

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Опалев Василь Анатолійович

УДК 621.436.052

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТУРБОПОРШНЕВИХ  
ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ  
ГАЗОПОВІТРЯНОГО ТРАКТУ

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теорії авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України та в Державному підприємстві «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування» Державного концерну «Укроборонпром».

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Герасименко Володимир Петрович,**  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «Харківський  
авіаційний інститут», м. Харків, професор  
кафедри теорії авіаційних двигунів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Тимошевський Борис Георгійович,**  
Національний університет кораблебудування  
ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, завідувач  
кафедри двигунів внутрішнього згоряння  
кандидат технічних наук,  
**Самойленко Дмитро Євгенович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків, старший науковий співробітник  
кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Захист відбудеться « 26 » грудня 2013 р. о 13<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.13 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, кафедра двигунів внутрішнього згоряння, ауд. 11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий: «      » листопада 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Осетров О.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Турбопоршневі дизелі являють собою комбіновані двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) з газотурбінним наддувом, що поєднують у собі переваги газотурбінних і поршневих двигунів при транспортному використанні. Зокрема високофорсовані турбопоршневі двотактні дизелі із прямоочною продувкою і протилежно рухомими поршнями (ПРП) конструкції Державного підприємства «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування» (ДП «ХКБД»), які використовують у наземних транспортних машинах (НТМ), мають порівняно високі питомі параметри: літрову і габаритну потужності – відповідно 55 кВт/л і 1000 кВт/м<sup>3</sup>, малу питому масу – 1,3 кг/кВт. Завдяки високому рівню наддуву (ступінь підвищення тиску  $\pi_k^* = 4,0...4,5$ ) середній ефективний тиск у двигуні сягає  $P_e=1,25...1,3$  МПа, а потужність агрегату турбонаддуву (АТН) дизеля з механічним зв'язком валів при цьому доходить до 35...40% від потужності двигуна. Механічний зв'язок АТН з дизелем забезпечує йому високу прийомісткість та гальмову потужність ( $N_r = 0,6N_{e\max}$ ).

Проте, незважаючи на високі наведені показники двотактних дизелів 3ТД, 5ТД і 6ТД, призначених для бронетехніки, їх питома ефективна витрата палива на режимі максимальної потужності складає  $g_e = 0,22...0,23$  кг/(кВт·год), що не відповідає кращим світовим зразкам. Тому згідно державним програмам з енергозбереження необхідні дієві заходи щодо покращення паливної економічності цих дизелів, особливо призначених для виконання експортних замовлень. Одним із таких заходів є газодинамічне удосконалення газоповітряного тракту (ГПТ) двигунів, від якого залежить якість процесів газообміну і, як наслідок, економічні показники, зокрема гідравлічні втрати енергії, що безпосередньо впливають на паливну економічність. В наукових працях М.К. Рязанцева та Ю.О. Анімова встановлено, що підвищення на 1% ККД відцентрового компресора (ВЦК) АТН підвищує паливну економічність дизеля на 0,3...0,5%, а удосконалення випускних колекторів двигуна 6ТД-1 поліпшило його економічність на 4...7%. До елементів ГПТ, які підлягають вдосконаленню, входять компресор і турбіна АТН з вхідними пристроями, впускні вікна циліндрів, випускні колектори із циліндрів, а для дизеля 5ТД – також ежекційна система вилучення пилу із повітроочисника випускними газами за турбіною.

Таким чином, удосконалення газоповітряного тракту турбопоршневих дизелів для підвищення їх паливної економічності є актуальним завданням, яке визначило напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» і в ДП «ХКБД» (м. Харків) відповідно до двох договорів між ДП «Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова» та ДП «ХКБД»: «Створення двигуна 6ТД-2 з

прогресивною зовнішньою характеристикою» і «Виготовлення двигуна ЗТД-3 для БТР-4», де здобувач брав участь як співвиконавець окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення паливної економічності двотактних турбопоршневих дизелів з протилежно рухомими поршнями шляхом удосконалення газодинамічних характеристик елементів газоповітряного тракту.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

1. Покращення характеристик відцентрових компресорів агрегатів турбонаддуву дизелів шляхом застосування багатоярусних робочих коліс, поліпшення умов на вході та розширення діапазону безпомпажної роботи.
2. Розробка турбін з підвищеним ККД для агрегатів турбонаддуву дизелів ЗТД та 6ДН14/2×14 для поліпшення їх паливної економічності.
3. Розробка методики газодинамічних випробувань для удосконалення впускних вікон циліндрів двотактних дизелів із протилежно рухомими поршнями і прямоточною продувкою.
4. Удосконалення конструкції впускних колекторів як перетворювачів імпульсів п'яти- і шестициліндрових двотактних дизелів.
5. Вибір раціональної схеми струминного ежектора вилучення пилу із повітроочисника випускними газами за турбіною.

*Об'єкт дослідження* – газодинамічні процеси в елементах газоповітряного тракту двотактного турбопоршневого дизеля, що суттєво впливають на його паливну економічність.

*Предмет дослідження* – параметри і газодинамічні характеристики елементів газоповітряного тракту, а також питомі витрати палива двотактних турбопоршневих дизелів.

**Методи дослідження.** Теоретичні аспекти дисертації базуються на фундаментальних положеннях теорії ДВЗ, газової динаміки, теорії лопаткових машин і теорії подібності. Для вирішення поставлених у роботі задач застосовані методи фізичного (статичної продувки) та математичного моделювання газодинамічних процесів в елементах ГПТ дизелів, методи експериментального визначення характеристик елементів ГПТ, методи стендових випробувань дизелів та статистичної обробки результатів експериментів, а також методи планування експерименту. Оптимізацію параметрів турбіни здійснювали симплекс-методом.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше запропоновано комплексний підхід до удосконалення газоповітряного тракту турбопоршневих дизелів з протилежно рухомими поршнями, який полягає у виборі раціональних параметрів елементів тракту на основі узгодження їх характеристик із режимами роботи двигунів, що дало можливість підвищити їх паливну економічність.

2. Удосконалено формулу для визначення коефіцієнта потужності відцентрових компресорів із радіальними лопатками, на основі якої запропоновані нові залежності для визначення раціональних геометричних розмірів триярусних робочих коліс.

3. Вперше для п'ятициліндрового двотактного дизеля запропоновано конструкцію трисекційного випускного колектору типу «труба у трубі» з імпульсним перетворенням енергії.

**Практичне значення одержаних результатів** для двигунобудування полягає у розробці комплексного підходу до удосконалення газоповітряного тракту дизелів з ПРП, на основі якого підвищена паливна економічність дизелів 3ТД-3 та 6ТД-2Е відповідно на 8% і 6%.

Доведено, що застосування триярусних робочих коліс та вибір їх раціональних параметрів, радіально-кільцевих вхідних патрубків та протипомпажних порожнин відцентрових компресорів поліпшило їх характеристики, зокрема збільшило коефіцієнт напору на 6% до  $\bar{H} = 0,755$  (ступінь підвищення тиску  $\pi_k^* = 4,0 \dots 4,5$ ), ККД на 4% до  $\eta_k^* = 0,81$  та запас стійкої роботи на 5...6%.

Розроблено осьову реактивну турбіну з двозаходним спіральним вхідним патрубком без лопаткового соплового апарата з підвищеним ККД. Її використання замість доцентрової турбіни у дизелі 3ТД поліпшило економічність двигуна на 3% та його пускові властивості.

Розроблено методику статичних випробувань, на основі якої удосконалено впускні вікна у циліндри зі змінним кутом нахилу бічних стінок, що підвищило паливну економічність дизелів 3ТД-3 та 6ТД-2Е на 3,6%.

Впроваджено імпульсне перетворення енергії у випускних колекторах дизелів 5ТД і 6ТД, що дозволило підвищити їх економічність на 1...5%.

Застосування ежекторної системи вилучення пилу із повітроочисника з периферійним підведенням активного газу за осьовою турбіною підвищило потужність і паливну економічність дизеля 5ТД на 3%.

