

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять з дисципліни
«Теорія і методи наукової творчості»**

Затверджено методичною
радою університету,
протокол № 1 від
05.10.2011 р.

Харків ХНАДУ 2012

Укладач: О.М.Врублевський

Кафедра двигунів внутрішнього згорання

ЗМІСТ

<i>Передмова</i>	3
ЗАВДАННЯ 1 Дослідження та оптимізація параметрів дизельної паливної апаратури	4
ЗАВДАННЯ 2 Цифрова обробка сигналу, що реєструється за допомогою аналого-цифрових перетворювачів	11
ЗАВДАННЯ 3 Визначення частоти обертання колінчастого валу за сигналом датчика ВМТ	13
ЗАВДАННЯ 4 Побудова згорнутої індикаторної діаграми за осцилограмою зміни тиску у циліндрі двигуна	15
<i>Література</i>	18

ПЕРЕДМОВА

Основною метою практичних робіт з дисципліни «Теорія і методи наукової творчості» є закріплення і поглиблення знань студентів, які одержали на лекціях, ознайомлення з поширеним методом пошуку оптимального конструктивного рішення – дослідження простору параметрів, а також методів отримання та обробки сигналів, що використовується у сучасних дослідженнях двигунів внутрішнього згоряння.

При підготовці до практичного заняття студент повинен вивчити відповідну тему лекційного матеріалу, а також самостійно ознайомитись і законспектувати в робочий зошит необхідний матеріал. Виконання приведених у методичних вказівках завдань відбувається за допомогою спеціального програмного забезпечення, що встановлено у комп'ютерному класі кафедри двигунів внутрішнього згоряння.

ЗАВДАННЯ 1

Дослідження та оптимізація параметрів дизельної паливної апаратури

Мета роботи:

- вивчити принцип дії та конструкцію сучасної паливної системи з електронним керуванням;
- вивчити методику оптимізації системи, що використовує дослідження простору параметрів;
- на прикладі паливної системи визначити оптимальні параметри за декількома критеріями якості.

1.1 Загальні положення

У практиці дослідження двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) широко використовуються різні методи оптимізації. При цьому виправдують себе підходи, засновані на рішенні прямої задачі – проведення серії чисельних експериментів з метою визначення показників системи при різному сполученні її параметрів [1].

Економічний ефект від застосування віртуального (чисельного) експерименту очевидний. Це можливість перебору комбінацій параметрів, велика (до 4000 і більше) кількість експериментів, можливість спостерігати зміну таких параметрів (тисків, переміщень, температур), вимірювати які складно, а часом і неможливо. Та, як наслідок, при скороченні часу й матеріальних витрат на проектування можливість одержати двигун або окрему його систему із кращими у порівнянні з аналогами параметрами.

Слід зазначити, що будь-який метод оптимізації не виключає людського фактора або, так звану «раду фахівців». Рада фахівців відіграє вирішальну роль як при обранні параметрів, обмежень і критеріїв, так і при виборі результату оптимізації.

Далі представлена методика визначення оптимальних параметрів акумуляторної паливної системи з електронним керуванням, призначеної для забезпечення впорскування у автомобільному високообертovому дизелі [1, 2]. Використовуючи дану методику на практичних заняттях з ТМНТ студенти ознайомляться з сучасними паливними системами, особливостями їх роботи та проектування.

1.2 Визначення розрахункових точок

На першому етапі оптимізації слід визначити послідовність пробних точок у заданому просторі параметрів. Дотепер найбільш популярним залишається метод, у якому для перегляду багатомірного куба використовуються кубічні сітки. Однак, рівномірне сканування багатомірного куба є оптимальним тільки в одномірному випадку, при розмірності простору $n = 1$. Вже при $n = 2$ це метод не дуже гарний, а зі збільшенням n його здатність описувати зміну функції швидко погіршується.

Так, на рис. 1.1 зображено кубічні сітки, що складаються з $N = 16$ точок [3]. Точки розподілені рівномірно. У кожному з N малих квадратів розташована одна точка сітки. Недолік такого розподілу очевидний. При дослідженні функції $f(x_1, x_2)$, що сильно залежить від одного аргументу, ми одержимо лише чотири різних значення, кожне повторене чотири рази. У багатомірному випадку кубічні сітки можуть виявитися ще гірше, тому що втрата інформації при обчисленні значень $f(x_1, \dots, x_n)$ тільки зростає.

