



**Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
Навчально-науковий інститут енергетики, електроніки
та електромеханіки
Кафедра двигунів внутрішнього згорання
Спеціальність 142 - «Енергетичне машинобудування»
Спеціалізація 142.04 «Двигуни внутрішнього згорання»**

ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФОРСОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

Доповідач: студент Альохін Д.С.

Науковий керівник: д.т.н, проф. Марченко А.П.



АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

В танку Т-84 використовується форсований дизель 6ТД-2 з номінальною потужністю $N_e = 882$ кВт. Цей двигун відрізняється високим рівнем доводки робочих процесів всіх систем, агрегатів і деталей. Для забезпечення конкурентоспроможності двигуна 6ТД-2 перш за все необхідно підвищення його потужності. Тому зараз ведеться пошук шляхів поліпшення показників двигуна при збереженні його конструкції.

Світовий досвід створення та експлуатації двигунів з наддувом свідчить, що застосування системи охолодження наддувного повітря є найбільш ефективним засобом підвищення потужності, ресурсу і поліпшення екологічності. Охолодження наддувного повітря після компресора в ДВЗ дозволяє збільшити густину повітря у впускному колекторі, що збільшує масу свіжого заряду в циліндрі, а тим самим дозволяє підвищити і циклову подачу палива, яка і забезпечує підвищення потужності.

Принциповою особливістю двигуна 6ТД-2 є те, що він не має системи охолодження наддувного повітря після компресора, тому з цього слідує, що актуальність аналізу поліпшення показників форсованого транспортного двигуна 6ТД-2 застосуванням системи охолодження наддувного повітря є необхідним.



МЕТА РОБОТИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета: аналіз поліпшення показників форсованого транспортного дизеля 6ТД-2 за допомогою застосування системи охолодження наддувного повітря.

Задачі дослідження:

- обґрунтування застосування охолодження наддувного повітря;
- аналіз особливостей застосування систем охолодження наддувного повітря в двигунах різного призначення в Україні і світі;
- аналіз впливу застосування системи охолодження наддувного повітря на показники двотактного швидкохідного дизеля 6ТД-2 для його подальшого форсування;
- удосконалення математичної моделі робочого процесу двигуна стосовно швидкохідного дизеля 6ТД-2;
- вибір оптимального типу охолоджувача наддувного повітря для двигуна 6ТД-2;
- економічна оцінка застосування охолоджувача наддувного повітря в проектованому двигуні.

Обґрунтування застосування систем охолодження наддувного повітря

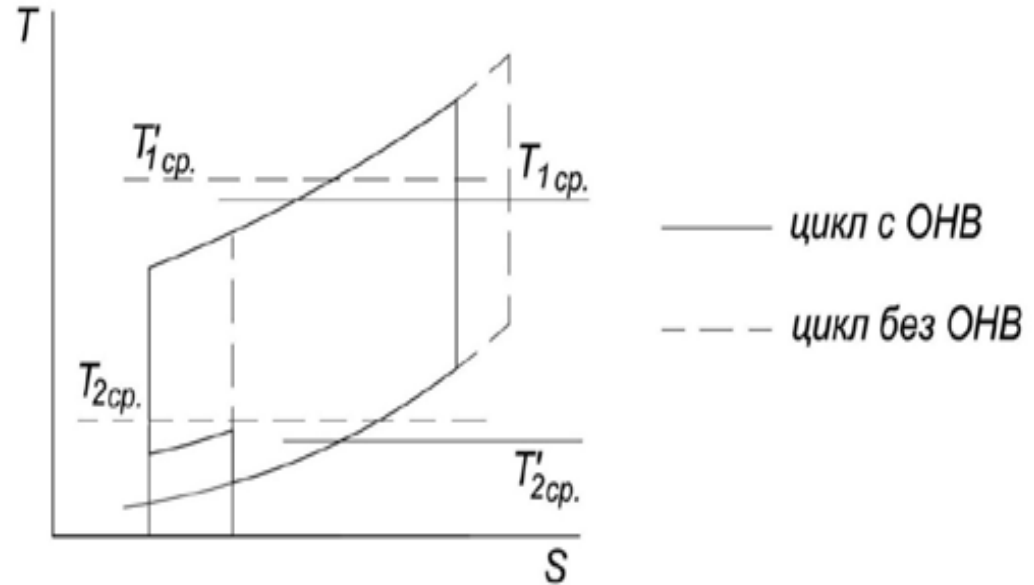
Відомо, що одним з основних шляхів досягнення високих питомих показників двигунів є збільшення середнього ефективного тиску p_e .

$$p_e = f\left(\frac{p_s}{T_s}; \frac{\eta_v}{\alpha}; \eta_e\right)$$

Густина повітряного заряду, що надходить в циліндри двигуна внутрішнього згоряння має вигляд:

$$\rho = \frac{p_s \cdot 10^6}{R \cdot T_s},$$

З ростом p_e збільшується ефективність охолодження повітря, а при ступені підвищення тиску в компресорі $\pi_k \geq 3$ охолодження стає необхідним, так як швидкість росту густини повітря (при високих значеннях π_k) починає істотно відставати від швидкості росту тиску наддувного повітря.



Ідеалізований цикл ДВЗ з охолодженням і без охолодження наддувного повітря

Світовий досвід застосування охолодження наддувного повітря у двигунах внутрішнього згоряння різного призначення

На сьогоднішній день, відомо, застосування охолоджувачів наддувного повітря в двигунах різноманітного призначення: тепловозного, автомобільного, авіаційного, суднового та наземних транспортних машин.

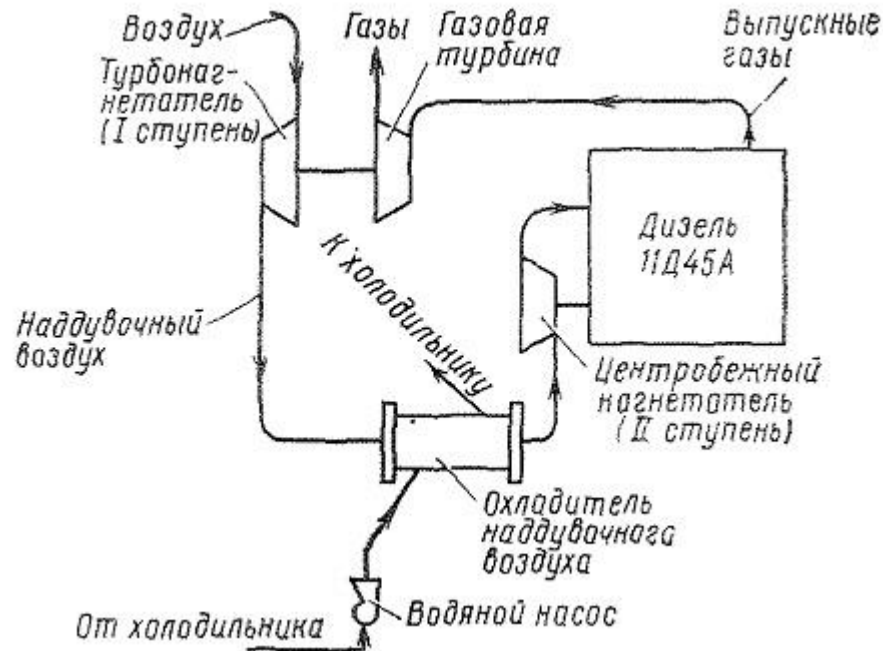


Схема охолодження наддувного повітря дизеля 11Д45А

Світовий досвід застосування охолодження наддувного повітря у двигунах внутрішнього згоряння різного призначення