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення дисертаційних досліджень, які виносяться на захист, розроблені здобувачем особисто, а саме: отримав залежності коефіцієнта потужності ВЦК з раціональним багатоярусним робочим колесом (РК) та перевіряв їх на адекватність; теоретично обґрунтував раціональний кут входу відносної швидкості у ВЦК; запровадив спеціально спрофільовані радіально-кільцеві вхідні патрубки та здійснив їх випробування; запропонував методику візуалізації течії в РК ВЦК з визначенням раціонального місця розміщення протипомпажних порожнин у корпусі ВЦК; обґрунтував заміну доцентрової турбіни в дизелі 3ТД на осьову без лопаткового соплового апарата (СА) та виконав їх дослідження; розробив методику статичної продувки випускних вікон двотактних дизелів, провів їх дослідження та отримав раціональну форму; розробив методику оцінки ефективності перетворювачів імпульсів випускних колекторів п'яти- і шестициліндрових двотактних дизелів та запропонував трисекційний випускний колектор п'ятициліндрового дизеля; розробив методику випробування ежекторів для вилучення пилу із по-

вітроочисника випускними газами та запропонував конструкцію ежектора з периферійним підведенням активного газу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і одержали позитивну оцінку на: X Міжнародній науково-практичній конференції «Фундаментальні і прикладні проблеми удосконалювання поршневих двигунів» (м. Володимир, Росія, 2005 р.); XIII-XVIII Міжнародних конгресах двигунобудівників (м. Рибаче, 2008-2013 рр.); Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (м. Харків, 2011, 2012 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 17 наукових публікаціях, з них 13 статей в фахових наукових виданнях України, 1 патент України на корисну модель та 3 тези доповіді на науково-технічних конференціях.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок; з них 48 рисунків за текстом; 3 рисунки на 3 окремих сторінках; 5 таблиць за текстом; список використаних джерел з 137 найменувань на 14 сторінках; 2 додатки на 9 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані її мета і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів.

**У першому розділі** виконано аналіз опублікованих робіт, присвячених дослідженню основних процесів в елементах ГПТ дизелів: компресорів і турбін АТН, впускних вікон і каналів циліндрів, впускних колекторів і струминних ежекторів системи пилевилучення випускними газами із повітроочисника. На основі огляду наукових праць А.С. Орліна, М.К. Рязанцева, С.О. Альохіна, Ю.О. Анімова, В.К. Щукіна, Р.О. Д'якова та інш. встановлено:

- газотурбінний наддув дизелів значно підвищує паливну економічність і потужність та поліпшує процеси газообміну;

- основними напрямками удосконалення АТН дизелів НТМ є застосування багатоярусних робочих коліс ВЦК, поліпшення умов на їхньому вході, розширення діапазону безпомпажної роботи, а також багатопараметрична оптимізація турбін;

- впускні вікна циліндрів – важливі елементи, від форми яких залежать коефіцієнти витрати і наповнення, продувки, якість газообміну, повнота згоряння палива та економічність дизеля. Форму таких вікон при створенні нових двигунів визначають шляхом математичного і фізичного моделювання з дослідною продувкою;

- удосконалення випускних колекторів за рахунок використання їх як імпульсних перетворювачів енергії дозволяє суттєво поліпшити параметри двигунів НТМ;
- залучення струминного апарата для вилучення пилу із повітроочисника шляхом його ежектування випускними газами за турбіною є доцільним для двигунів НТМ, оскільки дозволяє поліпшити їх паливну економічність.

На підставі проведеного аналізу підтверджено перспективність роботи з удосконалення елементів ГПТ дизелів для покращення їх паливної економічності.

**Другий розділ** присвячений опису газодинамічних параметрів, показників та елементів газоповітряного тракту дизелів. Принципова схема ГПТ турбопоршневого двотактного дизеля НТМ із ПРП показана на рис. 1.

Механічно зв'язані агрегати турбонадува та їх основні вузли – одноступінчасті ВЦК, осьові або доцентрові турбіни досліджувалися як в стендових умовах, так і у складі дизелів. Для дизеля 6ТД-2 розроблено двоступінчастий осьовідцентровий компресор (ОВЦК), а також одноступінчастий ВЦК з триярусним робочим колесом для дизеля 6ТД-2Е.

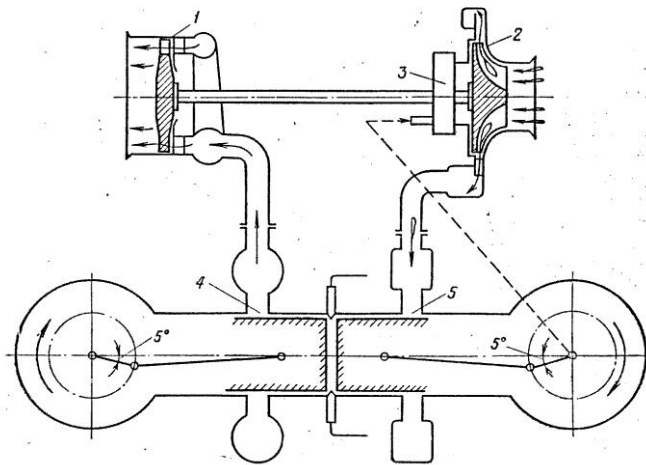


Рис. 1. Схема газоповітряного тракту дизеля з ПРП:

- 1-турбіна; 2-компресор; 3-редуктор;
- 4- вікна у випускний колектор; 5-впускні вікна

Досліджувані компресори залежно від типу дизеля відрізнялися вхідними патрубками, типом РК (напіввідкриті та з покривним диском), числом ярусів РК (рис. 2), геометричними параметрами РК та дифузорів і як наслідок – аеродинамічними характеристиками.

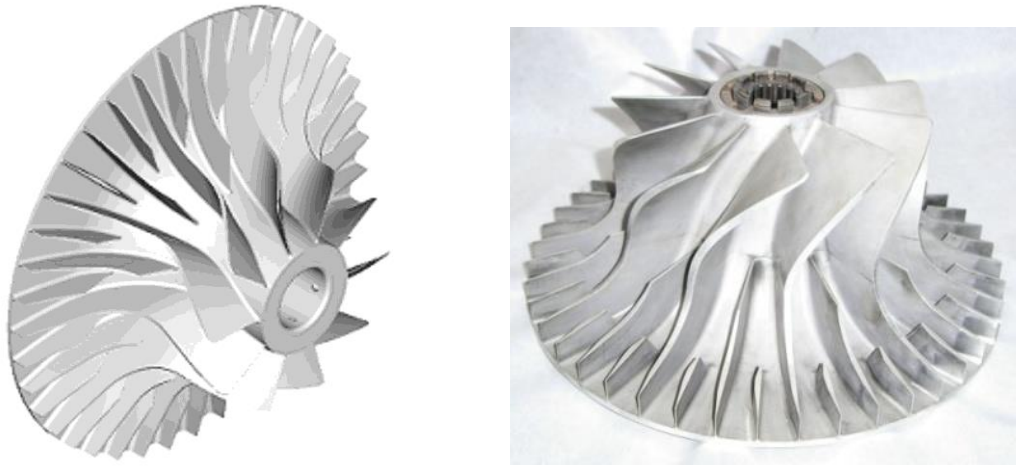
*a**б*

Рис. 2. Триярусні РК ВЦК дизелів:

*a* – 3ТД-4 і 3ТД-3; *б* – 6ТД-2Е

Осьові і доцентрові радіально-осьові турбіни (відповідно ОТ і РОТ) відрізнялися вхідними патрубками з лопатковим чи безлопатковим сопловим апаратом (рис. 3), геометричними та кінематичними параметрами і матеріалом роторів, а також газодинамічними характеристиками.

*a**б*

Рис. 3. Вхідні патрубки осьових турбін дизелів:

*a* – 6ТД-2Е з лопатковим СА; *б* – 3ТД-3 з безлопатковим СА

Основні параметри дизелів та їх компресорів і турбін АТН, що досліджувалися наведені у таблиці 1.



