

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття
ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення ефективності роботи дизельних двигунів
внутрішнього згорання»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Хоменко Тетяна Володимирівна
Керівник: Шпилька М. М.
Рецензент: Келемеш А. О.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Двигуни внутрішнього згорання, особливо дизельні, широко застосовуються в тракторах, автомобілях, сільськогосподарській техніці, стаціонарних установках і т.д. В сільськогосподарському виробництві вони стали основними джерелами енергії.

У зв'язку з широким використанням дизельних двигунів найбільш вагомими стають питання захисту атмосфери від забруднення токсичними елементами відпрацьованих газів дизельних двигунів, таких як сажа, оксиди азоту і т.д., які становлять найбільшу загрозу для здоров'я людини і навколишнього середовища, порушують темп росту рослин, призводять, до зниження врожайності, втратам у тваринництві і т.д.

Задача підвищення екологічної безпеки дизельних двигунів особливо актуальна в умовах вступу України до СОТ (Світова Організація Торгівлі), коли стає очевидним, що рівень вітчизняних дизельних двигунів по параметрам викидів шкідливих речовин поступається закордонним аналогам США та Європи.

Метою роботи є зниження токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна сільськогосподарського трактора шляхом відключення частини його циліндрів при роботі на холостих обертах та малих навантаженнях.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Визначити взаємозв'язок виділення токсичних компонентів в відпрацьованих газах з показниками робочого процесу дизельного двигуна при всіх працюючих циліндрах і частині вимкнених.

2. Розібрати методику і алгоритм розрахунку ефективних показників і токсичних компонентів відпрацьованих газів дизельного двигуна при вимкненні частини його циліндрів.

3. Визначити залежності токсичних компонентів відпрацьованих газів та паливно-економічних показників дизельного двигуна сільськогосподарського трактора від режимів роботи при вимиканні частини його циліндрів.

4. Оцінити ефективність запровадження методу зниження токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна шляхом відключення частини його циліндрів.

Об'єкт дослідження: робота дизельного двигуна Д-240, що застосовується на тракторах типу МТЗ-80 (82)..

Предмет дослідження: методи зниження токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна при роботі на холостих обертах та малих навантаженнях..

Методика дослідження. Дослідження базуються на аналізі опублікованих матеріалів щодо факторів, які впливають на екологічну безпеку дизельних двигунів, розробці та моделювання основних процесів, що обумовлюють утворення токсичних компонентів при вимкненні частини циліндрів двигуна, експериментальній перевірці ефективності використання способу відключення циліндрів при роботі двигуна на холостих обертах і малих навантаженнях для зниження токсичності та димності відпрацьованих газів.

В ході теоретичних досліджень біли використані методи системного і математичного аналізу, комп'ютерного моделювання.

Теоретичне та практичне значення результатів дослідження:

1. Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень по зниженню токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизельного двигуна сільськогосподарського трактора.

2. Отримано зниження вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах чотирьохциліндрового двигуна при вимкненні половини циліндрів відповідно на 50-60 і 70-85%, а також зниження димності відпрацьованих газів двигуна при роботі на холостих обертах та малих

навантаженнях в межах 30-35%, що забезпечує зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище.

3. Встановлено, що при вимкненні половини циліндрів двигуна (перекриттям подачі палива та закриттям клапанів газорозподільчого механізму) економія пального з 24% на холостих обертах зменшується до 0 зі збільшенням навантаження двигуна до 40%.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Проблема забруднення навколишнього середовища двигунами внутрішнього згорання

В сільськогосподарському секторі широко використовуються дизельні двигуни. Більшу частину часу двигуни працюють на номінальній частоті обертання колінчатого валу. Сільськогосподарська техніка, що обладнана дизельними двигунами, при основних режимах роботи завдає значної шкоди рослинним культурам та тваринницьким господарствам через утворення високих концентрацій у відпрацьованих газах окисів азоту та сажі.

Експлуатація сільськогосподарської техніки у виробничих приміщеннях обмеженого об'єму і повітрообміну (тваринницькі та складські приміщення, теплиці, гаражі і т.д.) призводить до порушення повітряно-газового режиму атмосфери приміщення і створює екологічно небезпечні умови для роботи персоналу, розвитку тварин та рослин. Так, наприклад, робота енергетичних засобів з ДВЗ в тваринницьких приміщеннях негативно впливає на мікроклімат, а як наслідок, на здоров'я тварин та їх продуктивність. При невідповідності мікроклімату оптимальним зоотехнічним параметрам надій молока зменшується на 10...20%, приріст маси тварин – на 20...30%, відхід молодняку досягає 30%. Все це призводить до зниження якості та об'єму продукції. [3]

Двигуни забруднюють атмосферу шкідливими речовинами, які викидаються з відпрацьованими газами, картерними газами та парами палива. При цьому 95...99% шкідливих викидів сучасних двигунів припадає на відпрацьовані гази. Це аерозоль складного складу, що залежить від режиму роботи двигуна[1].

Всього у відпрацьованих газах знайдено приблизно 280 компонентів. По своїм хімічним властивостям, характеру впливу на організм людини речовини, що містяться у відпрацьованих газах і картерних газах, діляться на декілька груп.

В групу нетоксичних речовин входять: азот, кисень, водень, водяна пара і вуглекислий газ. До токсичних елементів відносяться окис вуглецю, оксиди азоту, вуглеводнів, альдегіди, сажа та бензапирен.

При згоранні 1 кг дизельного палива утворюється біля 80...100 г токсичних компонентів (20...30 г окису вуглецю, 20...40 г окисів азоту, 4...10 г вуглеводнів, 10...30 окисів сірки, 0.8...1.0 г альдегідів, 3...5 г сажі та ін.). [25]

Особливу групу токсичних елементів відпрацьованих газів дизельних двигунів складають полі циклічні ароматичні вуглеводні, в тому числі і найбільш активний бензапирен ($C_{20}H_{12}$), що є індикатором наявності канцерогенів у відпрацьованих газах. Значно кількість важких канцерогенних ароматичних вуглеводнів адсорбується на сажі. Концентрація бензапирену на сажових частинках в 3...4 разу більше, чим в потоці газу.

При роботі дизельного двигуна в атмосферу викидаються в середньому біля 3...5 кг сажі на 1 тону спаленого пального. При цьому, в залежності від режиму роботи двигуна, на долю сажі припадає від 30 до 90% токсичної дії, обумовленою наявністю бензапирену. [18]

1.2. Норми токсичності відпрацьованих газів дизельних двигунів

Дизельні двигуни мають великий спектр вмісту різноманітних компонентів у відпрацьованих газах (таблиця 1.1).

Для підтримки безпеки умов праці існують санітарні норми, які обмежують концентрацію шкідливих речовин у повітрі. Основою для них служать гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у

повітрі робочої зони. В норми входять три види обмежень по ГДК різноманітних компонентів відпрацьованих газів.

Таблиця 1.1 – Вміст різних компонентів у відпрацьованих газах дизельних двигунів

Компонент ВГ	Концентрація в ВГ, %	Токсичні компоненти ВГ двигуна при повному навантаженні	
		Концентрація, г/м ³	Питомий викид, г/(кВт·год)
Азот (N ₂)	74...78	—	—
Кисень (O ₂)	2...18	—	—
Вода (H ₂ O)	0,5...9	15...100	—
Діоксид вуглецю (CO ₂)	1...12	40...240	—
Оксиди азоту (NO _x)	0,004...0,5	1...8	10...30
Монооксид азоту NO	0,004...0,5	1...4,5	6...18
Діоксид азоту (NO ₂)	0,00013...0,013	0,1...0,8	0,5...2
Монооксид вуглецю (CO)	0,005...0,4	0,25...2,5	1,5...12
Вуглеводні (C _m H _n)	0,009...0,3	0,25...2	1,5...8
Сажа (C)	0,01...1,1 г/м ³	0,05...0,5	0,25...2
Оксиди сіри (SO _x)	0,002...0,02	—	—
Діоксид сіри (SO ₂)	0,0018...0,02	1...0,5	0,4...2,5
Триоксид сіри (SO ₃)	4·10 ⁻⁵ ...6·10 ⁻⁵	—	—
Альдегіди (RCHO)	0,0001...0,002	1...10	—
Формальдегід (HCHO)	0,0001...0,0019	—	—
Акролеїн (CH ₂ CHCHO)	0,0001...0,00013	0,001...0,04	0,06...0,2

Питомі викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів вимірюються в г/кВт·год. Оптична щільність відпрацьованих газів – нормує параметр димності відпрацьованих газів. В більшості країн світу в якості одного із основних регламентуючих токсичних компонентів відпрацьованих газів дизеля нормується димність відпрацьованих газів як показник інтенсивності сажових викидів.

Як видно з таблиці показники токсичності двигунів не відповідають гранично допустимим, у зв'язку з чим для підтримання безпеки навколишнього середовища рядом країн були введені нормативні документи по обмеженню вмісту токсичних компонентів у відпрацьованих газах. В

Україні та європейських країнах прийняті стандарти EURO, що регламентують токсичність і кількісні показники. Прийняття стандартів відбуваються на основі євро норм (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Європейські норми вмісту токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизельних двигунів

Норми	Дата прийняття	Норми викидів токсичних речовин, г/км				Димність K, м ⁻¹
		NOx	Сажа (PM)	CnHm+NOx	CO	
EURO 1	1992	-	0.180	1.13	3.16	-
EURO 2	1996	-	0.080	0.70	1.00	-
EURO 3	2000	0.50	0.050	0.56	0.64	0.8
EURO 4	2005	0.25	0.025	0.30	0.50	0.5
EURO 5	2009	0.18	0.005	0.23	0.50	0.5
EURO 6	2014	0.08	0.005	0.17	0.5	-

Для позашляхової та спеціальної техніки в країнах Європи замість норм EURO діють норми Stage, які були введені пізніше (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Європейські норми Stage

Категорія	Номінальна потужність	Дата прийняття	CO, г/(кВт·год)	CH, г/(кВт·год)	NOx, г/(кВт·год)	PM, г/(кВт·год)
Нормативний документ Stage III A						
H	130...560	2006	3,5	4,0	0,2	
I	75...130	2007	5,0	4,0	0,3	
J	37...75	2008	5,0	4,7	0,4	
K	19...37	2007	5,5	7,5	0,6	
Нормативний документ Stage III B						
L	130...560	2011	3,5	0,19	2,0	0,025
M	75...130	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
N	56...75	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
P	37...56	2013	5,0	4,7	0,025	
Нормативний документ Stage IV						
Q	130...560	2014	3,5	0,19	0,4	0,025
R	56...130	2014	5,0	0,19	0,4	0,025

1.3. Способи зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів

В даний час розробляються і успішно втілюються в життя заходи по зниженню забруднення атмосфери викидами автотракторних двигунів, включаючи:

- впровадження державних та галузевих стандартів, що регламентують допустимі рівні викидів шкідливих речовин автотракторними двигунами;
- пошук нових видів палива та присадок, що дозволяють замінити рідке паливо нафтового походження, підвищити паливну економічність двигунів та значно знизити їх токсичність;
- розробку та виробництво антитоксичних пристроїв, що сприяють зниженню токсичності існуючих типів двигунів, створення двигунів з малотоксичним робочим процесом;
- серійний випуск засобів контролю токсичності відпрацьованих газів.

На рисунку 1.1 представлені основні способи зниження шкідливих викидів у відпрацьованих газах двигунів.

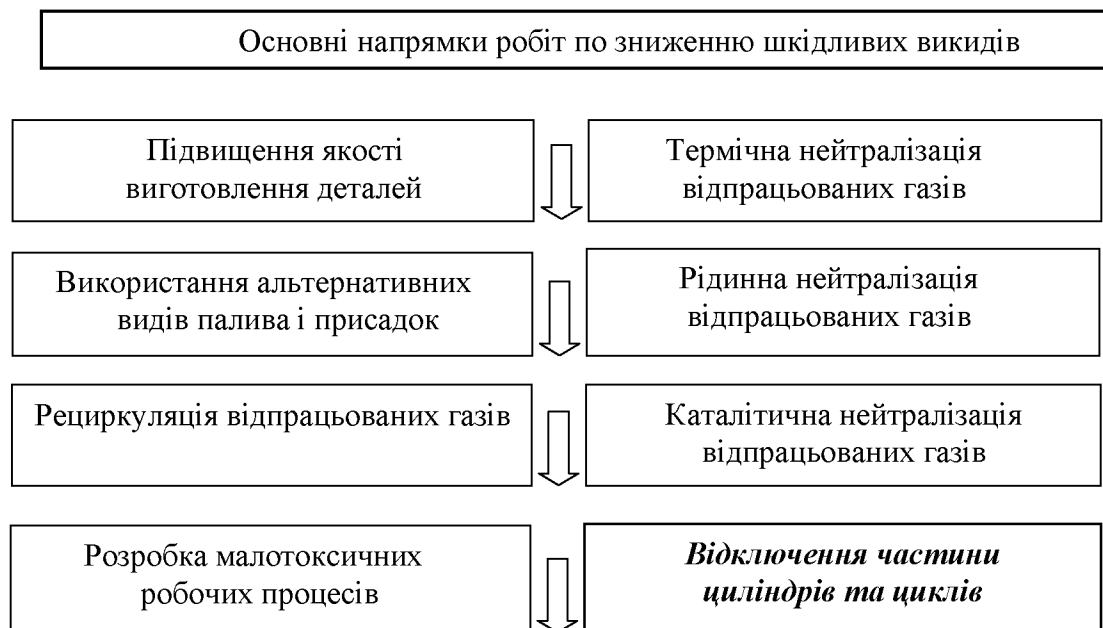


Рисунок 1.1 – Схема існуючих способів зниження токсичності відпрацьованих газів двигуна

Одним із основних засобів, що забезпечують ефективне зниження викидів шкідливих речовин, є фізико-хімічна обробка відпрацьованих газів.

Системи нейтралізації відпрацьованих газів, що застосовуються як додаткове обладнання, дозволяють знизити викиди шкідливих речовин двигуна.

В системі випуску двигунів відбуваються реакції окислення оксиду вуглецю та вуглеводнів відпрацьованих газів з надлишковим киснем. Ці процеси при відносно невисоких для реакцій в газовому середовищі температурах (300...800°C) проходять з малою швидкістю. Для пришвидшення протікання реакцій використовують каталізатори[12].

В залежності від здатності активізувати ті чи інші реакції каталізатори умовно ділять на:

- окислюючі, при яких переважно протікають реакції окислення вуглеводнів і оксидів вуглецю;
- відновлюючі, для відновлення оксиду азоту;
- трьохкомпонентні, для нейтралізації всіх основних токсичних компонентів.

В більшості випадків один і той самий каталізатор в залежності від складу газового потоку, в першу чергу від вмісту кисню, може бути, і окислюючим, і відновлюючим.

1.4. Режими роботи дизельного двигуна сільськогосподарського трактора

Експлуатація дизельних двигунів транспортно-тягових засобів, як правило, характеризується тривалістю роботи на режимах холостого ходу і малих навантажень. Це пояснюється великим об'ємом транспортних робіт, включаючи рух з порожнім причепом.

Об'єм перевезень в сільському господарстві, що припадають на тракторно-транспортний агрегат, становить 20-27%. Слід зазначити, що за

допомогою тракторів в Норвегії перевозяться до 95% сільськогосподарських вантажів, в Німеччині – до 80%, в Угорщині – до 77%.

Разом з тим питома вага операцій в річній зайнятості швидкісних тракторів класу 1,4 кН, де реалізується підвищена (близька до номінальної) тяга, складає тільки 20% (на підготовці ґрунту, міжрядному обробітку сільськогосподарських культур), а 80% часу їх використання припадає на транспортні і наближені до них роботи, де реалізується тільки 20-60% встановленої потужності двигуна. [16]

На основі статистичних даних машино-випробувальних станцій, ремонтно-технологічних підприємств, наукових організацій по ступеню завантаження двигунів тракторів, на долю транспортних робіт в річному балансі часу тракторів МТЗ-80 приходить 37.5%.

