МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
КАФЕДРА ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Переславцев Дмитро Сергійович

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДВОСТУПЕНЕВОГО НАДДУВУ ПОВІТРЯ ВИСОКОФОРСОВАНОГО ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, ст. викл.
Кравченко Сергій Сергійович

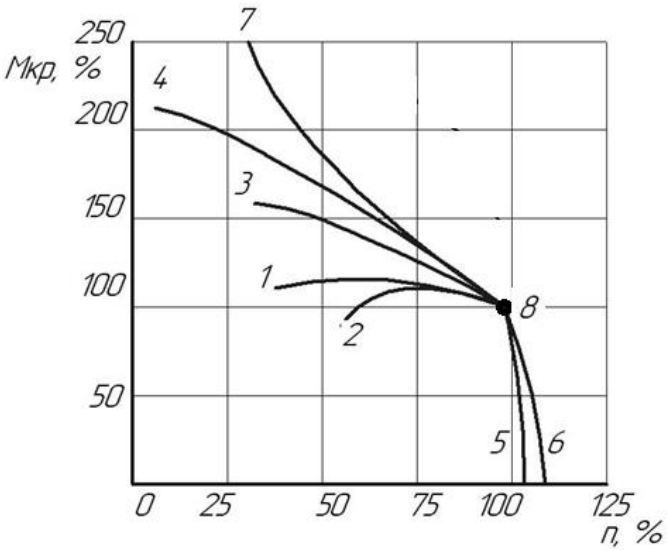
Мета та задачі дослідження

Мета роботи: розробка системи двоступеневого наддуву з проміжним охолодженням наддувного повітря та системи регулювання турбіни і компресора для двотактного дизеля спеціального призначення.

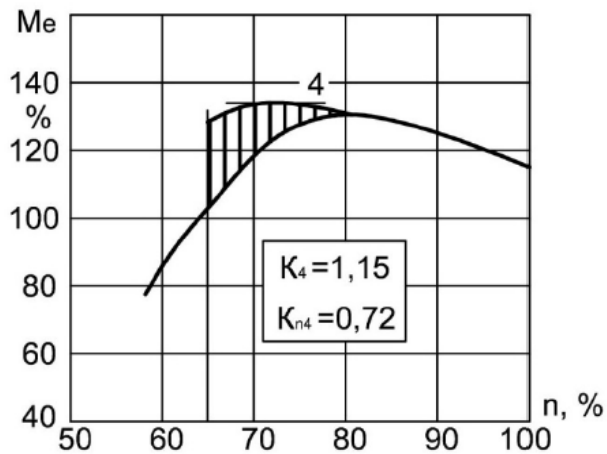
Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

1. Виконати аналіз впливу застосування регульованого наддуву дизелів на експлуатаційні показники.
2. Проаналізувати методи та пристрої регулювання наддуву у високофорсованих дизелях, а також відомі схематичні рішення застосування багатоступінчатих систем наддуву.
3. Запропонувати систему наддуву повітря для двотактного дизеля спеціального призначення потужністю 1100 кВт.

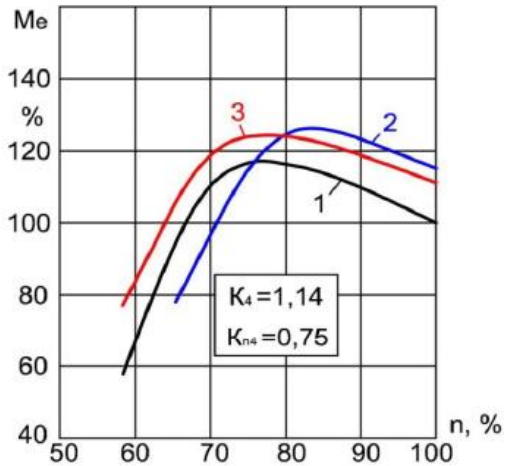
Обгрунтування доцільності застосування регульованого наддуву



Закони зміни крутного моменту від частоти обертання n, що отримані при різних приводах:
1 - зовнішня характеристика двигуна без наддуву, 2-з наддувом, 3 - дизель з регульованим наддувом і механічною передачею (регулятор Lugmaster I), 4 - дизель з регулятором Lugmaster II і гідротрансформатором, 5 - дизель з регулятором Lugmaster, 6 - дизель з наддувом і без регулятора Lugmaster, 7 - трьох-ступінчастий гідротрансформатор, 8 - номінальний режим

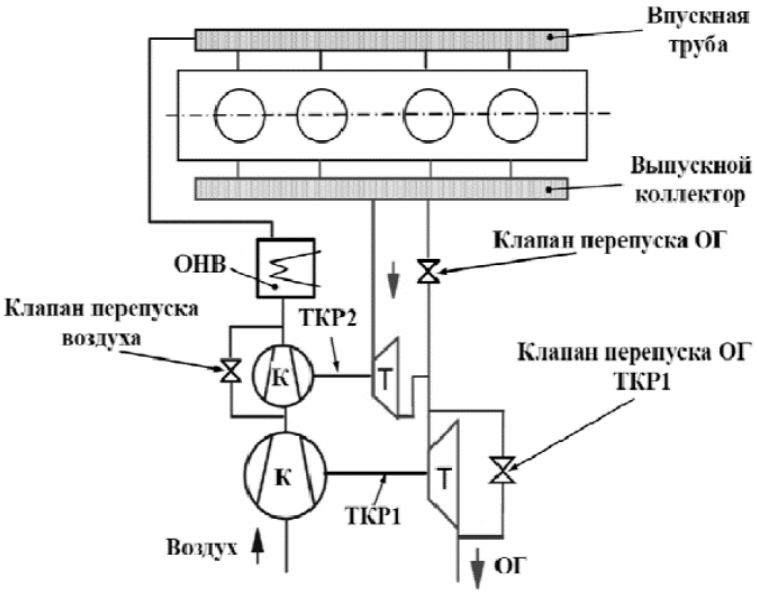


Коригування швидкісної характеристики дизеля з наддувом застосуванням додаткового приводного нагнітача