## Основні параметри дизелів та їх АТН

Дизель	Потужність, $N_{e\ max}$ , кВт	Параметри компресорів					Параметри турбін			
		Ступінь підвищення тиску, $\pi_{\kappa}^*$	Витрата повітря, $G_{в\ пр}$ , кг/с	ККД, $\eta_{\kappa}^*$	Коефіцієнт робочого діапозону, $\Delta\bar{G}_{\kappa}$	Яруси РК	Тип	Коловий ККД на режимі		
								$0,8 N_{e\ max}$	$N_{e\ max}$	
								$\eta_{и\ max}$	$\eta_{и}$	
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	ОВЦК	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										
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	

Впускні вікна на гільзах циліндрів мали різну форму та кількість (рис. 4). У дизеля 5ТДФ впускні вікна мали три ряди круглих отворів діаметром 6 мм: верхній ряд мав 40 отворів з тангенціальним нахилом 30°; середній ряд – 48 отворів з нахилом 15°; нижній ряд – 48 отворів з нахилом 0° (цей ряд розташований з боку картера). Дизелі 6ТД-1, 6ТД-2 та 6ТД-2Е мали по одному ряду з 16 прямокутними впускними вікнами зі змінним тангенціальним нахилом бічних стінок 0...35°, 0...40° та 0...42°, відповідно.



Рис. 4. Впускні вікна на гільзах циліндрів дизелів:

*a* – 5ТДФ; *б* – 6ТД-1; *в* – 6ТД-2; *г* – 6ТД-2Е

Як імпульсні перетворювачі енергії досліджувалися випускні колектори дизелів 5ТД типів загальний і трисекційний (рис. 5) і в дизелі 6ТД типу «труба у трубі» штатний перетворювач імпульсів (рис. 6) та дослідний перетворювач імпульсів у вигляді подовженої змішувальної камери.

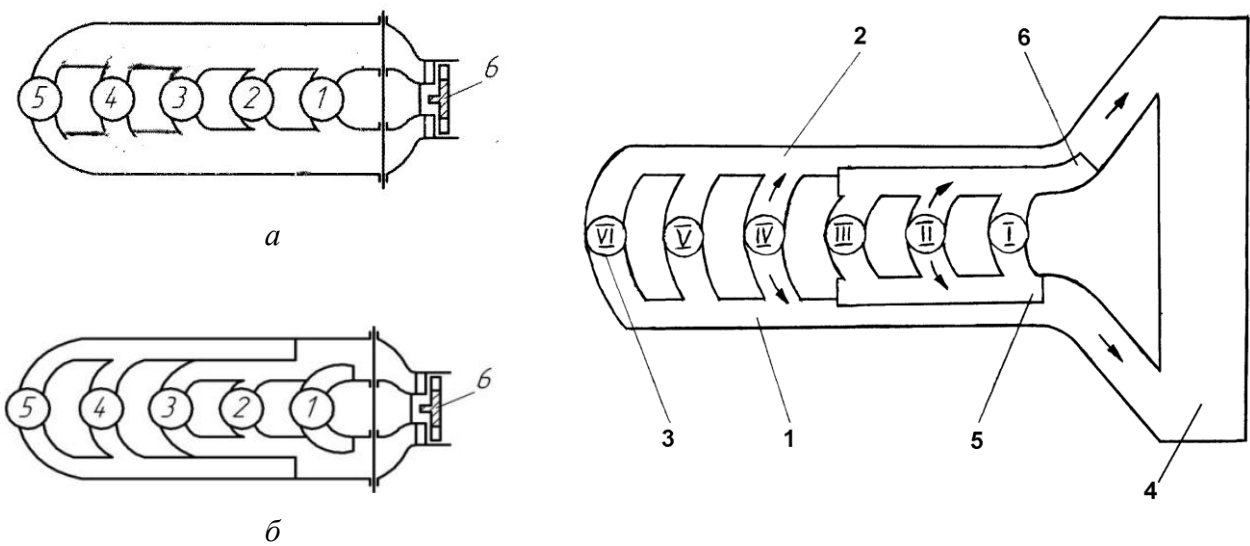


Рис. 5. Випускні колектори дизеля 5ТД:  
*a* – загальний; *б* – трисекційний;  
1-5–циліндри; 6–турбіна

Рис. 6. Колектори дизеля 6ТД:  
1 – нижній; 2 – верхній; 3 – циліндри;  
4 – турбіна; 5 – штатний перетворювач імпульсів;  
6 – дослідний перетворювач імпульсів

Струминні ежектори, що використовувалися для вилучення пилу з повітроочисників, мали дві схеми: з центральним і з периферійним підведенням активного газу за турбіною.

У третьому розділі надані характеристики експериментальних стендів і методик дослідження основних елементів ГПТ.

Незважаючи на наявність сучасних розрахункових програмних комплексів, як наприклад, ANSYS, CFX, Flow Vision, що дозволяють розв'язувати системи диференціальних рівнянь руху газу у формі Нав'є-Стокса, які надзвичай застосовуються для розв'язання прямої аеродинамічної задачі, у дисертації обрані у якості основних експериментальні методи досліджень з використанням статистичного матеріалу ДП «ХКБД» для дизелів подібних і аналогічних конструкцій через необхідність розв'язання аеродинамічних задач у зворотній постановці, а також для забезпечення позитивного кінцевого результату шляхом обов'язкових доводочних випробувань у системі двигуна.

Дослідження ВЦК, турбін та ежекторів здійснено на випробувальному стенді АТН (рис. 7).

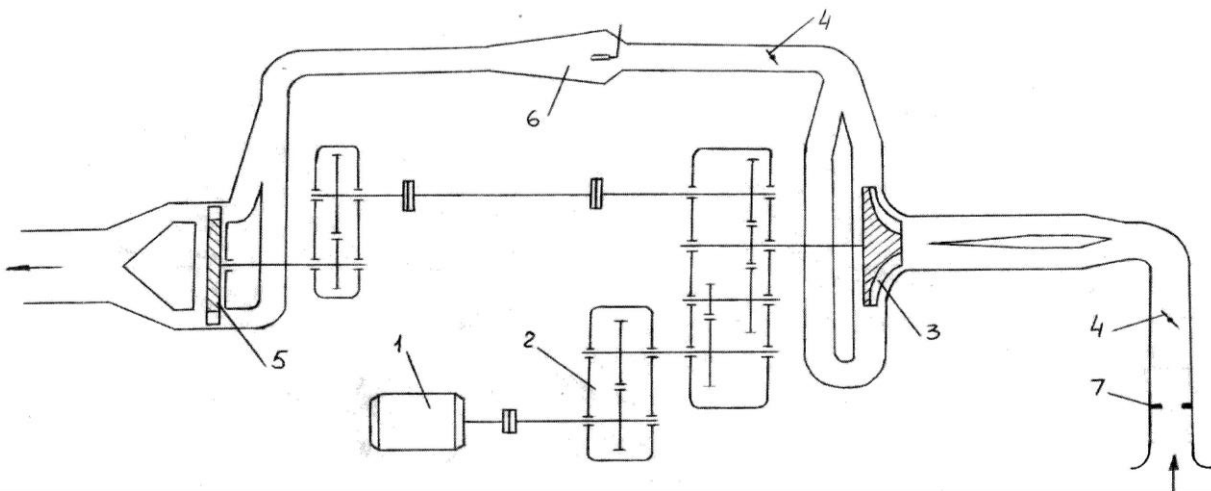


Рис. 7. Схема стенда випробувань агрегатів турбонаддуву:

1 – електродвигун; 2 – стендовий редуктор;

3 – компресор; 4 – дросельні заслінки;

5 – турбіна; 6 – камера згоряння; 7 – вимірювальне сопло

ВЦК досліджували у діапазонах чисел Маха: за відносною швидкістю на периферії входу у РК  $M_{w1н} = 0,65...0,9$ ; за коловою та абсолютною швидкостями на периферії виходу із РК  $M_{u2} = 0,9...1,28$  та  $M_{c2} = 0,8...1,03$ ; за абсолютною швидкістю на вході у лопатковий дифузор  $M_{c3} = 0,7...0,9$  і за чисел Рейнольдса  $Re = (2,5...3,0) \times 10^5$ . В результаті визначали характеристики компресорів у вигляді залежності ступеня підвищення тиску та ізоентропного ККД ВЦК від приведених витрати повітря та частоти обертання РК:  $\pi_k^* = f(G_{в пр}; n_{пр})$ ;  $\eta_k^* = f(G_{в пр}; n_{пр})$ , а також коефіцієнти потужності  $\mu$  при двох частотах обертання РК, що відповідали частотам обертання колінчастого вала дизеля на режимах максимального крутного моменту і максимальної потужності.