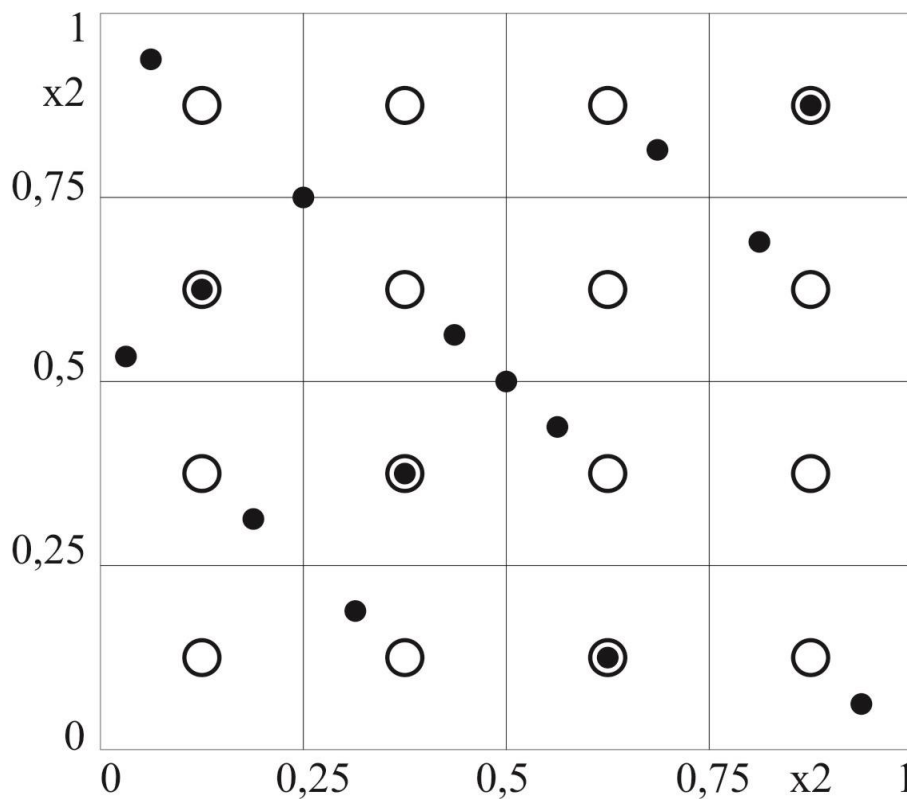


Рисунок 1.1 - Кубічні сітки й поліпшена сітка при $n = 2$ ($N = 16$)

Часткове рішення цієї проблеми дає використання датчиків випадкових чисел і різні квазівипадкові послідовності. Але останнім часом запропоновані оптимальні розподіли точок у просторі, що вирішують цю проблему ефективним чином. Як і в попередньому випадку, у двовимірному розподілі, що складається з $N = 16$ точок, у кожному малому квадраті розташована одна точка (рис. 1.1). Однак у цьому випадку при обчисленні функцій у точках сітки ми одержимо 16 різних значень, що дають кращу уяву про діапазон зміни функції f .

Оптимальна послідовність завжди містить $N = 2^p$ точок, де p – ціле позитивне число.

Цей розподіл називають ЛПт-послідовністю [3]. Для розрахунку ЛПт-послідовності слід використати наступний арифметичний алгоритм. По таблиці чисельників [3] визначається $r_j^{(l)}$. Для цього по заданому номеру точки i обчислюється $m = 1 + \lceil \ln i / \ln 2 \rceil$, потім у кожній точці i для кожного параметра $j = 1, 2, \dots, n$ визначається безрозмірна величина цього параметра

$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^m 2^{-k+1} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{l=k}^m [2\{i2^{-l}\}] \cdot [2\{r_j^{(l)} 2^{k-l}\}] \right\}.$$

У даних формулах $[z]$ – ціла частина числа z , а $\{z\}$ – дробова частина числа z .

Обчислити поточне значення α j -того параметра в i -тій точці n -мірного простору можна по формулі

$$\alpha_{i,j} = q_{i,j} \cdot (\alpha_{j \max} - \alpha_{j \min}) + \alpha_{j \min},$$

перетворюючий n -мірний куб з ребром, що дорівнює 1, в n -мірний простір параметрів.

За допомогою програми розрахунку ЛПт-послідовності на практичному занятті слід побудувати розподіл різної кількості пробних точок (з ряду 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256) у тривимірному просторі. Результат представити у графічній формі за прикладом, наведеним на рис. 1.2.

1.3 Алгоритм оптимізації

В основі методу лежить чисельне дослідження (сканування) простору параметрів проєктованого об'єкта, що проводиться в три етапи.

1-й етап - складання таблиць випробувань. Послідовно вибирається N пробних точок. У кожній із точок розраховується процес паливоподачі й обчислюються значення всіх критеріїв. За кожним критерієм складається таблиця випробувань. Таблиці являють собою аналог статистичних варіаційних рядів.