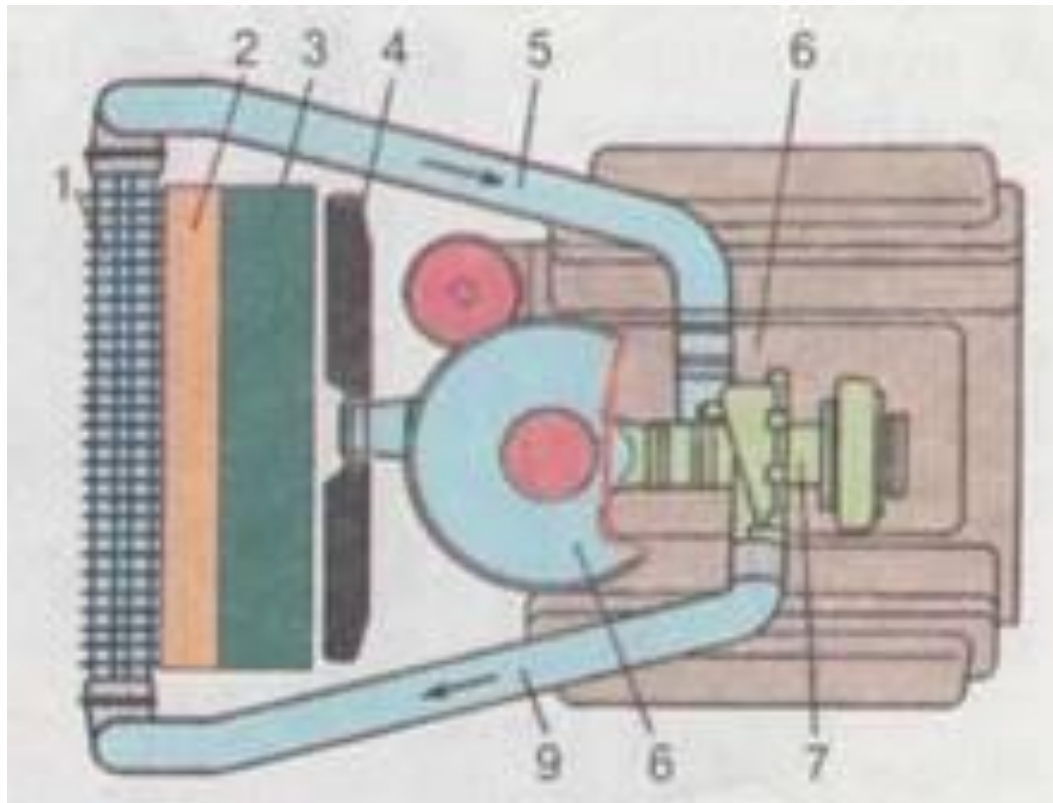
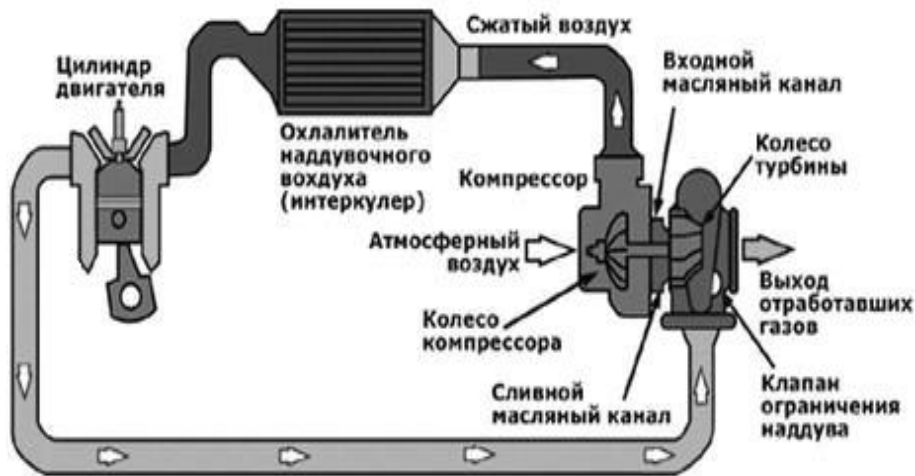


Схема охолодження наддувного повітря V-подібних дизелів марки СМД: 1 – радіатор повітряний; 2 – радіатор масляний; 3 – радіатор водяний; 4 – вентилятор; 5,9 – трубопроводи; 6 – кришка ресивера; 7 – турбокомпресор; 8 – повітроочисник

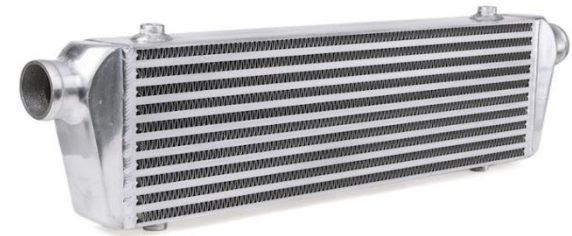
Світовий досвід застосування охолодження наддувального повітря у двигунах внутрішнього згорання різного призначення



Загальна схема системи живлення повітрям автомобільних двигунів



Загальний вид автомобільного водо-повітряного охолоджувача наддувального повітря

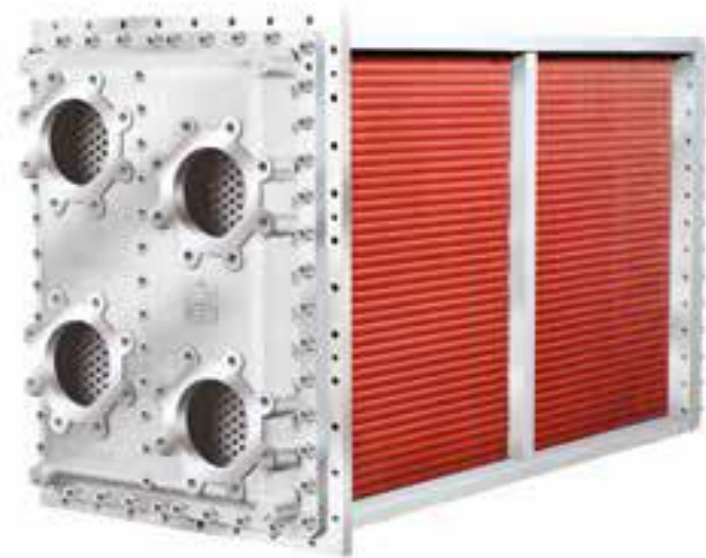


Загальний вид повітряного охолоджувача наддувального повітря для автомобільних двигунів

