можна вважати середню похибку розрахунку $g_{ц}$ рівній 1/3 від максимальної і рівній 2,27% – при розрахунку по CO_2 і 1,87% – при розрахунку по O_2 . Це буде справедливо для розрахунків з застосуванням виразів з коректуванням об'єму ВГ (без урахування неповноти згоряння) – (3.18) і (3.19) – при практично повному згорянні і з урахуванням неповноти згоряння по (3.20) і (3.21) в загальному випадку.

Для визначення узагальнених значень похибок по серіям експериментальних спостережень шляхом співставлення отриманих теоретичних і експериментальних залежностей представимо вираз для $g_{ц}$ (3.11), (3.12) і (3.18), (3.19) в наступній формі:

$$\left. \begin{aligned} g_{ц}^{'T} &= K_1^T [G_B (O_B - O_2) / n]; & g_{ц}^{'T} &= K_2^T [G_B \cdot CO_2 / n]; \\ g_{ц}^{'T} &= K_3^T G_B / [((100 - O_B + \mu) / (O_B - O_2) + 1) \cdot n]; \\ g_{ц}^{'T} &= K_4^T G_B / [((100 - O_B + \mu) / ((1 + \beta) \cdot CO_2) + 1) \cdot n], \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{де } K_1^T &= (1,2 \cdot 10^5) / (i \cdot V_h \cdot O_B \cdot L_0); \\ K_2^T &= (1,2 \cdot 10^5) / (i \cdot V_h \cdot L_0 \cdot CO_{2max}); \\ K_3^T &= K_4^T = (1,2 \cdot 10^5 (100 + \mu)) / (O_B \cdot i \cdot V_h \cdot L_0). \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

За результатами апроксимації функції

$$\left. \begin{aligned} g_{ц}^{'e} &= K_1^e [G_B (O_B - O_2) / n]; & g_{ц}^{'e} &= K_2^e [G_B \cdot CO_2 / n]; \\ g_{ц}^{'e} &= K_3^e G_B / [((100 - O_B + \mu) / (O_B - O_2) + 1) \cdot n]; \\ g_{ц}^{'e} &= K_4^e G_B / [((100 - O_B + \mu) / ((1 + \beta) \cdot CO_2) + 1) \cdot n], \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

де $g_{ц}^{'e}$ – значення питомої циклової подачі, розраховані безпосередньо по даним вимірювання витрати палива, можуть бути визначені емпіричними

значеннями відповідних коефіцієнтів ($K_1^e \dots K_4^e$).

Знаючи числові значення відповідних теоретичних і експериментальних коефіцієнтів, узагальнену похибку розрахунків питомої циклової подачі палива можна оцінити по виразу:

$$\delta_{\text{від1}} = (|K_i^e - K_i^T|/K_i^e) \cdot 100\% . \quad (3.32)$$

В табл. 3.4 зведені результати апроксимації експериментальних функцій, виконані числовим методом на ЕОМ по програмі з застосуванням МНК, і відповідні їм теоретичні функції.

Таблиця 3.4 – Теоретичні і експериментальні функціональні залежності величини $g_{\text{ц}}'$ від складу ВГ

Розрахунок по залежностям	Теоретична функція	Експериментальна функція
1. Без коригування об'єму ВГ (3.11) і (3.12)	$Y_1^T = 83,950X_1$ $Y_2^T = 114,18X_2$	$Y_1^e = 88,688X_1$ $Y_2^e = 120,158X_2$
2. Уточнені з коригуванням об'єму ВГ (3.18) і (3.19)	$Y_3^T = 260,87X_3$ $Y_4^T = 260,87X_4$	$Y_3^e = 267,93X_3$ $Y_4^e = 269,87X_4$
3. Уточнені з коригуванням об'єму ВГ і з урахуванням неповноти згоряння (3.20) і (3.21)	$Y_5^T = 250,87X_5$ $Y_6^T = 250,87X_6$	$Y_5^e = 264,53X_5$ $Y_6^e = 264,63X_6$

$$\text{де } X_1 = [G_{\text{пов}}(21 - O_2)/n]; X_2 = [(G_{\text{пов}} \cdot CO_2)/n]$$

$$X_3 = G_{\text{пов}}/[(289,74/(21 - O_2) + 1) \cdot n];$$

$$X_4 = G_{\text{пов}}/[(212,42/CO_2 + 1) \cdot n];$$

$$X_5 = G_{\text{пов}}/[(289,74/(21 - O_2') + 1) \cdot n];$$

$$X_6 = G_{\text{пов}}/[(212,42/CO_2' + 1) \cdot n];$$

$$Y = g_{\text{ц}}'$$

Підставляючи в вираз (3.32) значення відповідних параметрів теоретичних і експериментальних функцій, то отримаємо значення загальних похибок. Результати розрахунків представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Значення похибок розрахунку величини $g_{ц}'$ по складу ВГ, отримані, по відхиленню відповідних теоретичних і експериментальних функцій

Розрахунок по залежностям	Відносна похибка, $\delta_{від}$ %	
	розрахунок по O_2	розрахунок по CO_2
1. Без коригування об'єму ВГ (3.11) і (3.12)	5,34	4,97
2. З коригуванням об'єму ВГ без урахування повноти згоряння (3.18) і (3.19)	2,63	3,33
3. З коригуванням об'єму ВГ і з урахуванням неповноти згоряння (3.20) і (3.21)	1,38	1,05

3.3 Обґрунтування з застосування розробленої методики безрозбірної діагностики параметрів двигуна і паливної апаратури по складу відпрацьованих газів в умовах експлуатації

Метод ідентифікації причин в виді розрегулювань або поломок системи двигуна і ПА в тому випадку, якщо вони супроводжуються зміною робочого процесу (процес згоряння палива), може бути заснований на тому, що кожна конкретна причина і навіть будь-яка комбінація причин такого роду обов'язково повинна проявитись в складі ВГ також для неї (цій причині або комбінації причин) властиво поєднання складових ВГ. Причому очевидно, що чим більше використовується в аналізі класифікуючих факторів-аргументів (складових ВГ), в кожному з яких причина проявляється в тільки для її властивої функціональної залежності, тим з більшою надійністю буде виконуватись ідентифікація причин.

Для реалізації цього методу визначена математична (статистична) модель, яка встановлює зв'язок складу ВГ з нормованими значеннями діагностичних параметрів двигуна і ПА для характерного режиму роботи дизеля, на якому проявляються досліджувані параметри.

Як було відмічено раніше, з точки зору оцінки технічного стану ПА і двигуна в умовах експлуатації визначений інтерес представляє режим ВП, що обумовлено рядом обставин.

По-перше, на режимі ВП проявляються всі відмови двигуна і ПА, пов'язані з порушенням робочого процесу і, отож, зміни складу ВГ.

По-друге, він порівняно легко відтворюється в умовах експлуатації, імітуючи короткочасно роботу дизеля під навантаженням.

По-третє, по цим причинам, він являється тестовим при оцінці димності в ряді вітчизняних і міжнародних стандартів.

Так як про закономірностях зміни окремих складових ВГ на режимах ВП існувала тільки гіпотетична думка (по суті, експериментальна), було передбачено розділити задачі по розробці метода на два етапи:

1) встановити характер зв'язку в формі численних рівнянь регресії основних регулюючих параметрів ПА ($g_{\text{цн}}$, $P_{\text{ф}}$, $\mu_{\text{ф}}$, $\theta_{\text{впр}}$), при їхньому варіюванні в межах експлуатаційних відхилень по однофакторному плану, з складом ВГ (K , CO , CH , CO_2) на режимі ВП;

2) на основі математичної моделі розроблено алгоритм розпізнання відхилень, регулювань від нормованих значень параметрів ПА, реалізуючи за допомогою ЕОМ.

В рамках справжнього дослідження проведено експерименти на дизелі ЯМЗ-238 в режимі ВП (рис. 3.1, 3.2, 3.3), отримані і проаналізовані по методиці [72] рівняння множинної регресії в формі лінійної і степеневої моделей.