На основі методів математичної статистики виконане оцінювання точності експериментальних досліджень та обробки результатів випробування ВЦК. Точність визначення ступеня підвищення тиску у ВЦК склала 0,63%, ККД – 1,1%, приведеної витрати повітря – 0,28%, приведеної частоти обертання – 0,32%.

При випробуванні ВЦК дизеля 6ДН14/2×14, для одержання характеристики ВЦК у вигляді поліноміальної моделі другого порядку, застосований ортогональний центральний композиційний план.

У випадку обмежених значень коефіцієнта робочого діапазону ВЦК ( $\Delta \bar{G}_k$ ) з незадовільним запасом по помпажу ( $\Delta K_n$ ) у ВЦК проведена візуалізація течії для виявлення відривних зон шляхом напилювання (фарбування) у місцях її відриву дрібнодисперсним барвником – сажею. Газ, що містив частки сажі у кількості 4...5% від загальної витрати повітря, відбирали за турбіною і подавали у вхідний патрубок компресора. Після години безперервної роботи на передпомпажному режимі, компресор розбирали й обстежували відкладення сажі на обтічнику, відзначаючи місце відриву приграничного шару течії.

Дослідження турбін здійснене на основі розробленої здобувачем методики «холодної» статичної продувки. Вхідні патрубки продували повітрям на випробувальному стенді АТН (рис. 7). У модельних умовах визначали залежності величин коефіцієнта швидкості вхідного патрубку  $\varphi$ , як основного критерію його ефективності при продувці, а також приведеної швидкості на виході із вхідного патрубку  $\lambda_1$ , кута виходу потоку  $\alpha_1$  та дійсної площі прохідного перетину  $F_c$  від параметра витрати повітря ( $G_m \sqrt{T_T^*}/P_T^*$ ). У випадку випробувань в натурних умовах на двигуні вимірювали натурну витрату газу  $G_n$ , повні температуру  $T_n^*$  і тиск  $P_n^*$  на вході в турбіну, а також статичний тиск газу за турбіною  $P_r$ . Параметри витрати повітря в модельних умовах і витрати газу у натурних умовах забезпечували однаковими –  $G_m \sqrt{T_T^*}/P_T^* = G_n \sqrt{T_n^*}/P_n^*$ . Обчислювали коловий ККД турбіни за залежністю, отриманою в ДП «ХКБД», від  $\varphi$  і  $\alpha_1$ , кінематичного параметра навантаження, як відношення колової швидкості РК до теоретичної швидкості газу  $\bar{U}=u/c_s$ , ступеня реактивності  $\rho$ , коефіцієнта швидкості РК  $\psi$  і кута виходу газу із РК  $\beta_2$

$$\eta_u = 2\bar{U} \cdot [\varphi \sqrt{1-\rho} \cos \alpha_1 + \mu(\psi \cos \beta_2 \times \\ \times \sqrt{\rho + \varphi^2(1-\rho) - 2\bar{U}\varphi \sqrt{1-\rho} \cos \alpha_1 + \mu^2 \bar{U}^2 - \mu \bar{U}})], \quad (1)$$

де для осьової турбіни коефіцієнт радіальності  $\mu=D_2/D_1=1,0$ .

За результатами розрахунків за формулою (1) визначали ефективний ККД турбіни. Оптимізацію параметрів турбіни здійснювали плануванням експерименту при аналізі поверхні відклику (1) симплекс-методом. Так оптимізація осьової турбіни ( $\mu=1,0$ ) дизеля 3ТД-4 одночасним варіюванням усіх змінних дозволила визначити оптимальні параметри:  $\bar{U}=0,562$ ;  $\rho =0,29$ ;  $\alpha_1 =17,3^\circ$ ;

$\beta_2 = 28,9^\circ$ ;  $\varphi = 0,96$ ;  $\psi = 0,962$ . При цьому коловий ККД турбіни збільшився з 0,75 до 0,83. Подальші доводочні випробування дозволили отримати  $\eta_{i \max} = 0,85$  (таблиця 1).

Впускні вікна циліндрів досліджували на спеціальному стенді за розробленою здобувачем методикою: активну фазу процесу від початку впуску ( $\alpha_{1к.в.}$ ) до кінця впуску ( $\alpha_{2к.в.}$ ) ділили на  $N$  інтервалів за кутом повороту колінчастого вала через кожні  $5^\circ$  і для кожного значення кута забезпечували відповідне положення впускного поршня, повний тиск у вихідному ресивері  $P_{sm}^*$  з дотриманням рівності перепадів тисків  $P_{цн}/P_{sh}^* = P_{цм}/P_{sm}^*$ , де  $P_{цн}$ ;  $P_{цм}$  – статичний тиск в циліндрі в натурних та модельних умовах;  $P_{sh}^*$  – повний тиск у ресивері дизеля, та визначали витрату повітря і коефіцієнт витрати, швидкість повітря і напрям течії в циліндрі у поперечному форсуночному його поясі на чотирьох радіусах.

Отримані значення витрати повітря і модельні швидкості приводяться до натурних величин і визначаються тангенціальна й осьова швидкості. Середньоінтегральні значення тангенціальної ( $V_{\tau\Sigma}$ ) та осьової ( $V_{a\Sigma}$ ) швидкостей обчислюються за формулами:

$$V_{\tau\Sigma} = \frac{\int_{\alpha_{1к.в.}}^{\alpha_{2к.в.}} V_{\tau n}(\alpha_{к.в.}) d\alpha_{к.в.}}{\alpha_{2к.в.} - \alpha_{1к.в.}}; \quad V_{a\Sigma} = \frac{\int_{\alpha_{1к.в.}}^{\alpha_{2к.в.}} V_{a n}(\alpha_{к.в.}) d\alpha_{к.в.}}{\alpha_{2к.в.} - \alpha_{1к.в.}}. \quad (2)$$

Якість впускних вікон оцінюється за допомогою епюр розподілу середньоінтегральної осьової і тангенціальної швидкостей за радіусом циліндра, з урахуванням коефіцієнта витрати та самої витрати повітря.

При дослідженні ежекторів визначаються  $G_B$ ,  $G_T$ ,  $T_M^*$ ,  $T_T^*$  – витрати і повні температури активного повітря і газу в стендових умовах і на двигуні. Гідродинамічну подібність при зіставленні результатів випробування ежекторів з натурними геометричними розмірами за однакових повних тисків активного газу в стендових модельних умовах (з повітрям) і на двигуні в натурних умовах (з газом) забезпечували з точністю до 1,5% шляхом дотримання рівності  $G_B = G_T \sqrt{T_T^*/T_M^*}$ . За результатами стендових випробувань розраховуються параметри ежекторів: коефіцієнт ежекції  $m$ , ступінь підвищення тиску пасивного повітря  $\pi_p$ , перепад тиску між активним і пасивним потоками  $\pi_r$  та ізоентропний ККД  $\eta_\varepsilon$ , який при однакових початкових температурах активного і пасивного потоків визначається за формулою

$$\eta_\varepsilon = \left( g_{отс} \sqrt{\frac{T_M^*}{T_T^*}} + 1 \right) \frac{1 - 1/\pi_p^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1 - 1/\pi_r^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}, \quad (3)$$

де  $\kappa = 1,4$  – показник ізоентропи повітря;  $g_{отс} = m = m_{экв} \sqrt{T_T^*/T_M^*}$  – коефіцієнт відсмоктування, що характеризує ефективність (роботу) ежектора системи пилевилучення в повітроочиснику, якому еквівалентні коефіцієнти ежекції  $m_{экв}$ , що одержані в стендових випробуваннях.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень елементів ГПТ. Аналіз вхідних патрубків ВЦК із бічним підведенням повітря підтвердив перевагу застосування радіально-кільцевих патрубків з дифузornoю вхідною ділянкою.