Світовий досвід застосування охолодження наддувного повітря у двигунах внутрішнього згоряння різного призначення



а



б

Охолоджувач наддувного повітря для суднового двигуна: а - фірми Vestas-aircoil, б – фірми Kelvion

Світовий досвід застосування охолодження наддувного повітря у двигунах внутрішнього згоряння різного призначення



Двигун MTU з охолоджувачем наддувного повітря фірми Kelvio



Класифікація систем охолодження наддувного повітря для двигунів наземних транспортних машин

В даний час існують різні системи охолодження наддувного повітря, які можна класифікувати за такими ознаками:

- За принципом дії
 - рекуперативні охолоджувачі, де з одного боку поверхні рухається наддувне повітря, а з іншого боку - охолоджувач (повітря або рідина);
 - регенеративні охолоджувачі;
 - випарні охолоджувачі, в яких охолодження відбувається шляхом упорскування води або іншої рідини, що випаровувалася в проточну частину системи повітропостачання;
 - контактні (змішувальні) охолоджувачі, де в якості охолоджуючої середовища найчастіше застосовується вода;
 - охолодження шляхом адіабатичного розширення або в спеціальній розширювальній машині (детандері), або безпосередньо в циліндрі ДВС;
- За типом теплоносія
 - водяні;
 - повітряні;
- За способом контакту теплоносія з надувним повітрям
 - контакт через розділову стінку;
 - з безпосереднім контактом;
- За кількістю ступенів
 - одноступінчасті;
 - двоступеневі.

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувального повітря для двигуна 6ТД-2

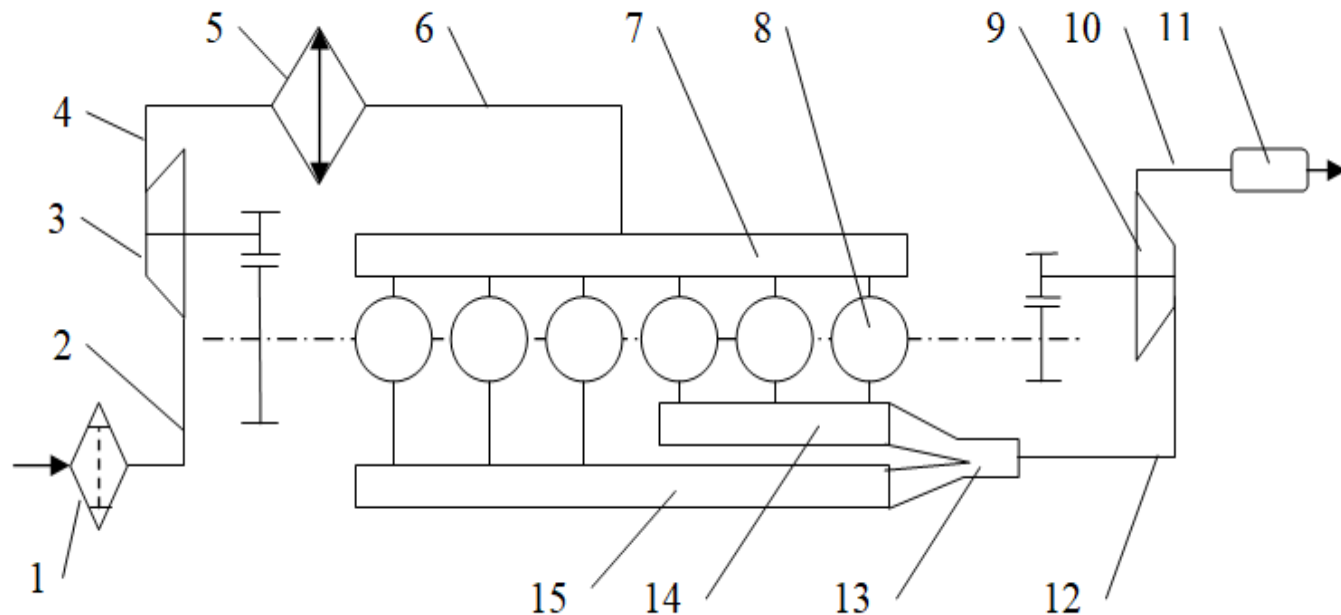


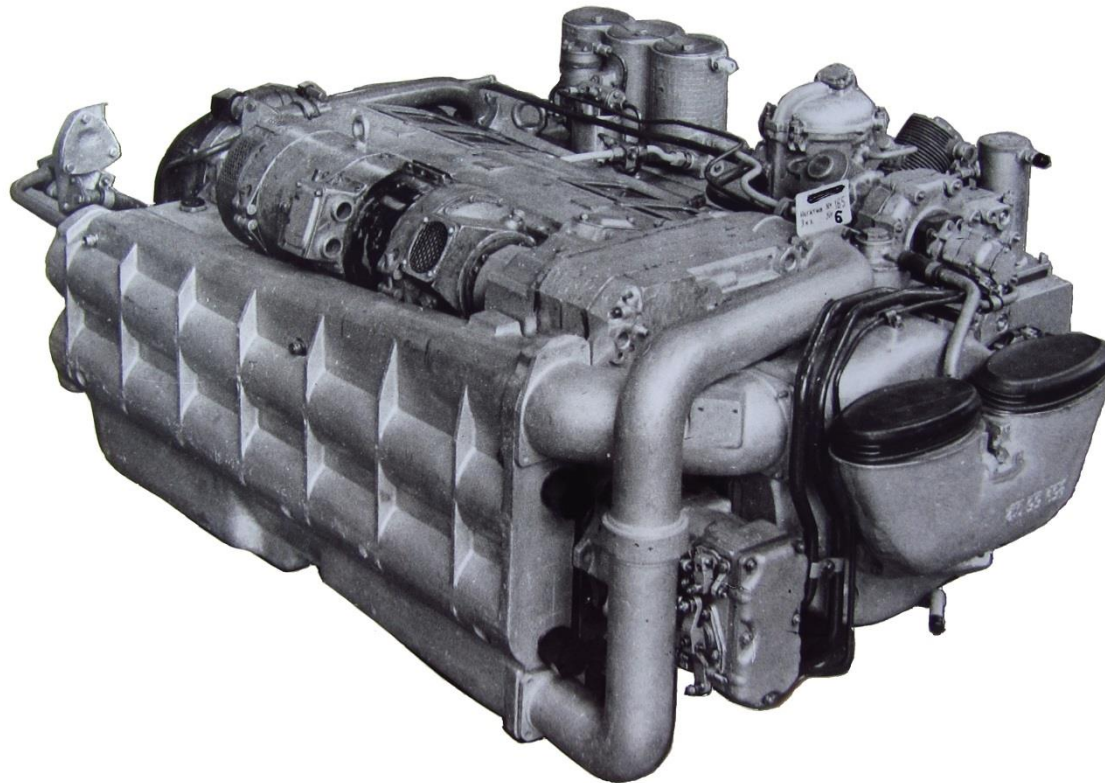
Схема двигуна 6ТД-2 з охолодженням наддувального повітря: 1 – фільтр; 2, 4, 6, 10, 12 – трубопроводи; 3 - відцентровий компресор; 5 – ОНП; 7 - впускний ресивер; 8 - циліндри двигуна; 9 - осьова турбіна; 11 – ежектор; 13 - перетворювач імпульсів; 14, 15 - випускні колектори