Порівняння характеристик крутного моменту Me дизелів без наддуву (1), з наддувом від ТКР (2) і з регульованим наддувом (3)

Аналіз систем наддуву



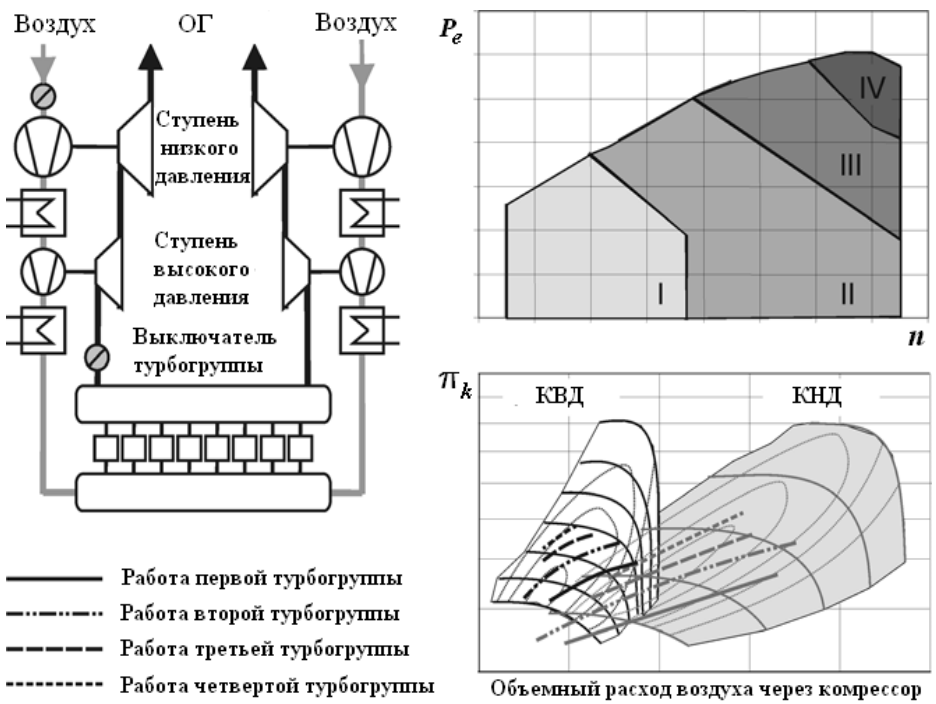
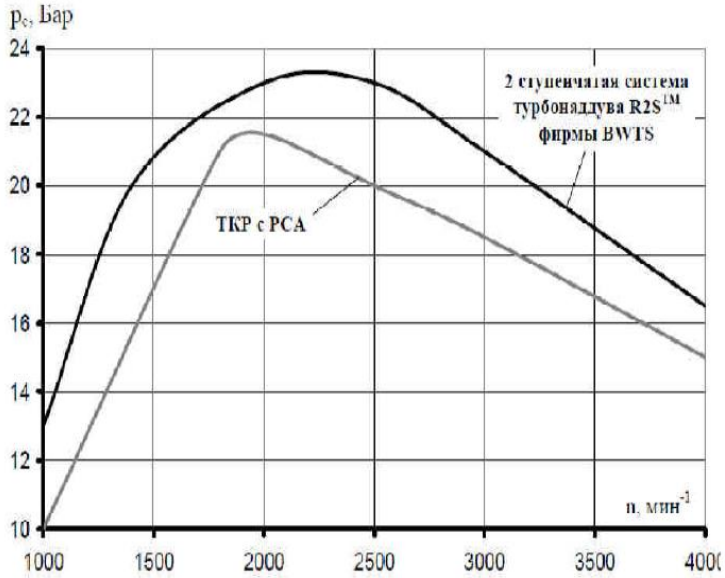


Схема двоступеневого наддуву фірми MTU



Система двухступінчатого наддуву: а - схема системи двухступінчатого турбонаддува R2S для дизеля OM651(zУ$_ь$=2,2 л; Евро 5); б - порівняння ВСХ по середньому ефективному тиску дизеля OM651 з двоступеневою і з одноступінчастою системами турбонаддува