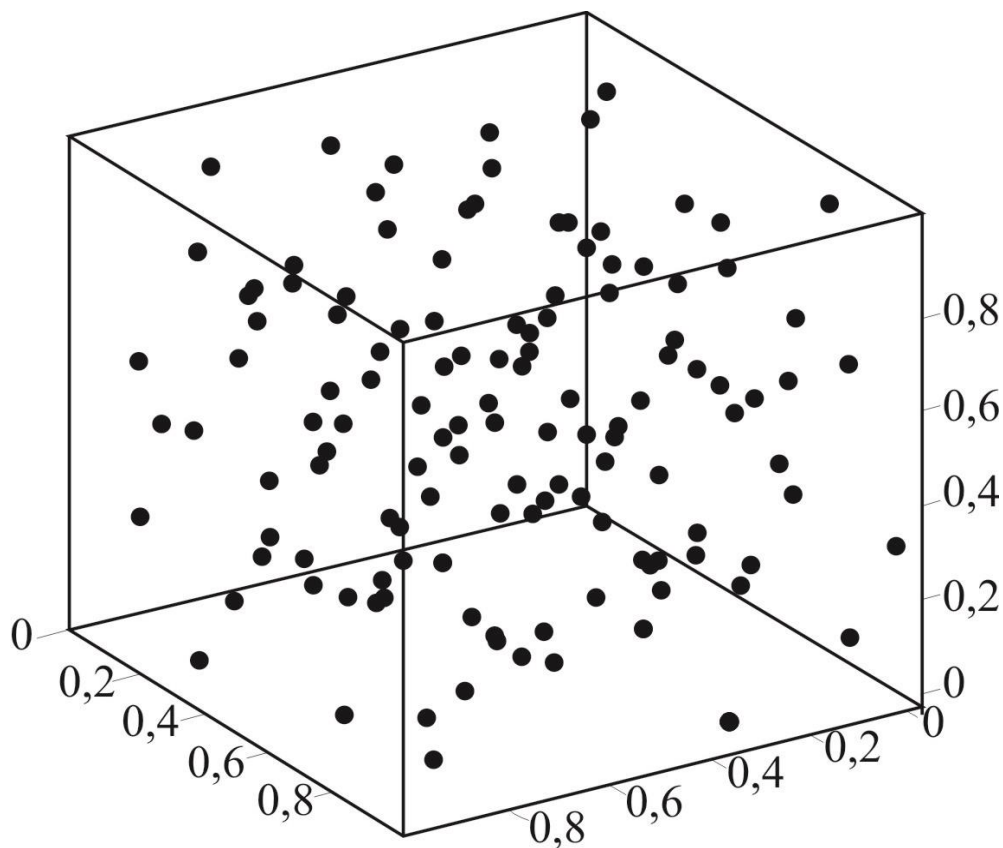


Рисунок 1.2 - Розподіл точок у тривимірному просторі при $n = 3$ ($N = 128$)

2-й етап - вибір обмежень. Цей етап виконується в режимі діалогу ЕОМ - студент. Переглядаючи кожну з таблиць, необхідно призначити обмеження для кожного із критеріїв.

3-й етап - перевірка непорожнечі безлічі припустимих точок.

Докладна модель технічного об'єкта містить у своєму описі велику кількість параметрів. Априорі відомо, що значна частина цих параметрів робить на зміну будь-якого, фіксованого критерію, ук-

рай слабкий вплив, але «відсіяти» ці параметри звичайно не представляється можливим.

У крайній ситуації, що насправді зустрічається досить часто, сильно впливає тільки один параметр, а інші для даного критерію є уточнюючими. Тому оптимальним може вважатися такий розподіл N пробних точок, у якому кожна з координат (параметрів) є рівномірно розподіленою послідовністю N точок на відрізку.

Вибір параметрів та критеріїв якості форсунки

Метод організації паливоподачі у акумуляторній паливній системі дозволяє сформулювати для форсунки самостійну оптимізаційну задачу. Після такого поділу модель може бути основою для створення ефективного алгоритму багатопараметричної та багатокритеріальної оптимізації.

У табл. 1.1 наведені конструктивні та регульовальні параметри вітчизняної акумуляторної паливної системи з електронним керуванням для автомобільного дизеля та ймовірні їх величини. У ході розрахунку показників паливоподачі будуються графіки зміни тиску палива, сили струму, переміщення клапана, голки й мультиплікатора. Дані показники паливоподачі (табл. 1.2) отримані при постійному тиску в паливному акумуляторі, що дорівнює 100 МПа.

Таблиця 1.1 – Параметри акумуляторної паливної апаратури

Параметр	Величина
Діаметр сфери клапана, мм	1,3
Хід клапана, мм	0,05
Коефіцієнт жорсткості пружини клапана, Н/мм	50
Кут седла клапана, град.	100
Площа ефективного перетину вхідного жиклера, мм ²	0,034
Площа ефективного перетину відсічного жиклера, мм ²	0,055
Діаметр мультиплікатора, мм	3,8
Довжина мультиплікатора, мм	76
Діаметр запірною пояса голки, мм	1,6
Хід голки, мм	0,25
Тиск початку переміщення голки, МПа	3
Довжина трубопроводу, мм	220
Внутрішній діаметр трубопровода, мм	1,5

Таблиця 1.2 – Показники паливоподачі

Показник	Значення
Максимальний тиск впорскування, МПа	82
Циклова подача палива, мм ³ /цикл	38
Витрата палива на керування, мм ³ /цикл	28
Максимальна швидкість переміщення голки, м/с	1,53
Максимальна швидкість переміщення клапана, м/с	0,4
Максимальна деформація мультиплікатора, мм	0,041

На величину приведених у табл. 1.2 показників впливають наступні параметри:

- максимальний тиск впорскування - довжина трубопроводу, внутрішній діаметр трубопроводу й каналів у форсунці, розпилювач;
- циклова подача палива - параметри розпилювача, параметри камери керування, параметри клапана;
- витрата на керування - параметри камери керування, параметри клапана, переміщення, довжина й діаметр мультиплікатора;
- максимальна швидкість голки - параметри розпилювача й камери керування;
- максимальна швидкість клапана - параметри камери керування й електромагнітного клапана;
- максимальна деформація мультиплікатора - довжина й діаметр мультиплікатора, хід голки, параметри камери керування.

Саме з цих параметрів викладач на практичному занятті студенту визначає два, оптимізацію яких треба виконати. У свою чергу, критерії якості слід обрати з приведених у табл. 1.2 показників. Доцільно створити таку умову, щоб критерії якості прагнули або до максимуму, або до мінімуму.