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувного повітря для двигуна 6ТД-2



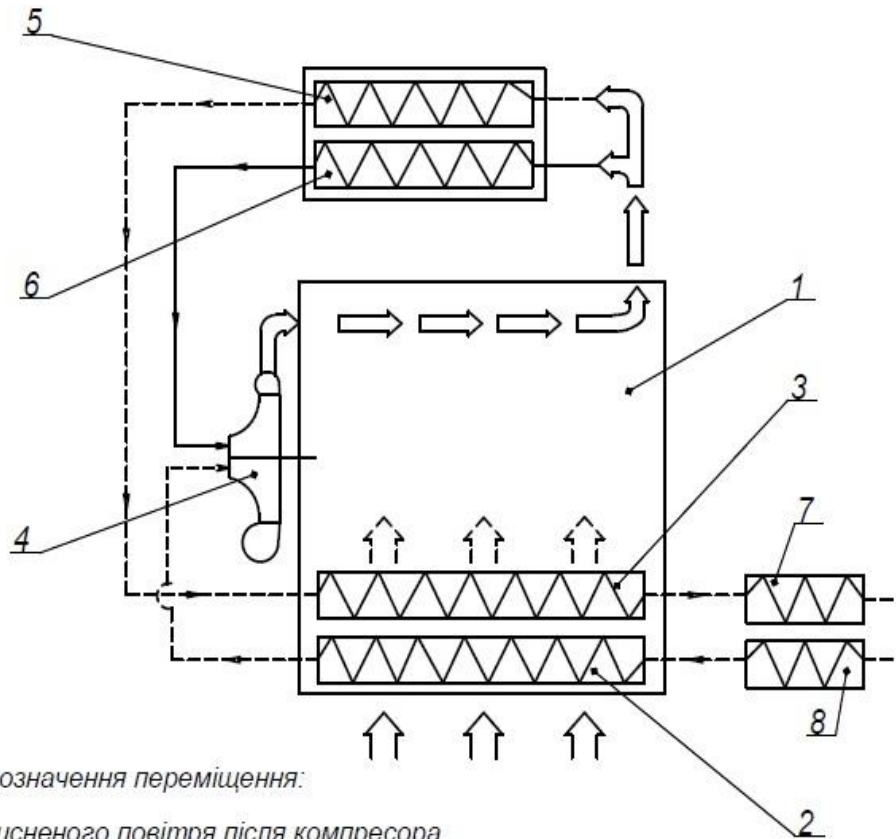
Загальний вид охолоджувача трубчастого типу для дизелів серії 6ДТ

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувного повітря для двигуна 6ТД-2



Загальний вид двигуна серії 6ТД із застосуванням трубчастого теплообмінника

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувного повітря для двигуна 6ТД-2

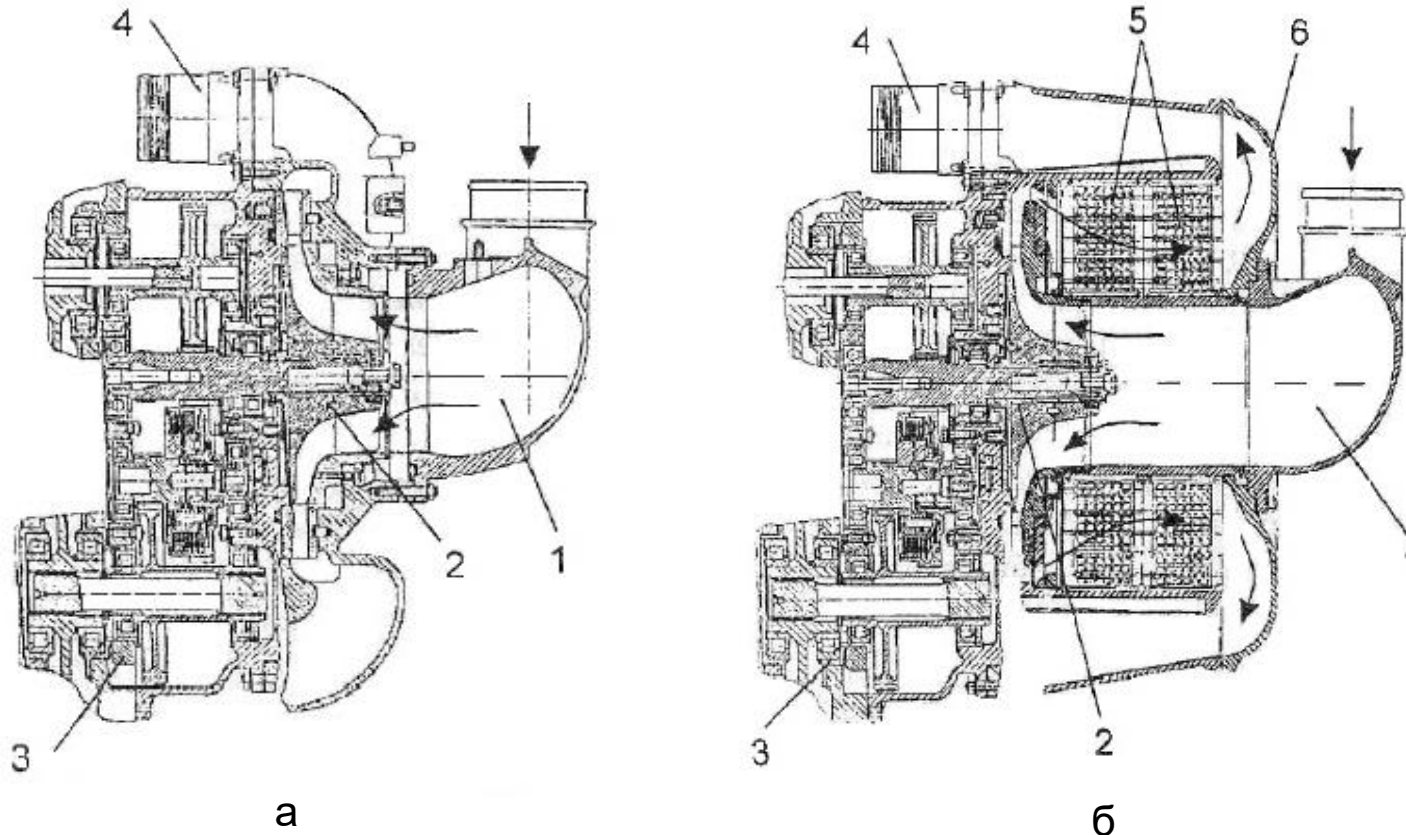


Умовні позначення переміщення:

- стисненого повітря після компресора
- охолодженого повітря к циліндрам
- води к двигуну
- води к теплообмінникам охолодження повітря та мастила
- змішаного потоку води для охолодження двигуна