Для оптимізації кута  $\beta_{1H}$  у відносному русі з осьовим входом у обертовий напрямний апарат робочого колеса використано рівняння витрати повітря через відцентровий компресор у вигляді

$$\bar{G} = \frac{M_{w1H}^3 \cdot \sin\beta_{1H} \cdot \cos^2\beta_{1H}}{\left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M_{w1H}^2 \cdot \sin^2\beta_{1H}\right)^{\frac{1}{\kappa - 1} + \frac{3}{2}}}, \quad (4)$$

де  $M_{w1H}$  – число Маха за відсноною швидкістю на периферії входу у обертовий напрямний апарат робочого колеса;  $\beta_{1H}$  – кут напрямку відсноної швидкості на вході на зовнішньому діаметрі.

Дослідження залежності (4) на екстремум функції дозволило визначити оптимальний кут  $\beta_{1H} = 30,3^\circ$  для чисел Маха  $M_{w1H} = 0,88 \dots 0,9$  з мінімальним коефіцієнтом втрат  $\zeta$  для режиму максимальної потужності; результат враховано при розробці ВЦК.

Дослідження характеристик ВЦК із триярусними РК підтвердило істотне підвищення їх коефіцієнта потужності, напору й ККД порівняно з одно- та двоюрисними РК. Для визначення коефіцієнта потужності  $\mu$  напіввідкритих багатоярусних коліс із радіальними лопатками ( $\beta_{2л} = 90^\circ$ ) удосконалено формулу П.К.Казанджана шляхом уведення густоти  $b/t_2$  та коректування чисельного коефіцієнта

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{1}{5 \frac{b}{t_2} \left(1 - \frac{\pi b}{Z t_2}\right)}}, \quad (5)$$

де  $b$  – повна довжина лопатки;  $t_2 = \pi D_2 / Z$  – крок на зовнішньому діаметрі РК.

Графічне зображення залежності коефіцієнта потужності  $\mu$  від густоти у напівлогарифмічних координатах для трьох чисел повних лопаток РК:  $Z = 20$ ,  $Z = 32$  і  $Z = 44$  показане на рис. 8. Зміна нахилу ліній на рисунку відповідає раціональній густоті решіток. Отже, в діапазоні чисел лопаток  $20 \leq Z \leq 44$  отримано залежність раціональної густоти РК від числа лопаток:  $(b/t_2)_{\text{опт}} = 2 + Z/90$ , а для триярусного РК визначено, крім того, раціональні відносні діаметри входу у другий та третій яруси:  $\bar{D}_{1(2)} = 0,93 - 6\pi/Z$ ;  $\bar{D}_{1\text{опт}} = 0,93 - 4\pi/Z$ .

За результатами цих досліджень спроектовані удосконалені триярусні РК ВЦК дизелів ЗТД-3, ЗТД-4 і 6ТД-2Е (таблиця 1). Вищезазначені заходи дозволили підвищити коефіцієнт напору дозвукового ВЦК до  $\bar{H} = 0,755$  (ступінь підвищення тиску  $\pi_k^* = 4 \dots 4,5$ ) з ізоентропним ККД  $\eta_k^* = 0,81$ .

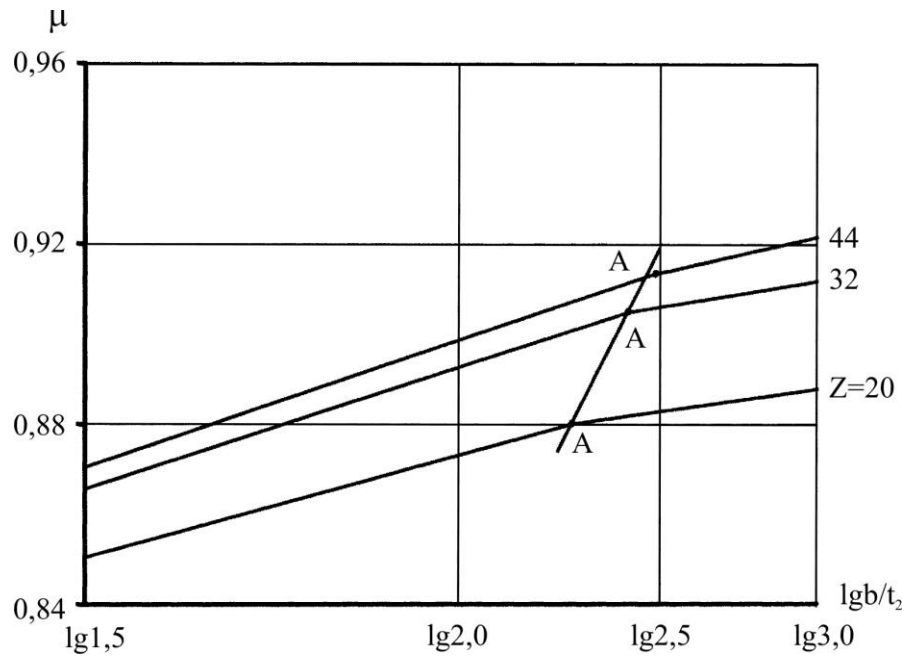


Рис. 8. Залежність  $\mu=f(b/t_2)$ ;  
 А - позначки зміни нахилу ліній

Для розширення діапазону стійкої роботи ВЦК дизеля 6ДН14/2×14 за допомогою розробленого способу візуалізації течії визначено оптимальне розташування протипомпажних отворів, що з'єднали зону відриву течії з замкнутим об'ємом (рис. 9). Діапазон безпомпажної роботи ВЦК збільшено на 5...6% без погіршення інших параметрів (таблиця 1).

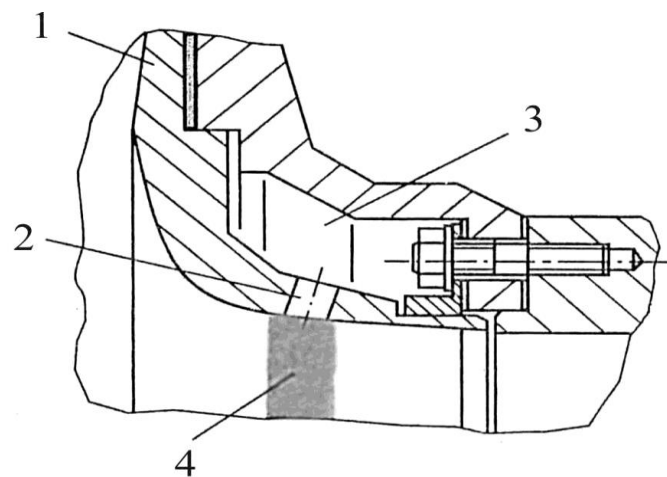


Рис. 9. Протипомпажний захід у ВЦК:  
 1—обтічник; 2—отвори;  
 3—замкнутий об'єм; 4—відкладення сажі

За результатами досліджень вхідних патрубків осьових турбін АТН розроблено двозаходні спіральні вхідні патрубки без лопаткового соплового апарата дизелів 6ДН14/2×14 і 3ТД, що значно зменшило габарити АТН і поліпшило характеристики турбін. На підставі залежності для колового ККД турбіни (1) здійснювався вибір раціональних розрахункових параметрів. Дослідження осьової турбіни з безлопатковим СА дизеля 6ДН14/2×14 за режимним параметром  $\bar{U} = u/c_s$  показали, що застосування високотемпературного ротора зі сплаву ЛЖ1ВИ, замість середньотемпературного зі сплаву 7М, дозволило збільшити частоту обертання ротора турбіни й підвищити коловий ККД на 6% (таблиця 1). Зіставлення характеристик осьової і доцентрової турбін (рис. 10) дизеля 3ТД, механічно зв'язаних з колінчастим валом, підтвердили доцільність заміни доцентрової турбіни осьовою, що підвищило ККД турбіни на 23% за рахунок збільшення коефіцієнта швидкості РК  $\psi$  (таблиця 1). На рис. 10 зіставлені коефіцієнти швидкості  $\psi$  робочих коліс осьової і доцентрової радіально-осьової турбін дизеля 3ТД-4 за кутами атаки  $i$ .