Обґрунтуємо вибір параметрів і межі їхнього варіювання. Відомо, що на процес впорскування в системах з електронним управлінням є великий вплив наступних факторів:

- переміщення елементів форсунки;
- поширення хвиль тиску й деформації по паливним каналах і елементам форсунки;
- коливання витків пружин;

– фізичні явища, що супроводжують течію палива по каналах малого діаметра (соплові отвори розпилювача, жиклери камери керування);

– особливості течії палива в порожнинах низького тиску форсунки і пов'язані із цим ефекти приєднаних мас, зіткнення й ін.

Використовуючи дані фактори можна домогтися поліпшення ефективності застосування акумуляторної паливної системи. Вибір припустимих меж варіювання кожного з параметрів необхідно провести з урахуванням обмежень, пов'язаних з компонованням, виготовленням, умовами експлуатації паливної системи.

Наприклад, мінімальний хід голки й мультиплікатора становить 0,125 мм. Дане обмеження пов'язане з необхідністю мінімізувати вплив ефективного прохідного перетину розпилювача на зміну тиску палива, а також з особливостями роботи мультиплікатора [1].

Тиск початку підйому голки розпилювача вибираються з умови виключення можливості прориву газів з камери згоряння в кишеню розпилювача в процесі пуску двигуна. А також роботи форсунки на холостому ході при тисках у паливному акумуляторі менш 30 МПа. Таким умовам буде відповідати величина тиску затягування пружини голки $p_{\text{ф0}}$ в діапазоні 1,5 – 4,5 МПа.

У межах досліджуваної області зміна кожного параметра табл. 1.1 складає $\pm (40 \div 50) \%$. Це дозволить досліджувати велику область багатомірного простору й визначити напрямок пошуку оптимуму. За допомогою генератора $ПП_{\tau}$ -послідовності визначаються пробні точки з векторами параметрів $\alpha_{i, j}$ і складаються таблиці випробувань. Для сканування простору параметрів рекомендується обрати 128 точок.

1.4 Представлення результатів оптимізації

У результаті проведення чисельного експерименту формуються таблиці випробувань та будуються графіки, на які наноситься множина допустимих точок за заданими критеріями якості. Для обрання оптимального рішення на графіку будується крива, що обмежує дану множину. Ділянка такої кривої має назву компромісної. Саме на цій ділянці розташовані точки з оптимальними параметрами.

ЗАВДАННЯ 2

Цифрова обробка сигналу, що реєструється за допомогою аналого-цифрових перетворювачів

Мета заняття:

- ознайомитись з методикою обробки аналогових сигналів;
- отримати уявлення про засоби математичного представлення сигналу зміни фізичної величини;
- дослідити процес впорскування за зміною тиску у різних перерізах паливної системи.

2.1 Загальні положення

Сучасні методи дослідження двигунів внутрішнього згоряння обов'язково включають процедури обробки сигналів, перетворених у цифрову форму. За своєю природою сигнал відображає реальну фізичну величину. Якщо представити його як функцію або набір числових значень, то виникає проблема обробки сигналу як функції або як набору числових значень. Деяким аспектам такої обробки присвячене завдання для практичного заняття, що приведене нижче.

2.2 Алгоритм виконання завдання

1. Отримати у викладача цифровий запис сигналу зміни тиску у паливній системі двигуна.
2. За допомогою спектроаналізатора вбудованого у програму *PowerGraph (PG)* [4] провести спектральний аналіз сигналу за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є. Визначити частотну смугу корисного сигналу.
3. Провести частотну фільтрацію сигналу. Для цього використати функції *FIR Filters* програми *PG*.
4. Порівняти первинний та оброблений сигнали.

2.3 Приклад виконання завдання

Попередньо була отримана характеристика зміни тиску палива біля форсунки p_f в дизельній системі Common Rail (рис. 2.1). По

кривій p_f визначають початок впорскування, роботу паливного насоса високого тиску. Сигнал складається з корисної частини та шумів різного походження.