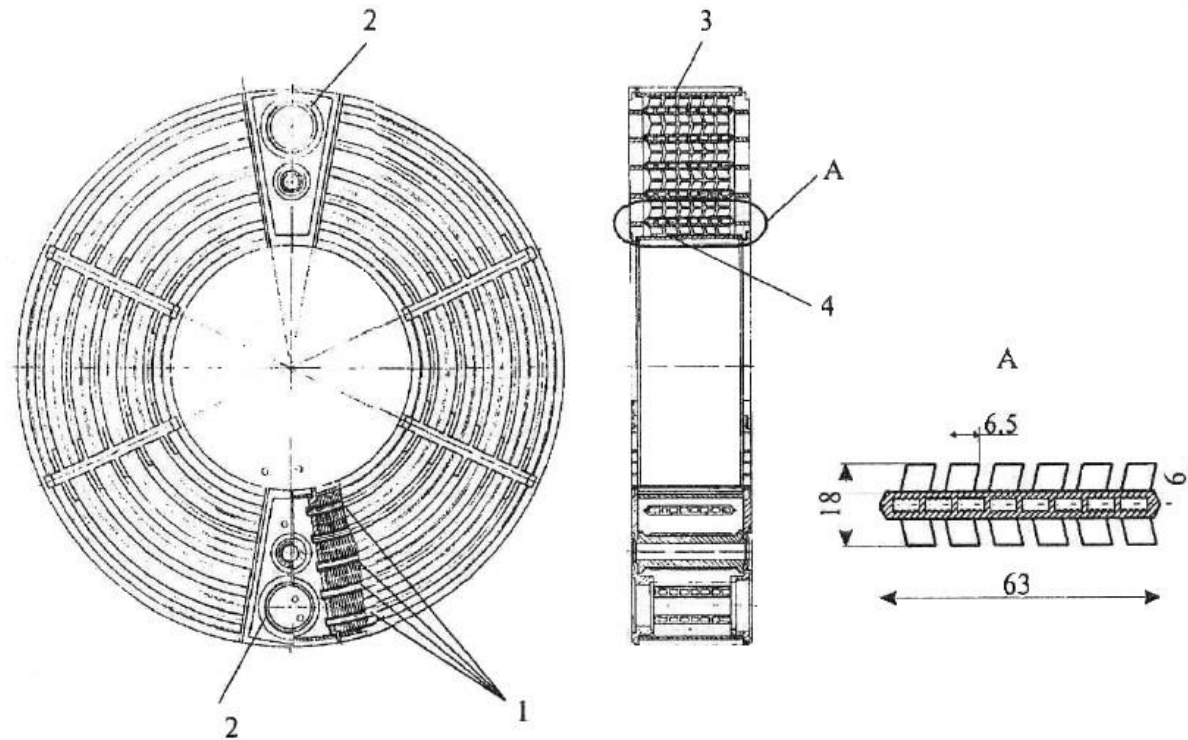
Схема системи охолодження двигуна: 1 – двигун, 2 – теплообмінник проміжного охолодження повітря – верхня секція, 3 – теплообмінник проміжного охолодження повітря – нижня секція, 4 – водяний насос, 5 – радіатор – верхній ярус, 6 – радіатор – нижній ярус, 7 – теплообмінник охолодження мастила трансмісії, 8 – теплообмінник охолодження мастила двигуна

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувального повітря для двигуна 6ТД-2



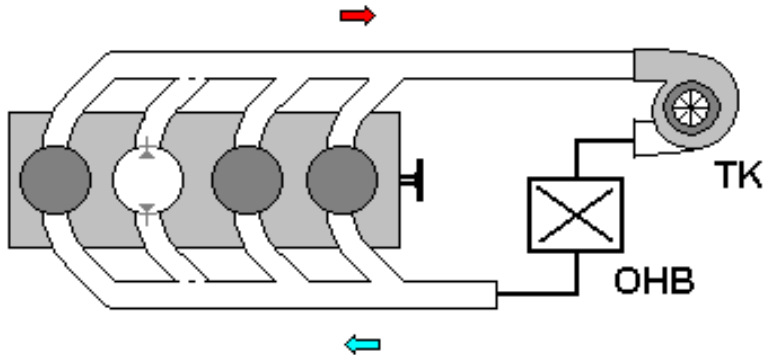
Компресор системи наддуву: а – базовий, б – з вбудованим ОНП; 1 - повітрязбірний патрубок; 2- робоче колесо компресора; 3 - привід робочого колеса компресора; 4 - повітровідвідний патрубок компресора; 5 - матриця охолоджувача; 6 - кришка корпусу компресора

Дослідження конструкцій систем охолодження наддувного повітря для двигуна 6ТД-2



Конструкція матриці охолоджувача наддувного повітря:
1 - оребрена трубка; 2 - водяні колектори; 3 - зовнішня обичайка;
4 – внутрішня обичайка

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ФОРСОВАНОГО ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ З ОХОЛДЖУВАЧЕМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ



Розрахункова схема термодинамічної моделі ДВЗ з 0-мірним представленням впускного та випускного трубопроводів

Система рівнянь балансу маси і енергії спільно з рівнянням стану:

$$\left\{ \begin{array}{l} dU = -pdV + dQ_x - dQ_w + \sum_{j=1}^n dl_j^*; \\ dG = \sum_{j=1}^n dG_j; \\ pV = GRT \end{array} \right.$$

Для обчислення кількості теплоти переданої в стінки використовується рівняння Ньютона-Ріхмана:

$$dQ_w = \alpha_w F_w (T - T_w) \Delta \tau$$

Метою розрахунку згоряння є визначення кількості теплоти на кожному розрахунковому кроці:

$$dQ_x = g_c H_U \frac{d_x}{d_\varphi} \Delta \varphi$$

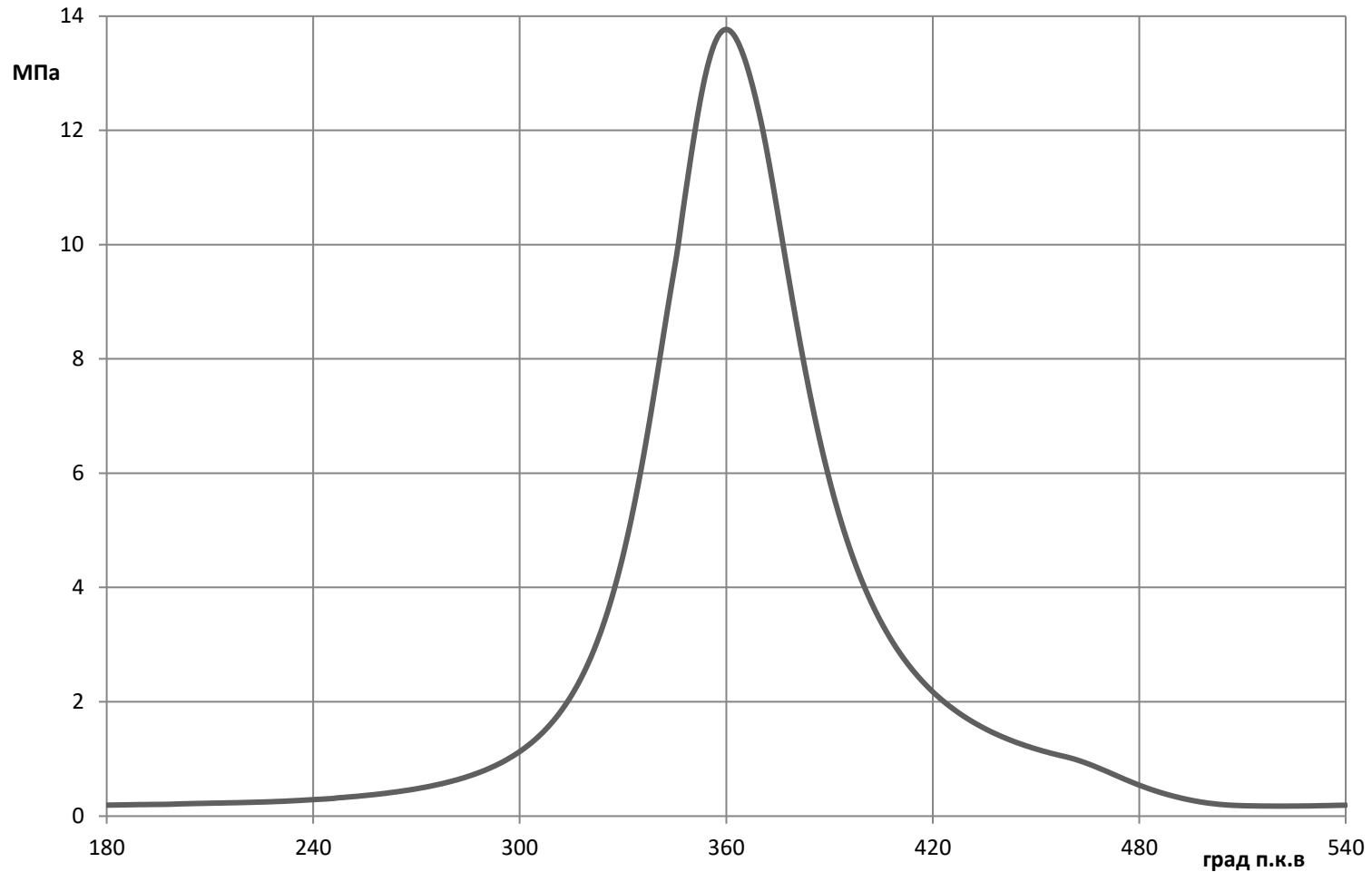


Вихідні дані для розрахунку робочого процесу і параметрів двигуна БТД-2

Діаметр циліндра, мм.....	120
Хід поршня, мм.....	120
Кількість циліндрів.....	6
Номинальна частота обертання, хв^{-1}	2600
Ступінь стиску.....	14
Відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна.....	0,286
Кут випередження випускним колінчастим валом впускного, град.....	14
Середня температура поршня, К.....	1187
Тиск рідини в системі охолодження, МПа.....	0,3
Температура рідини у системі охолодження, К.....	388

На двигуні БТД-2 застосовується двоступеневий стиск повітря, що дозволило досягти значення $\pi_k = 3,9$. Перший ступінь являє собою відцентровий компресор із $\pi_k = 1,31$, другий – відцентрове колесо з $\pi_k = 2,98$. Адіабатний ККД становить $\eta_{кАД}=0,81$. Передаточне відношення від колінчастих валів до робочого колеса нагнітача становить 11,8.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ



Індикаторна діаграма



РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

Порівняння експериментальних та розрахункових показників робочого процесу дизеля

Параметр	Експериментальні дані	Розрахункові дані
η_i	0,42	0,44
P_z , МПа	13,5	13,4
N_e , кВт	882	879
P_e , МПа	1,25	1,25
g_e , кг/кВт·год	0,217	0,223
Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	1,5	1,48