Степенева модель ($y = ax_1^{b1} \cdot x_2^{b2} \cdot x_3^{b3} \cdot x_4^{b4} \cdot x_5^{b5}$)

$$g_{\text{цн}} = 174,48445129 \cdot K^{-0.13336903} \cdot \text{CH}^{-1.1323700} \cdot \text{NO}_x^{0.24320412} \cdot \text{CO}_2^{34.86840820} \cdot \text{CO}^{-0.87749314} ;$$

$$P_{\text{ф}} = 2,47030544 \cdot K^{-0.96276736} \cdot \text{CH}^{0.56540394} \cdot \text{NO}_x^{0.37390411} \cdot \text{CO}_2^{3.7390411} \cdot \text{CO}^{-0.01933609} ;$$

$$\mu_{f_{cp}} = 0,19796932 \cdot K^{0,24799544} \cdot CH^{0,00900078} \cdot NO_x^{-0,12779355} \cdot CO_2^{0,18572092} \cdot CO^{-0,04369400}$$

$$\theta_{впр} = 460,84838867 \cdot K^{0,38733536} \cdot CH^{0,16436619} \cdot NO_x^{0,62164307} \cdot CO_2^{-4,90935612} \cdot CO^{-1,01816082}$$

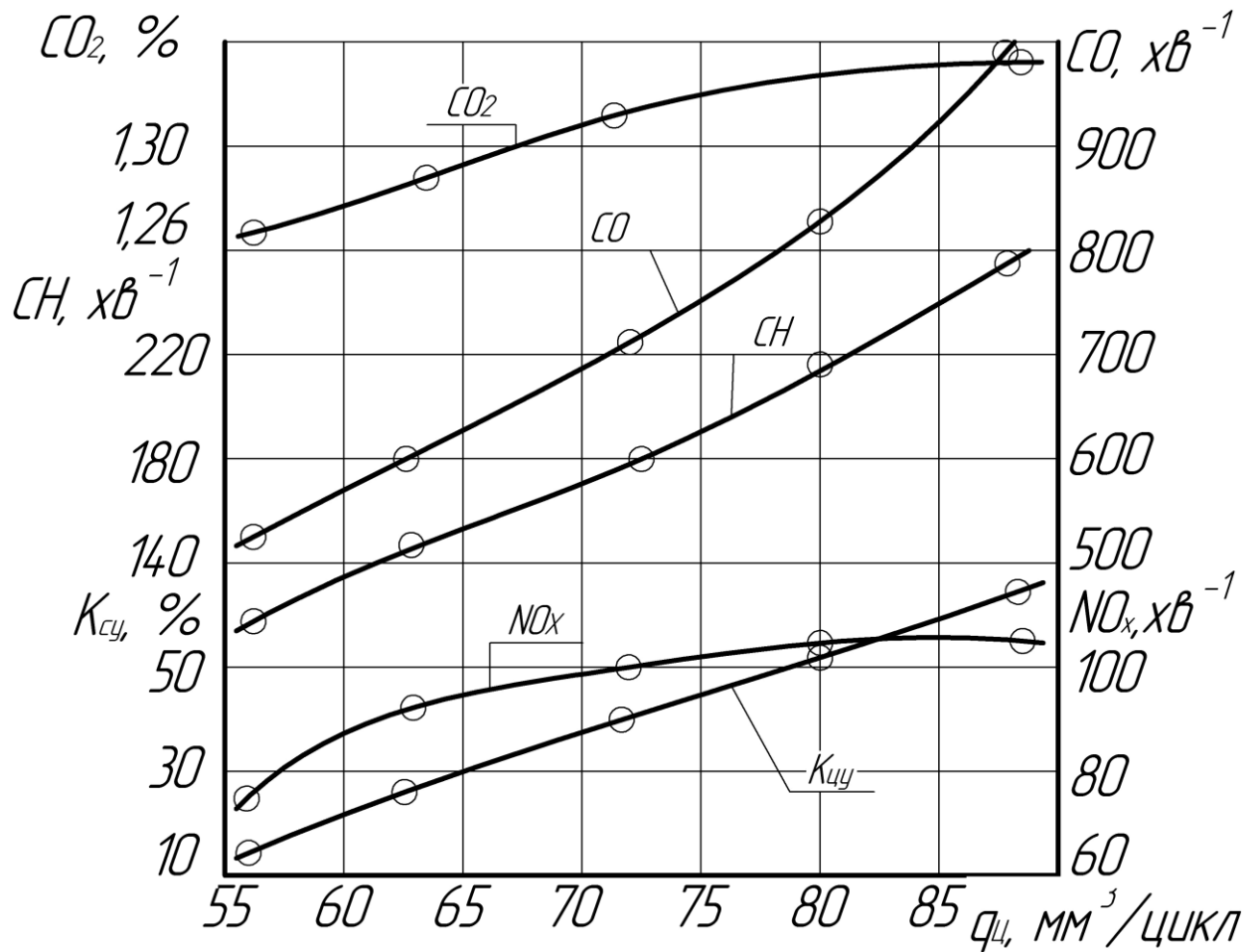


Рисунок 3.1 – Вплив регулювання циклового подання палива $g_{ц}$, на склад ВГ в режимі вільного прискорення дизеля ЯМЗ-238 (ПНВТ ЯЗТА-238)

Середня похибка апроксимації (у %): $g_{цн} : 0,15738$; $P_{\phi} : 0,11198$;
 $\mu_{f_{cp}} : 0,06709$; $\theta_{впр} : 0,79953$.

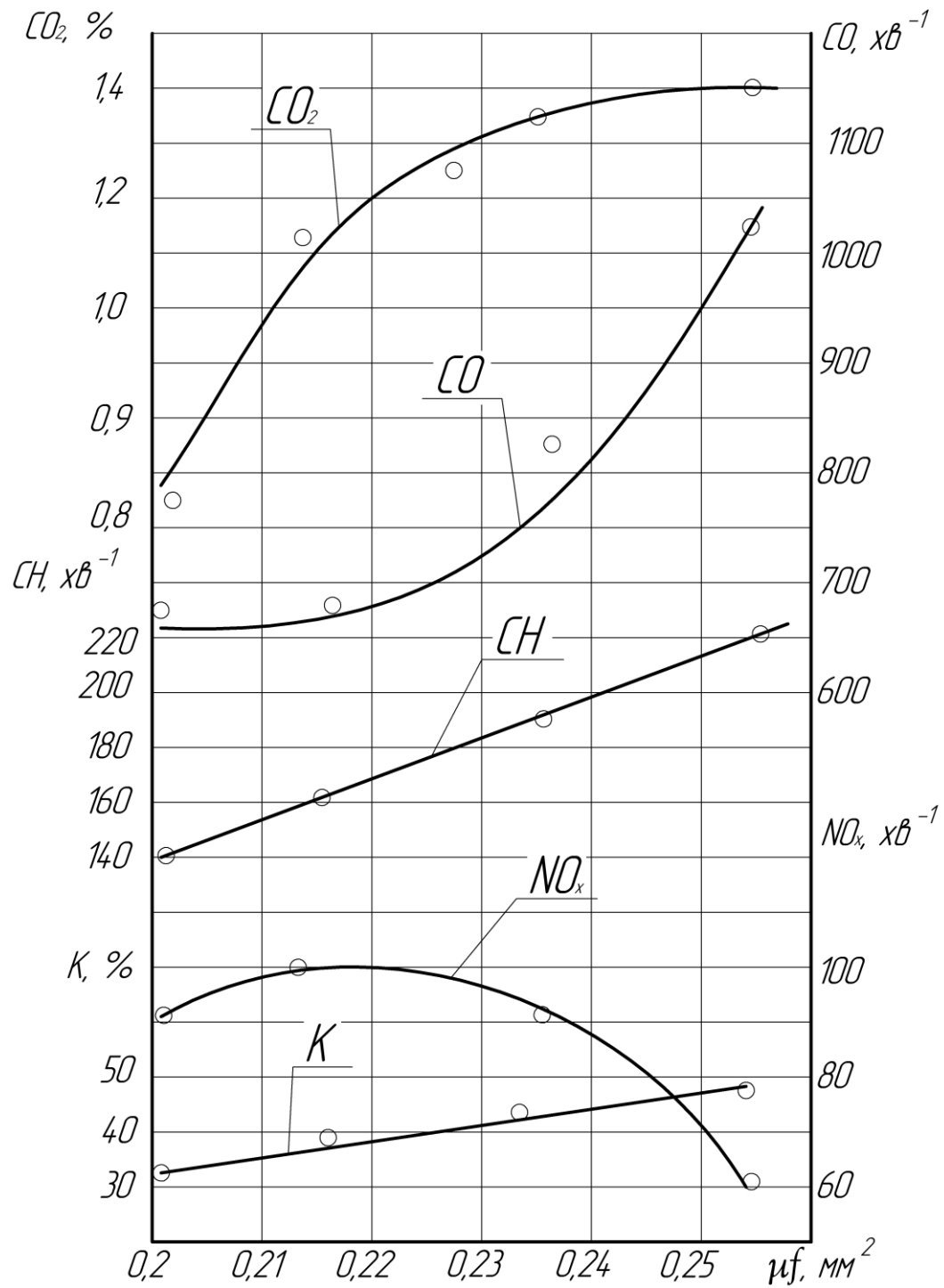


Рисунок 3.2 – Вплив середнього ефективного прохідного перерізу розпилювачів μ_f на склад ВГ в режимі ВП дизеля ЯМЗ-238 (ПНВТ ЯЗТА-238)