Аналіз систем наддуву

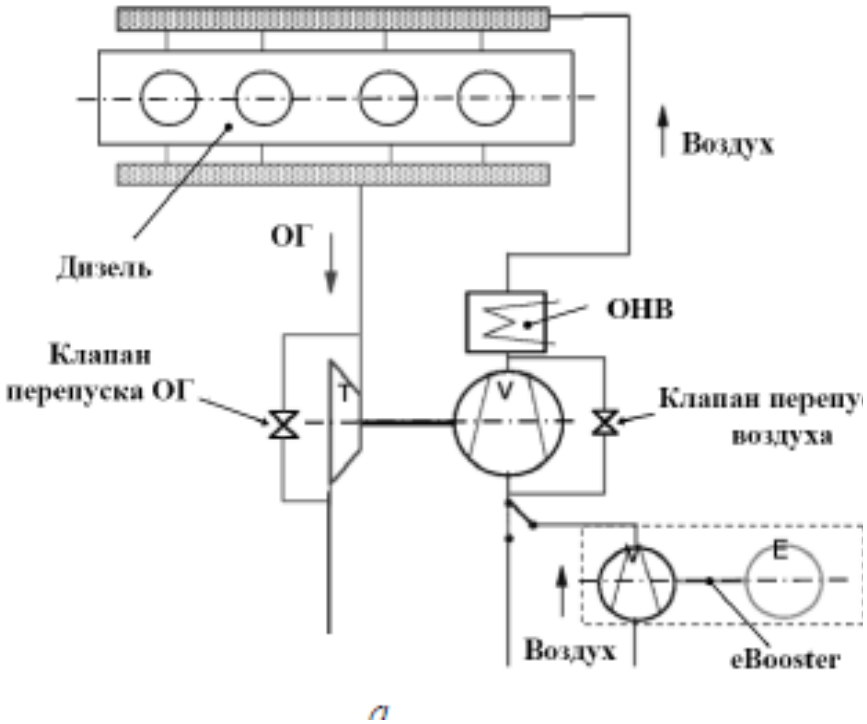
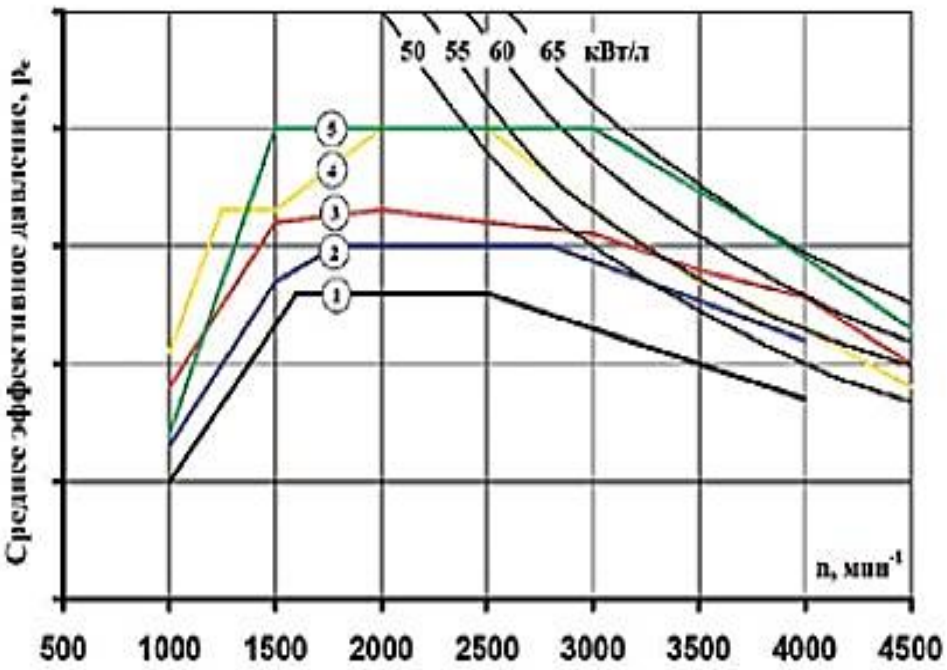
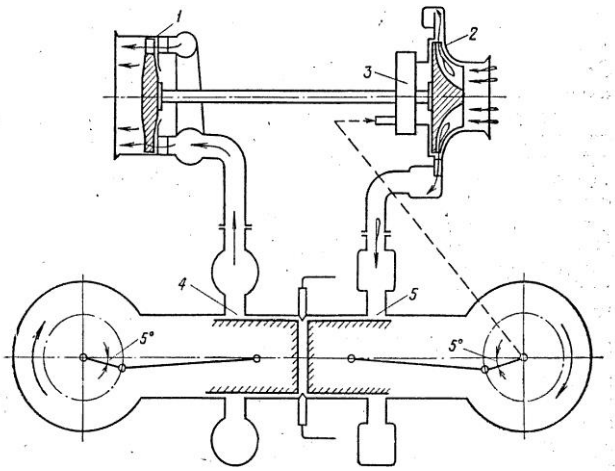


Схема системи наддуву eBooster

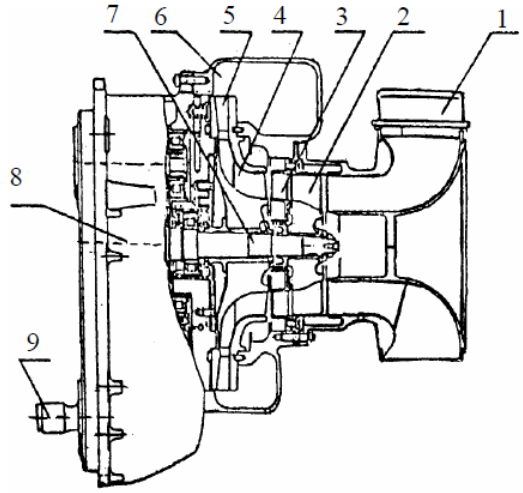


Зовнішні швидкісні характеристики по середньому ефективному тиску дизелів з різним рівнем форсування: 1 -одноступінчата система турбонаддува (ТКР з РСА, налаштована на режим номінальної потужності); 2 - одноступінчата система турбонаддува (ТКР з РСА, налаштована на отримання високої літрової потужності); 3- одноступінчата система турбонаддуву (система турбонаддува з паралельною подачею повітря двома ТКР фірми Honeywell-Garret); 4 – двоступенева система наддуву eBooster ™; 5 - двоступенева система туробонаддуву R2S