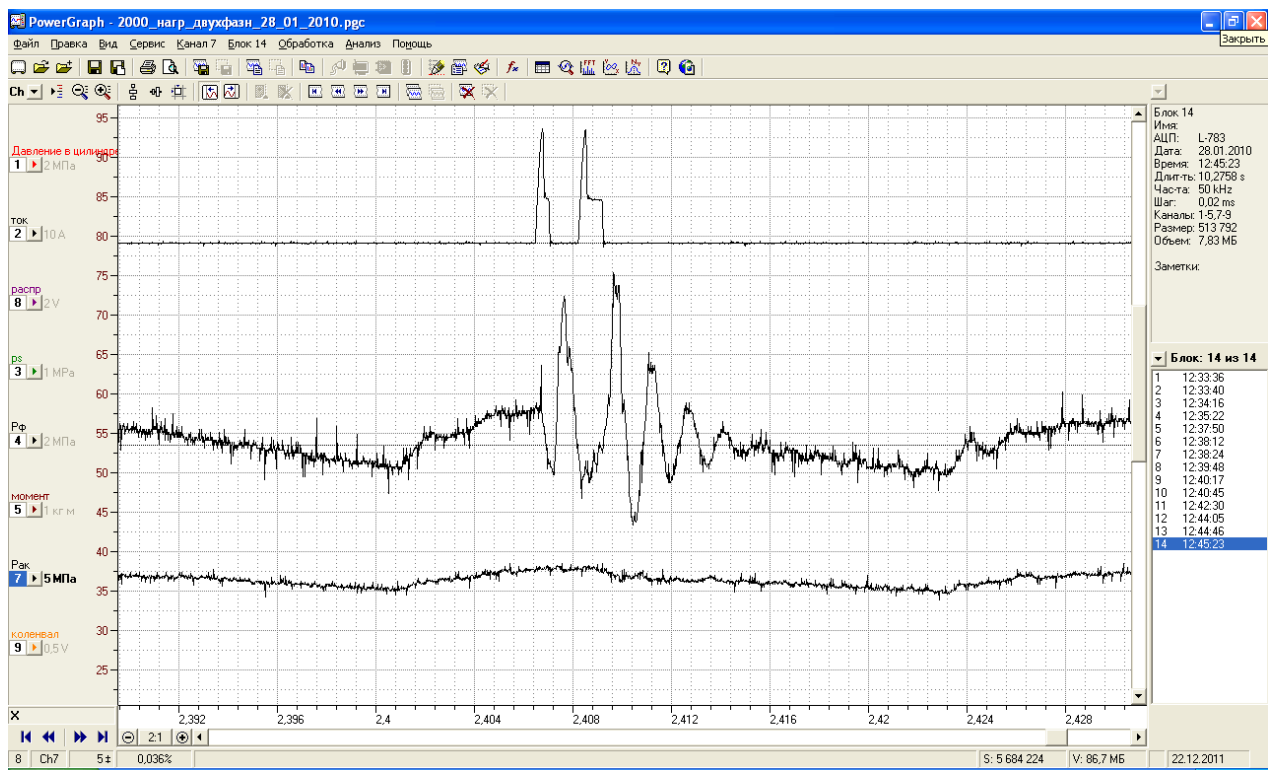


Рисунок 2.1 - Первинна осцилограма паливopодачі дизельної акумуляторної системи з електронним керуванням

Обираємо команду *Спектроанализатор...* (Spectrum) у меню *Анализ* основного вікна програми. Визначаємо, що коливання з частотою вище 1 кГц не відповідають корисному сигналу.

Для проведення цифрової обробки сигналу у програмі *PG* ви-кликаємо командою *Функции...* у меню *Обработка* додаткове вікно *Функции* (Functions).

Обираємо функції частотної фільтрації сигналів *FIR Filters*. Ця категорія функцій є нерекурсивними частотними фільтрами (фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою) та містить чотири групи функцій:

- LowPass – фільтри, що пропускають нижні частоти;
- HighPass – фільтри, що пропускають верхні частоти;
- BandPass – смугові пропускаючі фільтри;
- BandStop – смугові затримуючі (режекторні) фільтри.

У даному випадку визначаємо фільтри, що пропускають нижні частоти у діапазоні від 0 до 1 кГц. Результат частотної фільтрації представлено на рис. 2.2.