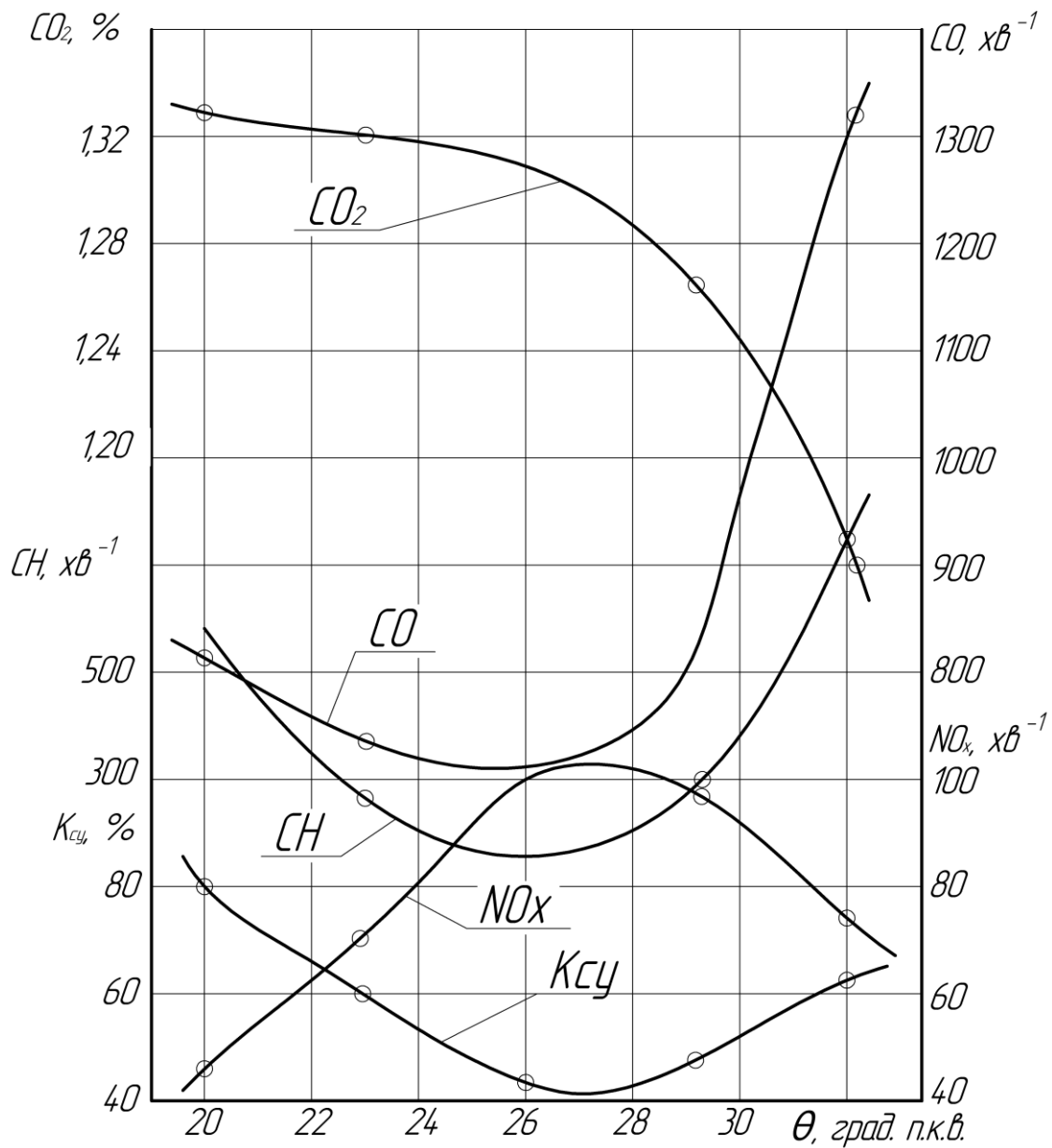


Рисунок 3.3 – Вплив настановного кута випередження уприскування палива $\theta_{\text{впр}}$ на склад ВГ в режимі вільного прискорення дизеля ЯМЗ-238 (ПНВТ ЯЗТА-238)

Лінійна модель ($y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$):

$$g_{\text{цн}} = -227,81759644 + 0,32850707 \cdot K + 0,11121333 \cdot \text{CH} - 0,06264538 \cdot \text{NO}_x + 228,30419922 \cdot \text{CO}_2 - 0,03252859 \cdot \text{CO}$$

;

$$P_{\phi} = -204,3698579 - 3,04116058 \cdot K + 1,83058167 \cdot CH + 0,19164556 \cdot NO_x + 12,30539513 \cdot CO_2 - 0,03016571 \cdot CO \quad ;$$

$$\mu_{f_{cp}} = 0,45168161 + 0,00048022 \cdot K - 0,00037592 \cdot CH - 0,00209594 \cdot NO_x + 0,12529755 \cdot CO_2 - 0,00018499 \cdot CO \quad ;$$

$$\theta_{впр} = -395,01147451 - 2,66465092 \cdot K + 0,14863801 \cdot CH - 0,48983860 \cdot NO_x + 398,19189453 \cdot CO_2 + 0,04789897 \cdot CO.$$

Середня помилка апроксимації (в %):

$$g_{цн} : 0,11426; P_{\phi} : 0,19768;$$

$$\mu_{f_{cp}} : 0,01371; \theta_{впр} : 0,54183.$$

Як видно, ця математична модель з високою мірою збіжності з результатами експериментальних досліджень дозволяє ідентифікувати по комплексу вимірів K , CH , NO_x , CO_2 , CO в режимі ВП регулювання ПА.

У цьому дослідженні велося опрацювання принципової можливості пошуку несправностей двигуна і ПА на основі застосування наступних методів і пристроїв:

1) оцінка загального технічного стану двигуна і ПА в режимі ВП по потужності ($N_{вп}$), що розвивається, і димності ВГ ($K_{вп}$) (потужність двигуна, що розвивається, може визначатися по прискоренню, наприклад, за допомогою облаштування ИМД-Ц2);

2) оцінка рівня димности газів картерів ($K_{кт}$), яка дозволяє виявити такі несправності двигуна як : знос циліндропоршневої групи (ЦПГ), залягання поршневих кілець, прогар поршнів, і т.п.;

3) оцінка димности (оптичній щільності) ВГ на зрізі випускної труби ($K_{л}$), зі швидкодією, що дозволяє ідентифікувати амплітудні значення змін димності в поциклових пульсаціях ВГ (наприклад, за допомогою осцилоскопа) з "прив'язкою" свідчень осцилоскопа до послідовності циліндрових вприсков палива або робочих циклів в циліндрах.

Отримана при цьому інформація про зміну показників димності ВГ з прив'язкою по циліндрах може свідчити, наприклад про:

- порушеннях паливоподачі, несправностях форсунок (закоксованість розпилювачів, втрата рухливості голки, порушення регулювання тиску уприскування палива і т.д.);

- неправильному регулюванню $\theta_{впр}$;

- прогарах поршнів і клапанів, "залягання" кілець і т.д.

Оцінка рівня димності за пунктами 2) і 3) може робитися на режимі n_{xx}^{max} .