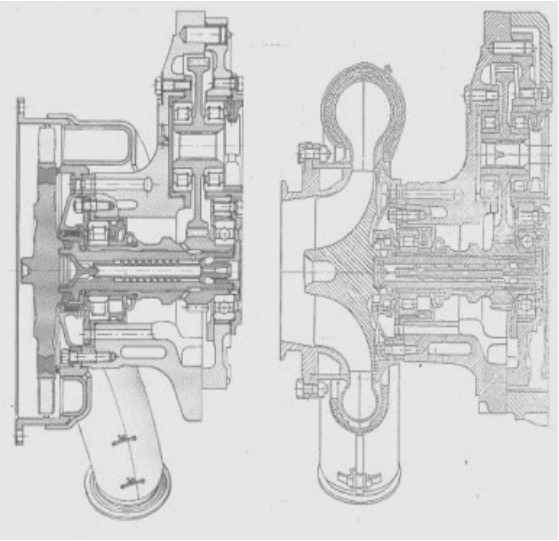
Особливості системи повітропостачання лінійки транспортних дизелів ДН12/2Х12



Принципова схема дизеля з протилежно рухомими поршнями:
1 - турбіна; 2 - компресор; 3 - редуктор;
4 випускні вікна в випускний колектор;
5 - впускні вікна



Компресор двигуна 6ТД-2
1 – вхідник; 2 – перший ступінь;3 – випрямний апарат; 4 – другий ступінь; 5 – дифузор; 6 – повітрозбірник; 7 – центральний вал;
8 – редуктор; 9 – ресора



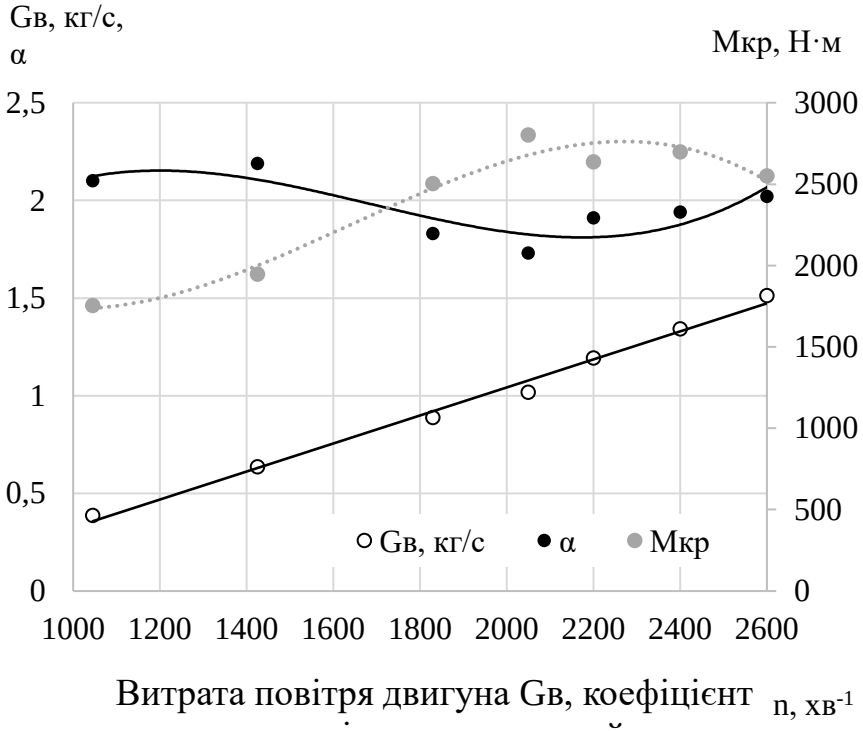
Турбіни системи механічного турбонаддува дизеля 3ТД-4:
а - осьова; б - відцентрова

Триярусне робоче колесо компресору дизеля 6ТД-2Е

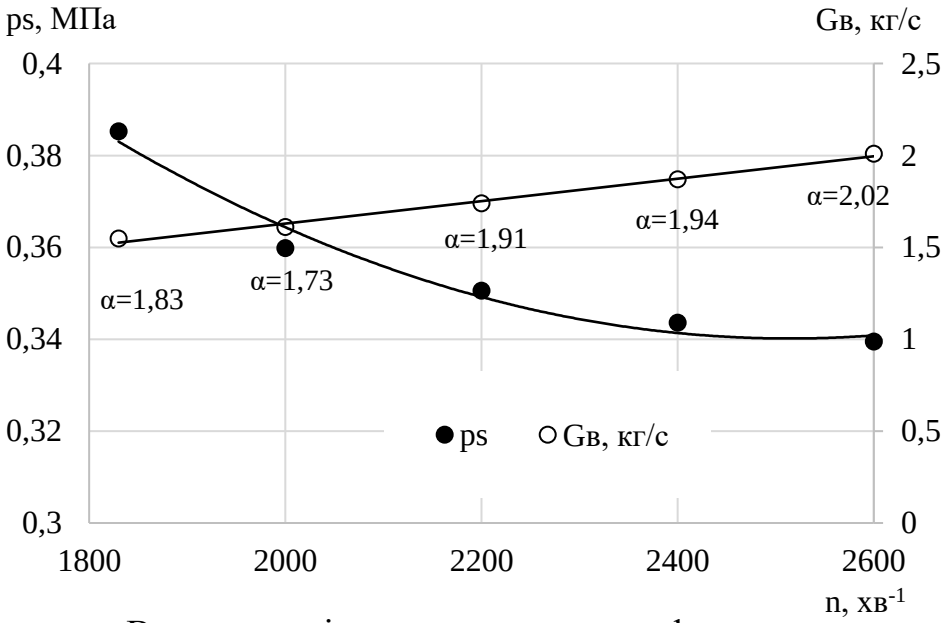
Основні параметри дизелів ДН12/2Х12 та їх агрегатів наддуву