Трактори МТЗ-80 з причепами 2ПТС-4 на транспортних роботах задіяні на 60-80% від річного навантаження. На таких операціях, як транспортування і міжрядний обробіток, загальна тривалість робіт для тракторів класу 1,4 кН становить 50%. [4]

Аналіз даних випробувань показує, що на транспортних операціях керування двигуном Д-240 відбувається по «автомобільному» типу, тобто постійно змінюється положення органів керування подачею палива, двигун працює в широкому діапазоні швидкостей $n =$ від $0.5 \cdot n_{ном}$ до $n_{ном}$ і навантажуючи від 0.017 до 0.28 $M_{Nном}$ режимів. При цьому ступінь використання потужності двигуна на транспортних роботах складає 25-30% (рис. 1.2). Найбільш повну інформацію про режими роботи дають багато параметрові характеристики спільної щільності розподілення ймовірності τ крутного моменту M_k і частоти обертання вала двигуна n . Висота стовбців є ймовірністю τ появи режиму $M_i - M_{i+1}$ та $n_i - n_{i+1}$. [2]

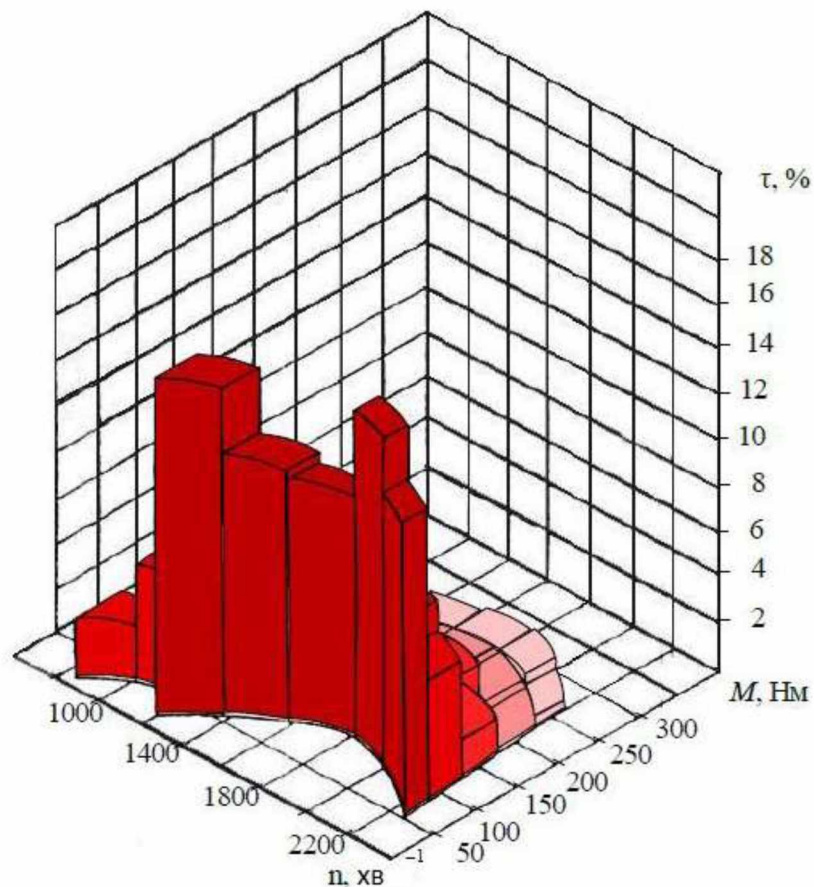


Рисунок 1.2 – Розподілення режимів роботи двигуна Д-240 трактора МТЗ-80 на транспортних операціях

Як видно із рисунка 1.2 для дизеля Д-240 трактора МТЗ-80 при виконанні транспортних робіт найбільш ймовірні режими малих навантажень з $M_K = 20\text{--}80$ Н·м. При малому навантаженні потужність двигуна використовується нерационально: $N_e = 5 - 18$ кВт, тобто є необхідність підвищити ефективність роботи двигуна при малих навантаженнях для зниження токсичності та димності відпрацьованих газів, а також підвищення економічності дизельного двигуна. [6]

Одним із способів зниження токсичності та димності відпрацьованих газів і підвищення паливної економічності на режимах малого навантаження та холостого ходу є спосіб відключення частини циліндрів двигуна.

Доцільність використання цього способу підтверджена численними дослідженнями, однак не знайшла широкого використання в сільському господарстві.

1.5. Аналіз існуючих способів відключення циліндрів двигуна

На даний момент досліджені різні способи відключення циліндрів двигуна. В загальному вони представлені на рисунку 1.3.

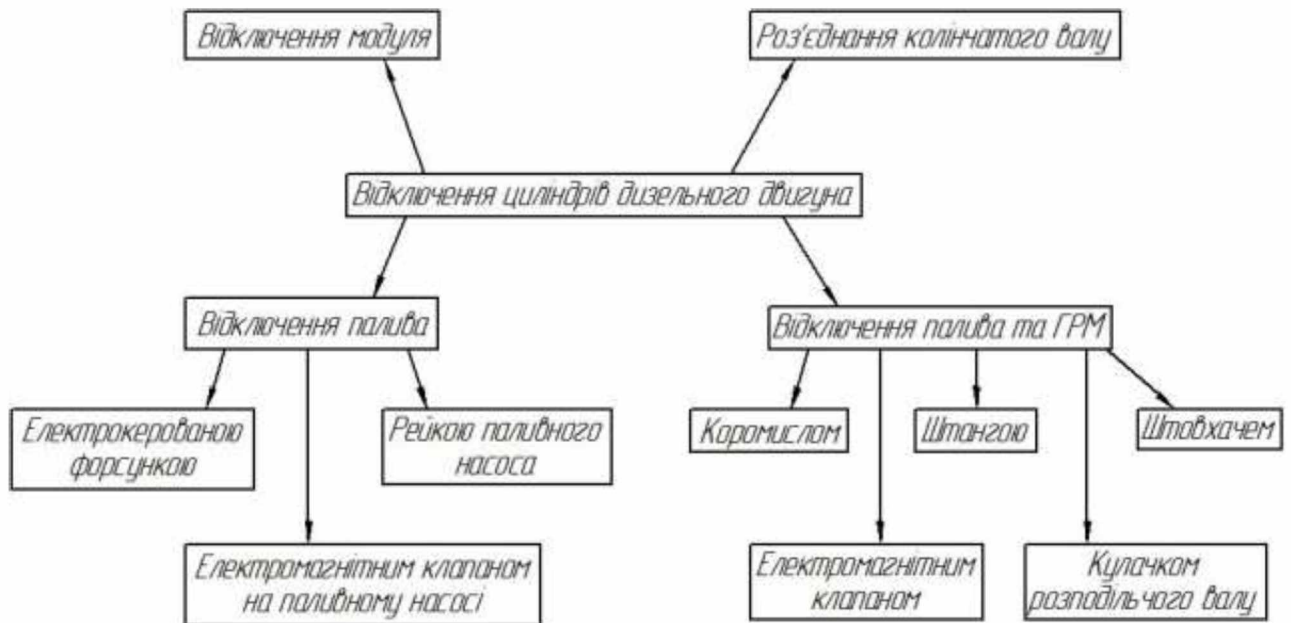


Рисунок 1.3 – Схема способів відключення циліндрів двигуна

Розглянемо більш детально кожен із способів:

1. Припинення подачі палива в окремі циліндри.
2. Подача в непрацюючі (відключені) циліндри відпрацьованих газів з працюючих циліндрів.
3. Зупинка поршнів у відключених циліндрах.
4. Одночасне припинення подачі палива та газорозподільчого механізму (ГРМ), тобто припинення подачі повітря у відключені циліндри.

Відключення циліндрів можна здійснювати блоком для V-подібних двигунів або по одному.

На даний момент досліджено п'ять основних способів відключення подачі пального в циліндри двигуна, які були випробувані на дизельних двигунах різноманітної конструкції і напрямку:

- розгерметизація лінії високого тиску;
- використання окремого паливного насосу високого тиску (ПНВТ) для кожного циліндру;
- використання системи з примусовою зупинкою на частині циліндрів рейки ПНВТ в положенні нульової подачі палива;
- зміна конструкції форсунки;
- наявність в ПНВТ різних по конструкції плунжерів.

Відключення подачі палива по сигналам електронного блоку. Суть даного методу полягає в тому, щоб відключати на режимах холостого ходу та малих навантаженнях не одну і ту саму групу циліндрів або довільні групи циліндрів, а ті, подача палива яких найбільш не налаштована.

Використання запропонованого способу роботи багаточиліндрового двигуна внутрішнього згорання дозволить підвищити паливну економічність та знизити динамічні навантаження при відключенні груп циліндрів на режимах холостого ходу та малих навантаженнях. [14]

Привід керування паливним насосом. Вдосконалення приводу керування паливним насосом передбачає повне відключення подачі палива у циліндри, які були відключені, в момент запуску двигуна, при роботі на холостому ході та малих навантаженнях, яке забезпечується встановленням рейки паливного насосу в положення, яке відповідає нульовій подачі палива, за рахунок чого досягається зниження середньої експлуатаційної витрати палива на 5 – 7%.

Клапан для відключення циліндрів з електричним приводом. Конструкція клапана та системи керування клапаном дозволяє достатньо швидко та якісно увімкнути та вимкнути будь-який циліндр дизельного двигуна або групу циліндрів.

Недоліками наведених систем та приладів є:

1. Складність виготовлення та складання цих механізмів, що призводить до зміни конструкції дизельних двигунів та підвищує їх вартість.

2. У всіх випадках вимкнення – увімкнення подачі палива відбувається різко, внаслідок чого змінюється потужність двигуна.

Система керування подачею палива за допомогою електромагнітних клапанів. Дана система (рис.1.4) складається з наступних елементів: паливного насоса низького тиску 8, лінії низького тиску 7, які входять у паливний насос високого тиску (ПНВТ) 4, кожна секція 3 якого зв'язана з форсункою 1 паливопроводом високого тиску 2; електромагнітних клапанів 5, що встановлені всередині корпусу ПНВТ 12, в лінії низького тиску 7, перед впускним отвором 14 гільзи 10 плунжерної пари кожної секції 3 насоса високого тиску 2, що приводяться в дію електронним блоком керування (ЕБК) 6 та перекривають подачу палива в над плунжерний простір 11 з лінії низького тиску 7 закриттям впускного отвору 14 запірним конусом 13 клапана 5. [11]

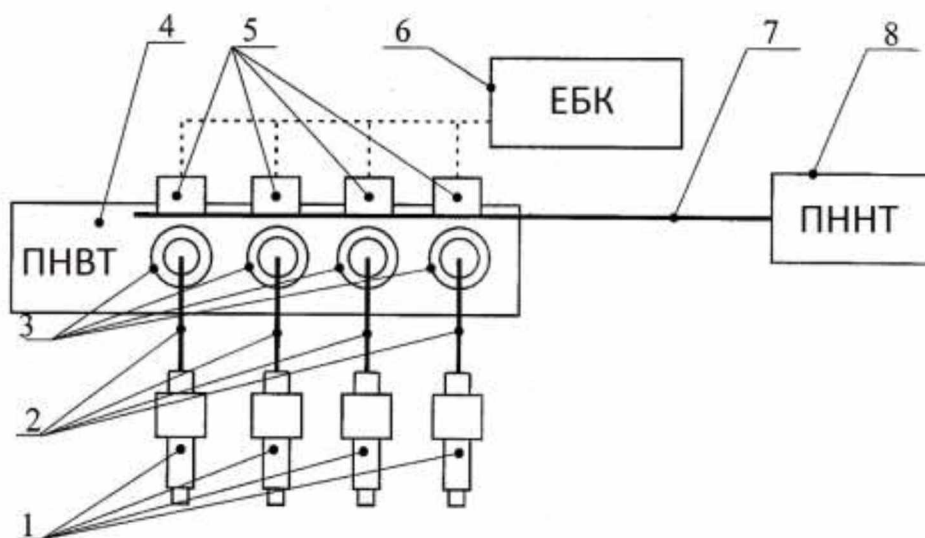


Рисунок 1.4 – Схема керування подачею палива за допомогою електромагнітних клапанів

Система керування подачею палива за допомогою електромагнітних клапанів працює наступним чином (на прикладі однієї секції ПНВТ). При відсутності сигналу від блоку керування 6 про відключення подачі палива електромагнітний клапан 5 знаходиться у відкритому положенні. Паливо, що

поступає від насосу низького тиску по лінії низького тиску 7, надходить в над плунжерний простір секції 3 насоса високого тиску 4, далі при нагнітальному ході плунжера по лінії високого тиску 2 поступає у форсунку 1. Коли електронний блок керування 6 подає керуючий сигнал для відключення подачі палива в секцію 3 та подає струм на електромагнітний клапан 5, клапан 5 спрацьовує, і запірний конус 13 перекриває впускний отвір 14 гільзи 10 плунжерної пари і таким чином відключає подачу палива в секцію насоса високого тиску. Так як електромагнітні клапани встановлені на лінії низького тиску, відпадає необхідність відводу пального від електромагнітного клапана. [13]

Дана модель дозволяє спростити конструкцію системи керування подачею пального за допомогою електромагнітних клапанів, завдяки виключенню лінії зливу пального з кожного паливо проводу високого тиску і усунення необхідності герметизації клапанів.

1.6. Дослідження роботи двигуна при відключенні циліндрів

Удосконалення ДВЗ нерозривно зв'язане з підвищенням паливної економічності та зниженням викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами. З цією метою використовують відключення частини циліндрів на режимах малих навантажень та холостого ходу.

За кордоном метод відключення частини циліндрів двигуна використовується в системах регулювання роботи двигунів багатьох автомобілів (Chrysler, Ford, Honda, Mercedes, Toyota, Volkswagen та ін.).

Ефективність відключення циліндрів підтверджена експериментальними даними, що були отримані на різних типах двигунів, в тому числі на автомобільних, тракторних, тепловозних та корабельних. [21]

На рис. 1.5 показані графіки зміни економічних показників двигуна 9МН51 по навантажувальній характеристиці.

З рис. 1.5 слідує, що при відключенні 50% робочих циклів механічний ККД $\eta_{м2}$ у всьому діапазоні потужності N_e вище $\eta_{м1}$. Пояснюється це зниженням механічних втрат у відключених циліндрах порівняно з втратами в працюючих циліндрах. Характер зміни індикаторного ККД η_{i2} ($\eta_{i2} \geq \eta_{i1}$) говорить про якісне протікання процесів сумішоутворення і згорання палива на малих навантаженнях при відключенні частини циліндрів. Більш сприятлива зміна кривих ККД η_{e2} , питомої ефективної витрати палива g_{e1} , годинної витрати палива G_{T2} порівняно з варіантом без відключення циліндрів справджується до значень потужності $N_e = 0.33 \cdot N_e^H$, причому найбільш від чутливі переваги варіанту з відключенням циліндрів на холостому ході.