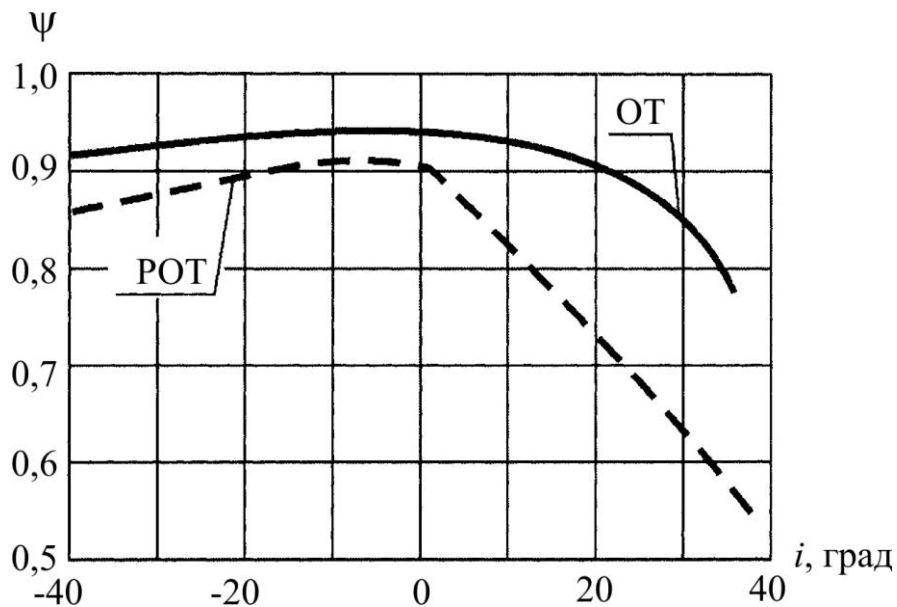


Рис. 10. Залежності  $\psi = f(i)$  осьової (ОТ) і радіально-осьової турбін (РОТ)

За експериментальними даними статичної продувки впускних вікон циліндрів двотактних дизелів з ПРП запропонована прямокутна форма зі змінним тангенціальним нахилом бічних стінок  $0 \dots 42^\circ$ . Така форма впускних вікон забезпечила достатню рівномірність осьової швидкості по радіусу циліндра у його перерізі форсунок з ефективним закрученням повітряного заряду (вихрове відношення  $H = 7,7$ ), що поліпшило сумішоутворення і газообмін у циліндрах дизеля 6ТД-2Е та підвищило його економічність на 3,6% порівняно з 6ТД-2 ( $H = 7,1$ ). Вихрове відношення для впускних вікон дизелів 5ТДФ та 6ТД-1 дорівнює  $H = 7,0$  та  $H = 6,5$ , відповідно, що менше аніж у 6ТД-2Е.



Подальше удосконалення впускних вікон циліндрів дизеля 6ТД-2Е здійснено за рахунок додаткового застосування скосів на бокових стінках впускних вікон, які збільшують закручення повітряного заряду та поліпшують рівномірність осьової швидкості по радіусу циліндра порівняно зі штатними (рис. 11).

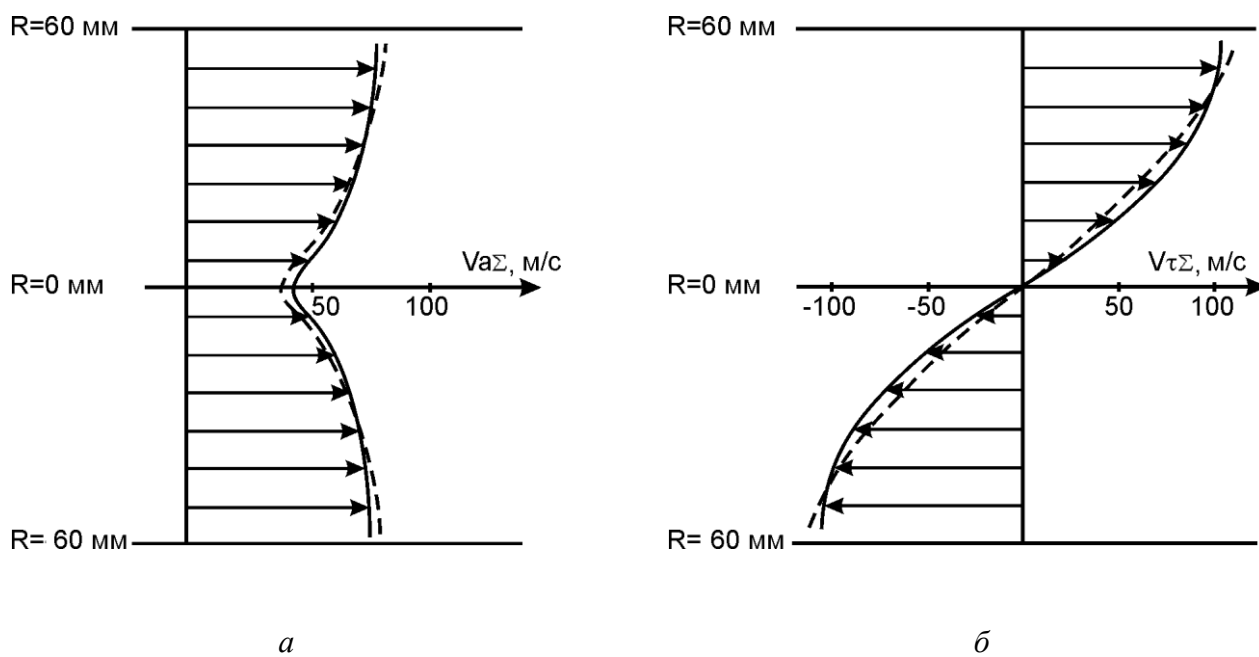


Рис. 11. Середньоінтегральні швидкості у перерізу форсуночного поясу циліндра 6ТД-2Е:

$a$  – осьова;  $b$  – тангенціальна;

————— – зі скосами (дослідний циліндр);

----- – без скосів (штатний циліндр)

Дослідження впускних колекторів «труба у трубі» дизелів 6ТД показали, що заміна штатного колектора на колектор-перетворювач імпульсів з подовженою змішувальною камерою підвищує потужність і паливну економічність двигунів, зокрема дизелів 6ТД-1 і 6ТД-2Е. Також експериментально підтверджена достатня точність запропонованих співвідношень, де перетворювач імпульсів розглядався як східчастий дифузор і параметри потоку визначалися наприкінці змішувальної камери.

Для впускного колектора дизеля 5ТД запропонована конструкція трисекційного колектора зі зменшеними довжинами коливальних контурів, що усувають резонанси і поліпшують продувку циліндрів. Застосування трисекційного впускного колектора у дизелі 5ТД дозволило підвищити його потужність і паливну економічність на 4...5% на режимах максимального крутного моменту і максимальної потужності.

Експериментальні дослідження струминних ежекторів у системі вилучення пилу із повітроочисника показали, що ежектор з периферійним підведенням активного газу має ККД приблизно в два рази вищий, аніж ежектор з центральним підведенням активного газу.

