

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЛЕВЧУК Вячеслав Петрович**

**УДК 621.43.052**

**ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА  
З ХВИЛЬОВИМ ОБМІННИКОМ ТИСКУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ  
ПРИВОДУ РОТОРА**

**05.05.03 - Теплові двигуни**

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Харків - 2000**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Двигуни внутрішнього згоряння” Східноукраїнського державного університету (СУДУ) міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент

**Крайнюк Олександр Іванович,**

Східноукраїнський державний університет, зав.кафедрою.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Дяченко Василь Григорович,**

Харківський державний політехнічний університет, професор кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння»

кандидат технічних наук, доцент **Крушедольський Олександр Георгійович,**

Харківська державна академія залізничного транспорту, доцент кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни»

Провідна установа -

ВАТ “Головне спеціалізоване конструкторське бюро з двигунів середньої потужності”, відділ робочих процесів двигунів Державного комітету промислової політики міністерства економіки України, м.Харків.

Захист відбудеться “\_\_”\_\_\_\_\_2000 р. о \_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.03 при Харківській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м.Харків, пл.Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м.Харків, пл.Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий “\_\_”\_\_\_\_\_2000 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

**Лялюк В.М.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Помітний резерв поліпшення техніко-економічних і екологічних показників двигунів транспортних установок зв'язаний із розширенням області ефективного повітряпостачання шляхом застосування системи газодинамічного наддуву «Comprex».

Заснований на принципі безпосереднього обміну енергією між відпрацьованими газами і наддувочним повітрям, хвильовий обмінник тиску (ХОТ), поряд із скороченням часу перехідних процесів, забезпечує підвищений тиск наддуву в області низьких частот, що сприяє значному (до 25...30%) підвищенню коефіцієнта пристосовуваності дизеля за крутним моментом. Рециркуляція відпрацьованих газів, легко здійснювана ХОТ, у свою чергу сприяє зниженню  $\text{NO}_x$ , і поліпшенню пускових властивостей дизеля.

Водночас, незважаючи на відомі привабливі властивості, система «Comprex» поки не одержала широкого розповсюдження як агрегат наддуву ДВЗ, головним чином через проблеми, зв'язані із приводом ротора обмінника. Традиційно застосований ремінний привід із постійним передавальним відношенням не забезпечує необхідну, із погляду організації робочого процесу обмінника, частоту обертання ротора в широкому діапазоні режимів експлуатації дизеля. Є також проблема компонування обмінника з урахуванням необхідності суворої орієнтації вісі обмінника стосовно колінчастого валу двигуна.

Усунення відзначених недоліків у даний час зв'язується із забезпеченням незалежного обертання самоприводного ротора шляхом використання активної сили повороту газового потоку в каналах ротора. Однак, газовий привід не повною мірою вирішує проблему узгодження швидкісного режиму ХОТ через недостатню адаптивність і дефіцит крутячого моменту в значній області режимів роботи ДВЗ.

Аналіз існуючих конструкцій немеханічних приводів ХОТ показав, що надолуження дефіциту крутячого моменту найбільш раціонально здійснюється шляхом доповнення газового приводу гідравлічним. Як приклад робочого тіла гідравлічного приводу може бути використане мастило із системи змащення ДВЗ, при цьому гідропривід легко компонується безпосередньо у підшипниковому вузлі ротора обмінника. Перевага газогідравлічного приводу (ГГП) полягає в можливості варіювання крутячого моменту за рахунок гідравлічної складової, що дозволяє використовувати його в системі автоматичного регулювання частоти обертання ротора.

**Актуальність теми** дисертації обумовлена тим, що вона спрямована на виявлення і реалізацію резервів подальшого удосконалення системи наддуву «Comprex» двигуна транспортної установки

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Державної науково-технічної програми 5.2.5 «Розробка високоефективних турбокомпресорів і силових турбін двигунів внутрішнього згорання для транспортних і

сілськогосподарських машин» на підставі Постанови Комітету по науково-технічному прогресу при Кабінеті Міністрів України №12 від 4.05.92 р., а також у рамках державної науково-технічної програми «Розробка і впровадження методів і пристроїв для забезпечення оптимальної експлуатації та екологічної безпеки автомобілів» на підставі Наказу Мінвузу України №68 від 27.04.92 р. і наукових досліджень університету в області двигунобудування:

- ГР №0193U002459 «Розробка адаптивних систем регулювання наддуву транспортних двигунів»;

- ГР №0194U015299 «Розробка хвильового обмінника тиску для наддуву дизельних двигунів транспортних установок з метою забезпечення оптимальної експлуатації та екологічної безпеки автомобілів»;

- ГР №0194U015306 «Комплекс» - створення і впровадження хвильового обмінника тиску для наддуву дизельних двигунів транспортних установок».

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є поліпшення динамічних, економічних і екологічних показників двигунів із ХОТ шляхом застосування приводу ротора з адаптивними властивостями.

Для досягнення поставленої мети передбачене рішення наступних задач:

1. Аналіз і узагальнення основних напрямків розвитку систем наддуву «Comprex».

2. Обґрунтування схеми і розробка конструкції газогідравлічного приводу ротора обмінника з автоматичною системою регулювання.

3. Розробка комплексу математичних моделей, методик і програм розрахунку робочих процесів ХОТ з гнучким немеханічним приводом ротора: газодинамічного циклу хвильового обмінника тиску з урахуванням особливостей граничних умов у каналах газового приводу; визначення конструктивних параметрів елементів приводу ротора обмінника; пошуку режимів спільної роботи КДВЗ із ХОТ.