Дизель	Потужність, $N_{e\,max}$, кВт	Параметри компресорів					Параметри турбін		
		Ступінь підвищення тиску, $\pi_к^*$	Витрата повітря, $G_{в\,пр}$, кг/с	ККД, $\eta_к^*$	Коефіцієнт робочого діапазону, $\bar{G}_к$	Тип РК	Тип	ККД на режимі	
								$0{,}8\,N_{e\,max}$	$N_{e\,max}$
								$\eta_{u\,max}$	η_u
Початкові параметри									
3ТД-3	358	3,27	0,84	0,78	0,22	2	РОТ	0,82	0,61
3ТД-4	441	4,15	1,07	0,8	0,31	3	РОТ	0,82	0,61
5ТД	710	3,6	1,8	0,8	0,28	3	ОТ	0,78	0,73
6ТД-2	882	3,9	2,09	0,78	0,26	ОЦБК	ОТ	0,73	0,69
6ДН14/2×14	1103	3,42	2,85	0,8	0,16	2	ОТ	0,78	0,74
параметри після удосконалення АТН (КП «ХКБД»)									
3ТД-3	368	3,44	0,88	0,8	0,34	3	ОТ	0,85	0,75
3ТД-4	441	4,15	1,07	0,8	0,31	3	ОТ	0,85	0,75
6ТД-2Е	882	3,6	2,0	0,81	0,26	3	ОТ	0,73	0,69
6ДН14/2×14	1103	3,42	2,85	0,8	0,21	2	ОТ	0,75	0,78

Параметри наддуву базового та форсованого до 1100кВт двотактних двигунів ДН12/2х12

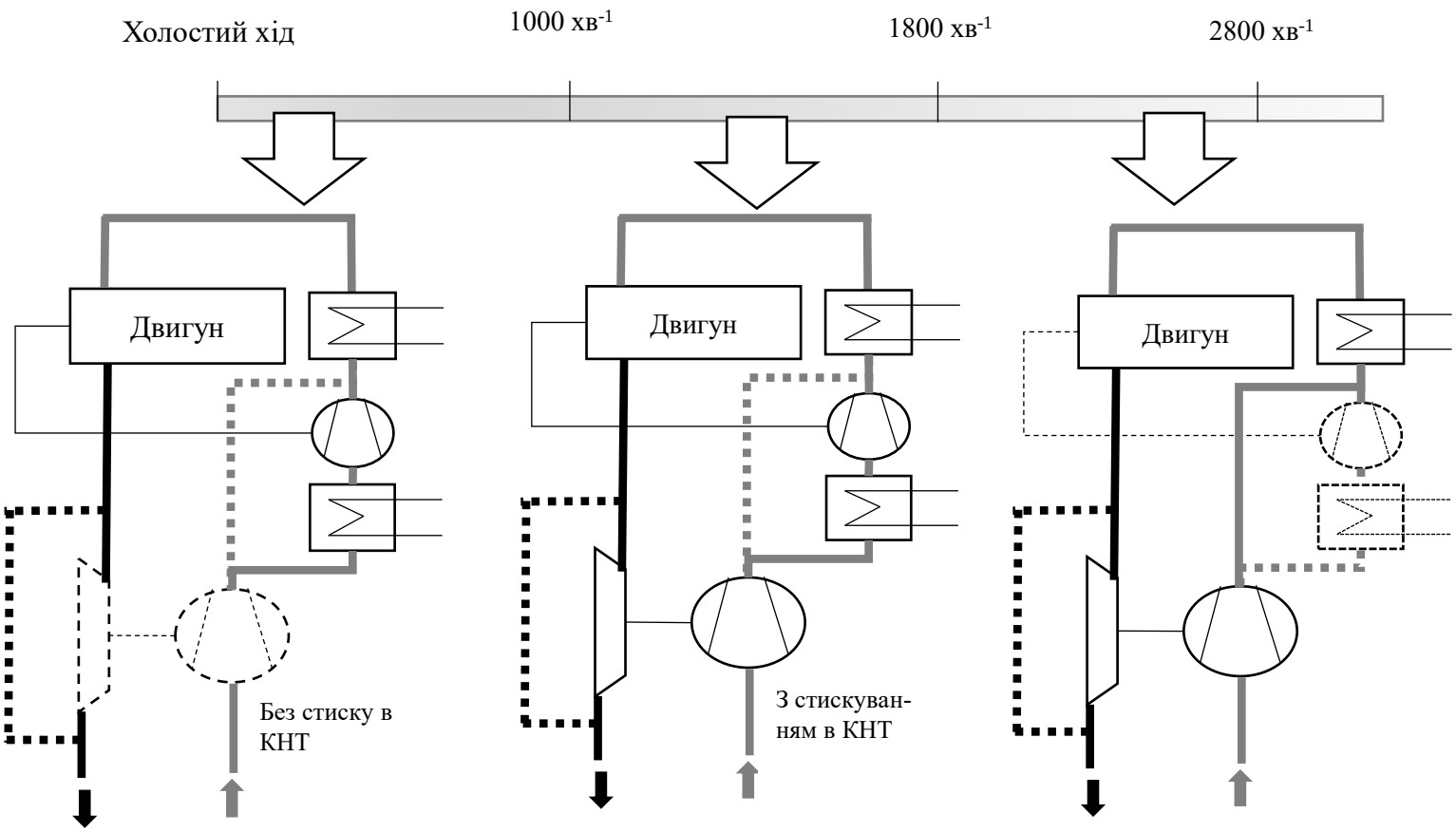


Витрата повітря двигуна Gв, коефіцієнт надлишку повітря α та крутний момент Мкр за зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна 6ТД-2