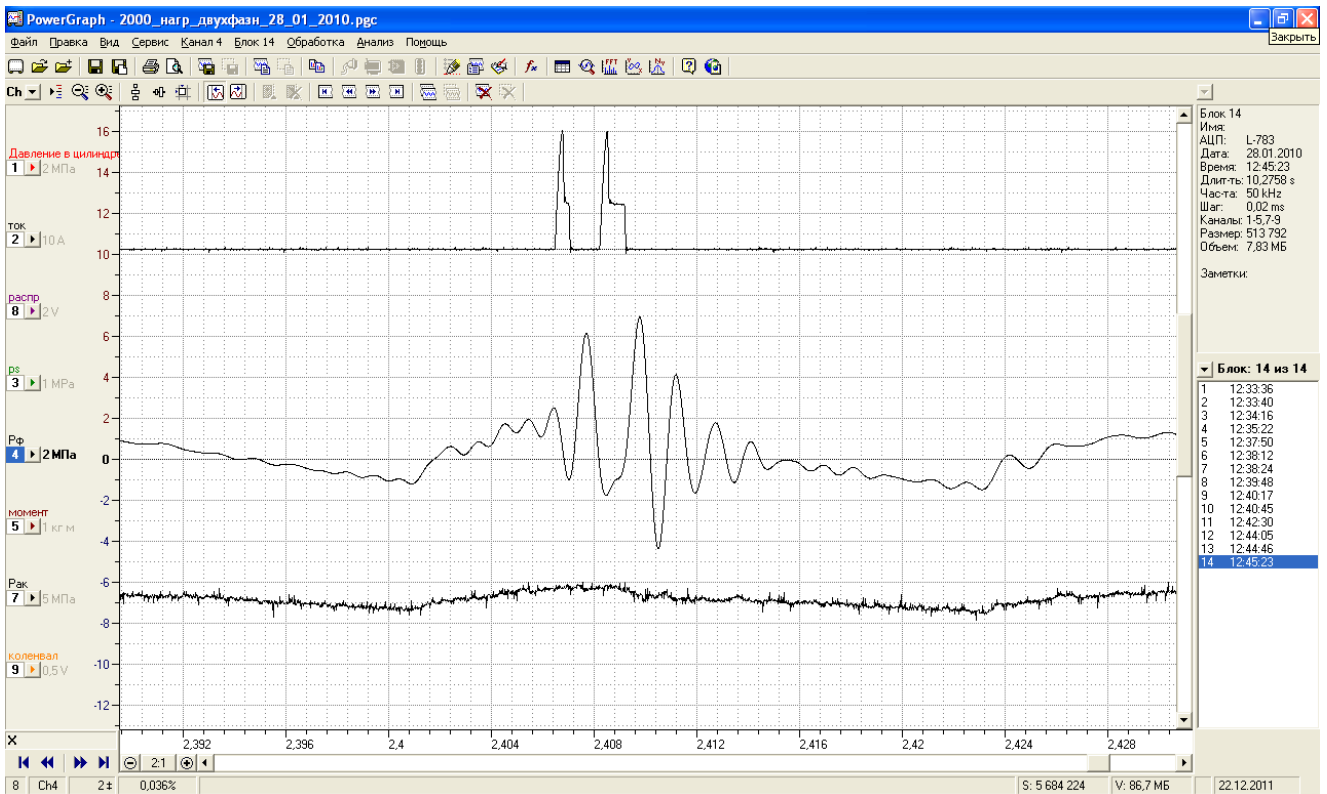


Рисунок 2.2 - Обработанный сигнал тиску

ЗАВДАННЯ 3

Визначення частоти обертання колінчастого валу за сигналом датчика ВМТ

Мета заняття:

- ознайомитись з методикою побудови віртуальних каналів виміру фізичних величин;
- визначити особливості роботи двигуна під час пуску, у перехідному процесі.

3.1 Загальні положення

Визначення частоти обертання колінчастого валу під час обробки дослідних осцилограм відбувається шляхом перерахунку періоду між відмітками ВМТ у частоту. Знати поточну n необхідно, наприклад, при дослідженні процесу запуску двигуна, перехідного процесу, або знаходження індикаторної діаграми, що відповідає параметрам того чи іншого режиму роботи двигуна.

3.2 Алгоритм визначення частоти обертання колінчастого валу

1. Створюємо канал визначення частоти обертання « n ».
2. Визначаємо величину сигналу, що відповідає початку проходження мітки ВМТ крізь датчик.
3. За допомогою функції *CycleFrequency* категорії *Cyclic* визначаємо частоту кожного циклу у Гц при заданій амплітуді (наприклад, 2 В).
4. За допомогою функції *Scale* категорії *Data* змінюємо одиницю виміру отриманої частоти з Гц на хв^{-1} .

Зразок результату визначення частоти обертів за даним алгоритмом представлено на рис. 3.1.

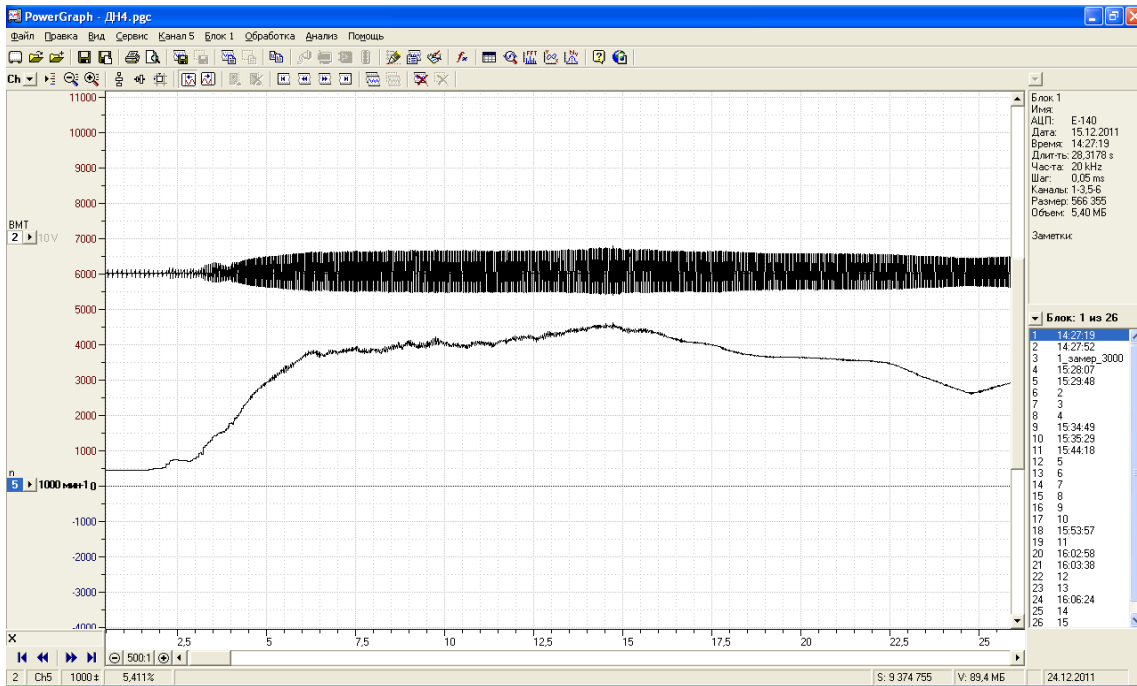


Рисунок 3.1 - Зміна частоти обертів колінчастого валу двигуна ДН4 під час пуску

ЗАВДАННЯ 4

Побудова згорнутої індикаторної діаграми за осцилограмою зміни тиску у циліндрі двигуна

Мета заняття:

- узагальнити знання, отримані під час лекцій та виконання на практичних заняттях завдань 2 та 3;
- вивчити методику експрес-аналізу осцилограми тиску у циліндрі двигуна;
- вивчити особливості робочих процесів, що відбуваються у різних поршневих двигунах транспортного призначення.