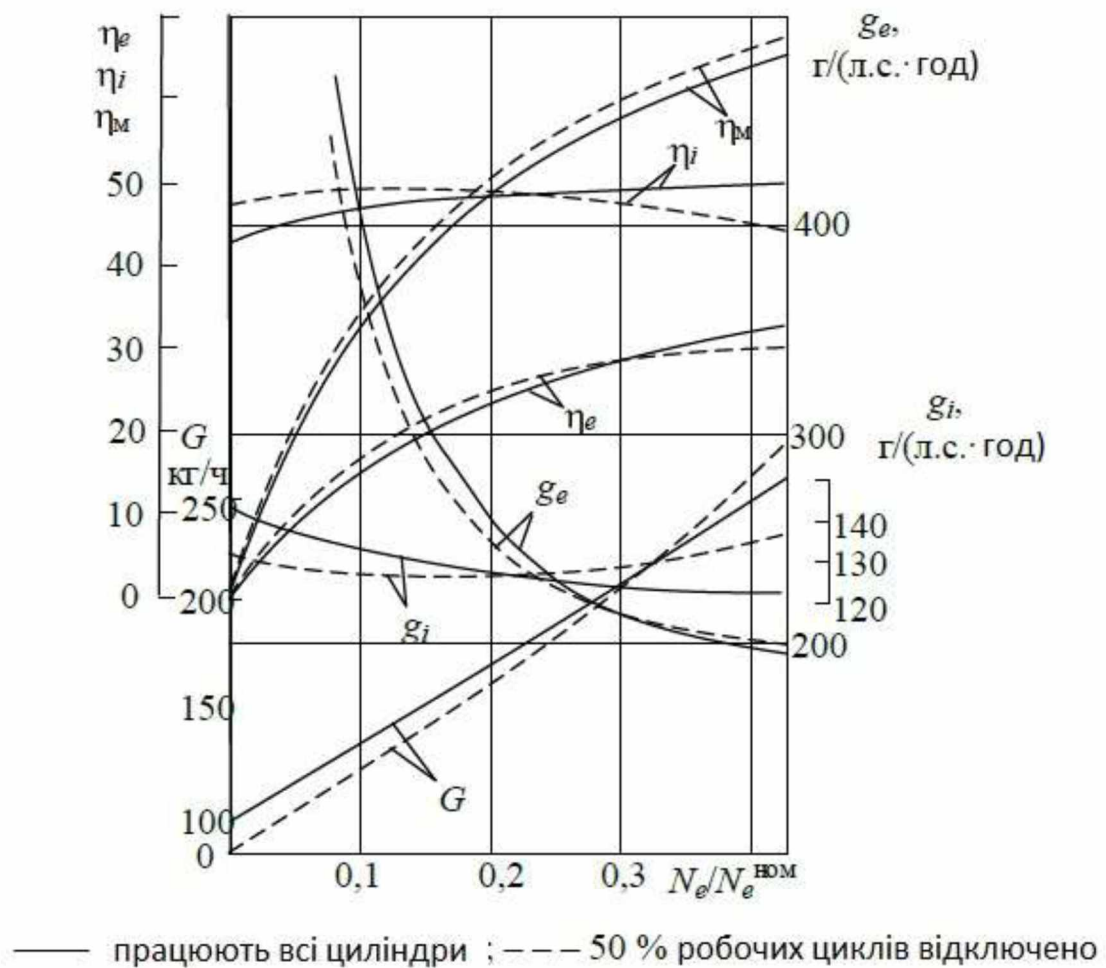


Рисунок 1.5 – Зміна економічних показників роботи двигуна 9МН51 по навантажувальній характеристиці

Ефект в економії палива збільшується з кількістю відключених циліндрів (при $N_e = 0$), однак по мірі збільшення N_e кількість відключених циліндрів доцільно зменшувати. [15]

Таким чином можна зробити наступні узагальнення.

Можливість покращення паливної економічності досліджена на дизельних двигунах різних конструкцій та призначення.

Потенційна можливість підвищення економічності за рахунок відключення частини циліндрів закладена у всіх дизельних двигунах.

У більшості випадках спостерігається покращення економічності, але показники змінюються в широких межах: від 4 до 30%. [23]

Незважаючи на велику кількість публікацій про відключення частини циліндрів, спосіб відомий в двигунобудуванні перш за все як спосіб підвищення економічності роботи двигунів на холостих обертах та малих навантаженнях. Однак досліджень, пов'язаних зі зниженням токсичності відпрацьованих газів, проведено недостатньо. Системи відключення частини циліндрів двигунів поки що не знайшли широкого застосування в сучасних сільськогосподарських тракторах. Ретельного дослідження також потребують питання надійності та вібрації.

Висновки та завдання досліджень

На основі аналізу наукових робіт та публікацій встановлено:

- потужність двигуна при відключенні частини знижується пропорційно кількості відключених циліндрів;
- регулювання дизельного двигуна шляхом відключення циліндрів призводить до зниження витрати палива на режимах холостих обертів та малих навантажень
- показники токсичності та димності відпрацьованих газів дизельного двигуна залежать від безлічі факторів: ступеню стиску, тиску та температури надуву, якості паливної апаратури, виду та якості палива;

- одним із головних факторів, що впливає на токсичність та димність відпрацьованих газів дизельного двигуна є коефіцієнт надлишку повітря.

При цьому залишаються невивченими:

- залежність компонентів токсичності та димності відпрацьованих газів двигуна від різних варіантів відключення циліндрів на різних режимах роботи двигуна;

- залежність димності відпрацьованих газів від коефіцієнту надлишку повітря для конкретної конструкції двигуна;

- взаємозв'язок основних параметрів роботи двигуна з параметрами токсичності та димності відпрацьованих газів.

У зв'язку з вище сказаним визначена мета дослідження: зниження токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна сільськогосподарського трактора шляхом відключення частини його циліндрів при роботі на холостих обертах та малих навантаженнях.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі дослідження:

1. Встановити взаємозв'язок виділення токсичних елементів відпрацьованих газів з показниками робочого процесу дизельного двигуна при всіх працюючих циліндрах та частині відключених.

2. Розробити методику та алгоритм розрахунку ефективних показників та токсичних компонентів відпрацьованих газів дизельного двигуна при відключенні частини його циліндрів

3. Встановити залежності токсичних компонентів відпрацьованих газів та паливно-економічних показників дизельного двигуна сільськогосподарського трактора від режимів його роботи при відключенні частини його циліндрів.

4. Оцінити ефективність запровадження способу зниження токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна шляхом відключення частини циліндрів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою перевірки висунутих теоретичних положень та висновків, а також виявлення залежності виділення токсичних компонентів у відпрацьованих газах від коефіцієнта надлишку повітря при відключенні частини циліндрів двигуна були проведені експериментальні дослідження дизельного двигуна Д-240.

Експериментальні дослідження включають:

1. Визначення основних показників роботи двигуна на різних режимах роботи при відключенні частини циліндрів
2. Визначення токсичних компонентів відпрацьованих газів початкового двигуна та при відключенні циліндрів.

Програма експериментальних досліджень включала в себе розробку методики проведення експериментальних досліджень; підготовку приладів, апаратури та обладнання для проведення випробувань.

В якості фізичного об'єкту експериментальних досліджень був вибраний чотиритактний дизельний рядний двигун Д-240 (таблиця 2.1) без нагнітання повітря, рідинного охолодження, з вільним впуском повітря, з безпосереднім впорскуванням палива.

На основі даних огляду вивчених робіт виявлено, що для забезпечення максимального індикаторного ККД, найкращої паливної економічності дизельного двигуна на режимах холостих обертів та близьких до них режимах малих навантажень, а отже, зниження токсичності та димності відпрацьованих газів, для двигуна Д-240 найбільш ефективно відключати половину циліндрів. У відповідності до кінематики, динаміки та зрівноваження рядного чотирициліндрового дизельного двигуна Д-240,

порядок роботи циліндрів якого 1-3-4-2, для забезпечення стабільної роботи двигуна була обрана схема відключення 2-го та 3-го циліндрів.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двигуна Д-240

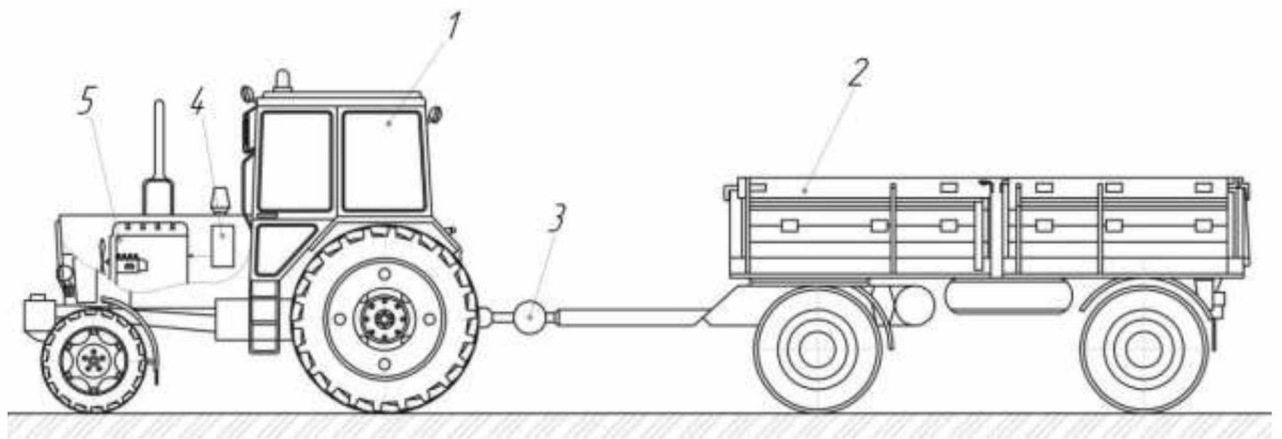
Показник, характеристика	Значення
Номінальна потужність, кВт	59
Номінальна частота обертання, хв^{-1}	2200
Частота обертання при максимальному крутному моменті, хв^{-1}	1400
Крутний момент двигуна при номінальній потужності, Нм	245
Максимальний крутний момент двигуна, Нм	280
Кількість циліндрів	4
Діаметр циліндру, мм	110
Хід поршня, мм	125
Степінь стиску	16
Робочий об'єм циліндрів, л	4,75
Порядок роботи циліндрів	1–3–4–2
Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт•год)	238
Питома витрата палива при максимальному крутному моменті, г/(кВт•год)	269
Паливний насос УТН-5	чотириплунжерный, з підкачуючим насосом
Максимальний середній ефективний тиск в циліндрі, МПа	0,67
Емпіричні коефіцієнти для визначення середнього тиску механічних втрат	
a	0,038
b	0,8
Складові механічних втрат, %	
$\delta_{\text{нх}}$	14
$\delta_{\text{грм}}$	6
$\delta_{\text{тн}}$	2
Маса незаправленого двигуна, кг	430

Дослідження проводили при трьох варіантах роботи двигуна:

1. Початковий двигун (працюють всі циліндри);
2. Відключена подача палива у 2-му та 3-му циліндрах двигуна;

3. Відключена подача палива та привід ГРМ 2-го та 3-го циліндрів двигуна (клапани постійно закриті).

Задачею запропонованого приладу є зниження токсичності відпрацьованих газів та механічних втрат, підвищення паливної економічності, що досягається за рахунок відключення подачі палива в циліндри двигуна та приводів газорозподільчого механізму в цих циліндрах на холостих обертах та малих навантаженнях роботи МТА (рис. 2.1).



1 – трактор; 2 – причіп; 3 – датчик тягового зусилля; 4 – електронний блок управління; 5 – двигун

Рисунок 2.1 – Схема тракторно-транспортного агрегату

Для виміру тягового опору причепа використовується датчик тягового зусилля, що являє собою датчики під'єднані мостовою схемою, що закріплений між гаком трактора та дишлом причепа. Вони передають сигнал на електричний блок керування, що з'єднаний через чотирьох канальні силові ключі з механізмом регулювання подачею палива, в якості якого для відключення/підключення подачі палива використані електромагнітні форсунки, і з електромагнітними клапанами для відключення/підключення приводів газорозподільчого механізму. Для підвищення точності вимірювання тягового зусилля встановлений стабілізатор напруги. [24]

Використання датчика тягового зусилля обумовлено необхідністю зв'язку між зусиллям на гаку трактора, що залежить від тягового опору причепа, та кількістю відключених/підключених циліндрів двигуна, що дозволяє відключати подачу палива в циліндри двигуна та привід газорозподільчого механізму в цих циліндрах, змінюючи потужність двигуна, на холостих обертах та малих навантаженнях роботи МТА. На прикладі чотирьохциліндрового двигуна прилад керування роботою з врахуванням навантаження транспортного агрегату працює наступним чином.

При тяговому зусиллі на гаку до 40% від номінального, що фіксується датчиком тягового зусилля та передається на електронний блок керування, який в свою чергу передає керуючі сигнали на відповідні канали чотирьох кагальних силових ключів S1 та S2, що призводить до відключення подачі палива в двох циліндрах двигуна за допомогою електромагнітних форсунок та газорозподільчого механізму і відповідних циліндрах за допомогою електромагнітних циліндрів.

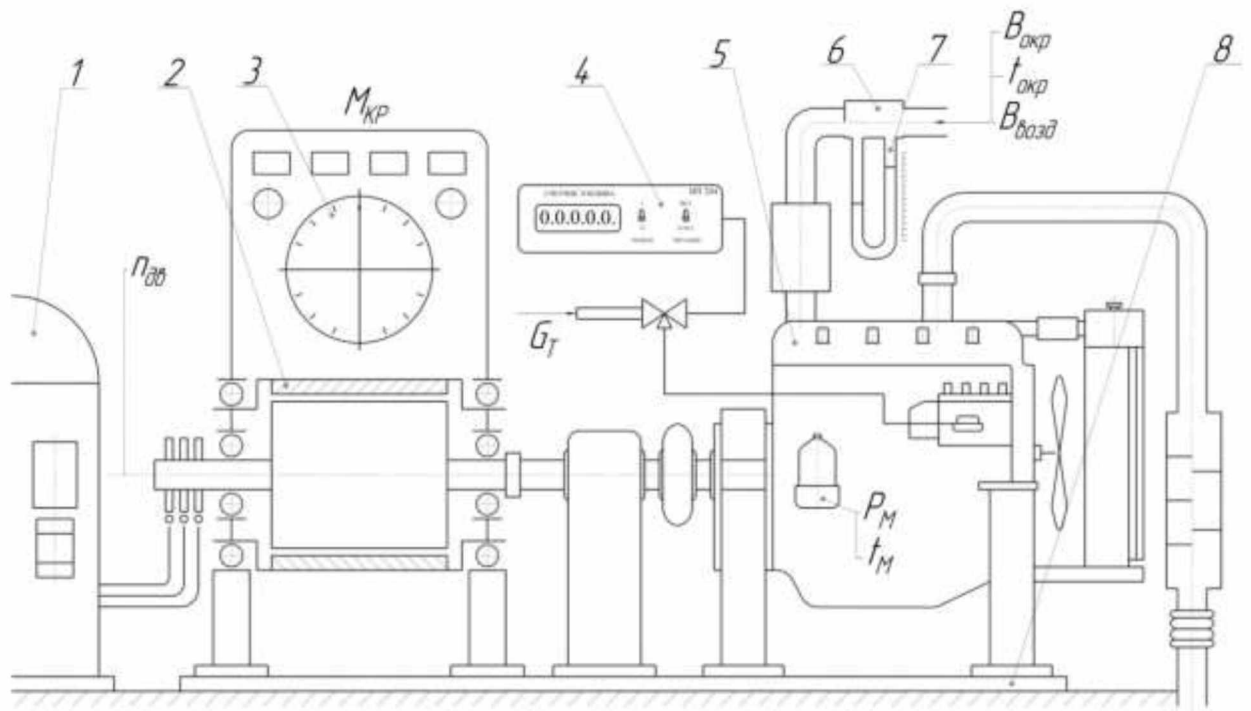
При різкому підвищенні подачі палива датчик R подає сигнал на електронний блок керування, що забороняє відключення подачі палива та приводів газорозподільчого механізму циліндрів двигуна.

Випробування дизельного двигуна Д-240 проводились на обкатно-гальмівному стенді, оснащеним необхідними вимірювальними приладами.

Гальмівний стенд (рис. 2.2) призначений для проведення обкатки та випробувань тракторних дизельних двигунів з максимальним крутним моментом не більше 363 Н·м та частотою обертання колінчатого валу в межах 1200...3000 хв⁻¹.

Стенд складається з наступних частин:

- фундамент з плитою, на якому монтується двигун зі штатною системою охолодження та мащення;
- динамометричний пристрій з балансуною електричною машиною для поглинання потужності та прокручування;



1 – рідинний реостат; 2 – балансувальна машина; 3 – ваговий пристрій для вимірювання крутного моменту; 4 – лічильник палива; 5 – ДВЗ; 6 – мірне сопло; 7 – водяний манометр; 8 – фундамент

Рисунок 2.2 – Схема стенду для випробування двигуна ДВЗ

- рідинний реостат з дистанційним керуванням;
- стійка з приладами та апаратурою дистанційного керування;
- пристрій для вимірювання витрати повітря та температури відпрацьованих газів, приладів для виміру частоти обертання колінчатого валу двигуна, температури води, мастила і тиску мастила;
- електрична шафа.

На стенді передбачена система відкачування відпрацьованих газів, обладнана термоізоляційним матеріалом та глушником.

На стенді встановлений двигун Д-240 (рис. 2.3.), маховик якого через кардану передачу, яка накрита захисним кожухом, з'єднаний з ротором балансирної електричної машини.