У п'ятому розділі наведені дані про практичне використання результатів дослідження у дизелях. Застосування триярусного РК у ВЦК дизеля 6ТД-2Е дозволило замінити більш складний двоступінчастий компресор дизеля 6ТД-2 на одноступінчастий, що знизило собівартість виготовлення ВЦК на 30% та підвищило паливну економічність дизеля на 1,5%. Упровадження триярусного РК замість двоярусного у ВЦК дизеля 3ТД-3 істотно поліпшило його показники: потужність двигуна збільшилася на 3% (таблиця 1), температура випускних газів знизилася на 70К, а також у 1,5 рази збільшений робочий діапазон компресора, що поліпшило економічність двигуна на часткових навантаженнях.

Впровадження нових конструктивних рішень поліпшило паливну економічність дизелів: 6ТД-2Е – на 6%, 5ТД – на 8% і 3ТД-3 – на 8% (таблиця 2).

Таблиця 2

#### Підвищення економічності дизелів при застосуванні заходів

Використаний захід	Питома ефективна витрата палива $g_e$ на режимі $N_{e max}$ , кг/(кВт·год) дизелів		
	6ТД-2Е	5ТД	3ТД-3
Початковий варіант дизеля	0,223	0,232	0,234
Осьова турбіна з безлопатковим СА	–	–	0,226
Впускні вікна з нахилом бічних стінок 0...42°	0,215	–	0,219
Триярусне РК ВЦК	0,211	–	0,216
Ежектор вилучення пилу із повітроочисника з периферійним підведенням газу	–	0,225	–
Випускний колектор з перетворювачами імпульсів	0,209	0,214	–
Підсумковий ефект у економії палива, %			
	6,0	8,0	8,0

#### ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-практичне завдання підвищення паливної економічності турбопоршневих двотактних дизелів з ПРП шляхом удосконалення їх газоповітряного тракту. За підсумками виконаних досліджень зроблені висновки:

1. Запропоновано комплексний підхід до удосконалення газоповітряного тракту турбопоршневих дизелів з ПРП, який полягає у виборі раціональних параметрів елементів тракту на основі

узгодження їх характеристик із режимами роботи двигунів, що дало можливість підвищити їх паливну економічність на 6...8%.

2. Отримали розвиток ВЦК АТН завдяки застосуванню триярусних РК з раціональними геометричними розмірами ярусів, раціональним кутом входу у відносному русі та забезпеченням рівномірності течії при бічному підведенні повітря спеціально спрофільованими вхідними радіально-кільцевими патрубками, що підвищило коефіцієнти потужності до значень  $\mu = 0,91$ , напору  $\bar{H} = 0,755$  і ККД ВЦК  $\eta_k^* = 0,81$  зі ступенем підвищення тиску  $\pi_k^* = 4,5$ . Для визначення коефіцієнта потужності триярусних РК ВЦК та їх раціональних розмірів і кута входу у відносному русі запропоновані розрахункові залежності.

3. На основі багатопараметричної оптимізації визначені геометричні та кінематичні параметри осьових турбін АТН дизелів 3ТД та 6ДН14/2×14 з механічним зв'язком валів. Замінено доцентрову турбіну на осьову з двозаходним спіральним вхідним патрубком без лопаткового СА у двигуні 3ТД, що підвищило економічність та умови запуску двигуна.

4. Завдяки застосуванню запропонованої методики статичних випробувань обґрунтовано конструкцію впускних вікон у циліндри зі змінним кутом нахилу бічних стінок, що підвищило економічність дизелів на 3,6% за рахунок покращення продування циліндрів і сумішоутворення.

5. На основі аналізу процесів у впускних колекторах типу «труба у трубі» з імпульсним перетворенням енергії застосовано трисекційний колектор у дизелі 5ТД, а у дизелях 6ТД – колектор з подовженою змішувальною камерою, що поліпшило паливну економічність дизелів.

6. Розроблено раціональну схему струминного ежектора з периферійним підведенням активного струменя для вилучення пилу із повітроочисника впускними газами за турбіною у дизелі 5ТД.

7. Запропоновані заходи поліпшили паливну економічність дизелів: 6ТД-2Е – на 6%, 5ТД – на 8% і 3ТД-3 – на 8%, що підтверджено їх випробуваннями на режимі максимальної потужності.

8. Результати досліджень впровадженні в ДП «ХКБД».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Опалев В.А. Определение закрутки воздуха в цилиндре двигателя с помощью насадка для измерения направления потока /В.А. Опалев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2001. –№2. – С. 59-62.

2. Опалев В.А. Использование метода визуализации для исследования течения воздуха в рабочем колесе центробежного компрессора /Ю.А. Анимов, Ю.С. Бородин, В.А. Опалев // Авиационно-космична техніка і технологія. – 2002. –№34.– С. 16-17.

*Здобувачем запропоновано методику візуалізації течії у РК ВЦК з визначенням місця розміщення протипомпажних порожнин.*

3. Опалев В.А. К выбору типа турбины системы механического турбонаддува двухтактного транспортного дизеля / Ю.А.Анимов, В.А.Опалев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2003. – №41/6. – С. 27-31.

*Здобувачем обґрунтовано заміну доцентрової турбіни на осьову без лопаткового соплового апарата.*

4. Опалев В.А. Исследование на статической модели движения заряда в цилиндрах двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями типа БТД / С.А.Алехин, В.А.Опалев, П.Я.Перерва // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2004. – №8(16). – С. 59-62.

*Здобувачем розроблено методику статичної продувки впускних вікон двотактних дизелів, проведено їх дослідження і запропоновано вікна оптимальної форми.*

5. Опалев В.А. Расчётное и экспериментальное исследование газодинамических характеристик впускного тракта и цилиндра дизеля 1ДТНА2 / В.Г.Солодов, Ю.В.Стародубцев, А.А.Хандримайлов, А.В.Грицюк, В.А.Опалев // *Автомобільний транспорт.* – 2005. – №16. – С. 253-256.

*Здобувачем удосконалено методику статичної продувки каналів чотиритактних дизелів.*

6. Опалев В.А. Улучшение газодинамических характеристик впускных окон в двухтактном дизеле с противоположно движущимися поршнями типа БТД / С.А. Алехин, В.А.Опалев, П.Я.Перерва // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2006. – №1. – С.78-81.

*Здобувачем досліджено впускні вікна зі скосами.*

7. Опалев В.А. Модернизация преобразователя импульсов для выпускной системы двухтактных дизелей типа БТД / С.А.Алехин, И.А. Краюшкин, В.А.Опалев // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2007. – №2. – С. 48-51.

*Здобувачем розроблено методику оцінки перетворювача імпульсів впускних колекторів дизелів БТД.*

8. Опалев В.А. Улучшение характеристик центробежного вентилятора в условиях окружной неравномерности потока / С.А.Алехин, Е.С.Васильев, В.П.Герасименко, И.А.Краюшкин, В.А.Опалев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2008. – №7(54). – С. 168-172.

*Здобувачем удосконалено відцентровий вентилятор охолодження.*

9. Опалев В.А. Исследование струйного эжектора удаления пыли из воздухоочистителя выхлопными газами в транспортном дизеле / С.А.Алехин, Е.С.Васильев, В.П.Герасименко, В.А.Опалев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2009. – №8(65). С. 96-101.

*Здобувачем розроблено методику випробування ежекторів для вилучення пилу із повітроочисника та розроблено ежектор вилучення пилу з периферійним підведенням активного газу.*

10. Опалев В.А. Совершенствование выпускной системы двухтактного дизеля / С.А.Алехин, Е.С.Васильев, В.П.Герасименко, В.А.Опалев, В.В.Салтовский // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2010. – №9(76).– С. 72-77.

*Здобувачем запропоновано трисекційний випускний колектор та методику його розрахунку.*

11. Опалев В.А. Оптимизация многоярусных рабочих колёс ЦБК / С.А.Алехин, В.П.Герасименко, Е.Н.Овчаров, В.А.Опалев // *Вісник двигунобудування*. – 2011. - №2. – С. 208-212.