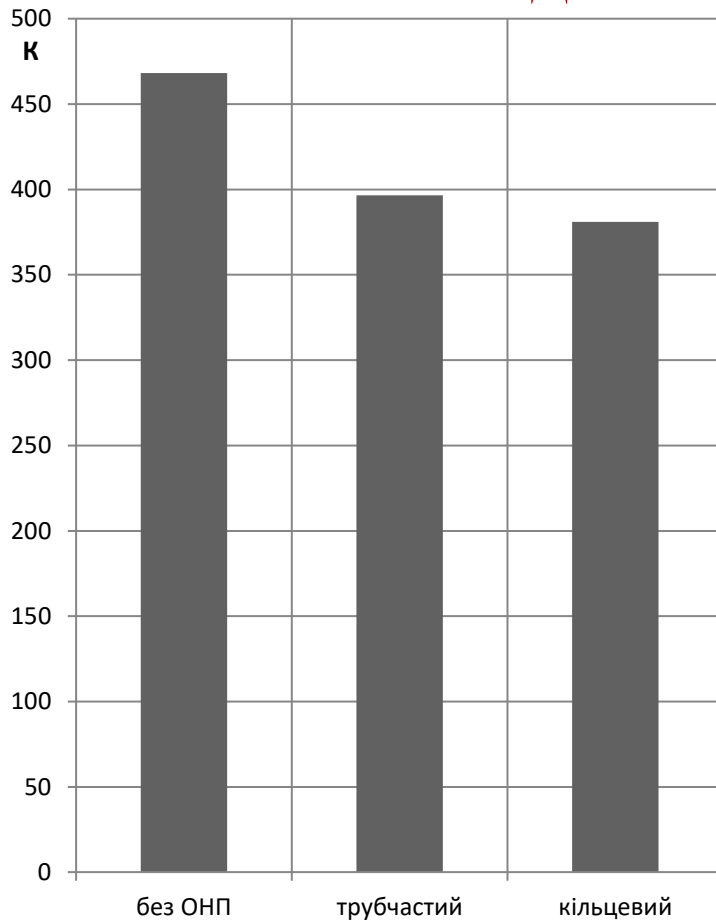


РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

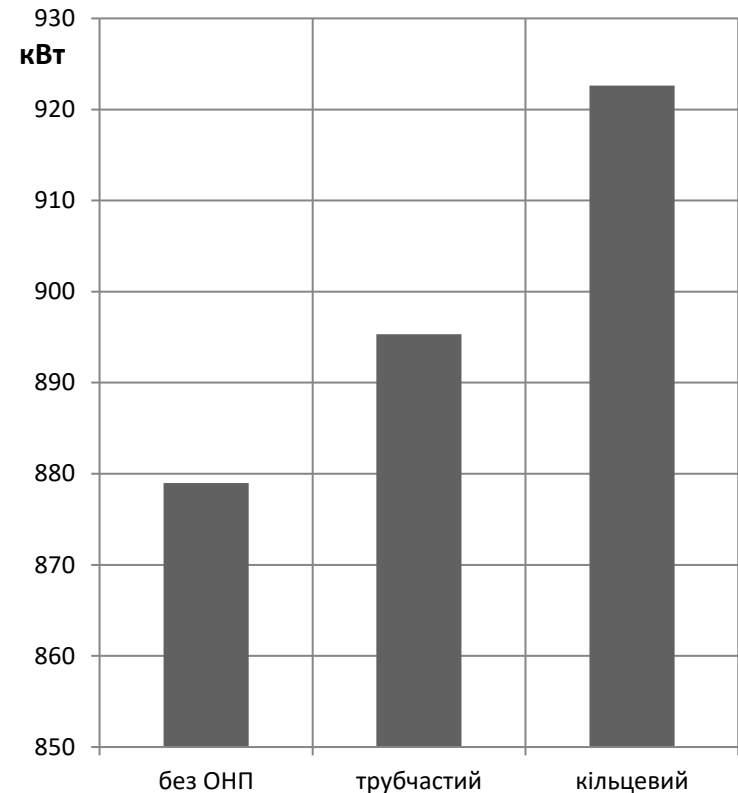
Результати розрахунку параметрів двигуна 6ТД-2 на режимі максимальної потужності в залежності від застосування охолодження наддувного повітря та його типу

Параметр	Варіант двигуна		
	без ОНП	трубчастий	кільцевий
η_i	0,44	0,4518	0,45681
P_z , МПа	13,4	13,588	13,633
N_e , кВт	879	895,31	922,64
P_e , МПа	1,25	1,2573	1,2748
g_e , г/кВт·год	223	216	211
Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	1,48	1,7382	1,871
Температура наддувного повітря за компресором, К	468,18	396,58	381,02

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

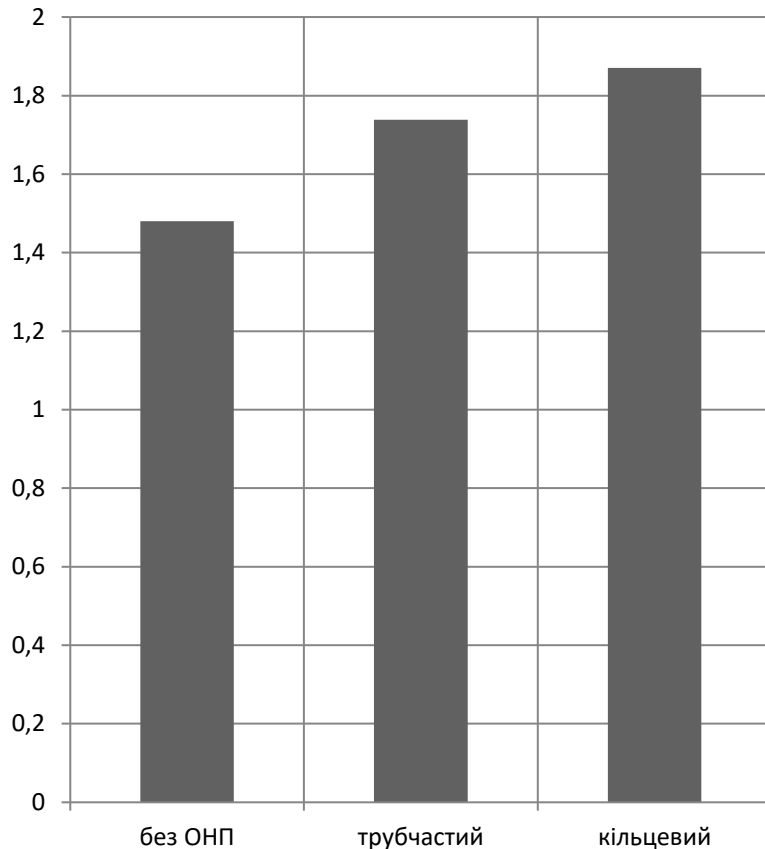


Графік зміни температури наддувального повітря в двигуні БТД-2 в залежності від застосування охолодження наддувального повітря

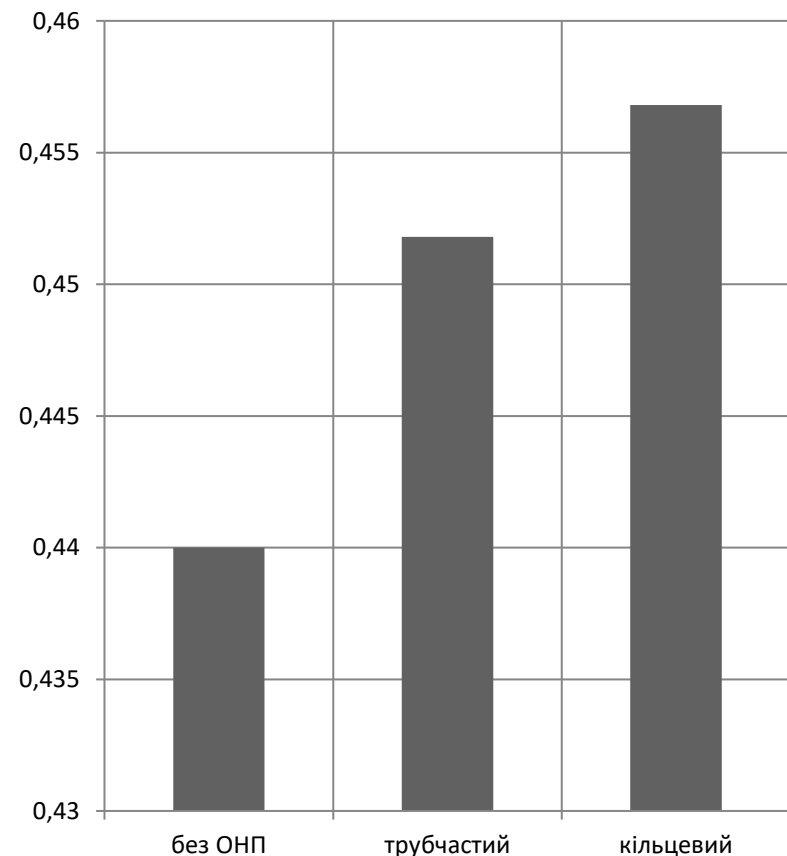


Графік зміни потужності двигуна БТД-2 в залежності від застосування охолодження наддувального повітря та його типу