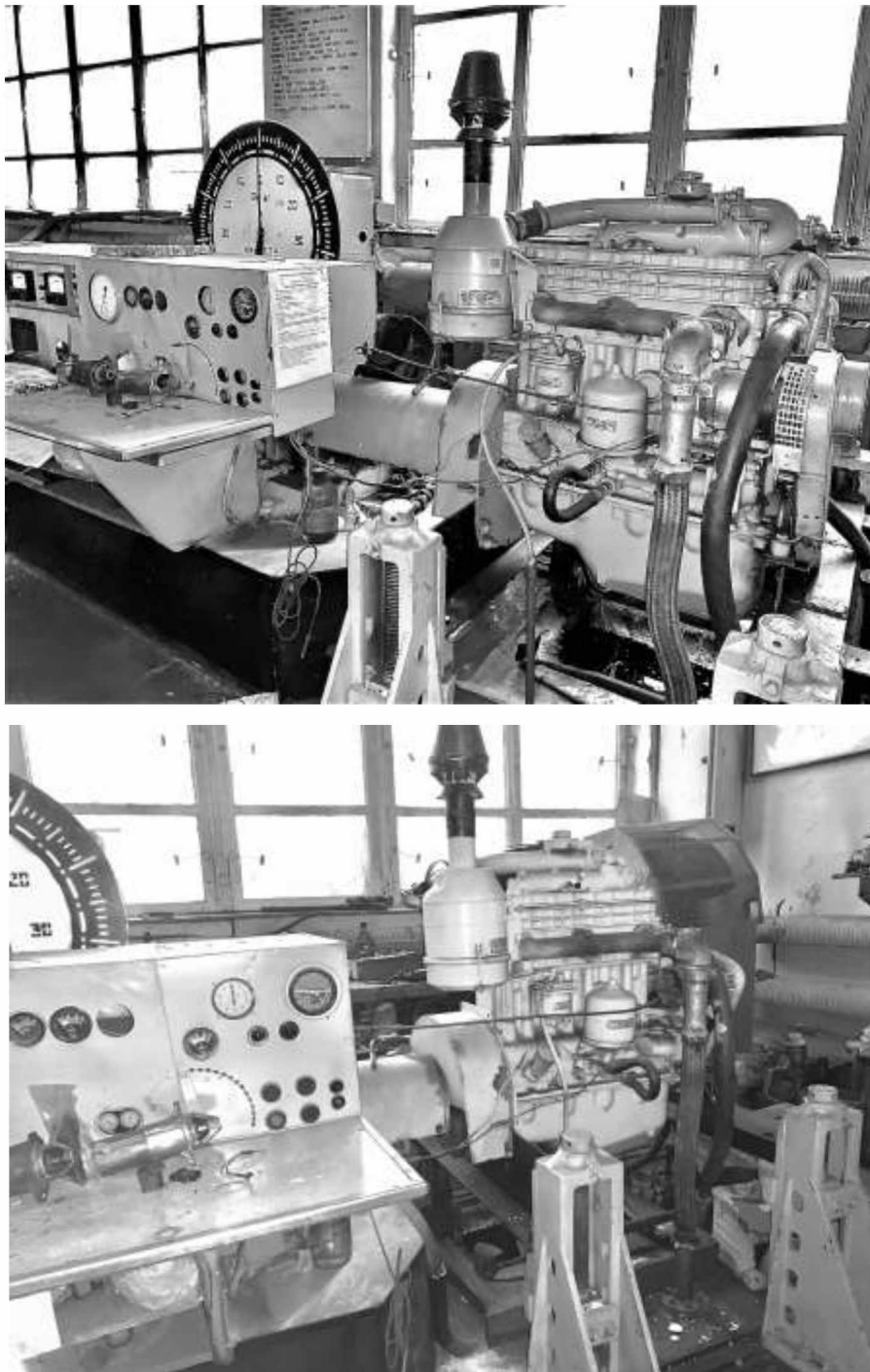


Рисунок 2.3 – Двигун Д-240 на стенді

Стенд оснащений приладами, які дозволяють в процесі випробування двигуна контролювати наступні параметри:

- температуру охолоджуючої рідини
- температуру мастила в системі мащення двигуна
- частоту обертання ротора балансувальної машини

Витрата палива двигуном вимірюється поршневим лічильником палива ІП 204. Прилад призначений для вимірювання поточної витрати палива в літрах за годину при випробуваннях машино-тракторних агрегатів та сільськогосподарських машин, оснащених дизельними двигунами.

Випробування проводили в лабораторії кафедри Технології та засоби механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії на стенді КИ-5543 зі встановленим на ньому двигуні Д-240. Програма стендових випробувань включала в себе зняття характеристик: холостих обертів та механічних втрат, навантажувальної характеристики.

Характеристики знімали при трьох варіантах роботи двигуна: при всіх працюючих циліндрах (вхідний двигун), при відключенні тільки подачі палива у 2-й та 3-й циліндри, при відключенні палива та приводів механізму газорозподілення 2-го та 3-го циліндрів. Відключення газорозподільчого механізму відбувалося шляхом витягування штанг приводів при зупиненому двигуні.

Швидкісний режим: частоту обертання колінчатого валу обирали у відповідності з режимами роботи в межах від 800 до 2350 хв⁻¹. Встановлена межа стабільної роботи дизельного двигуна Д-240 при відключенні 2-го та 3-го циліндрів на частоті обертання колінчатого валу від 1000 хв⁻¹.

Навантажувальний режим визначали режимами роботи двигуна при зміні ефективного тиску в діапазоні $P_e=0\ldots0,63$ МПа. Межа стабільної роботи двигуна Д-240 при відключенні 2-го та 3-го циліндрів до навантаження $P_e=0,25$ МПа ($n=2200$ хв⁻¹). [19]

Температура мастила та охолоджуючої рідини під час випробувань встановлювали та підтримували в межах номінального теплового режимів по технічним умовам заводу-виробника двигуна.

Характеристика роботи на холостих обертах – залежність індикаторних, ефективних та інших показників роботи дизельного двигуна від частоти обертання колінчатого валу при роботі двигуна без навантаження.

Характеристика механічних втрат – залежність потужності та умовного тиску механічних втрат від частоти обертання колінчатого валу.

Характеристики знімали в інтервалі частот обертання вала двигуна від максимальної до мінімальної стабільності, з кроком не більше 100 хв^{-1} , при цьому вимірювались наступні параметри:

- частоту обертання колінчатого валу двигуна $n, \text{хв}^{-1}$
- навантаження на гальмах (тільки для характеристик механічних втрат) $P_T, \text{кг}$;
- витрата палива за дослід (тільки для характеристики холостих обертів) $G_T, \text{кг/год}$;
- перепад тиску повітря у витрато мірному пристрої по диференційному манометру (тільки для характеристики холостих обертів) $h, \text{мм вод ст.}$;
- температуру відпрацьованих газів (тільки для характеристики холостих обертів) $t_T, ^\circ\text{C}$
- температуру мастила в системі мащення t_M , температуру води t_B , температуру навколишнього середовища $t_{\text{навк}}, ^\circ\text{C}$
- тиск мастила в системі мащення, $P_M, \text{кг/см}^2$;
- атмосферний тиск $B_{\text{навк}}, \text{кПа}$;
- димність відпрацьованих газів (тільки для характеристики холостих обертів) $K, \text{м}^{-1}$;
- вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах (тільки для характеристики холостих обертів) $\text{CO}, \%$;
- вміст вуглеводів у відпрацьованих газах (тільки для характеристики холостих обертів) $\text{CH}, 10^{-4}, \%$;
- вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах (тільки для характеристики холостих обертів) $\text{NO}_X, 10^{-4}, \%.$ [10]

Навантажувальна характеристика – залежність індикаторних характеристик та інших показників роботи двигуна від середнього ефективного тиску або від ефективної потужності при постійній частоті

обертання колінчатого валу. Характеристику знімали на декількох характерних швидкісних режимах двигуна: при максимальній ефективній потужності $N_{e \max}$, максимальному крутному моменті $M_{K \max}$, а також у проміжних точках, із заміром наступних параметрів:

- частоти обертання колінчатого валу $n, \text{хв}^{-1}$
- навантаження на гальмах $P_T, \text{кг}$;
- витрата палива за дослід $G_T, \text{кг/год}$;
- перепад тиску повітря у витрато мірному пристрої по диференційному манометру $h, \text{мм вод ст.}$;
- температуру відпрацьованих газів $t_T, ^\circ\text{C}$
- температуру мастила в системі мащення t_M , температуру води t_B , температуру навколишнього середовища $t_{\text{навк}}, ^\circ\text{C}$
- тиск мастила в системі мащення, $P_M, \text{кг/см}^2$;
- атмосферний тиск $B_{\text{навк}}, \text{кПа}$;
- димність відпрацьованих газів $K, \text{м}^{-1}$;
- вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах $\text{CO}, \%$;
- вміст вуглеводів у відпрацьованих газах $\text{CH}, 10^{-4}, \%$;
- вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах $\text{NO}_x, 10^{-4}, \%$.

Основні параметри характеристик ДВЗ розраховували по нижче вказаним залежностям. По закінченню замірів та розрахунків параметри характеристик двигуна приводять до номінальних (стандартних). [20]

Висновки по розділу

1. Лабораторні випробування дизельного двигуна Д-240, що проводились на універсальному обкатно-гальмівному стенді, дозволяють виконати повний комплекс експериментальних досліджень у відповідності з розробленою програмою. Виміри димності відпрацьованих газів проводились димоміром «Інфакар Д1», виміри вмісту токсичних елементів у відпрацьованих газах двигуна – газоаналізатором «Infralight 11P»

2. Визначені межі стабільної роботи дизельного двигуна Д-240 при відключенні 2-го та 3-го циліндрів:

- для швидкісного режиму на частотах обертання колінчатого валу від $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$;
- для режиму навантаження до навантаження $P_e = 0,25 \text{ МПа}$ ($n = 2200 \text{ хв}^{-1}$).

3. Розроблена методика експериментальних досліджень дозволяє коректно дослідити роботу двигуна та визначити з достатньою точністю компоненти токсичності відпрацьованих газів дизельного двигуна при відключенні частини його циліндрів на різних режимах навантаження.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Алгоритм дослідження параметрів дизельного двигуна

На рисунку 3.1 наведена блок-схема алгоритму розрахунку вмісту сажі та диму у відпрацьованих газах дизельного двигуна.

На основі вихідних даних проводиться тепловий розрахунок двигуна, в результаті якого визначаються індикаторні показники двигуна: середній індикаторний тиск P_i , МПа; питому індикаторну витрату палива g_i , г/кВт·год; індикаторний ККД η_i . По результатам теплового розрахунку виконується побудова індикаторної діаграми, виконується розрахунок механічних втрат та ефективних показників двигуна.



Рисунок 3.1 – Алгоритм розрахунку вмісту сажі та диму у відпрацьованих газах дизельного двигуна

Для розрахунку вмісту сажі у відпрацьованих газах дизельного двигуна слід встановити як змінюються деякі показники роботи ДВЗ при відключенні частини його циліндрів, а саме: максимальна ефективна потужність, годинна витрата палива, витрата повітря, коефіцієнт надлишку повітря.

3.2. Результати теоретичних досліджень на прикладі двигуна Д-240

3.2.1. Визначення індикаторних показників двигуна

Індикаторні показники двигуна: середній індикаторний тиск (P_i), питома індикаторна витрата палива (g_i), індикаторний ККД (η_i) - визначаються з теплового розрахунку ДВЗ. Тепловий розрахунок дизельного двигуна для номінального режиму роботи двигуна ($P_e = 0,63$ МПа, що відповідає потужності двигуна $N_e = 55$, частота обертання $n = 2200$ хв.⁻¹).

Таблиця 3.1 – Вихідні данні для теплового розрахунку дизельного двигуна.

Найменування параметру	Значення
Тиск навколишнього середовища p_0 , МПа	0,1013
Тиск перед впускними клапанами, Мпа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	293
Степінь стиску	16
Коефіцієнт наповнення	0,85
Тиск залишкових газів, К	0,11
Температура залишкових газів	828
Підігрів свіжого заряду, К	5
Масова частка вуглецю в паливі С	0,86
Масова частка водню в паливі Н	0,13
Масова частка кисню в паливі О	0,01
Коефіцієнт надлишку повітря	1,54
Відношення радіусу кривошипу до довжини шатуна	0,2717
Нижча температура згорання палива	42,5
Показник характеру згорання	0,23
Тривалість згорання, град	100
Коефіцієнт ефективності згорання	0,82
Зниження температури свіжого заряду надувного повітря	0
Показник політропи стиску в компресорі	1
Кут випередження запаювання	7,5
Крок розрахунку процесу згорання	2,5
Крок розрахунку процесу стиску та розширення	2,5

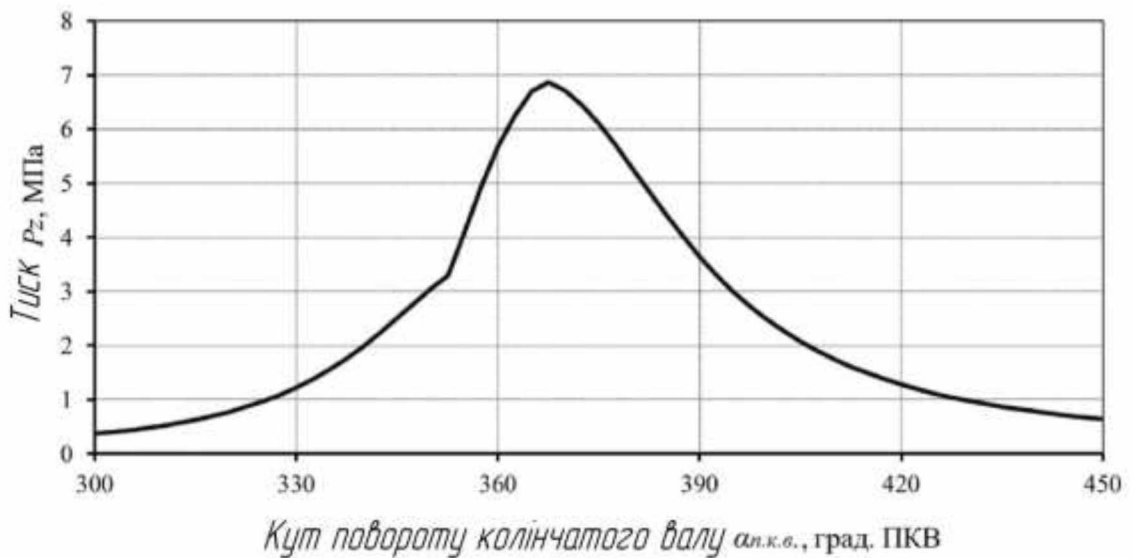


Рисунок 3.2 – Індикаторна діаграма двигуна, що отримана при розрахунку

3.2.2. Визначення ефективних показників вихідного двигуна

Середній тиск механічних втрат, МПа:

$$P_{MB} = a + b \cdot n \cdot 10^{-4} = 0,04 + 0,8 \cdot 2200 \cdot 10^{-4} = 0,216 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

де $a=0,04$; $b=0,8$; $n=2200 \text{ хв}^{-1}$.

Середній ефективний тиск, МПа:

$$P_e = P_i - P_{MB} = 0,823 - 0,216 = 0,607 \text{ МПа}. \quad (3.2)$$

Механічний ККД:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{0,607}{0,823} = 0,74. \quad (3.3)$$

Ефективний ККД:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,45 \cdot 0,74 = 0,33. \quad (3.4)$$

Ефективна питома витрата палива, г/кВт·год:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{3600}{42,5 \cdot 0,33} = 256,7 \text{ г/кВт·год}, \quad (3.5)$$

де $H_u = 42,5 \text{ МДж/кг}$.

Ефективна потужність, кВт:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot i \cdot n_n}{30 \cdot \tau} = \frac{0,607 \cdot 1,188 \cdot 4 \cdot 2200}{30 \cdot 4} = 52,9 \text{ кВт}, \quad (3.6)$$

де $V_h=1,88$ л; $i=4$; $\tau=4$.