Витрата повітря та тиск наддуву форсованого двигуна 6ТД за зовнішньою швидкісною характеристикою

Розробка системи наддуву форсованого до 1100кВт двотактного дизеля ДН12/2х12



Принципова схема регульованого наддуву форсованого до 1100кВт дизеля ДН12/2х12

Особливості програмного комплексу ДИЗЕЛЬ-РК

В програмному комплекся ДИЗЕЛЬ-РК циліндри двигуна розглядаються як відкриті термодинамічні системи для якої вирішується система рівнянь балансу маси і енергії спільно з рівнянням стану:

$$\begin{cases} dU = -pdV + dQx - dQw + \sum_{j=1}^{n} dI_j^*; \\ dG = \sum_{j=1}^{n} dG_j; \\ pV = GRT \end{cases}$$

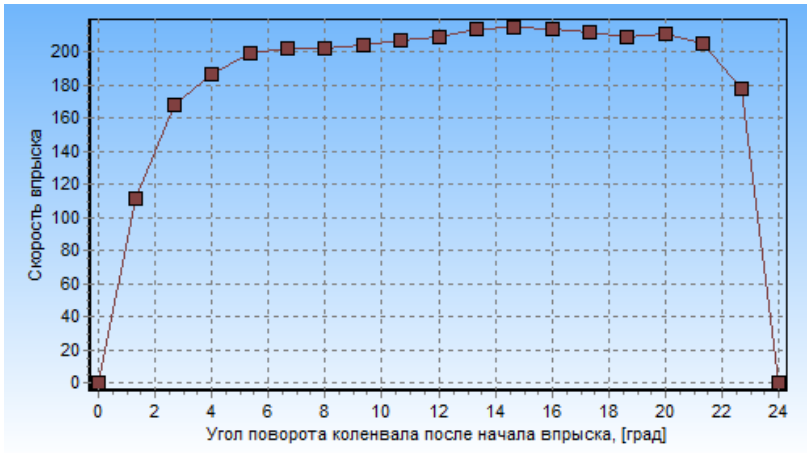
Налаштування математичної моделі робочого процесу двотактного дизеля

Вихідні дані до математичної моделі

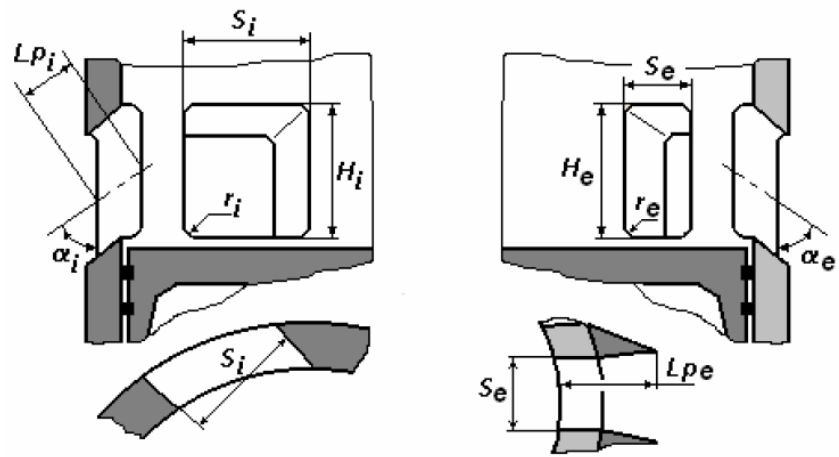
Параметр	Значення параметра
Циліндро-поршнева група	
діаметр циліндра	120 мм
хід поршня	120 мм
кількість циліндрів	6
номінальна частота обертання	2600 хв$^{-1}$
геометрична ступінь стиску	20,9
відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна (L=210 мм)	0,286
кут випередження випускним колінчастим валом впускного	14°
середня температура поршня задається явно – 950 °С;	
коефіцієнту тепловіддачі у циліндрі за формулою Вошні	масштабний коеф. обраний s=115
тиск рідини в системі охолодження	0,3МПа
температура рідини у системі охолодження	115°С
Паливна апаратура та камера згоряння	
Умовна відносна тривалість вприскування для «нульової» циклової подачі	0,6
вихрове значення задається в КЗ у кінці такту стиску на рад. R=29	8
циклова подача	0,2045 г
тривалість впуску	24°
кількість форсунок	4
діаметр соплових отворів	0,5мм
кількість струменів у форсунці	1
зміщення розпилювача відносно вісі КЗ	59,9мм
виступ точки початку струменів від днища кришки	0
кут розташування розпилюючи отворів	30°

Налаштування математичної моделі	
коефіцієнт "у" в поправочній функції константи випаровування палива (	24
коефіцієнт в рівнянні вигоряння парів палива, утворених у період затримки само спалахування	5
критерій Нуссельта для дифузії палива з поверхні поршня із ядра пристіночного потоку	2
множник у формулі розрахунку коефіцієнта турбулізації заряду в пристіночних зонах в залежності від інтенсивності подовження газового стовпа	2000
ступінь ефективного використання повітряного заряду циліндра Ksi_b – залежність Ksi_z від часу задається відносними координатами точки мінімуму, положення якої обирається виходячи з форми КЗ і типу сумішоутворення	абсциса (в долях від тривалості згоряння) – 0,33, ордината – 0,55
коефіцієнт у формулі визначення середнього діаметру крапель d32	1,7
коефіцієнт у формулі далекобійності паливного факелу Dф	2,9
коефіцієнт у формулі розрахунку кута розкриття струменя (0,2…1,5)	1
час від закінчення впорскування до початку догоряння, [мс]	0,3
коефіцієнт рівняння розрахунку періоду догоряння великих крапель	1
коефіцієнт у розрахунку частини палива, що згоряє за механізмом холодного окислення	1
для розрахунку періоду затримки спалахування використовується модифікована методика Толстова, поправочний коефіцієнт	1