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

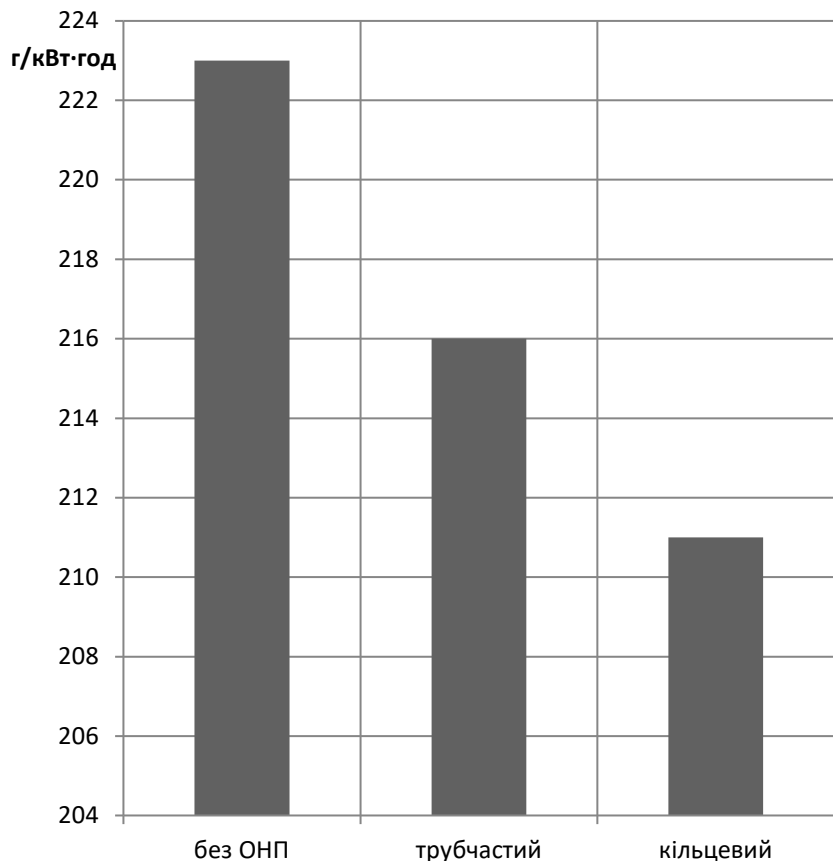


Графік зміни коефіцієнту надлишку повітря при згорянні в двигуні 6ТД-2 в залежності від застосування охолодження наддувального повітря та його типу

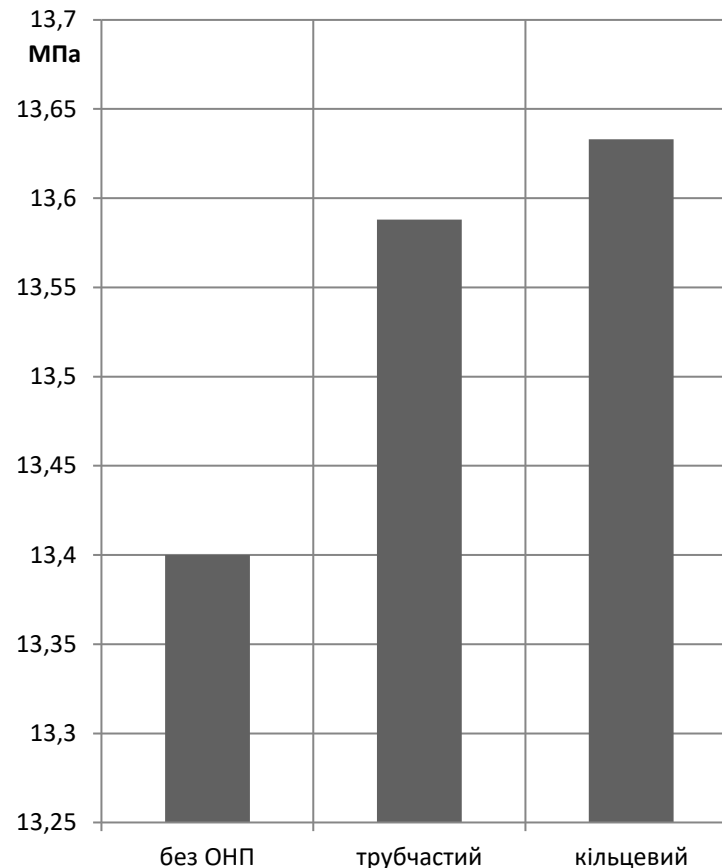


Графік зміни індикаторного ККД двигуна 6ТД-2 в залежності від застосування охолодження наддувального повітря та його типу

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ



Графік зміни питомої ефективної витрати палива при застосуванні охолодження наддувального повітря різного типу



Графік зміни максимального тиску згоряння Pz двигуна БТД-2 в залежності від застосування охолодження наддувального повітря та його типу



АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ У ВИСОКОФОРСОВАНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

Параметр в порівнянні з базовим двигуном	Варіант ОНП	
	трубчастий	кільцевий
η_i	2,5 %	3,5 %
P_z	1,3 %	1,7 %
N_e	2%	5%
g_e	3%	5%
Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	25%	32%
Температура наддувного повітря за компресором	15%	19%



Також в роботі виконано розрахунки такі як:

- **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ;**
- **ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА;**
- **ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.**



ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу даних технічної літератури, дослідження харківських вчених зроблено висновок щодо використання системи охолодження наддувного повітря, як найбільш ефективного заходу для форсування ДВЗ, що показує і доказує актуальність дослідження.
2. Виходячи з умов отриманого завдання та актуальності дослідження за базовий двигун було обрано форсований транспортний дизель 6ТД-2.
3. Виконано аналіз особливостей застосування систем охолодження наддувного повітря в двигунах різного призначення в Україні і світі. Аналіз показав, що в наш час застосування систем охолодження наддувного повітря в двигунах з наддувом різноманітного призначення є необхідною мірою для відповідності сучасним вимогам.



ВИСНОВКИ

4. Опис систем охолодження наддувного повітря дозволив провести їх класифікацію та на її основі зробити висновки що найбільш ефективною для двигуна транспортного призначення є рекуперативна система.
5. Досліджено конструкції систем охолодження наддувного повітря різного типу для двотактного швидкохідного дизеля 6ТД-2. На основі аналізу дослідження зроблено висновок, що для такого двигуна найбільш відповідає система охолодження наддувного повітря трубчастого та кільцевого типу. Визначено, що для двигуна 6ТД-2 транспортного призначення найбільш відповідає система охолодження кільцевого типу, насамперед, завдяки кращим масо-габаритним показникам.
6. Виконано розрахунки робочого процесу форсованого швидкохідного дизеля 6ТД-2 за допомогою програмного комплексу DIESEL-RK. Результати розрахунку показали добру погодженість з відомими експериментальними даними.



ВИСНОВКИ

7. Проведена розрахункова оцінка параметрів двигуна на режимі максимальної потужності зі застосуванням систем охолодження наддувного повітря трубчастого і кільцевого типу. Виконано порівняльний аналіз отриманих результатів з базовим двигуном. Аналіз результатів розрахунку параметрів форсованого транспортного дизеля 6ТД-2 на режимі максимальної потужності при оборотах колінчастого валу $n=2600 \text{ хв}^{-1}$ та незмінній цикловій подачі палива показує, що застосування для двигуна системи охолодження кільцевого типу покращує ефективну потужність двигуна на 5 %. При цьому зменшується питома витрата палива з 223 до 211 г/кВт·год, тобто на 5 %.

8. Виконано економічне обґрунтування ефективності виробництва й застосування двигуна: економічний ефект від науково-дослідної роботи складає 208280 грн., що говорить нам про термін окупності проекту, який складає 205 днів.

9. Проаналізовані питання охорони праці і навколишнього середовища, а також цивільного захисту.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!