Годинна витрата палива:

$$G_T = \frac{N_e \cdot g_e}{1000} = \frac{52,9 \cdot 256,7}{1000} = 13,6 \text{ кг/год.} \quad (3.7)$$

Крутний момент, Н·м:

$$M_K = \frac{9550 \cdot N_e}{n_H} = \frac{9550 \cdot 52,9}{2200} = 229,6 \text{ Н·м.} \quad (3.8)$$

Циклічна подача палива, г/цикл:

$$g_{\text{ц}} = \frac{10^4 \cdot G_T \cdot \tau}{1,2 \cdot n \cdot i} = \frac{10^4 \cdot 13,6 \cdot 4}{1,2 \cdot 2200 \cdot 4} = 51,5 \text{ г/цикл.} \quad (3.9)$$

Теоретична витрата палива, кг/ч:

$$G_{BT} = \frac{3,6 \cdot V_h \cdot i \cdot \rho_{\text{наек}} \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{3,6 \cdot 1,188 \cdot 4 \cdot 1,15 \cdot 2200}{30 \cdot 4} = 361,4 \text{ кг/год.} \quad (3.10)$$

Дійсна витрата палива, кг/ч:

$$G_B = G_{BT} \cdot \eta_v = 361,4 \cdot 0,85 = 307,2 \text{ кг/год.} \quad (3.11)$$

Коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{G_B}{L_0 \cdot G_T} = \frac{307,2}{14,85 \cdot 13,6} = 1,52. \quad (3.12)$$

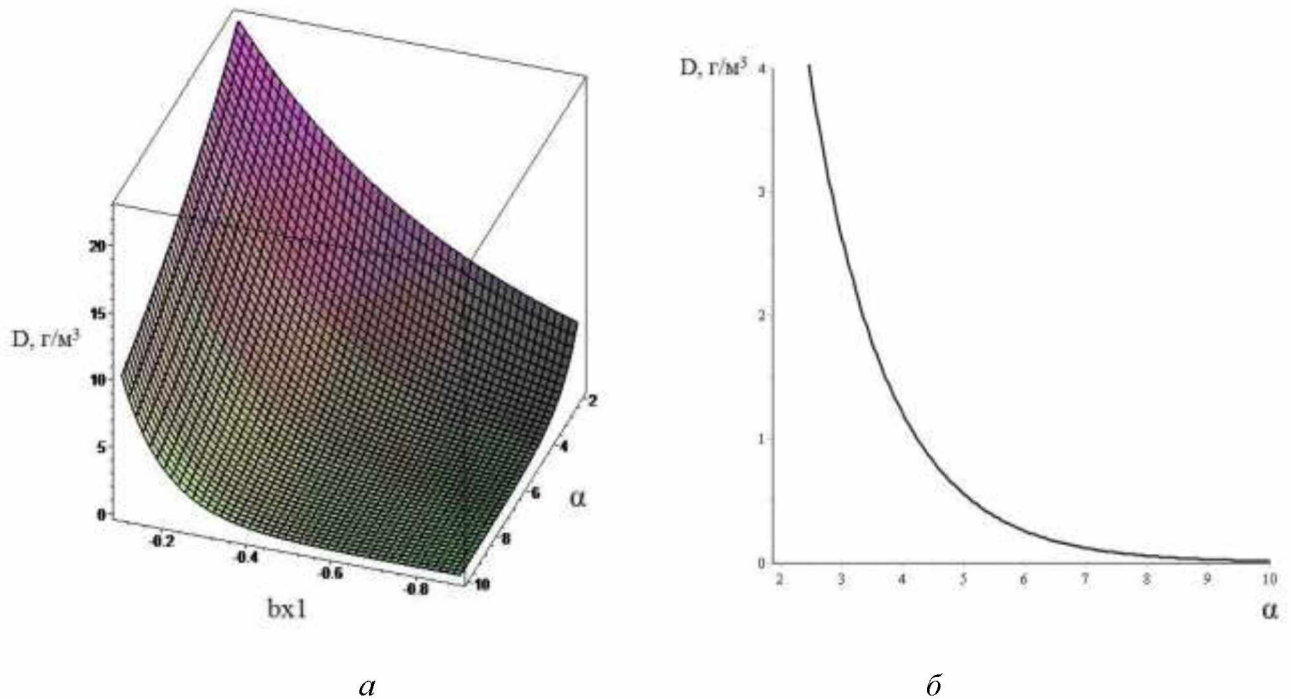
3.2.3. Дослідження вмісту сажі та димності відпрацьованих газів двигуна при відключенні частини циліндрів

Розрахунок показників дизельного двигуна при відключенні циліндрів та вмісту сажі у відпрацьованих газах виконаний в системі комп'ютерної алгебри, програмному пакеті Maple.

Розрахунок виконаний для двох варіантів роботи двигуна:

- 1) Початковий двигун (працюють всі циліндри);
- 2) Відключена подача пального в половині циліндрів.

По результатам розрахунку отримана залежність вмісту сажі у відпрацьованих газах (D) від коефіцієнту надлишку повітря (α)(рис. 3.3).



a – максимальне значення вмісту сажі в кожній граничній точці (b_{xl} – залежить від серії дизельного двигуна); b – зріз однієї граничної точки (для дизельного двигуна Д-240)

Рисунок 3.3 – Залежність вмісту сажі у відпрацьованих газах від коефіцієнту надлишку повітря

Результати розрахунку вмісту сажі, димності відпрацьованих газів та коефіцієнту надлишку повітря при роботі двигуна на режимі холостого ходу представлені в таблицях 3.2., 3.3 та на рисунках 3.4, 3.5.

З рисунків видно, що із збільшенням коефіцієнту надлишку повітря значення вмісту сажі у відпрацьованих газах двигуна знижується. Це означає, що при більшому коефіцієнті надлишку повітря у двигуна з відключенням подачі палива в половину циліндрів кількість сажі у відпрацьованих газах буде менше, ніж у початкового двигуна.

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнту надлишку повітря при роботі двигуна на холостих обертах

	$n, \text{хв}^{-1}$	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2350
Варіант 1	α	8,55	7,9	7,4	6,7	6,3	5,75	5,5
Варіант 2		8,55	7,9	7,4	7	6,7	6,4	6

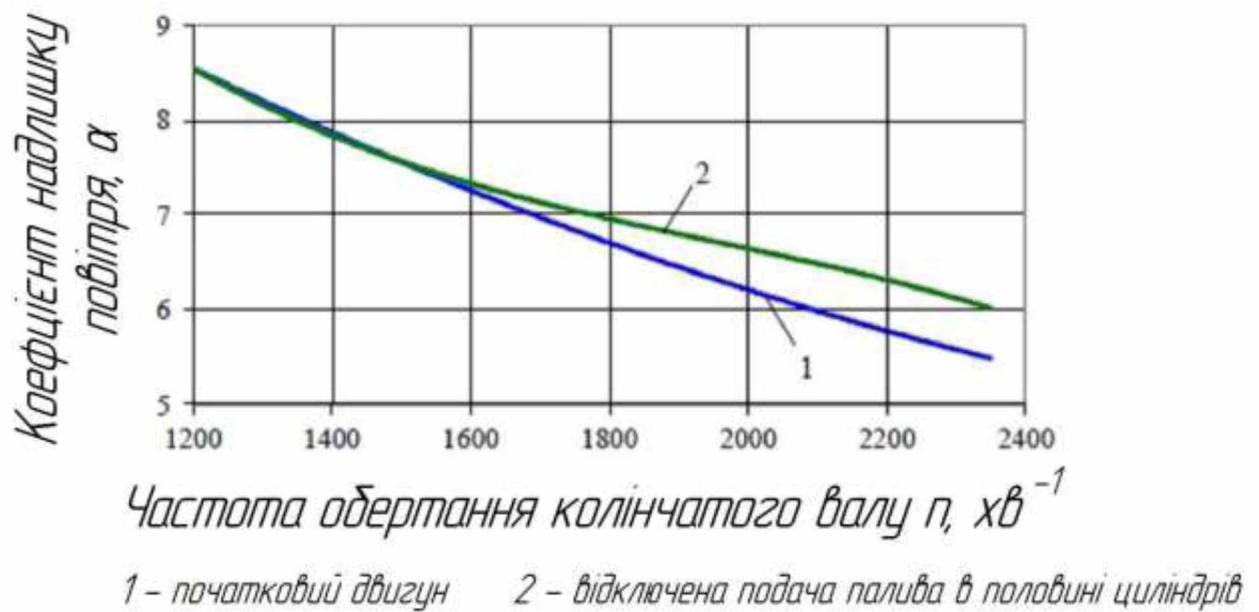


Рисунок 3.4 – Розрахункові залежності коефіцієнту надлишку повітря від частоти обертання колінчатого валу

При відключенні подачі пального в половині циліндрів коефіцієнт надлишку повітря на частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ на 11,3% вище ніж у початкового двигуна, так як годинна витрата палива знижується, а витрата повітря практично не змінюється.

Таблиця 3.4 – Значення вмісту сажі у відпрацьованих газах при роботі двигуна на холостих обертах.

	$n, \text{хв}^{-1}$	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2350
Варіант 1	$D \text{ г/м}^3$	0,0285	0,0478	0,0746	0,12	0,177	0,23	0,27
Варіант 2		0,0285	0,0478	0,0746	0,096	0,126	0,148	0,187

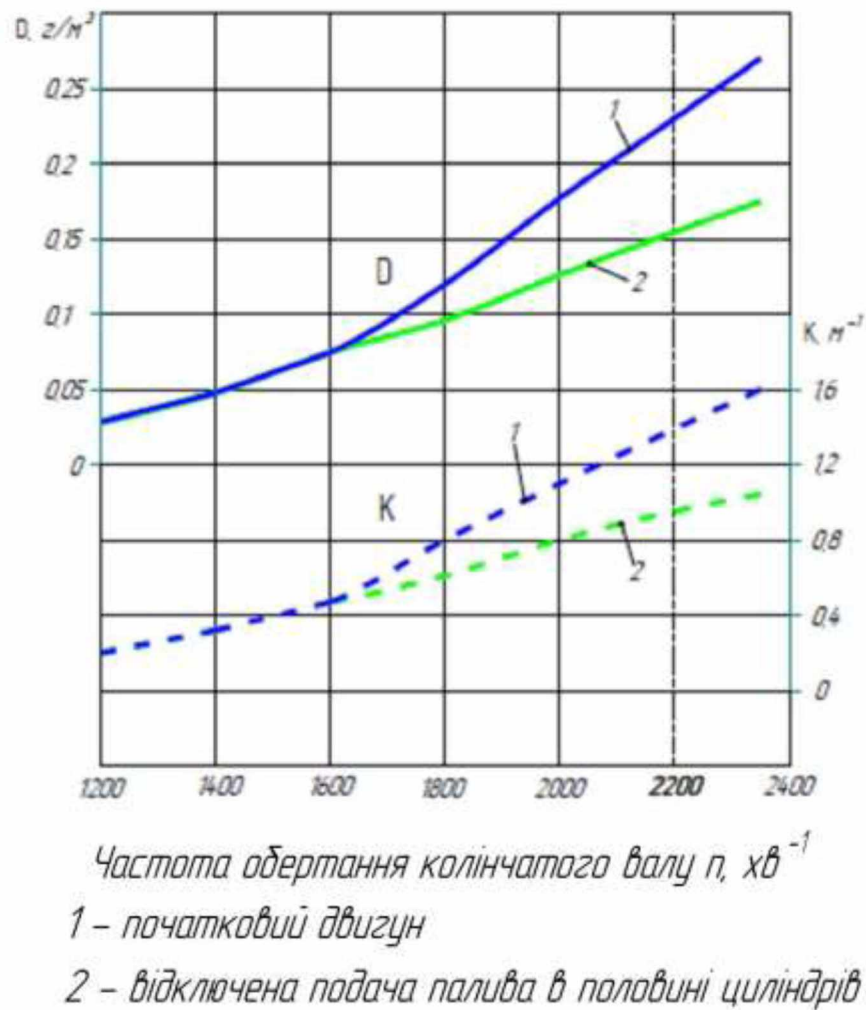


Рисунок 3.5 – Розрахункові залежності вмісту сажі та димності відпрацьованих газів від частоти обертання колінчатого валу

Виділення токсичних компонентів у відпрацьованих газах (рисунок 3.5) залежить головним чином від коефіцієнту надлишку повітря. При відключенні подачі палива в половині циліндрів порівняно з початковим двигуном вміст сажі та диму у відпрацьованих газах на різних швидкісних режимах зменшується за рахунок збільшення коефіцієнта надлишку повітря (рисунок 3.4), на частоті обертання колінчатого вала двигуна $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ зниження складає 35,6%.

3.3. Результати експериментального дослідження дизельного двигуна Д-240 при відключенні частини його циліндрів

Експериментальні дослідження були проведенні з метою визначення впливу відключення циліндрів двигуна на його показники.

Дослідження проводили при трьох варіантах роботи двигуна:

- 1) Вхідний двигун (працюють всі циліндри);
- 2) Відключена подача палива в 2-му та 3-му циліндрах двигуна;
- 3) Відключена подача палива та привід ГРМ 2-го та 3-го циліндрів двигуна (клапани постійно закриті).

3.3.1. Зміна токсичності та димності відпрацьованих газів дизельного двигуна

В таблиці 3.5 та на рисунку 3.6 представлені результати дослідження димності відпрацьованих газів дизельного двигуна Д-240 на частотах обертання колінчатого валу від 1200 до 2200 хв^{-1} з кроком 200хв^{-1} .

Таблиця 3.5 – Значення димності відпрацьованих газів дизельного двигуна Д-240

Частота обертання колінчатого валу	Показники ослаблення світлового потоку		
	Початковий двигун	Відключене паливо	Відключене паливо та ГРМ
1200	0,2	0,19	0,15
1400	0,32	0,28	0,3
1600	0,46	0,4	0,41
1800	0,9	0,62	0,67
2000	1,11	0,8	0,83
2200	1,4	0,87	0,97

Виділення токсичних компонентів (рис. 3.6) у відпрацьованих газах K залежить від коефіцієнта надлишку повітря α . При відключенні подачі палива

в 2-му та 3-му циліндрах порівняно з початковим двигуном димність відпрацьованих газів на різних швидкісних режимах зменшується за рахунок збільшення коефіцієнта надлишку повітря. Так, на номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ α збільшується на 0,47 тобто на 7,8 %, що призводить до зниження димності відпрацьованих газів двигуна на $0,53 \text{ м}^{-1}$, тобто на 37,8 %. В третьому варіанту величина димності відпрацьованих газів, порівняно з другим, незначно збільшується, що пов'язано з відсутністю потрапляння повітря у відпрацьовані гази через закриття клапанів 2-го та 3-го циліндрів. При відключенні палива та ГРМ (варіант 3) порівняно з першим варіантом показники ослаблення світлового потоку K знижуються, що викликано зменшенням витрати повітря G_T , покращенням повноти його згорання в 1-му та 4-му циліндрах, зменшенням нерівномірності циклічної подачі палива q_u по циліндрам двигуна. Так, при номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ G_T знижується на 0,87 кг/год, тобто на 24,8 %, а димність відпрацьованих газів – на $0,43 \text{ м}^{-1}$, тобто на 30,7 %.

На рисунку 3.7 представлені результати досліджень димності відпрацьованих газів дизельного двигуна Д-240 при роботі під навантаженням $N_e = 0 \dots 35 \text{ кВт}$ ($P_e = 0 \dots 0,40 \text{ МПа}$), частота обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$.

По мірі збільшення навантаження 0...40 % від номінальної потужності N_e димність відпрацьованих газів (рис. 4.8) при відключенні палива (варіант 2) також збільшується ($K = 0,87 \text{ м}^{-1}$) на холостих обертах ($N_e = 0$) та при навантаженні $N_e = 8 \text{ кВт}$ стає рівною димності відпрацьованих газів початкового двигуна ($K = 1,55 \text{ м}^{-1}$), а потім перевищує останню, що обумовлено зниженням коефіцієнту надлишку повітря α .

При відключенні подачі палива та ГРМ 2-го та 3-го циліндрів димність відпрацьованих газів нижче, ніж у початкового двигуна, від холостих обертів ($K = 0,97 \text{ м}^{-1}$) до навантаження $N_e = 22 \text{ кВт}$ ($K = 1,88 \text{ м}^{-1}$).