Якщо але кожному з чотирьох діагностичних параметрів ($N_{вп}$, K , $K_{кг}^{max}$, $K_{кг}$, K_a) визначені нормовані значення димності ("норма"), що відповідають допустимому рівню відхилень параметрів технічного стану двигуна і ПА, то процес контролю технічного стану і розпізнавання несправностей можна побудувати таким чином.

1) Оцінка загального технічного стану двигуна і ПА в режимі ВП.

1.1) якщо $N_{вп}$ в нормі, $K_{вп}$ в нормі – двигун і ПА кондиційні;

1.2) якщо $N_{вп} > норми$, $K_{вп} > норми$ – двигун несправний, потрібно регулювання $g_{цн}$ (зменшення $g_{цн}$);

1.2.1) в даному випадку можливе перевищення $g_{цн}$, по окремих циліндрах (найімовірніше), або перевищення по усіх циліндрах (найменш ймовірно).

У першому випадку нерівномірність паливоподачі визначається по K_a .

1.3) якщо $N_{вп} < норми$, $K_{вп} < норми$ – двигун несправний.

1.3.1) робиться аналіз газів картерів по $K_{кг}$.

Якщо $K_{кг} > норми$, означає має місце знос або залягання кілець, прогар поршнів. В цьому випадку несправні циліндри визначаються по K_a .

Якщо $K_{кг}$ в нормі, то після перевірки і при необхідності регулювання $\theta_{впр}$ робиться регулювання $g_{цн}$, (збільшення $g_{цн}$) за показником нерівномірності паливоподачі K_a .

Прогар клапанів в даному випадку не може мати місце, так як було б вище за норму значення $K_{вп}$ і K_a .

1.4) якщо $N_{вп} < норми$, $K_{вп} > норми$ – двигун несправний.

Робиться аналіз газів картерів по $K_{кг}$. Як у випадку $K_{кг} > норми$ так і $K_{кг} < норми$ подальша діагностика робиться по K_a .

Слід зазначити, що причиною зниженого циклової подачі палива, встановленою по K_a , можуть бути несправності форсунок (закоксованість

розпилювачів) і ПНВТ (наприклад, втрата гідрощільності плунжерної пари, несправність розвантажувального клапана).

Як видно, реалізація цього методу принципово можлива. Для його інструментального втілення потрібне проведення досліджень, що встановлюють граничні значення діагностичних параметрів ($N_{вп}$, $K_{вп}$, $K_{кг}$, K_a) для кожного з тих, що ідентифікуються, за допомогою цього методу, виду несправності двигуна або ПА.

Розроблена методологія безразборної діагностики по складу ВГ з включенням димности газів картерів $K_{кг}$ лиже бути впроваджена на СТО.

Висновки по третьому розділу

1. У дослідженому діапазоні зміни напрацювання ПА (ПНВТ 6000 мотогодин, форсунок 3000 мотогодин) зміна показників паливоподачі носить нерегулярний характер; при цьому профілактичними і регулювальними роботами на безмоторних стендах, як правило, вдається привести ПА в стан, що забезпечує виконання вимог ТУ; проте, ТУ, які діють (особливо на регулювання корекції паливоподачі) не враховують зміни, що відбуваються від напрацювання, що призводить до значного перевищенню нормативів димности.

2. Дизелі ЯМЗ-238 при регулюванні ПА відповідно до ТУ заводу-виробника забезпечують виконання норм по стандарту на викиди шкідливих речовин з ВГ СО, СН, для I і II категорії застосування. Використання дизелів ЯМЗ-238 в місцях з обмеженим повітрообміном (III категорія застосування) потребує установку каталітичного нейтралізатора для забезпечення норми на викид СО. При цьому норми на димність ВГ регулюваннями ПА не забезпечуються.

3. Як показали результати дослідження в підрозділі, розроблена методологія безрозбірної діагностики з використанням аналізу складу ВГ підвищує ефективність виявлення конкретних несправностей двигунів і ПА, тим самим, сприяючи зменшенню екологічного збитку, що наноситься дизелями, та скороченню споживання палива.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛІВ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ І ПАЛИВНО-
ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки результатів науково-дослідної роботи, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Оцінка комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12 критеріями, наведеними в табл. 4.1 [45].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри- терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в певних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижча за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижча за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 4.1.

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри- терій	0	1	2	3	4
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненість					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є.	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування.
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі.	Потрібна дорогі матеріали.	Потрібні досяжні та дешеві матеріали.	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві.
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10 років	Термін реалізації ідеї від 3-5 років. Термін окупності інвестицій більше 5 років.	Термін реалізації ідеї менше 3 років. Термін окупності інвестицій 3-5 років.	Термін реалізації ідеї менше 3 років. Термін окупності інвестицій менше 3 років.
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу.	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту.	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту.

Для проведення оцінки комерційного потенціалу розробки залучаємо 3-х

незалежних експертів.

Першим експертом є заступник директора інституту машинобудування та транспорту з наукової роботи, д.т.н., професор кафедри АТМ Поляков А.П., оскільки він є автором багатьох публікацій, які пов'язані з забезпеченням автотранспортних підприємств запасними частинами. Другим та третім експертами є заступник завідувача кафедри АТМ з наукової роботи, к.т.н., доц. Кашканов А. А. та д.т.н., професор Анісімов В.Ф. оскільки вони є компетентні в питаннях надійності автомобіля, мають опубліковані статті по цьому напрямку.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки занесені до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Поляков А.П.	Кашканов А.А.	Анісімов В.Ф.
	Бали виставлені експертами		
1	3	3	3
2	2	2	2
3	3	3	3
4	2	3	3
5	3	2	2
6	4	4	4
7	4	3	3
8	3	4	4
9	3	2	2
10	4	4	4
11	4	4	4
12	3	2	3
Сума балів	38	36	37
Середньоарифметична сума балів:	37		

Отже, рівень комерційного потенціалу розробки є вище середнього. В сучасних умовах автомобільний транспорт зайняв важливе місце в житті людини. Дана розробка є актуальною, оскільки якісна транспортна послуга може бути надана лише з використанням технічно справного рухомого складу. Розробка дає можливість ефективно та своєчасно забезпечувати працездатний

стан автомобілів, за рахунок визначення необхідної кількості та номенклатури запасних частин.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи складається з таких етапів:

1 етап – розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу науково-дослідної роботи;

2 етап – розрахунок загальних витрат на виконання даної науково-дослідної роботи;

3 етап – прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи.

Проведемо розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу науково-дослідної роботи,.

Основна заробітна плата кожного з розробників визначається за формулою та заноситься в табл. 4.3:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t,$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ днів;

t – число днів роботи розробника.

Основна заробітна плата керівника становить:

$$Z_{01} = \frac{4500}{22} \cdot 10 = 2045,45 \text{ грн.},$$

$$Z_{02} = \frac{2500}{22} \cdot 90 = 10227,27 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.3 - Розрахунки витрат на основну заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	4500	2024,54	10	2045,45
Інженер	2500	113,6	90	10227,27
Всього				12272,72

Основна заробітна плата робітників, у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c,$$

де n – число робіт за видами та розрядами;

t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

K_c – коефіцієнт співвідношень, який установлений генеральною тарифною угодою між урядом і профспілками, $K_c=1 \dots 5$;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу.

Погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду розраховується за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}},$$

де M_m – мінімальна місячна оплата праці (з 01.01.2017 р. $M_m = 3200$ грн.);

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p – число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні;

T_{zm} – тривалість зміни.

$$C_{i4} = \frac{3200 \cdot 1,27}{22 \cdot 8} = 23,09 \text{ грн./год.},$$

$$C_{i7} = \frac{3200 \cdot 1,54}{22 \cdot 8} = 28,0 \text{ грн./год.},$$

$$C_{i6} = \frac{3200 \cdot 1,45}{22 \cdot 8} = 26,36 \text{ грн./год.}$$

Проведені розрахунки занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунки витрат

Найменування робіт	Трудо-місткість, н.-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
Визначення статистичних даних по кількості поломок автомобілів	50	4	23,1	1155,39
Підрахунок параметру потоку відмов	25	7	27,99	699,67
Розрахунок кількості запасних частин	40	7	27,99	1119,71
Налаштування	20	6	26,33	526,51
Контроль	15	6	26,33	394,88
Всього				3896,16

Додаткова заробітна плата Z_{∂} всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10...12% від основної заробітної плати всіх розробників та робітників:

$$Z_{\partial} = 0,11 \cdot 35898,27 = 3948,81 \text{ грн.}$$

Нарахування на заробітну плату розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується за формулою:

$$H_{zn} = (Z_o + Z_p + Z_{\partial}) \cdot \frac{\beta}{100},$$

де Z_o - основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_p - основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_{∂} - додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β - ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

$$H_{zn} = (35898,27 + 3896,16 + 3948,81) \cdot 0,363 = 15878,90 \text{ грн.}$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались для розробки нового технічного рішення [46]:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12},$$

де $Ц$ – балансова вартість обладнання, приміщень, грн.;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань для даного виду обладнання, приміщень, %;

T – термін використання обладнання, приміщень, місяці.