*Здобувачем запропоновані оптимальні триярусні РК ВЦК та проведено їх дослідження.*

12. Опалев В.А. Комплексное газодинамическое совершенствование двухтактных турбопоршневых транспортных дизелей / С.А.Алехин, В.П.Герасименко, Е.Н.Овчаров, В.А.Опалев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2012. – № 10 (97). – С. 72-76.

*Здобувачем обґрунтовано оптимальний кут входу відносної швидкості у ВЦК та запроваджено спрофільовані радіально-кільцеві входні патрубки з бічним підведенням повітря.*

13. Опалев В.А. Согласование характеристик турбонаддува и двухтактного транспортного дизеля / С.А. Алехин, В.П. Герасименко, В.А. Опалев // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2013.– № 2. – С. 8 – 12.

*Здобувачем удосконалено ВЦК дизеля 5ТДФ для використання у дизелі 3ТД-2.*

14. Патент України на корисну модель № 72450, МПК F 02 D 23/00. Силовая установка військово-гусеничної машини / Альохін С.О., Салтовський В.В., Опалев В.А., Попов Г.К., Коваленко А.М., Любченко В.М., Мотора О.А., Гнилицкий В.М., Щербаков Г.О., Чупринін О.Є.; заявник і власник патенту КП «ХКБД» – № u 2011 14222; заявл. 01.12.2011р.; опубл. 27.08.2012р., Бюл. 16. – 5 с.

*Здобувачем удосконалено відцентровий вентилятор охолодження та повітроочисник.*

15. Опалев В.А. Исследование газодинамических характеристик впускных каналов дизеля при его разработке / В.А. Грицюк, С.А. Алехин, В.А. Опалев, В.Г. Солодов, А.А. Хандримайлов // *Материалы X Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей», 27-29 июня 2005 г.* – Владимир, 2005.– С.113-124.

*Здобувачем проведено експериментальне дослідження впускних каналів чотиритактного дизеля.*

16. Опалев В.А. Оптимизация газоздушного тракта дизеля при газообмене / В.А.Опалев // *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні, ІКТМ'2011: Всеукр. наук.-техн. конф., 22-25 листопада 2011 р.: тези допов. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».– Х., 2011. – Т. 1. – С. 79.*

17. Опалев В.А. Оптимизация агрегатов турбонаддува транспортных дизелей /В.П. Герасименко, В.А. Опалев// Интегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні, ІКТМ'2012: Всеукр. наук.-техн. конф., 27-30 листопада 2012 р.: тези допов. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»». – Х., 2012. – Т. 1. – С. 72.

*Здобувачем застосовано симплекс-метод для оптимізації осьової турбіни.*

## АНОТАЦІЇ

**Опалев В.А. Підвищення економічності турбопоршневих дизелів шляхом удосконалення їх газоповітряного тракту.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2013.

Розглянуто основні напрямки газодинамічного удосконалювання дизелів. Отримано збільшення коефіцієнтів потужності, напору і ККД відцентрового компресора АТН за рахунок застосування триярусних робочих коліс з раціональними геометричними розмірами та умовами входу.

Виконана багатопараметрична оптимізація геометричних та кінематичних параметрів турбін АТН. Застосування двозаходного спірального входного патрубку з безлопатковим СА у осьової турбіни дозволило зменшити її габаритні розміри та підвищити ККД.

Розроблено методику статичних випробувань впускних вікон, з використанням якої отримано раціональну форму впускних вікон у циліндрі.

Удосконалено конструкцію впускних колекторів типу «труба у трубі» п'яти- та шестициліндрових двотактних дизелів як перетворювачів імпульсів: у дизелі 5ТД застосовано трисекційний впускний колектор, а у дизелі 6ТД – колектор з подовженою змішувальною камерою.

Використано видалення пилу із повітроочисника ежектуванням випускними газами за турбіною з периферійним підведенням активного газу.

*Ключові слова:* дизель, відцентровий компресор, турбіна, турбонаддув, впускні вікна, впускний колектор, струминний ежектор, економічність.

**Опалев В.А. Повышение экономичности турбопоршневых дизелей путём совершенствования их газоздушного тракта.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков, 2013.

В диссертации исследовано улучшение топливной экономичности двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями (ПДП) путём комплексного газодинамического совершенствования основных элементов газоздушного тракта: центробежного компрессора (ЦБК) и турбины агрегата турбонаддува (АТН), впускных окон цилиндров, выпускного коллектора и эжектора системы пылеудаления.

Для этого осуществлены следующие работы: оптимизация ЦБК за счёт применения трёхъярусных рабочих колёс (РК), улучшения условий на входе и расширения диапазона беспомпажной работы; на основе многопараметрической оптимизации разработаны осевые турбины без лопаточного соплового аппарата (СА) для АТН дизелей 3ТД и 6ДН14/2×14; разработана методика статических испытаний и выполнена оптимизация впускных окон цилиндров; на основе предложенных расчётных методик усовершенствована конструкция выпускных коллекторов пяти- и шестицилиндровых двигателей как преобразователей импульсов; разработана методика испытаний и проведены исследования по выбору оптимальной схемы струйного эжектора для удаления пыли выхлопными газами из воздухоочистителя.

Показана целесообразность применения радиально-кольцевых патрубков с диффузорным входным участком при боковом подводе воздуха в ЦБК, при этом рациональный угол входа в относительном движении на наружном диаметре составляет  $\beta_{1н} = 30,3^\circ$ ; предложенные зависимости по определению рациональной густоты решёток трёхъярусных РК и размеров ярусов, обеспечивают преимущества спроектированных с их использованием РК. Применение разработанного метода визуализации позволило рационально размещать противопомпажные полости в корпусе ЦБК.

Замена центростремительной турбины в дизеле 3ТД на осевую с двухзаходным спиральным входным патрубком и безлопаточным СА улучшила условия запуска и экономичность двигателя.

В результате оптимизационного исследования разработаны впускные окна прямоугольной формы с переменным наклоном боковых стенок  $0...42^\circ$  и скосами углов на выходе из окна, что улучшило параметры дизеля.

Замена штатного коллектора в дизеле 6ТД на коллектор-преобразователь импульсов с удлинённой смесительной камерой привела к повышению топливной экономичности двигателя. В дизеле 5ТД предложена новая конструкция трёхсекционного выпускного коллектора с уменьшенными длинами колебательных контуров, устраняющих резонансы, что существенно улучшило параметры дизеля.

Исследования струйных эжекторов в системе удаления пыли из воздухоочистителя подтвердили преимущества по КПД эжектора с периферийным подводом активного газа по сравнению с эжектором с центральным подводом.

Применение предложенных мероприятий в двухтактных дизелях позволило улучшить их экономичность: 6ТД-2Е – на 6%, а 5ТД и 3ТД-3 – на 8%.

*Ключевые слова:* дизель, центробежный компрессор, турбина, турбонаддув, впускные окна, выпускной коллектор, струйный эжектор, экономичность.

**Opalev V.A. Profitability increase turbo piston diesel engines by perfection of their air-gas path.** – On the rights of a manuscript.

Thesis for submitting of the scientific degree of Candidate of Technical Science in speciality 05.05.03 – Engines and Power Plants. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». – Kharkiv, 2013.

The basic directions of gas-dynamic improvement of diesel engines are considered. The substantiation of increase of a power factor of the centrifugal compressor of the turbosupercharging unit (TU) is given due to application of multi-tier turbine wheels with optimum inlet conditions.

Optimum designing turbines of TU with two-way spiral inlet chamber and vaneless nozzle box is offered. On the basis of static modeling the optimum form of inlet ports in cylinders is received.

Application of pulse transformation of energy in an exhaust collector of a multicylinder diesel engine improves its efficiency. Removal of dust out of the air cleaner is carried out by exhaust gases ejection.

*Key words:* diesel engine, centrifugal compressor, turbine, turbosupercharging, inlet ports, exhaust collector, jet ejector, fuel economy.