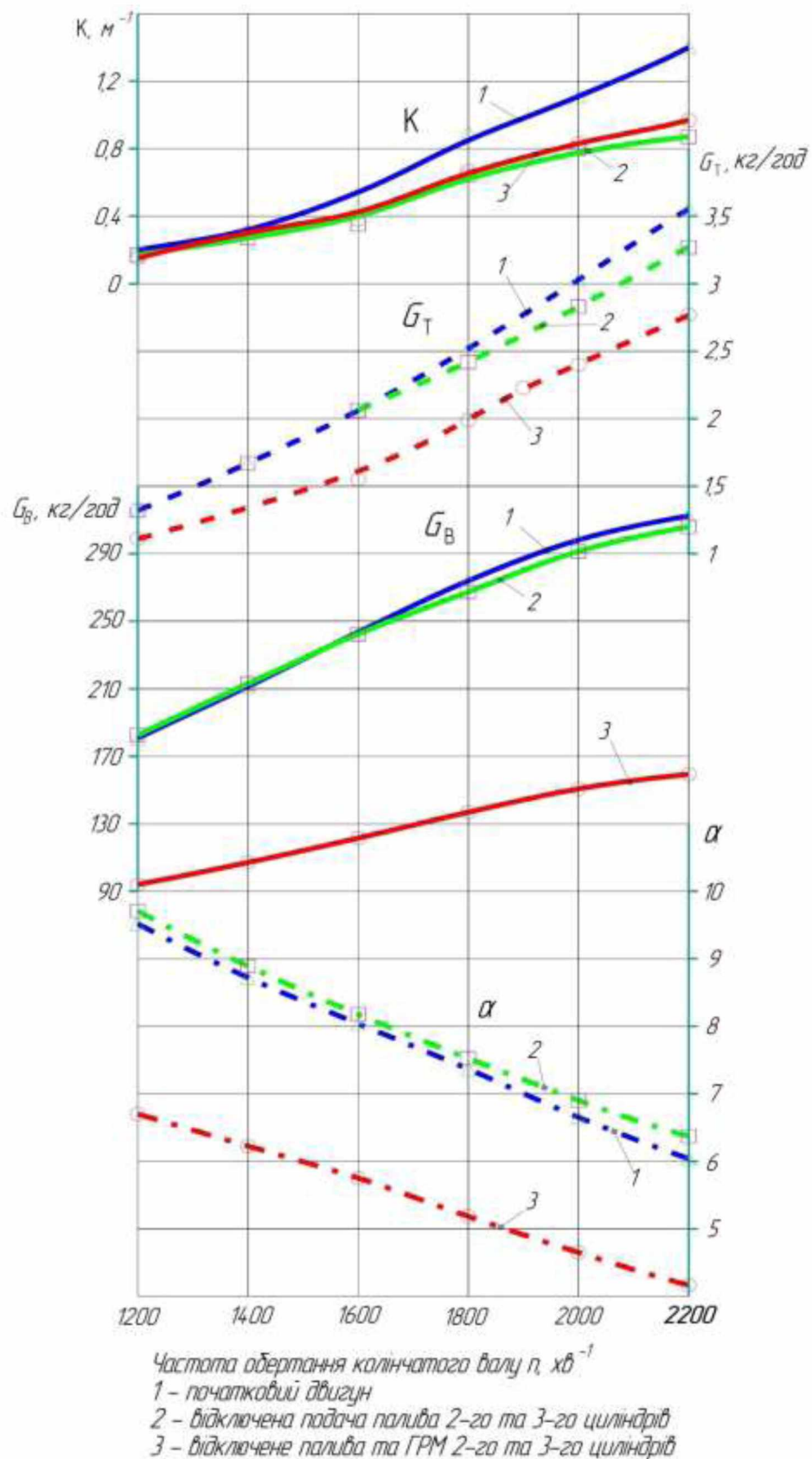


Рисунок 3.6 – Залежності димності відпрацьованих газів (K), витрати палива (G_T), витрати повітря (G_B), коефіцієнта надлишку повітря (α), від частоти обертання колінчатого валу (n).

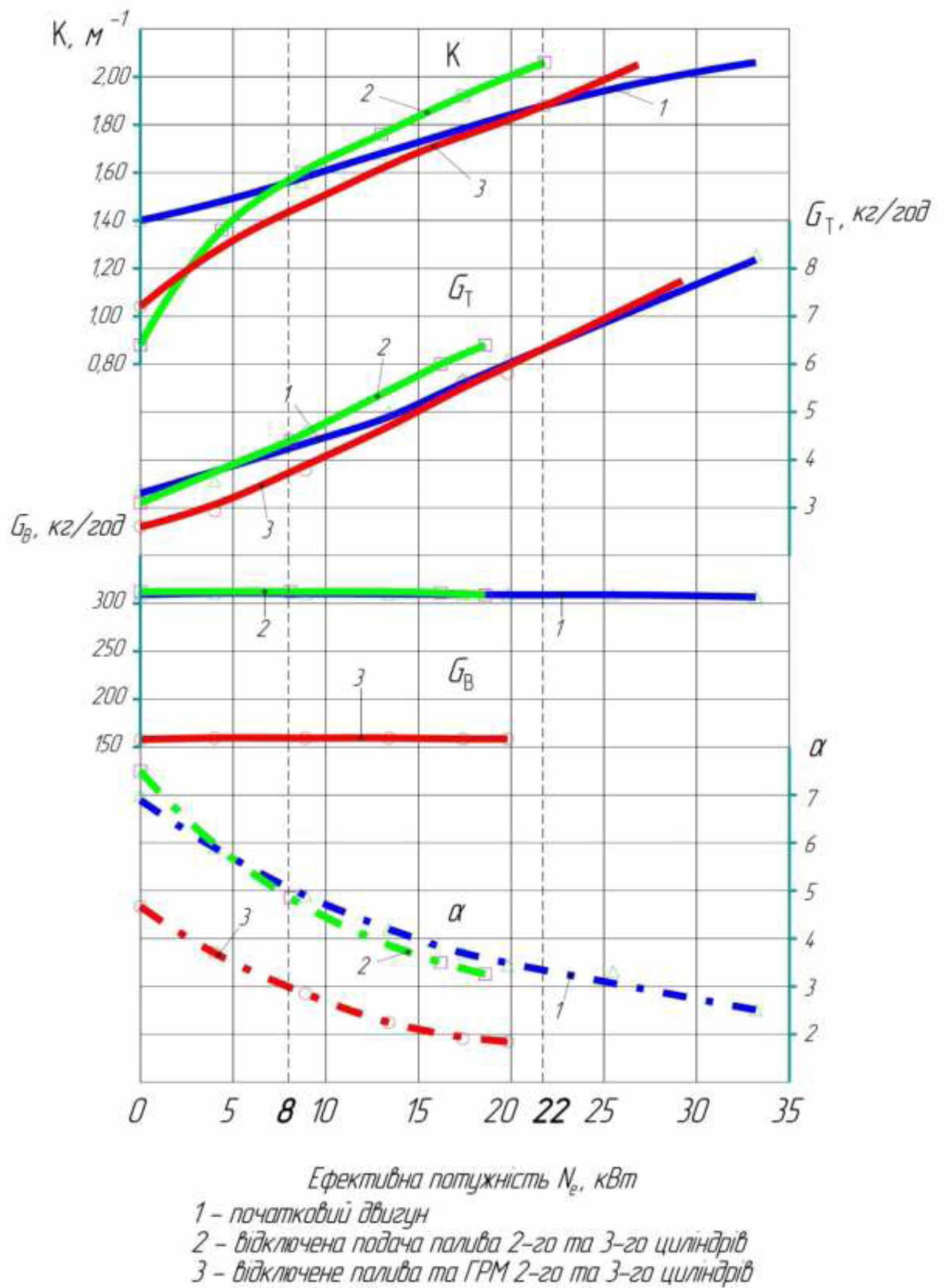


Рисунок 3.7 – Залежності димності відпрацьованих газів (K), витрати палива (G_T), витрати повітря (G_B), коефіцієнта надлишку повітря (α) від потужності двигуна (N_e) при $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$

Результати досліджень зміни вмісту оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах двигуна в залежності від частоти обертання колінчатого валу при відключенні циліндрів двигуна Д-240 представлені в таблиці 3.6 та на рис. 3.8.

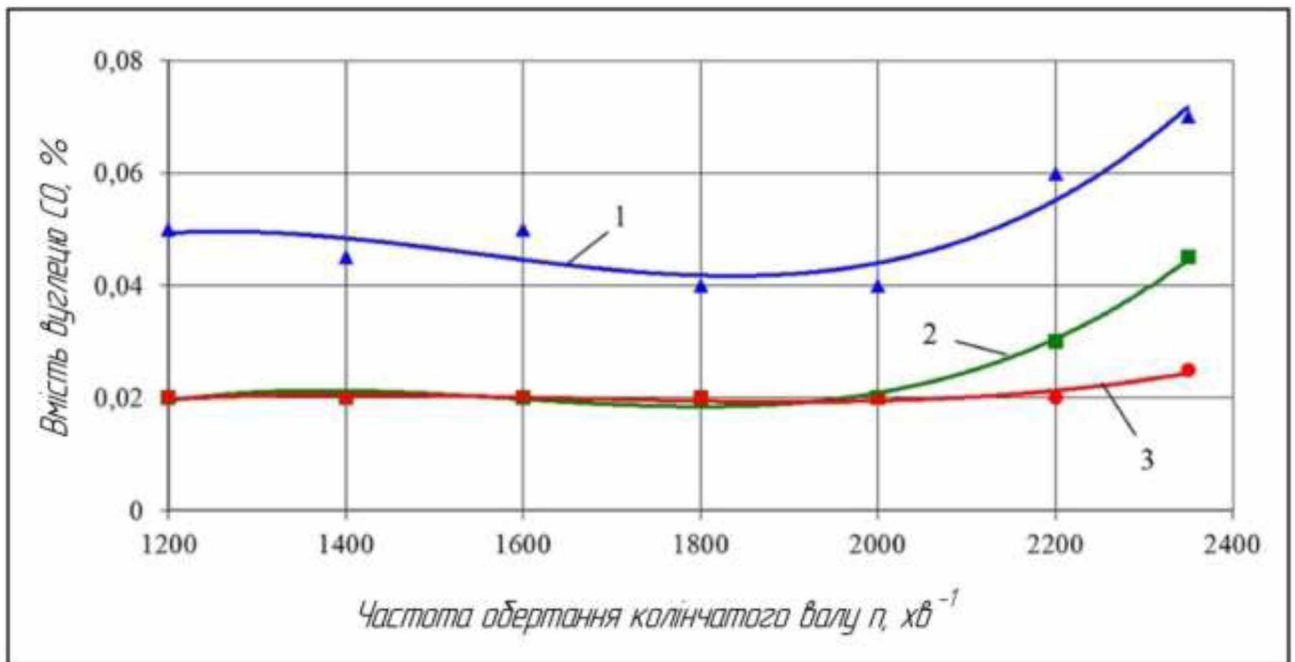
Таблиця 3.6 – Вміст оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах дизельного двигуна Д-240

Частота обертання колінчатого валу n , хв^{-1}	CO, %		
	Початковий двигун	Відключене паливо	Відключене паливо та ГРМ
1200	0,05	0,02	0,02
1400	0,045	0,02	0,02
1600	0,05	0,02	0,02
1800	0,04	0,02	0,02
2000	0,04	0,02	0,02
2200	0,06	0,03	0,02
2350	0,07	0,045	0,025

Вміст оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах (рис. 3.8) в другому та третьому варіанті випробувань порівняно з показниками початкового двигуна знижується за рахунок покращення розпилення палива, більш рівномірного розподілення його по об'єму камері згорання, так як збільшується циклічна подача палива $q_{\text{ц}}$, а годинна витрата палива G_T знижується. Для номінальної частоти обертання колінчатого валу двигуна Д-240 $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$:

- при відключенні подачі палива циклічна подача палива $q_{\text{ц}}$ збільшується на 11,1 мг/цикл, тобто 81,7 %, а годинна витрата палива G_T знижується на 0,33 кг/год., тобто 9,2 %, що призводить до зниження в два рази вмісту оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах, тобто на 0,03 %;

- при відключенні подачі палива та приводів ГРМ циклічна подача палива $q_{\text{ц}}$ збільшується на 6,87 мг/цикл, тобто 50 %, а годинна витрата палива G_T знижується на 0,87 кг/год., тобто 24,8 %, що призводить до зниження в три рази вмісту оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах, тобто на 0,04 %;



1 – початковий двигун; 2 – відключена подача палива 2-го та 3-го циліндрів; 3 – відключене паливо та ГРМ 2-го і 3-го циліндрів

Рисунок 3.8 – Залежності вмісту оксиду вуглецю CO від частоти обертання колінчатого валу

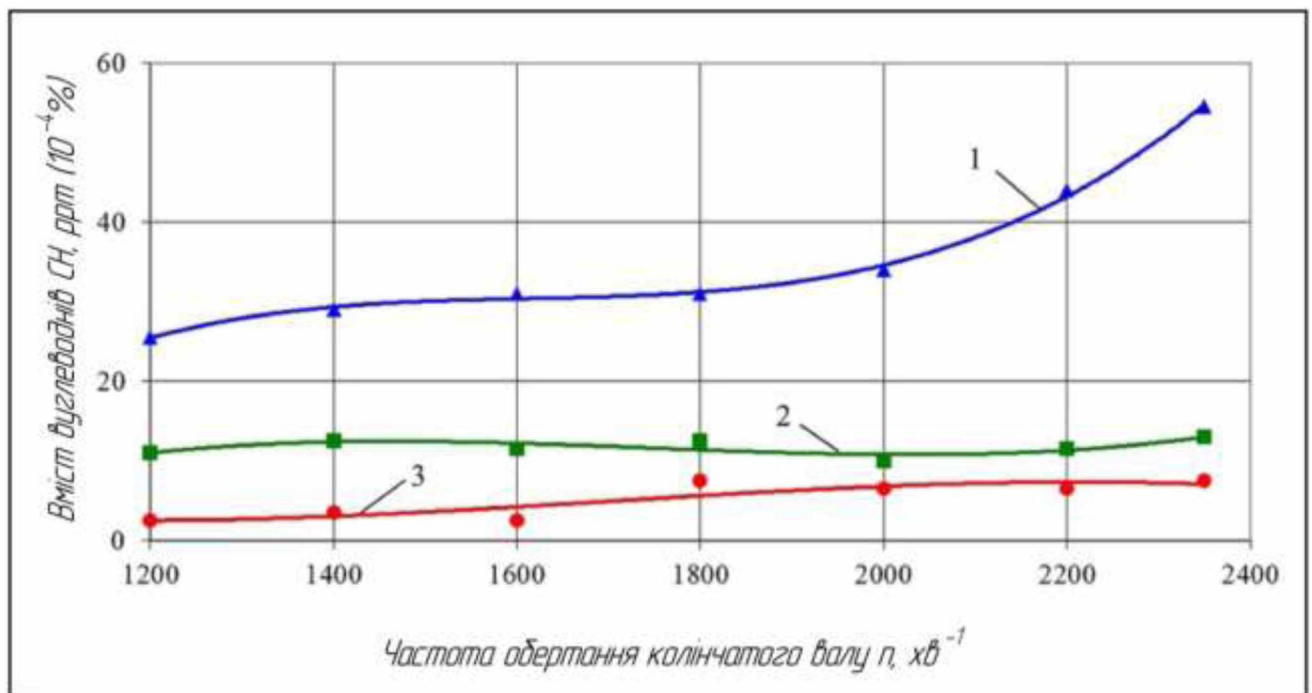
Результати досліджень зміни вмісту вуглеводнів CH у відпрацьованих газах двигуна від частоти обертання колінчатого валу при відключенні циліндрів двигуна Д-240 представлені в таблиці 3.7 та на рис. 3.9.