Амортизація комп'ютерів:

$$A = \frac{4000 \cdot 20}{100} \cdot \frac{6}{12} = 400 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки занесені до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунки амортизаційних витрат на обладнання

Найменування обладнання, приміщень	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютер	4000	20%	6	400
Стіл	700	20%	6	70
Стелажі	10000	20%	6	1000
Складське приміщення	20000	20%	6	2000
Всього				3470

Витрати на комплектуючі K , що були використані на розробку нового технічного рішення, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i,$$

де n – кількість видів комплектуючих;

H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – покупна ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1 \dots 1,15$.

$$K = \sum_{i=1}^1 1 \cdot 150 \cdot 1,1 = 165 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки занесені до табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунки витрат на комплектуючі та матеріали

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Картридж	1	165	165
Папір А4	1	90	90
Всього			255

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

$$V_e = B \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n,$$

де V_e – вартість однієї кіловат-години електроенергії, $B = 0,70$ грн./кВт;

P – установлена потужність обладнання, кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин;

K_n – коефіцієнт використання потужності, $K_n < 1$.

$$V_e = 0,70 \cdot 0,25 \cdot 176 \cdot 0,6 = 18,5 \text{ грн.}$$

Інші витрати охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати доцільно прийняти як 100...300% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були зайняті розробкою нового технічного рішення, тобто $(Z_0 + Z_p)$:

$$I_e = (35898,27 + 3896,16) \cdot 1 = 39794,43 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на розробку нового програмного продукту складають:

$$B = Z_0 + Z_p + Z_d + H_{zn} + A + O + K + B_e + I_e,$$

$$B = 35898,27 + 3896,16 + 3948,81 + 15878,90 + 3470 + 255 + 18,5 + 39794,43 = 103160,07 \text{ грн.}$$

Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи здійснюється за формулою:

$$ZB = \frac{B}{\beta},$$

де β - коефіцієнт, що характеризує етап виконання даної науково-дослідної роботи.

Оскільки розробка знаходиться на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

$$ZB = \frac{103160,07}{0,9} = 114622,3 \text{ грн.}$$

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Для виконання даної наукової роботи та впровадження її результатів необхідно затратити 1 рік, а основні позитивні результати від впровадження розробки очікуються протягом 3-ох років після її впровадження.

Розрахунки показали, що в результаті впровадження результатів наукової розробки загальні витрати ремонтного підрозділу на виконання транспортної

послуги зменшаться приблизно на 5%, а об'єм транспортної роботи збільшиться: протягом першого року приблизно в 1,4 раз, протягом другого року - приблизно ще в 1,1 раз, протягом третього року – приблизно ще в 1,05 раз.

До впровадження результатів наукової розробки витрати склали 138562 грн., об'єм транспортної роботи військової частини 207690 ткм. (вартість тонно-кілометра складає 0,75 грн./ткм.) [16].

Збільшення чистого прибутку для кожного з років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_{\text{я}} \cdot N + \Pi_{\text{я}} \cdot \Delta N),$$

де $\Delta\Pi_{\text{я}}$ - покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

N - основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\Pi_{\text{я}}$ - основний якісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n - кількість років протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом 1-го року складе:

$$\Delta\Pi_1 = 207690 \cdot 1,4 \cdot 0,75 - 138562(1+0,005) = 72584,4 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом 2-го року складе:

$$\Delta\Pi_2 = 207690 \cdot 1,4 \cdot 0,75 \cdot 1,1 - 138562(1+0,005) = 94392 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом 3-го року складе:

$$\Delta\Pi_3 = 207690 \cdot 1,4 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 1,05 - 138562(1+0,005) = 106386 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Розрахований комерційний ефект від можливого впровадження розробки ще не означає реального впровадження розробки.

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо теперішню вартість інвестицій PV , що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю є прогнозована величина загальних витрат ZB на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи, тобто будемо вважати, що $ZB = PV$.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку, що його отримає автотранспортне підприємство від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження.

На рис. 4.1 зображено вісь часу, на якій нанесені всі платежі, що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$:

$$E_{абс} = (ПП - PV),$$

де $ПП$ - приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.

Приведена вартість всіх чистих прибутків $ПП$ розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1-\tau)^t},$$

де $\Delta\Pi_i$ - збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної роботи, грн;

T - період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної роботи, роки;

τ - ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t - період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Розрахуємо приведену вартість всіх чистих прибутків.

$$ПП = \frac{72584,4}{(1+0,1)^2} + \frac{94392}{(1+0,1)^3} + \frac{106386}{(1+0,1)^4} = 203568 \text{ грн.}$$

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій.

$$E_{abc} = (203568 - 71645,6) = 131922,4 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g .

Для розрахунку скористаємось наступною формулою:

$$E_g = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}]{} - 1,$$

де E_{abc} - абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.;

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.;

$T_{жс}$ - життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[4]{1 + \frac{131922,4}{71645,6}} - 1 = 0,29.$$

Розрахуємо мінімальну (бар'єрну) ставку дисконтування τ_{min} , для порівняння з величиною E_e за формулою:

$$\tau_{min} = d + f,$$

де d - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2017 році в Україні $d = (0,14...0,2)$;

f - показник, що характеризує ризикованість вкладень $f = (0,05...0,1)$.

$$\tau_{min} = 0,15 + 0,05 = 0,2.$$

Оскільки $E_e > \tau_{min}$ ($0,29 > 0,2$), то інвестор буде зацікавленим у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{0,29} = 3,45.$$

Оскільки $T_{ок} < 4$ років, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки по четвертому розділу

Результати проведеної оцінки комерційного потенціалу розробки показали, що рівень потенціалу вище середнього. Це свідчить про велику ймовірність успішного комерційного впровадження удосконаленого методу на ринок та відповідно можливості отримання прибутку від використання розробки.

Витрати на виконання науково-дослідної роботи складаються із:

заробітної плати розробників (3896,16 грн.); основної заробітної плати робітників, що виконують роботу за робочими професіями (35898,27 грн.); додаткової заробітної плати (3948,81 грн.); нарахування на заробітну плату (15878,90 грн.); амортизаційних витрат на обладнання (3470 грн.); витрат на комплектуючі та матеріали (255 грн.); витрат на силову електроенергію (18,5 грн.); інших витрат (103160,07 грн.). Загальні витрати складають 110215,72 грн.

На виконання наукової роботи та впровадження її результатів необхідно 1 рік, а основні позитивні результати від впровадження розробки очікуються протягом 3-х років після її впровадження. Збільшення чистого прибутку, планується на рівні: 72584,4 грн., 94392 грн., 106386 грн. протягом 1, 2, 3-го року відповідно.

Фінансування даної наукової розробки є доцільним, оскільки впровадження даної наукової розробки принесе прибуток.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні зростанню ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення її безпеки, зниження виробничого травматизму і захворюваності.

Аналіз умов праці проводимо на робочому місці, де здійснюється дослідження транспортних засобів. На працівника, відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 [2], можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

фізичні небезпечні виробничі фактори:

- рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, деталі та елементи матеріалів;

- підвищена температура поверхонь обладнання та матеріалів (внаслідок різання та тертя);

- недостатнє освітлення робочої зони;

- підвищена або понижена температура робочої зони (температура підвищується за рахунок теплообміну між нагрітими частинами і нагрітими вузлами);

- підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці (виникає внаслідок роботи верстатів та обладнання);

- гострі кромки, заусенці та шорсткість на поверхнях деталей що обробляються,

хімічні фактори:

- загально-токсичні;

- загально-подразнюючі;

психофізіологічні небезпечні та шкідливі фактори:

- нервово-психічні навантаження (від робітника вимагається необхідна установка та зняття деталей і обладнання, що перевіряється і ремонтується, контроль за режимами обробки, що веде до розумового перевантаження);

- фізичні навантаження (статичні, незначні – виникають за рахунок транспортування перевіряемого обладнання).