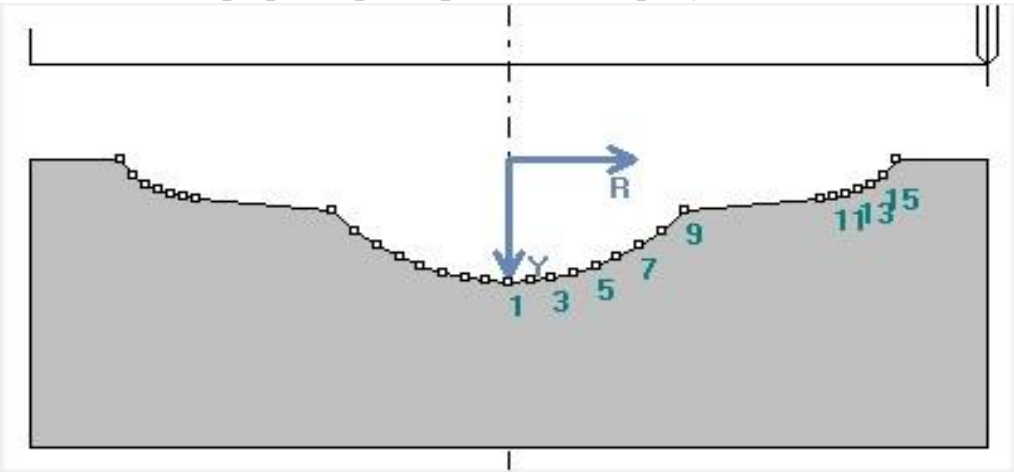
Налаштування математичної моделі робочого процесу двотактного дизеля



Графік характеристики впорскування



Розміри впускних (індекс i) та випускних (індекс e) вікон двотактного двигуна

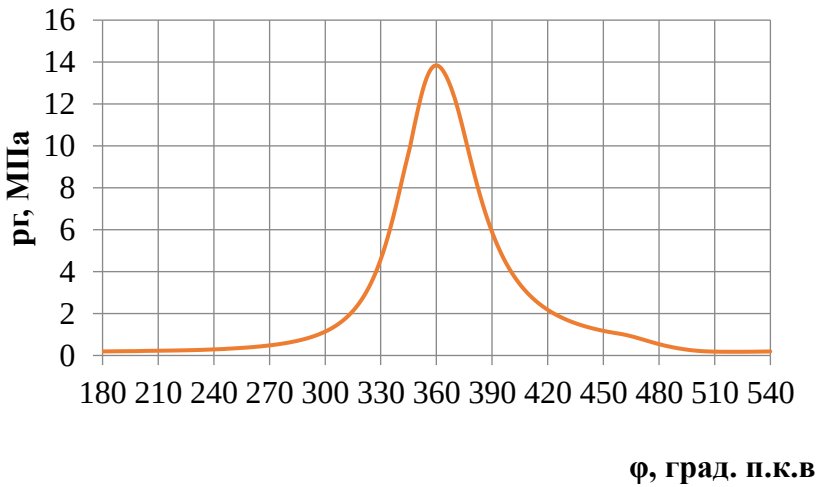


Форма камери згоряння

Ідентифікація математичної моделі робочого процесу двотактного дизеля

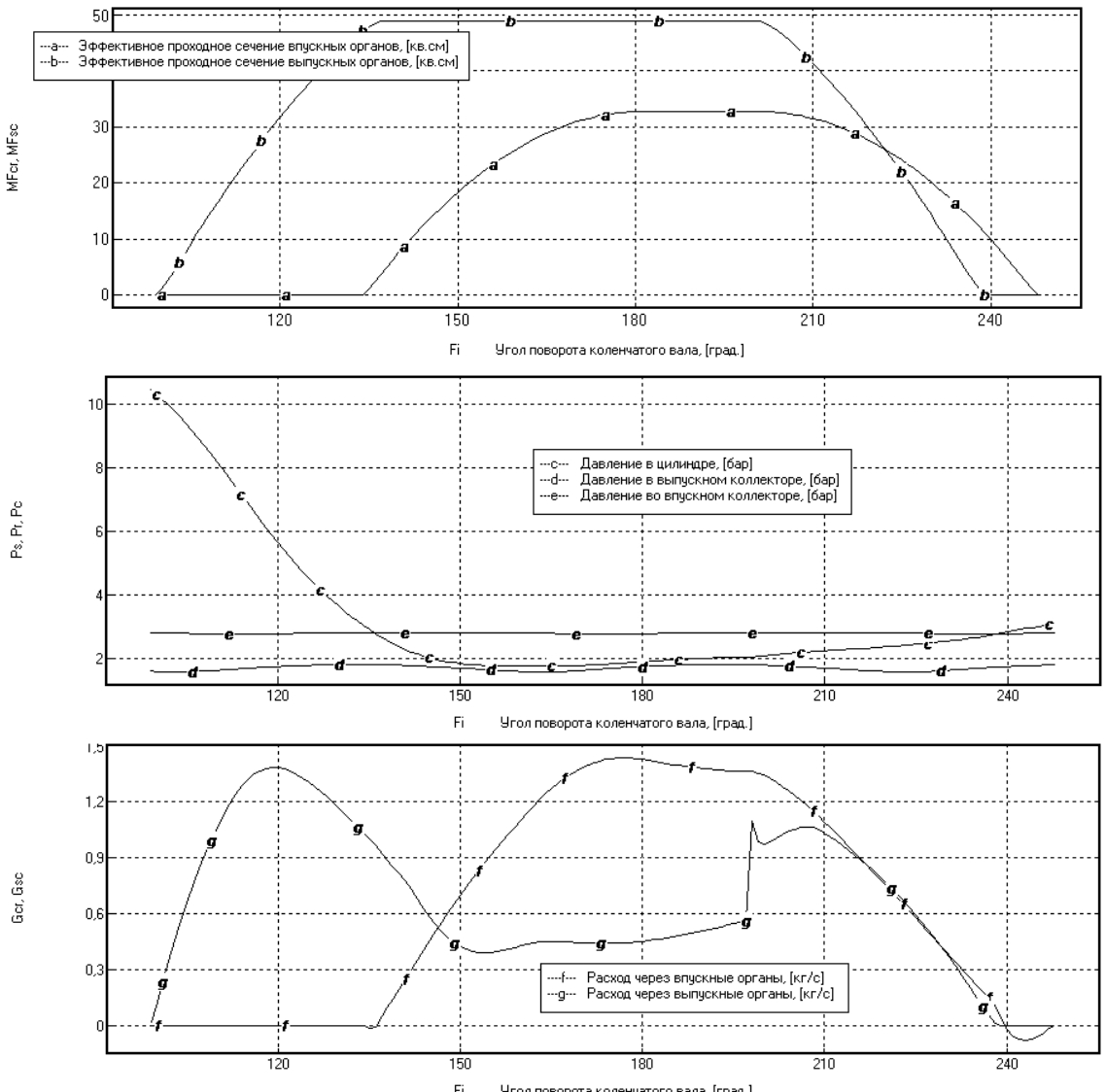
Порівняння експериментальних та розрахункових показників робочого процесу