Вміст вуглеводнів CH у відпрацьованих газах (рис. 3.9) при відключенні палива порівняно із даними початкового двигуна знижується за рахунок збільшення коефіцієнта надлишку повітря α , так як дійсна кількість повітря G_{Π} ($G_{\Pi 1} = 312,05$ кг/год., $G_{\Pi 2} = 305,61$ кг/год.) в обох випадках практично однакове, а годинна витрата повітря при другому варіанті випробувань знижується. Так, на номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ α збільшується на 0,47, тобто на 7,2 %, що призводить до зниження вмісту вуглеводнів CH у відпрацьованих газах двигуна на 32,5 ppm ($10^{-4} \%$), в 3,8 рази. При відключенні палива та ГРМ вміст вуглеводнів ще нижче за рахунок зменшення годинної витрати палива G_T . так, на номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ G_T знижується

на 0,87 кг/год, тобто на 24,8 %, а вміст вуглеводнів СН у відпрацьованих газах двигуна – на 38 ppm (10^{-4} %), або в 6,8 рази. [17]

Таблиця 3.7 – Вміст вуглеводнів СН у відпрацьованих газах двигуна Д-240

Частота обертання колінчатого валу n , хв^{-1}	СН, ppm ($10^{-4}\%$)		
	Початковий двигун	Відключене паливо	Відключене паливо та ГРМ
1200	25,5	11	2,5
1400	29	12,5	3,5
1600	31	11,5	2,5
1800	31	12,5	7,5
2000	34	10	6,5
2200	44	11,5	6,5
2350	54,5	13	7,5



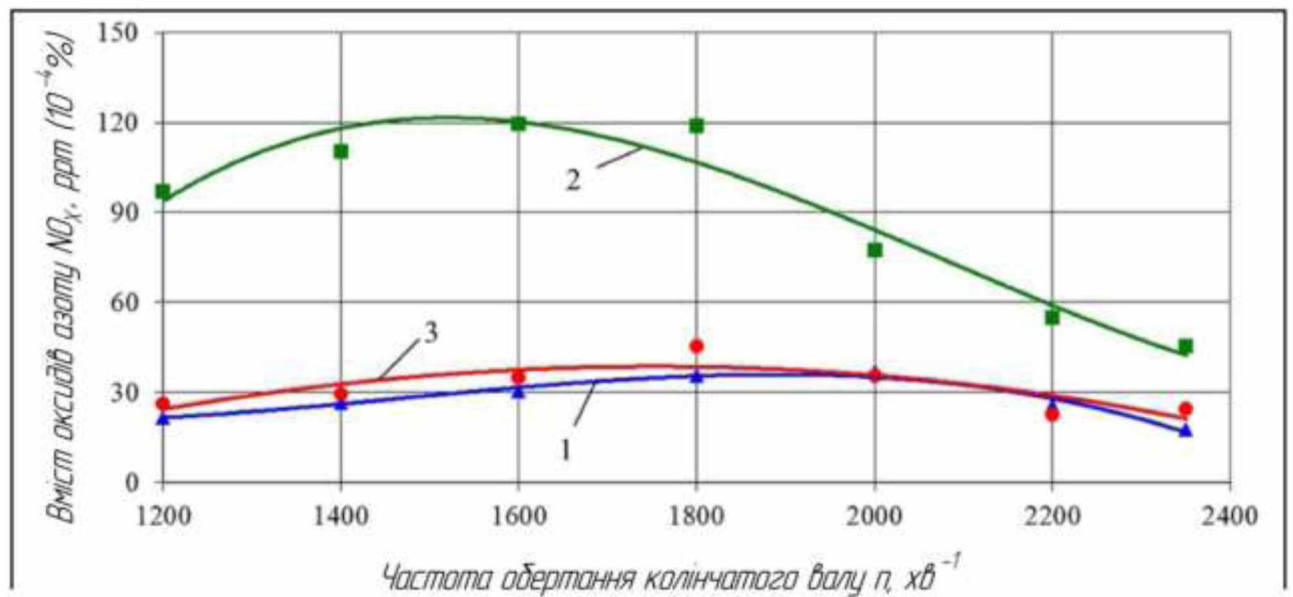
1 – початковий двигун; 2 – відключена подача палива 2-го та 3-го циліндрів; 3 – відключене паливо та ГРМ 2-го і 3-го циліндрів

Рисунок 3.9 – Залежності вмісту оксиду вуглеводнів СН від частоти обертання колінчатого валу

Результати дослідження зміни вмісту оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах двигуна від частоти обертання колінчатого валу при відключенні циліндрів двигуна Д-240 представлені в таблиці 3.8 та на рис. 3.10.

Таблиця 3.8 – Вміст оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах двигуна Д-240

Частота обертання колінчатого валу n , хв^{-1}	NO_x , ppm ($10^{-4}\%$)		
	Початковий двигун	Відключене паливо	Відключене паливо та ГРМ
1200	21,5	97	26
1400	26,5	110,5	29,5
1600	30,5	119,5	35
1800	35,5	119	45,5
2000	37	77,5	35,5
2200	25,5	55	22,5
2350	17,5	45,5	24,5



1 – початковий двигун; 2 – відключена подача палива 2-го та 3-го циліндрів; 3 – відключене паливо та ГРМ 2-го і 3-го циліндрів

Рисунок 3.10 – Залежності вмісту оксидів азоту NO_x від частоти обертання колінчатого валу

Взаємозв'язок токсичних компонентів, що містяться у відпрацьованих газах дизельного двигуна, а саме оксидів азоту NO_x та димності відпрацьованих газів, така, що при зниженні одного інший обов'язкову буде збільшуватись.

Виділення оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах (рис. 3.10) при відключенні подачі палива порівняно з показниками початкового двигуна зростає за рахунок підвищення температури в камері згорання. Двигуна Д-240 без турбонагнітача, а це означає, що відбувається підігрів повітряного заряду на впуску, що в свою чергу призводить до підвищення температури згорання t_z . Крім того, Д-240 двигун з безпосереднім впорскуванням палива, що також позначається на підвищенні концентрації оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах дизельних двигунів. При відключенні палива та приводів ГРМ 2-го та 3-го циліндрів крива вмісту оксидів вуглецю NO_x у відпрацьованих газах практично відповідає кривій початкового двигуна, що можна пояснити значним зниженням годинної витрати палива G_T при цьому варіанті випробування двигуна.

3.3.2. Порівняння результатів експериментальних досліджень з теоретичними

Порівняння індикаторних та ефективних показників дизельного двигуна Д-240 з розрахунковими наведено в таблиці 3.8 та на рисунку 3.11

При порівнянні реальної індикаторної діаграми двигуна Д-240 з розрахунковою видно, що максимально розбіжність спостерігається в точці найбільшого тиску процесу згорання P_Z . Для експерименту $P_Z = 7,2$ МПа, для розрахунку $P_Z = 6,862$ МПа, розбіжність складає 4,69 %.

Порівняння результатів експериментальних досліджень годинної витрати палива, коефіцієнту надлишку повітря та димності відпрацьованих газів двигуна Д-240 при відключенні частини його циліндрів з результатами теоретичних досліджень наведені на рис. 3.12, 3.13.

Таблиця 3.8 – Порівняння розрахункових індикаторних та ефективних показників з експериментальними

Найменування параметрів та розмірність	Позначення параметру	Розрахунковий	Експериментальний	Розбіжність, %
Частота обертання валу двигуна n , хв^{-1}	n	2200		-
Середній ефективний тиск, МПа	P_e	0,607	0,617	1,6
Годинна витрата палива, кг/год	G_T	13,6	13,33	1,98
Циклічна подача палива, мг/цикл	q_c	51,5	50,51	1,9
Дійсна витрата повітря, кг/год	G_P	307,2	305,9	0,4
Теоретична витрата повітря, кг/год	G_{PT}	361,4	361,4	-
Коефіцієнт надлишку повітря	α	1,52	1,54	1,3
Умовний середній тиск механічних витрат, МПа	P_{MB}	0,216	0,22	1,85
Крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$	M_K	229,6	233,16	1,55
Ефективна потужність, кВт	N_e	52,9	53,76	1,6
Питома ефективна витрата палива, г/кВт·год	g_e	256,7	248,03	3,37
Середній індикаторний тиск, МПа	P_i	0,823	0,837	1,7
Питома індикаторна витрата палива, г/кВт·год	g_i	188,7	17,8	5,2
Індикаторний ККД	η_i	0,45	0,47	4,4
Механічний ККД	η_m	0,74	0,71	4

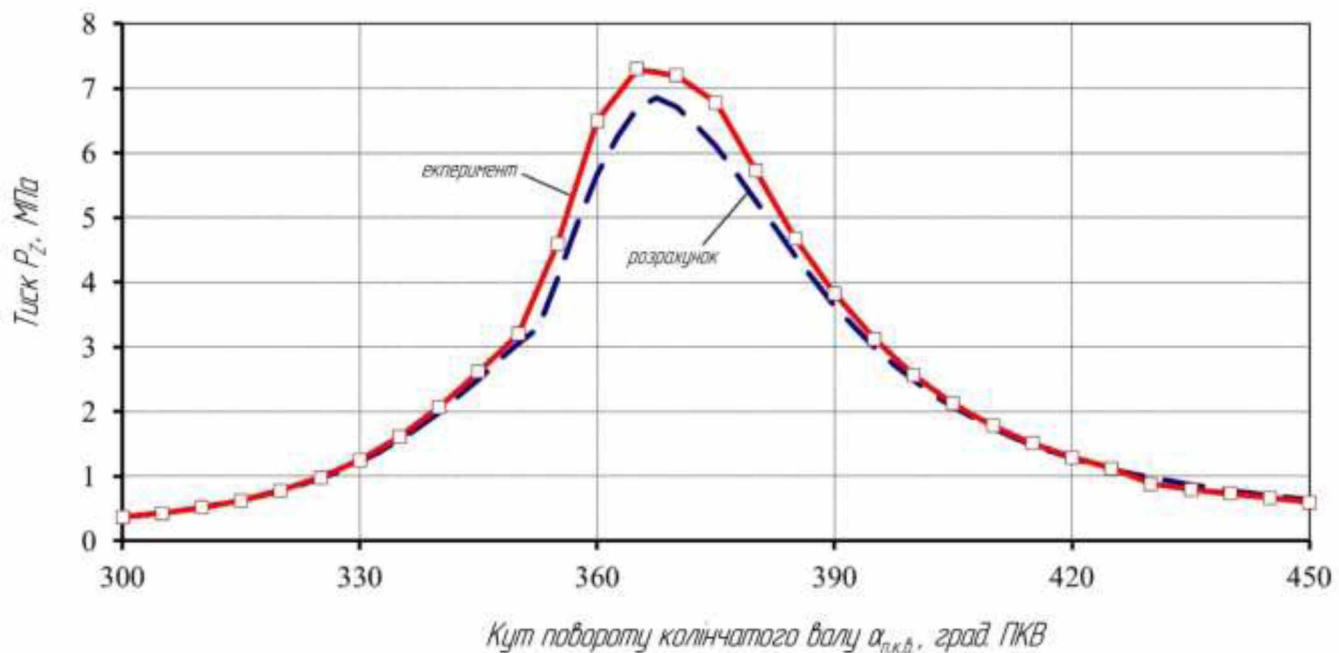


Рисунок 3.11 – Порівняння індикаторної діаграми двигуна Д-240 з індикаторною діаграмою, що була отримана в результаті розрахунків

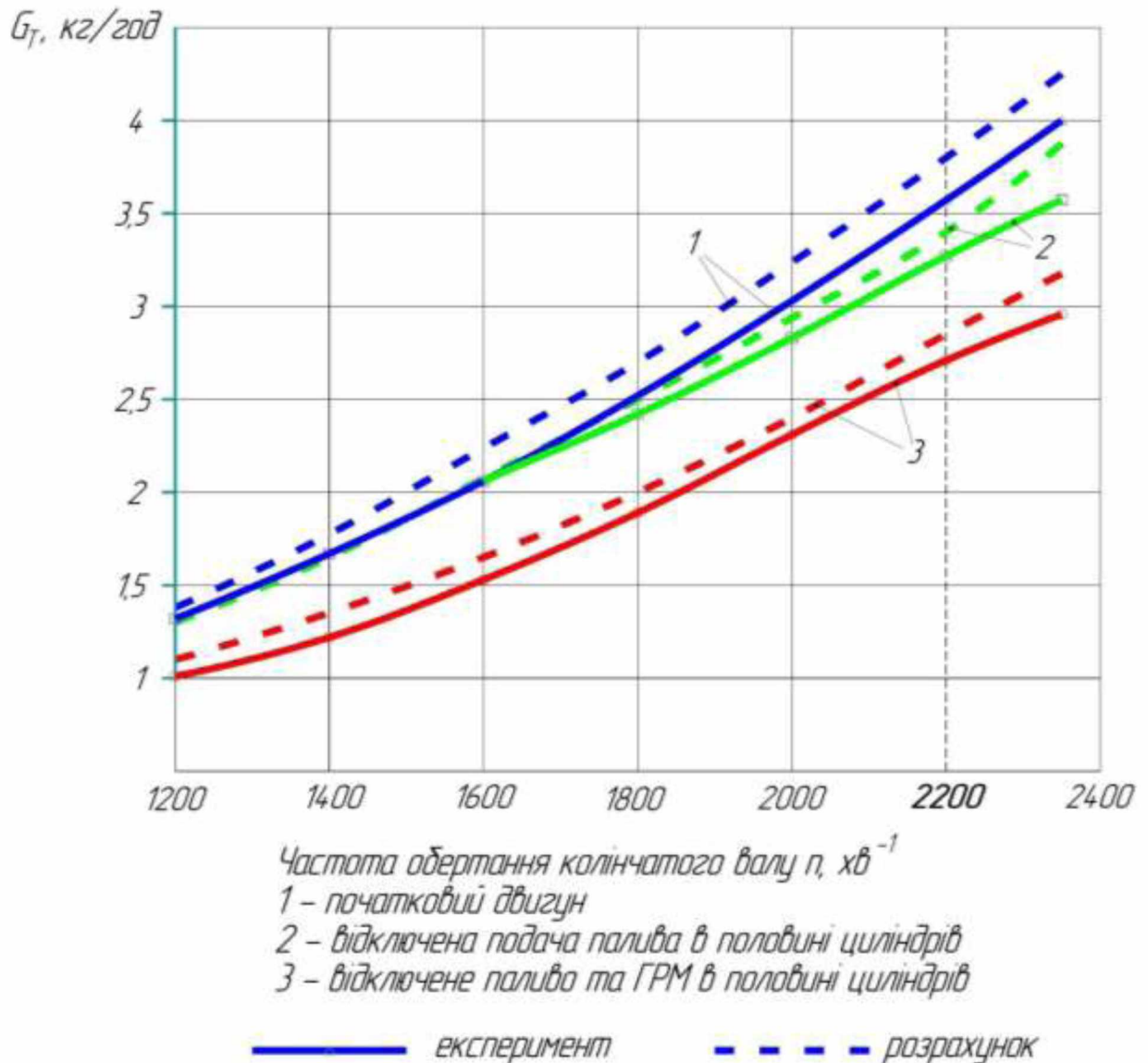


Рисунок 3.12 – Залежності годинної витрати палива від частоти обертання колінчатого валу

При порівнянні даних розрахунків годинної витрати палива G_T на холостих обертах з результатами випробувань двигуна Д-240 розбіжність між ними складає:

- Для початкового двигуна на частотах обертання колінчатого валу n від 1200 до 2350 хв^{-1} G_T змінюється від 1,32 до 4,0 кг/год ; в результаті проведення експерименту згідно розрахунку, G_T змінюється від 1,38 до 4,25

кг/год; загальна розбіжність результатів складає 4,8 %; на номінальній частоті обертання колінчатого валу двигуна Д-240 $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$, розбіжність результатів складає 4,17 %;

- Для варіанту з відключенням подачі палива при n від 1200 до 2350 хв^{-1} годинна витрата палива G_T змінюється від 1,32 до 3,67 кг/год; по даним експерименту згідно розрахунків, G_T змінюється від 1,3 до 3,85 кг/год; загальна розбіжність результатів складає 2,77 %; при $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ розбіжність результатів складає 3,97 %;

- По даним експерименту, згідно розрахунку, для варіанту з відключенням палива та приводів ГРМ при частотах обертання n від 1200 до 2350 хв^{-1} годинна витрата палива G_T змінюється від 1,01 до 3,03 кг/год; G_T змінюється від 1,06 до 3,15 кг/год; загальна розбіжність результатів складає 4,7 %; при $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ розбіжність результатів складає 4,4 %.