4.1 Порядок виконання завдання

На практичному занятті у викладача слід отримати осцилограму тиску у циліндрі з відмітками, що відповідають положенню поршня у верхній та нижній мертвих точках, та дані двигуна.

Наступним кроком є визначення частоти обертання. Для цього необхідно виділити ділянку осцилограми між однойменними відмітками мертвих точок (наприклад, верхньої мертвої точки) та отримане значення часу τ перевести за відношенням $60/\tau$ у n – частоту обертання колінчастого валу двигуна.

Далі необхідно створити криву зміни тиску в залежності від надпоршневого об'єму. Для цього необхідно згенерувати за допомогою вбудованих у програму *PG* функцій низку віртуальних сигналів різної форми.

Розрахунок зміни надпоршневого об'єму ведеться за наступною формулою:

$$V = V_c + 0,5 \cdot V_h \cdot \sigma,$$

де V_c - об'єм камери стиску; V_h – робочий об'єм циліндра; σ – відносне переміщення поршня

$$\sigma = 1 - \cos \pi + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos 2\pi),$$

$\lambda = R/L$ – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна.

4.2 Алгоритм побудови індикаторної діаграми

1. У середовищі програми *PG* створити додатково 10 віртуальних каналів.

2. За допомогою функції *CycleFrequency* категорії *Cyclic* визначаємо частоту циклу у Гц при заданій амплітуді (наприклад, 2 В).

3. За допомогою функції *GenRamp* категорії *Generators* створити пилоподібний сигнал «ПІ» з наступними аргументами функції: *A* - амплітуда сигналу (6,28) та *F* - частотою сигналу (Гц), що визначена на попередньому етапі.

4. За допомогою функції *GenRamp* категорії *Generators* створити пилоподібний сигнал «2ПІ» з наступними аргументами функції: *A* - амплітуда сигналу (6,28) та подвоєною *F* - частотою сигналу (Гц), що визначена на попередньому етапі.

5. За допомогою функції *Cos* категорії *Math* розрахувати косинус за сигналами ПІ та 2ПІ у окремих каналах.

6. Створити сигнал постійного рівня «1», для чого використати функцію *Const* категорії *Levels*.

7. За допомогою функції «-» категорії *Arithmetics* відняти від сигналу постійного рівня «1» сигнал «Cos ПІ»

8. Додатково значення, що отримані у каналі «1 - Cos 2ПІ» помножити на величину $\lambda/4$. Виконати вказане перетворення за допомогою функції *Scale* категорії *Data*.

9. Розрахувати відносне переміщення поршня σ у наступному каналі за допомогою функції «+» категорії *Arithmetics*.

10. Розрахувати поточне значення надпоршневого об'єму V шляхом послідовного виклику двох функцій. Спочатку отримане значення σ за допомогою функції *Scale* категорії *Data* помножити на величину $0,5V_h$, а потім за допомогою функції «+» категорії *Arithmetics* або функції *Offset* категорії *Data* додати величину V_c .

11. У вікні X-Y осцилографа побудувати згорнуту індикаторну діаграму, для чого на вісь X призначити значення каналу, що відображає зміну надпоршневого об'єму V , а на вісь Y призначити значення каналу, що відображає зміну тиску робочого тіла у циліндрі двигуна.

Слід відзначити, що кожний етап побудови кривої зміни надпоршневого об'єму V можна виконувати на окремому каналі.

На рис. 4.1, 4.2 представлені результати побудову згорнутої діаграми для різних двигунів.