біологічні фактори на ділянці відсутні.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Загальні вимоги техніки безпеки до приміщення і обладнання.

Механічна дільниця розташовується поряд із зоною ТО. На механічній дільниці забороняється застосування відкритого вогню. Джерело освітлення, проводка та силові двигуни надійно ізольовані.

Допуск живлення магнітних пускачів та кнопок управління стендами при напрузі до 220 В при дотриманні наступних вимог пристрою механічного і електричного блокування магнітних пускачів, заземлені апаратури.

Забороняється експлуатація несправного обладнання та технологічного інструменту.

Забороняється паління та застосування відкритого вогню, а також саморобних нагрівальних пристроїв.

Робітники повинні забезпечуватись справними інструментами та пристроями, що відповідають умовам безпеки.

Перед початком роботи слід перевірити весь інструмент, несправний замінити.

Відходи виробництва, відпрацьовані матеріали повинні прибиратись після закінчення робочої зміни.

Відпрацьовані легкозаймисті горючі матеріали повинні бути негайно видалені.

Забороняється знаходження сторонніх осіб на робочих місцях, де виконуються роботи з підвищеною небезпекою.

Для миття та знежирення деталей повинні застосовуватись негорючі суміші, пасти, розчинники та емульсії, а також ультразвукові та інші безпечні у пожежному відношенні установки.

Перед початком роботи на верстаті необхідно перевірити справність та наявність усіх огорожень та пристроїв, надійність закріплення різального інструменту, а також випробувавши верстат на холостому ходу.

Після закінчення робіт і при залишенні робочого місця (навіть короткочасного) верстат необхідно вимкнути.

Нормативні метеорологічні умови на механічній дільниці забезпечуються наступними основними організаційними та інженерно-технічними заходами:

- механізацією;
- застосування засобів особистої гігієни;
- правил пожежної безпеки при використанні горючих речовин, при мийних та ремонтних роботах: статичний і атмосферний струм, і т.д.

Об'єм приміщення на одного працюючого:

$$V = V_{\text{прим}} \cdot \frac{K}{N}$$

де $V_{\text{прим}}$ - об'єм приміщення, м³.

K - коефіцієнт об'єму, який враховує об'єм обладнання

Площа приміщення, що приходить на одного працюючого:

$$S = \frac{(f_{\text{прим}} - f)}{N}$$

де $f_{\text{прим}}$ - площа приміщення, м².

$f_{\text{заг}}$ - площа горизонтальної проекції, м².

Згідно санітарних норм НПАОП 63.21-1.04-78 на одного робітника, розраховані показники площі і об'єму повинні знаходитися в межах допустимих значень.

5.1.2 Електробезпека приміщення

Приміщення механічної дільниці по переобладнанню двигунів внутрішнього згорання відноситься до другого класу – приміщення з особливою небезпекою. Характеризується: наявністю струмоведучої підлоги, наявністю одночасного дотику працівників до металевих конструкцій приміщення, що мають з'єднання з землею та із металевими корпусами обладнання.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом передбачено:

- занулення усіх неструмоведучих частин обладнання;
- встановлення захисного вимикання;
- ізоляція та прокладення всіх електрокабелів в металевих трубах.

Робітники повинні здавати один раз у квартал інструктаж з охорони праці та промислової безпеки.

Під час роботи з машинами без подвійної ізоляції для захисту працюючих від ураження електричним струмом використовують захисно-відключаючі пристрої, які автоматично відключають машину у випадку витікання струму.

5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Оптимальні та допустимі параметри метеорологічних умов для робочої зони виробничих приміщень, зокрема механічної дільниці по переобладнанню двигунів внутрішнього згорання, важкості виконання робіт і періодів року встановлені і наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Допустимі норми температур, відносної вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні механічної дільниці.

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, ε		Відносна вологість		Швидкість руху, м/с		Температура повітря зов. роб. місць	
		Діюче	Норм.	Діюче	Норм.	Діюче	Норм.	Діюче	Норм.
Теплий	Середньої важкості 2 б	24-27	Не більше 28	40-60	При 25°C < 70	0,4	0,2-0,6	18-26	28
Холодний	Середньої важкості 2 б	18-21	15-21	40-60	75	0,2	0,4	16-20	13-24

Теплове опромінення на працюючих незначне, що не перевищує нормативного значення 100 Вт/м² при опроміненні не більше ніж 25% поверхні тіла. До роботи з агрегатами і вузлами приступають коли температура їх не менше за 45°C. Температура на механічній дільниці коливається в межах 5°C. Це підтримується опаленням взимку та вентиляцією в будь-яку пору року.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних пристроїв не повинні перевищувати 100 Вт/м² при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Шкідливі речовини, що найбільш часто зустрічаються на механічній дільниці та їх гранично допустимі концентрації і порівняння з діючими значеннями наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Гранично-допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Назва речовини	ГДК мг/м ²	В повітрі роб. зони	Клас небезпеки
Алюміній та його сплави	2	0,1	3
Мідь	1/0,5	0,1	2
Бензин	100	86	4
Мастила мінеральні	5	46	3
Свинець та його неорганічні сполуки	0,01/0,005	0,005	1
Спирт етиловий	100	10	4
Толуол	50	41	3
Епоксидні смоли	1	0,3	2

5.2.3 Виробниче освітлення.

Кількісні та якісні характеристики освітлення регламентовані “Природне і штучне освітлення. Норми проектування ДБН В.2.5-28:2018”.

Таблиця 5.3 - Нормативні значення освітлення в робочій зоні механічної дільниці

Приміщення	Площина нормування освітленості та її висота від підлоги, м	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк при загальному (комб.) освітленні	
			Норм.	Діюче
По переобладнанню двигунів внутрішнього згорання	0,8	4 а	300 (750)	200 (600)

Природне освітлення на розряд зорової роботи 4а забезпечується подвійними вікнами, штучне освітлення в приміщеннях механічної дільниці повинно задовільнити вимоги.

Коефіцієнт природнього освітлення.

$$E^4 = E_n^3 \cdot M \cdot C_k$$

де E_n^3 - нормативне значення коефіцієнтів природнього освітлення;

M - коефіцієнт світлового клімату;

C_k - коефіцієнт сонячності клімату, 50° Пн.ш. з вікнами розташованими на захід

$$E_4 = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,013\%$$

5.2.4 Виробничий шум

В робочій зоні механічної дільниці має місце широкополосний шум, що виходить від роботи обладнання.

Допустимі рівні звукового тиску рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в дБ на робочих місцях наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Допустимі рівні шуму

Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБ (А)	
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Норм.	Діюче
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	73

Пониження шуму досягається використанням звукопоглинаючих матеріалів, звукова енергія поглинається ними і перетворюється в теплову. Звукопоглинаюча облицовка стін та стелі дозволяє знизити рівень шуму на 6...8 дБ.

Санітарні норми одночисельних показників вібраційного навантаження на працівника при тривалості зміни 8 годин приведені в табл. 5.5.

Звукопоглинаюче облицювання стін та стелі дозволяє знизити рівень шуму на 6-8 дБ, що відповідає зниженню його гучності в 1,5-1,8 раз. Оптимальні показники звукоізоляції досягаються при облицюванні 60% поверхні стін і стелі, звукоізоляційною огорожею встановлюються всі корпуси машин і агрегатів.

Таблиця 5.5 - Норми показників вібраційного навантаження на робітника

Вид вібрації	Категорія вібрації по сан. нормам	Напрямок дії	Нормативні, коректовані по частотам еквівалентні коректовані значення			
			Вібропропускання		Віброшвидкість	
			$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Локальна	-	Xn, Yn, Zn	2,0	126	2,0	112
Загальна	“за”	Y0, X0, Z0	0,1	100	0,2	92

Найкращі звукоізоляційні властивості мають сталь листова (середня звукоізоляція при товщині сталі 2 мм дорівнює 33 дБ), лінолеум (товщина 0,5 см – 25...30 дБ), скло (3-4 мм – 25 дБ).