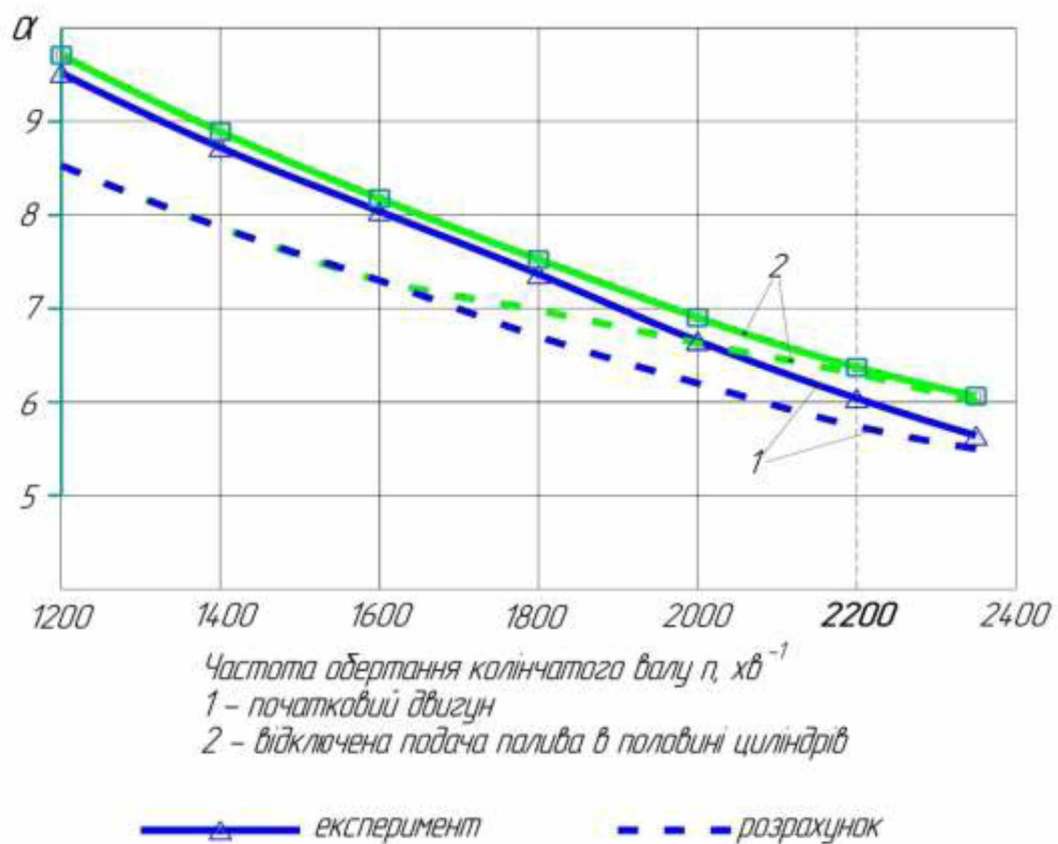


Рисунок 3.13 – Залежності коефіцієнту надлишку повітря від частоти обертання колінчатого валу

Розбіжність результатів розрахунку коефіцієнту надлишку повітря α з результатами випробування двигуна:

- величина коефіцієнту надлишку повітря α в першому варіанті із збільшенням частоти обертання колінчатого валу n від мінімальної ($n = 1200$ хв⁻¹) до максимальної ($n = 2350$ хв⁻¹) для експерименту знижується з 9,6 до 5,62, для розрахунку – з 8,55 до 5,5; загальна розбіжність результатів складає 7,0 %, при $n = 2200$ хв⁻¹ розбіжність результатів складає 5,1 %;
- величина коефіцієнту надлишку повітря α в другому варіанті із збільшенням n від мінімальної ($n = 1200$ хв⁻¹) до максимальної ($n = 2350$ хв⁻¹) для експерименту знижується з 9,7 до 5,98, для розрахунку – з 8,55 до 6,0; загальна розбіжність результатів складає 7,0 %, при $n = 2200$ хв⁻¹ розбіжність результатів складає 1,99 %;

Отримані результати та залежності дозволяють стверджувати високу степінь адекватності заявленої математичної моделі. Розбіжність результатів дослідження двигуна Д-240 з результатами розрахунків не перевищує 5...7%.

Висновки по розділу

1. Встановлена методика, що дозволяє на основі теплового розрахунку та встановленій залежності виділення токсичних елементів від коефіцієнту надлишку повітря встановити вміст сажі та диму у відпрацьованих газах двигуна при відключенні частини циліндрів.
2. Обґрунтована формула для розрахунку вмісту сажі (димності) у відпрацьованих газах
3. Розроблений алгоритм розрахунку вмісту сажі та димності відпрацьованих газів, що дозволяє дати оцінку показників ДВЗ при відключенні циліндрів.
4. Максимальне зниження вмісту сажі та димності відпрацьованих газів спостерігається на номінальній частоті обертання колінчатого валу двигуна

$n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ і складає 35% за рахунок збільшення коефіцієнту надлишку повітря на 11%

5. Проведені дослідження підтверджують можливість зниження токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизельного двигуна шляхом відключення частини його циліндрів. По результатах експериментального дослідження виявлено, що при відключенні 2-го та 3-го циліндрів двигуна вміст оксиду вуглецю CO нижче на 50 – 60 %, вуглеводнів CH нижче на 75-85 % порівняно з початковим двигуном. Димність відпрацьованих газів двигуна на різних частотах обертання колінчатого валу знижується з 25 до 37,8 %, що в середньому складає 35 %.

6. Максимальне зниження димності відпрацьованих газів відбувається на обертах, близьких до номінальних, при роботі двигуна на холостих обертах та малих навантаженнях: при відключенні тільки подачі палива – до навантаження $N_e = 8 \text{ кВт}$, при відключенні палива та ГРМ – до навантаження $N_e = 22 \text{ кВт}$.

7. Отримані дані доводять доцільність використання способу відключення частини циліндрів двигуна для економії витрати палива на режимах холостих обертів та малих навантажень. Із збільшенням частоти обертання колінчатого валу від 1200 хв^{-1} до 2350 хв^{-1} при відключенні подачі палива в половину циліндрів економія палива зміниться від 0 до 0,33 кг/год, що в максимальному значенні складає 8,25 %. При відключенні палива та ГРМ двох циліндрів економія палива зміниться від 0,32 кг/год до 0,97 кг/год, що складає 24,8 %.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо-димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю. [22]

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей. [26]

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;

- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують

травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об’єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов’язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров’я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства. [27]

Охорона життя та здоров’я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

4.2.2. Вимоги безпеки при нанесенні покриттів

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуйовуватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

4.2.3. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або

самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Матеріальні системи поєднують у собі системи неорганічної природи (фізичні, хімічні, геологічні та ін.) і живі системи (клітини, найпростіші і високорозвинені організми, популяції, біологічні види, екологічні системи). Особливим класом матеріальних систем є соціальні системи (сім'я, колектив, державна політична система, суспільно-економічна формація). Ідеальною системою є поняття, гіпотеза, теорії, лінгвістичні і логічні побудови і т. ін. Штучною системою є система управління виробництвом, безпекою життєдіяльності і т. ін.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).



Рисунок 4.1 – Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

4.2.4. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

4.2.5. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що

виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Ефект від впровадження заходів по зниженню токсичних компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ має економічний та соціальний аспекти. Перший аспект характеризується зниженням негативного впливу на навколишнє середовище, покращенням його стану, зменшенням рівня забруднення, збільшенням кількості та покращенням якості придатних до використання земельних, лісних ресурсів. Другий – підвищенням рівня життя населення, покращенням фізичного розвитку населення та умов праці і відпочинку, скороченням захворюваності, збільшенням тривалості життя та періоду активної діяльності, збереженням природних ландшафтів, пам'ятників природи.

Оцінити степінь негативного впливу дизельного двигуна на навколишнє середовище можна, розрахувавши величину збитку, грн./год, що завдається шкідливими викидами відпрацьованих газів:

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \text{ грн./год}, \quad (4.1)$$

де γ – нормативна константа, що переводить умовну оцінку викидів в грошову, грн./ум. т. На момент розрахунків величина γ була прийнята 55 грн./ ум. т.

σ – показник відносної небезпеки атмосферного повітря над територіями різних типів (таблиця 4.6);

f – коефіцієнт, що враховує характер розсіювання домішок в атмосфері (для викидів аерозолів автотракторними засобами: $f = 10$);

M – приведена маса річного викиду забруднень від спалювання палива в атмосферу, ум.т/год.

Таблиця 4.1 – Значення показника σ відносної небезпеки забруднення атмосферного повітря на територіях різних типів

№ п/п	Тип забрудненої території	σ
1	Житлові мікрорайони міст з переважно багатоповерховою забудовою	300
2	Громадські зони з переважно багатоповерховою забудовою	100
3	Інші території в межах міста, території з переважно одноповерховою забудовою	30
4	Міські території з населенням більше 100 тис. чол.	80
5	Території міст та інших населених пунктів з населенням менше 100 тис.чол.	30
6	Території з обмеженим режимом природо використання (рекреаційні зони, території заповідників)	100
7	Для земель, що знаходяться в активному сільськогосподарському використанні, а також території зайняті лісами	3
8	Інші території	0,5

Якщо зона забруднення неоднорідна та складається з територій таких типів, яким в таблиці 4.1 відповідають різні значення величини σ , то значення для всієї зони визначається за формулою:

$$\sigma = \sum_{j=1}^K \frac{S_j}{S} \cdot \sigma_j, \quad (4.2)$$

де S_j - площа j -ї частини зони забруднення, км²;

S - загальна площа зони забруднення, км²;

j - номер частини зони забруднення, що відноситься до одного з типів територій, вказаних в таблиці 4.6;

K – загальна кількість типів територій, що потрапили в зону забруднення.

Для загальної зони забруднення Полтавської області $\sigma = 18$.

Для розрахунку маси річного викиду сумішей в атмосферу необхідно визначити загальну кількість палива ΔG , що використовується двигуном за годину. Розрахуємо цей параметр на прикладі дизельного двигуна Д-240, що встановлений на тракторі МТЗ-80(82):

$$\Delta G = T \cdot G_T, \quad (4.3)$$

де T – час роботи трактора протягом року, год;

G_T – годинна витрата палива, кг/год. Значення G_T беремо згідно експериментальних даних для різних режимів роботи.

Для визначення G_T використаємо статистичні дані машино випробувальних станцій та наукових організація, ремонтних підприємств. Згідно цих даних, трактор працює в середньому 1200 годин на рік. Виокремлюють два швидкісних діапазони: перший – $n_1 = 1150 - 1250$ хв⁻¹ та другий – $n_2 = 1900 - 2050$ хв⁻¹. Навантажувальний режим характеризується моментом, який змінюється в діапазоні 0,17...0,28 Нм.

Згрупувавши час роботи двигуна на різних режимах роботи, отримаємо розподілення часу роботи на різних режимах, τ ,% від загального часу роботи:

- холості оберти двигуна $\tau = 20$ %;
- холостий хід трактора $\tau = 30$ %;
- робочий режим трактора $\tau = 25$ %.

З розрахунку роботи трактора МТЗ-80(82) в об'ємі 1200 год./рік отримаємо розрахункову кількість використаного палива на кожному режимі роботи:

- на режимі холостих обертів двигуна: $\Delta G_{ХД}^{рік} = 600$, кг/рік;
- на режимі холостого ходу трактора: $\Delta G_{ХТ}^{рік} = 1080$, кг/рік;
- на робочому режимі трактора: $\Delta G_{РТ}^{рік} = 1350$, кг/рік.

Загальна кількість використаного пального за рік $\Delta G = 3030$.

По результатам експериментальних досліджень встановлено що, при відключенні поло циліндрів дизельного двигуна Д-240 відбувається зниження:

- оксиду вуглецю на 50 – 60 %, прийmemo 55 %;
- вуглеводнів на 75 – 85 %, прийmemo 80 %;
- димності відпрацьованих газів від 30 до 38 %, прийmemo 35 %.

Екологічний збиток від забруднення атмосферного повітря початковим двигуном Д-240 за 1 рік: $У_1 = 7695,77$ грн./рік.

Екологічний збиток від забруднення атмосферного повітря двигуном Д-240 з відключеними циліндрами за 1 рік: $У_2 = 4537,37$ грн./рік.

Річний економічний ефект від зниження екологічної шкоди атмосферному повітрю за рахунок за рахунок використання способу відключення циліндрів двигуна складає: $Е_y = У_1 - У_2 = 7695,77 - 4537,37 = 3158,40$ грн./рік.

По результатам проведених досліджень також, встановлено, що використання способу відключення циліндрів двигуна дозволяє підвищити економічність його роботи на режимах холостих обертів та малих навантажень. [28]

Річний економічний ефект за рахунок економії палива при відключенні циліндрів двигуна можна визначити за формулою:

$$E_{\Pi} = \Delta G_E^{pik} \cdot C_{\Pi}, \quad (4.4)$$

де ΔG_E^{pik} – річна економія палива

C_{Π} – вартість палива

З розрахунку роботи трактора МТЗ-20(82) в об'ємі 1200 год./рік річна економія палива за рахунок використання способу відключення циліндрів двигуна складає $\Delta G_E^{pik} = 515$ літрів на один трактор на рік.

При середній вартості дизельного палива 29 грн./л річний економічний ефект на один трактор складе:

$$E_{\Pi} = 515 \cdot 29 = 14935 \text{ грн./рік.}$$

Річний економічний ефект при відключенні частини циліндрів двигуна Д-240 сільськогосподарського трактора МТЗ-80(82) буде складати:

$$E_{відкл} = E_Y + E_{\Pi} = 3158,40 + 14935 = 18093,40 \text{ грн./рік.}$$

Висновки до розділу

1. Отримані дані доводять доцільність використання способу відключення частини циліндрів двигуна для економії витрати палива на режимах холостих обертів та малих навантажень. Із збільшенням частоти обертання колінчатого валу від 1200 хв^{-1} до 2350 хв^{-1} при відключенні подачі палива в половину циліндрів економія палива зміниться від 0 до 0,33 кг/год., що в максимальному значенні складає 8,25 %. При відключенні палива та ГРМ двох циліндрів економія палива зміниться від 0,32 кг/год. до 0,97 кг/год., що складає 24,8 %.

2. Ефект від запровадження результатів дослідження в грошовому виразі складе 18093 грн. на один двигун Д-240, який встановлений на трактор типу МТЗ-80(82) на рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлена залежність виділення токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизельного двигуна від коефіцієнту надлишку повітря. При відключенні подачі палива в половині циліндрів вміст сажі та димність відпрацьованих газів на номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$, при роботі двигуна Д-240 без навантаження знижується на 35 % за рахунок збільшення коефіцієнту надлишку повітря на 11 %.

2. Встановлено, що зниження токсичності та димності відпрацьованих газів відбувається на частотах обертання колінчатого валу двигуна, близьких до номінальної, при роботі дизельного двигуна Д-240 на холостих обертах та малих навантаженнях:

- при відключенні подачі палива в 2-й та 3-й циліндри двигуна зниження токсичності та димності відпрацьованих газів спостерігається з холостих обертів ($N_e=0$) до навантаження $N_e=8$ кВт;

- при відключенні подачі палива та приводів ГРМ 2-го та 3-го циліндрів двигуна зниження спостерігається з холостих обертів до навантаження $N_e=22$ кВт.

3. Експериментально встановлено, що при відключенні 2-го та 3-го циліндрів порівняно з початковим двигуном:

- вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах знижується на 50-60%;
- вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах знижується на 75-85%.

4. По результатам експериментального дослідження встановлено зниження димності відпрацьованих газів дизельного двигуна Д-240 на номінальній частоті обертання колінчатого валу $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$;

- при відключенні подачі палива в 2-й та 3-й циліндри на 37,8 %
- при відключенні подачі палива та приводів ГРМ 2-го та 3-го циліндрів на 30,7 %.

5. Встановлено, що максимальна економія пального при відключенні циліндрів дизельного двигуна сільськогосподарського трактора на

номінальній частоті обертання колінчатого валу складає $\Delta G_T = 0,89$ кг/год. Із зростанням навантаження до 40 % від номінальної потужності економія палива зменшується:

- при відключенні подачі палива в 2-й та 3-й циліндри від 8 % (на холостих обертах) до 0 при потужності $N_e = 8$ кВт;
- при відключенні подачі палива та приводів ГРМ 2-го та 3-го циліндрів від 24 % (на холостих обертах) до 0 при потужності $N_e = 22$ кВт.

6. Розрахункова модель по визначенню вмісту сажі та димності відпрацьованих газів при відключенні частини циліндрів дизельного двигуна адекватна результатам експериментів. Розбіжність результатів дослідження двигуна Д-240 з результатами розрахунку не перевищує 5...7 %.

7. Ефект від запровадження результатів дослідження в грошовому еквіваленті складе 18093 грн. на один двигун Д-240, який встановлений на трактор типу МТЗ-80(82) на рік.