Параметр	Експериментальні дані	Розрахункові дані
η_i	0,42	0,44
P_z, МПа	13,5	14,0
N_e, кВт	882	881
Pe, МПа	1,25	1,25
g_e, кг/кВт·год	0,217	0,223
α сумарний	2,17	2,22



Індикаторна діаграма дизеля 6ТД-2 для режиму максимальної потужності, n=2600 об/хв

Параметри газообміну двотактного дизеля 6ДН12/2х12



Зміна ефективного прохідного перетину вікон, тиску в циліндрі, впускному і випускному колекторах, а також витрати газу через впускні і випускні вікна двотактного дизеля 6ДН12/2х12 на режимі: Ne = 882 кВт, n = 2600 хв$^{-1}$

Основні показники робочого процесу двотактного дизеля 6ТД-2 та 6ДН12/2*12 з системою двоступеневого наддуву

Показник	6ТД-2	6ДН12/2*12 з системою двоступеневого наддуву
Ne, кВт	881	1107,8
Pe, МПа	1,25	1,57
ge, кг/кВт·год	0,223	0,21
ηi	0,44	0,46
ηe	0,38	0,4
Gпов, кг/с	1,81	2,09
Ps, Мпа	0,295	0,33
Вц, г/цикл	0,21	0,249
α сумарний	2,22	2,22
Pz, МПа	14	16,6
T, K	1729,8	1870,5

Висновки

У науковій роботі запропоновано двоступенева система наддуву двотактного дизеля спеціального призначення, що дозволить підвищити ефективну потужність дизеля та покращити його експлуатаційні характеристики. При цьому вирішені задачі:

1. На основі критичного аналізу літератури з’ясовано, що застосування регульованого наддуву однозначно виправдано для транспортних двигунів з високим ступенем наддуву і в двигунах, що працюють при значних змінах температури навколишнього середовища і тиску.
2. Найбільш ефективним способом регулювання тиску наддуву комбінованого двотактного дизеля із приводним турбокомпресором є безступінчаста зміна передатного відношення привода компресора. При застосуванні двоступеневого регульованого турбонаддува з охолодженням наддувочного повітря типу R2S досягається найвищий середній ефективний тиск. Залежно від її налаштування система може бути реалізована як на низьких, так на високих частотах обертання валу двигуна.
3. Для підвищення потужності двотактного дизеля ДН12/2*12 до 1100 кВт при забезпеченні якісного складу паливо-повітряної суміші як в двигуна-прототипу (6ТД-2) потрібно збільшувати витрату повітря до 2 кг/с та збільшувати тиск наддуву до 0,4-0,5 МПа.
4. Такі параметри не можливо забезпечити базовою системою наддуву дизеля. Тому запропоновано система двоступеневого наддуву перспективного двотактного дизеля потужністю 1100 кВт. Регулювання тиску наддуву відбувається шляхом зміни передаточного відношення привідного компресору, регулювання турбокомпресору за рахунок зміни прохідного перетину соплового апарату турбіни (т.з соплове регулювання).
5. Для дослідження впливу окремих конструктивних параметрів на робочий процес була налаштована математична модель робочого процесу двигуна 6ТД-2 з використанням програмного комплексу ДИЗЕЛЬ-РК. За порівнювальними показниками двигуна, похибка розрахунку робочого процесу не перевищила 5%.
6. Виконані розрахунок робочого процесу базового двигуна 6ТД-2 та дизеля з двоступеневою системою наддуву на режимі максимальної потужності.
7. Результати розрахунку робочого процесу підтверджують можливість форсування дизеля 6ТД-2 до 1100 кВт. Проте при форсуванні означеного дизеля значно підвищується максимальний тиск згоряння до 16,6 МПа, тобто значно підвищуються навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму. Регулювання тиску наддуву разом з регулюванням паливоподачею є ефективним заходом зниження максимального тиску циклу pz.

Дякую за увагу!