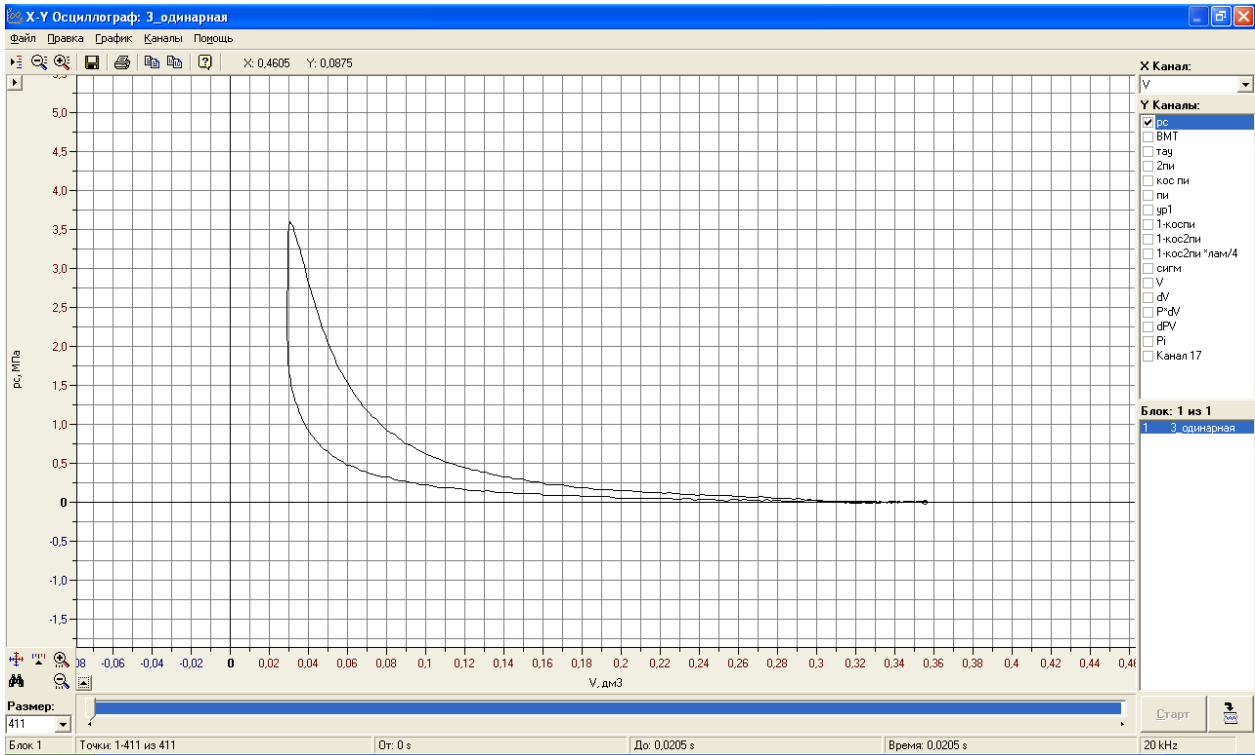


Рисунок 4.1 - Индикаторна діаграма двотактного двигуна ДН4

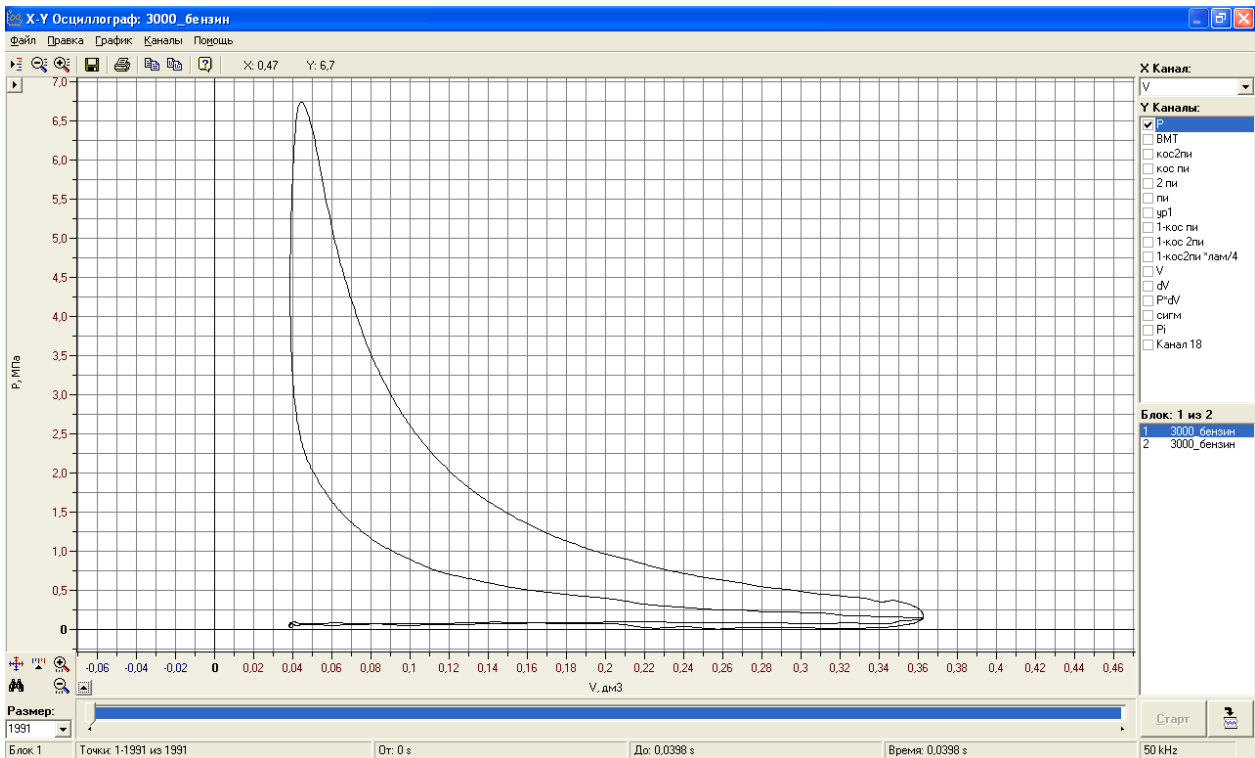


Рисунок 4.2 - Индикаторна діаграма двигуна з примусовим запаленням Мем3-307

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.В. Грехов Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков – М.: Легион - Автодата, 2004. – 344 с.
2. В.Н. Луканин Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учебник для вузов. / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др.; Под редакцией В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 400 с.
3. И.М. Соболев Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев Р.Б.Статников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа. 2006. – 175 с.
4. Электронная система помощи программы PowerGraph 3.3.