В якості акустичних засобів від шуму на механічній дільниці застосовуються засоби звукоізоляції, засоби звукопоглинання (звукопоглинаюче облицювання), засоби віброізоляції (віброізоляційні упори, пружні прокладки, засоби демпфування).

Висновок: рівень звуку на робочих місцях механічній дільниці знаходиться в межах допустимого. Рівень вібрації знаходиться в межах допустимого.

При роботі з механічним обладнанням на механічній дільниці по переобладнанню двигунів внутрішнього згорання виникає мінімальний рівень вібрації, передбачений для даного виду обладнання і не діючий шкідливо на організм людини.

5.2.5 Виробничі випромінювання

В приміщенні механічній дільниці по переобладнанню двигунів внутрішнього згорання в передбачаються системи опалення, вентиляції, внутрішнього водопроводу, каналізації та повітрязабезпечення.

Система опалення виконується із умов забезпечення температури повітря в приміщенні в холодний та перехідний періоди року на рівні +16°C.

Опалення центральне, з місцевими нагрівними приладами, в якості теплоносія використовується гаряча вода з параметрами від 70 до 90°C.

Джерелом тепlopостачання є котельня, що знаходиться на території підприємства.

Для забезпечення нормуємих параметрів повітряного середовища встановлених виконується приточно-витяжна вентиляція з механічним та природнім сполучанням. Швидкість руху повітря передбачається не менше 1 м/с. Витяжна вентиляція індивідуальна. Незалежна від інших вентиляційних систем підприємства. З верхньої зони приміщення передбачається природня витяжка в об'ємі не менше одноразового повітрообміну за годину.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів працівників під час переобладнання двигунів внутрішнього згорання.

Загальні енергозатрати організму: до 174 Вт.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): до 40 000.

Робоча поза: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: до 50 раз.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

- зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;
- сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями.
- заключна оцінка фактичних значень параметрів;
- розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

- зосередження (%за зміну) – до 5-75%;
- щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;
- навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;
- навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

- ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

- тривалість робочого дня – більше 8 год;

- змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

Висновки по п'ятому розділу

У даному розділі були розглянуті основні питання охорони праці. Було проведено аналіз праці робітників технічні рішення з виробничої санітарії, а саме було проаналізовано мікроклімат та склад повітря, оцінено освітлення, шум та вібрацію робочої зони.

Було проведено розрахунок занулення, який показав, що всі умови виконуються, а отже спрацювання захисту гарантується.

Було прийнято технічні рішення з пожежної безпеки. Для цього було проаналізовано виробниче приміщення та будівля, і на основі цих значень були прийняті рішення щодо запобігання пожежі та протипожежних засобів.

ВИСНОВКИ

На підставі аналізу можна зробити висновки про те, що розглянуті методи вимірювання витрати палива не можуть задовольнити повною мірою вимогам оперативного експлуатаційного контролю паливно-економічних показників, оскільки мають ряд істотних недоліків, основним з яких є необхідність часткового розбирання двигунів з втручанням у паливоподаючу систему. Це тягне за собою додаткові трудові витрати і зниження надійності паливної системи і всього двигуна в цілому.

Проведений аналіз сучасного стану проблеми діагностування еколого-технічних показників дизельних двигунів транспортних засобів за складом відпрацьованих газів показав актуальність обраної теми дослідження.

Однак, практична реалізація методів діагностування в умовах експлуатації автомобільної техніки і особливо оцінки паливно-економічних показників дизелів, а також технічного стану систем двигуна і паливної апаратури, що чинять безпосередній вплив на показники екологічної безпеки, потребує сьогодні вирішення цілого ряду науково-технічних і методичних питань.

У досліджуваному діапазоні зміни напрацювання стан паливної апаратури дозволяє шляхом стендових безмоторних профілактичних і регулювальних робіт привести апаратуру в стан який забезпечує виконання вимог стандартів, у зазначених межах напрацювання зміна показників паливоподачі носить нерегулярний характер, закономірності якого можуть бути виявлені статистичними випробуваннями.

Порівняльний аналіз даних моторних і безмоторних випробувань комплектів паливної апаратури дозволяє зробити висновок про те, що методи її контролю, регламентовані стандартом, не відображають повною мірою тих змін в процесах подачі палива, які виникають під час напрацювання паливної апаратури.

Перевірені в умовах експлуатації транспортні дизелі на режимі вільного

прискорення мали димність відпрацьованих газів, що перевищує норми. Близько 45% з них мали димність відпрацьованих газів більше 90%. Головними причинами, які викликають підвищену димність відпрацьованих газів, є розрегулювання і несправність паливної апаратури.

Істотна відмінність в показниках димності відпрацьованих газів дизелів на режимах максимальної частоти обертання холостого ходу і вільного прискорення дає підставу вважати, що кожен з цих показників відображає специфічні відмінності в технічному стані дизеля і його паливної апаратури.

При зіставленні відхилень по навантажувальним характеристикам можна помітити закономірно виражене зростання похибки при зниженні вмісту основних контрольованих компонентів відпрацьованих газів O_2 і CO_2 . Звідси можна зробити висновок про те, що в області малих навантажень дизеля більш точні результати дають розрахунки паливних показників по вмісту O_2 у відпрацьованих газах, а в області навантажень, близьких до максимальних – по вмісту CO_2 .

У дослідженому діапазоні зміни напрацювання паливної апаратури зміна показників паливоподачі носить нерегулярний характер, при цьому профілактичними і регулювальними роботами на безмоторних стендах, як правило, вдається привести паливну апаратуру в стан, що забезпечує виконання вимог стандартів, які однак не враховують зміни, що відбуваються від напрацювання, що призводить до значного перевищенню нормативів димності.

Дизелі ЯМЗ-238 при регулюванні паливної апаратури відповідно до ТУ заводу-виробника забезпечується виконання норм по виходам шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Результати проведеної оцінки комерційного потенціалу розробки показали, що рівень потенціалу вище середнього. Це свідчить про велику ймовірність успішного комерційного впровадження удосконаленого методу на ринок та відповідно можливості отримання прибутку від використання розробки.

Витрати на виконання науково-дослідної роботи складаються із: заробітної плати розробників (3896,16 грн.); основної заробітної плати

робітників, що виконують роботу за робочими професіями (35898,27 грн.); додаткової заробітної плати (3948,81 грн.); нарахування на заробітну плату (15878,90 грн.); амортизаційних витрат на обладнання (3470 грн.); витрат на комплектуючі та матеріали (255 грн.); витрат на силову електроенергію (18,5 грн.); інших витрат (103160,07 грн.). Загальні витрати складають 110215,72 грн.

На виконання наукової роботи та впровадження її результатів необхідно 1 рік, а основні позитивні результати від впровадження розробки очікуються протягом 3-х років після її впровадження. Збільшення чистого прибутку, планується на рівні: 72584,4 грн., 94392 грн., 106386 грн. протягом 1, 2, 3-го року відповідно.

В роботі озглянуто основні питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Було проведено аналіз праці робітників технічні рішення з виробничої санітарії, а саме було проаналізовано мікроклімат та склад повітря, оцінено освітлення, шум та вібрацію робочої зони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. / В.А.Звонов. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
2. Ложкин В.Н. Влияние параметров топливной аппаратуры на показатели работы дизеля Д-240. / В.Н.Ложкин, В.А.Долгушин, А.И Фомичев. - Сб. научн.трудов ЛСХИ: «Диагностика, повышение эффективности и долговечности мобильных сельскохозяйственных агрегатов». - Л.: 1988. - С.20-26.
3. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. / В.М. Михлин. - М.: Колос, 1984. - 335 с.
4. Разлейцев Н.Ф. Кинетическое уравнение динамики образования и выгорания сажи в цилиндре дизеля. В кн.: Двигатели внутреннего сгорания. / Н.Ф. Разлейцев. - 1977, №26. - С. 10-18.
5. Гладков О.А. Создание малотоксичных дизелей речных судов. / О.А.Гладков, Е.Ю.Лерман. - Л.: Судостроение, 1990. - 106 с.
6. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд., перераб. и доп. / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М.Рощин. - М.: Машиностроение - 1980.-168 с.
7. Малов Р.В. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. / Р.В. Малов. - М.: Транспорт, 1982. - 200 с.
8. Филатов Н.Н. Заболеваемость как критерий оценки влияния автотранспорта на здоровье населения. / Н.Н.Филатов, О.И. Аксенова, И.Ф. Волкова и др. - М.: "Гигиена и санитария", № 5, 1998. - С. 3-5.
9. Петров Б.В. Компоненты отработавших газов и их влияние на здоровье человека и природу. / Б.В. Петров. Автомобильный транспорт. - 1996. - №3. - С. 44 -45.
10. Крайник Л.В. Диференційоване нормування витрат палива вантажних автомобілів. / Л.В.Крайник, М.Г.Грубель. // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту, № 3. - Донецьк. - 2007. – С. 19 – 24.

11. Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction // Peters A., Hiemesch O., Lonkai G. Das BMW - Abgasreinigungskonzept für Dieselmotoren // MTZ. - 1990. - №5. - S. 196-200.

12. Schafar F., Schroder H. Berechnung des Verbrennungsluftverhältnisses aus den Abgas analysenwerten durch einen Mikroprozessor // Automobilen Industrie.- JYа 4.-37-41.

13. Общая онкология. / Под ред. Н.П. Напалкова. - Л.: Медицина, 1989. – 416 с.

14. Лавров Н.В. Физико-химические основы процесса горения топлива. / Н.В. Лавров. - М.: Наука, 1971. - 272 с.

15. Хесина А.Я. Методы мониторинга бенз/а/пирена как индикатора канцерогенных ПАУ. / А.Я. Хесина. // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - С.249-258.

16. Шилина А.И. Время жизни бенз/а/пирена в почве при внесении его с частицами почвенной пыли. / А.И. Шилина, Л.В. Ванеева, А.В. Журавлева. // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - С.100-106.

17. Новиков Л.А. Проблемы и перспективы создания малотоксичных дизелей. / Л.А.Новиков, Н.А. Вольская. / Двигателестроение. - 1993. - № 1-2, - С. 49-53.

18. Миляев В.Б. Проблемы мониторинга источников загрязнения атмосферного воздуха. / В.Б. Миляев. - В сб.: Мониторинг источников промышленных выбросов в атмосферу. - Л.: ЛДНТП. - 1991. - С. 4-10.

19. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. / И.Я. Райков. - М.: Высшая школа, 1975. - 319 с.

20. Иванченко Н.Н. Проблема комплексного улучшения гигиенических качеств отработавших газов дизелей судового, тепловозного и промышленного назначения. / Н.Н.Иванченко, В.И. Смайлис. // Труды ЦНИДИ. - Л., 1978. - Вып. 74. - С. 5-21.

21. Беспаятов П.П. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. / П.П. Беспаятов, Н.А. Кротов. - Справочник. - Л.: Химия, 1985.-528 с.

22. Nadibishi C.C., Zinn B.T. // Combustion and Flame. - 1982. - JNa 3. - P.301-314.

23. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Часть 1. / Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.

24. Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. /Под ред. А.К. Фролова. СПб, Наука, 1995. - 370 с.

25. Андреев В.И. Определение состава горючей смеси по содержанию углерода в продуктах сгорания. / В.И. Андреев, Б.П. Черняк. // Автомобильная промышленность. - 1972. - № 12. - С. 6-8.

26. Болдырев И.В. Особенности сгорания частиц углерода в цилиндре быстроходного дизеля. / И.В. Болдырев. - Труды НИКТД - 1966, № 18. - С. 32-38.

27. Грачев В.А. Проблемы и перспективы законодательного обеспечения охраны окружающей среды. / В.А.Грачев, Ю.И. Кондрашин. // Труды четвертой Всероссийской Научно-практической конференции «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». - СПб., 1999. - С. 24-29.

28. Фомин В.М. Оценка износа цилиндро-поршневой группы дизеля по показателям токсичности. / В.М. Фомин, И.В. Игнатович, В.А. Носков. / Двигатели внутреннего сгорания. - Л.: НИИинформтяжмаш, 1983. - С. 17-18.

29. Кутенев В.Ф. Проблема создания и эксплуатации экологически чистого автомобиля. / В.Ф. Кутенев. - М.: 1989. - 40 с.

30. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей Часть 2. / Под. ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983. - 382 с.

31. Monssavi M., Hughes K. The impacts of environmental legislation and vehicle emissions on the future of alternative fuels in the transportation industry / Transactions of the Nebraska Academy of Sciences. - 1992. - № 19. - P. 1-6.

32. Говорущенко И.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. / И.Я. Говорущенко. - М.: Транспорт, 1990. - 135 с.

33. Жегалин О.И. Снижение токсичности автомобильных двигателей. / О.И.Жегалин, П.Д.Лупачев. - М.: Транспорт, 1985. - 120 с.

34. Свиридов Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях. / Ю.Б. Свиридов. - Л.: Машиностроение, 1972. - 244 с.

35. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. / А.Н. Воинов. - М.: «Машиностроение», -1977.

36. Иващенко Н.А. Снижение концентрации оксидов азота и сажи в дизелях путем гомогенного сгорания. / Н.А. Иващенко, З.Р. Кавтарадзе. // Двигателестроение: Научно-технический сборник. СПб: Изд-во Политех. ун-та, 2004. - С. 133 - 134.

37. Bach C, Heeb N. Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen / MTZ: Motortechn. Z. - 1998. - 59, JV° 11. - S. 716-721.

38. Гусаров А.П. К вопросу о введении новых государственных стандартов России по выбросам вредных веществ автомобилями. / А.П. Гусаров, М.Е. Вайсблум. / НИЦИАМТ, Журнал ААИ, №1(9). -2001 г.

39. Николаенко А.В. О возможности и перспективах оценки экономических показателей дизеля с использованием анализа состава отработавших газов. / А.В.Николаенко, О.И.Дёмочка, В.Н.Ложкин, В.М. Заводчиков в кн.: Современный уровень и пути совершенствования экономических и экологических показателей ДВС. - Ворошиловград, 1983. - 338 с.

40. Глаголев Н.М. Испытания двигателей внутреннего сгорания. / Н.М. Глаголев. - Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1958. - 221 с.

41. Krieger K. Einspritztechnik fur abgas - und verbrauchsarme Dieselmotoren / Polizei Verkehr + Techn. - 1995. - 40, JYs9. - S. 270-271.

42. Sachse J., Torge M. Verminderten Kraftstoffverbrauch vor Kraftfahrzeug - Dieselmotoren durch Einhaltung der Rauchgrenzwerte sowie durch andere zielgerichtete Abgasmaßnahmen / Kraftfahrzeugtechnik. - 1981. JY° 10, S. 302 -306.

43. Sachse J., Torge M. Kraftstoffverluste durch unvollständige Verbrennung / Kraftfahrzeugtechnik. - 1982. - JYs2. - S. 362 - 369.

44. Демочка О.И. Об оценке цикловой подачи топлива дизелей по составу отработавших газов. / О.И. Демочка, В.Н. Ложкин, В.М. Заводчиков. Сб. научн. трудов ЦНИТА, № 83 и № 84. - Л., 1984. - С.81-89.

45. Muller Matthias. Abgasoptimierung von Dieselmotoren / Eisenbahningenieur. -1996. - 47. - JV°12. - С.37 - 40.

46. Simons W. Vergleich von Gleichungen zur Bestimmung der lufthzahl bei Ottomotoren / Technische Überprüfung 24. - 1983. - JY« 1. - S. 22 - 27.

47. Лиханов В.А. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч11,0/12,5 // В.А. Лиханов, Р.Р. Деветьяров, О.П. Лопатин, П.Н. Вылекжанин. / Монография. - Киров: Вятская ГСХА, 2004. - 330 с.

48. Шандала М.Г. Охрана и оздоровление окружающей среды в условиях НТР. / М.Г.Шандала, Я.И.Костовецкий, В.В. Булгаков. - Киев.: Здоровье. - 1982. - 224 с.

49. Heier M, Normann A., Wichmann E., Lowel H. / The NEW ENGLAND JOURNALofMEDICINE,vol.351,no. 17, October 21,-2004.-S. 1721-1730.

ДОДАТКИ