4. Проведення розрахунково-експериментальних досліджень з уточнення механізму протікання газодинамічних процесів у ХОТ з газогідравлічним приводом і виявлення конструктивних параметрів приводу, що забезпечує найкращу пристосовуваність обмінника до умов роботи ДВЗ.

5. Розробка рекомендацій по проектуванню, налаштуванню та експлуатації системи наддуву «Comprex» із комбінованим приводом ротора обмінника.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Обґрунтовані основні напрямки розвитку схем і конструкцій системи наддуву «Comprex», запропоновано пристрій газогідравлічного приводу і принципи автоматичного керування частотою обертання ротора ХОТ.

2. Розроблено методику пошуку раціональних параметрів газового приводу ротора; графо-аналітичний метод визначення крутячого моменту

гідравлічної складової комбінованого приводу; метод визначення однопараметрової регуляторної характеристики САР приводу; математичну модель робочих процесів ХОТ; програму узгодження витратних характеристик ДВЗ та ХОТ.

3. Отримано нові дані розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень системи наддуву «Comprex» із гнучким немеханічним приводом ротора обмінника. Досліджено закономірності впливу температури навколишнього повітря, частоти обертання ротора, розмірів вікон високого і низького тиску, співвідношень розмірів ротора на робочий процес ХОТ.

4. Виявлено кількісні залежності дефіциту крутячого моменту газової складової комбінованого приводу для різних кутів нахилу патрубків газу високого тиску (ГВТ).

5. Отримано однопараметрову регуляторну характеристику комбінованого приводу, що представляє залежність тиску мастила на вході в активні сопла гідропривода від тиску газу у вікні ГВТ.

6. Кількісно обґрунтовано доцільність застосування примусового вентиляювання каналів ротора шляхом створення надлишкового тиску в перетині вікна повітря низького тиску (ПНТ). Визначено залежності коефіцієнта продування обмінника від розрідження на впуску і протитиску на випуску системи наддуву «Comprex».

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Визначено раціональні конструктивні і режимні параметри хвильового обмінника тиску з комбінованим газогідравлічним приводом ротора. Зокрема встановлено, що за умовою мінімізації газодинамічних втрат і реалізації необхідного крутячого моменту оптимальне значення кута нахилу каналу ГВТ повинно знаходитися в межах 55...58°; встановлена доцільність зворотного зсуву задніх кромek вікон низького тиску на 15...30° для обмінників із примусовим вентиляюванням каналів ротора.

2. Розроблені методи, алгоритми і програми розрахунку основних елементів системи наддуву «Comprex» з адаптивними властивостями приводу ротора дозволяють істотно скоротити трудомісткість і вартість дослідницьких, дослідно-конструкторських і доводочних робіт при створенні систем повітряпостачання комбінованих двигунів. Уточнена математична модель ХОТ, заснована на використанні модернізованого методу “розпад довільного розриву” з урахуванням пошарових течій, дозволяє розрахувати втрати, зв'язані з формуванням потоків на початкових ділянках каналів ротора, і відобразити перехідні процеси формування потоків у період підключення каналів до вікон.

3. Розроблено ряд дослідних конструкцій ХОТ для наддуву дизелів 4Ч8.5/11, 4ЧН12/14, 6ЧН12/14, 8ЧН12/12 (потужністю від 20 до 200 кВт),

зокрема конструкцію, що не має аналогів, В110КП із гнучким приводом. Випробування підтвердили можливість поліпшення техніко-економічних показників ДВЗ із ХОТ за рахунок застосування немеханічного приводу ротора обмінника.

4. Розроблена система автоматичного регулювання з компенсаційними властивостями дозволяє нівелювати негативний вплив зміни тиску мастила в мастильній магістралі в процесі експлуатації двигуна на характеристику гідравлічного приводу.

5. Досягнуто підвищення пристосовуваності КДВЗ за крутячим моментом в усьому робочому діапазоні. Дослідні установки ДВЗ з ХОТ можуть служити як об'єктом, так і інструментом експериментальних досліджень по доведенню робочого процесу КДВЗ.

**Впровадження результатів досліджень.** Результати роботи використовуються в проектних і дослідницьких підрозділах ВО «Юждизельмаш» та НТЦ АТ «КамАЗ». Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень відображені в програмах навчальних курсів «Хвильові обмінники тиску», «Газова динаміка й агрегати наддуву» за фахом 7.090210 - Двигуни внутрішнього згоряння в Східноукраїнському державному університеті.

**Особистий внесок здобувача.** У дисертаційній роботі особисто автором отримані теоретичні і практичні наукові результати, винесені на захист:

1. Комплекс методів і алгоритмів розрахунку робочих процесів в елементах системи наддуву «Comprex», що включає математичну модель газодинамічного циклу хвильового обмінника тиску, яка враховує особливості граничних умов у каналах газового приводу; методику пошуку раціональних параметрів газового приводу ротора; графо-аналітичний метод визначення крутячого моменту гідравлічної складової комбінованого приводу; метод визначення характеристики регулювання частоти обертання ротора.

2. Нові дані розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень, що розширюють уявлення про режими роботи і механізми протікання газодинамічних процесів у ХОТ: розрахункові залежності втрат повного тиску у вікні ГВТ від кута нахилу газопідводного патрубку; експериментальні характеристики комбінованого приводу ротору обмінника В110КП за навантаженням двигуна; порівняльні експериментальні характеристики ДВЗ з ХОТ з ремінним та комбінованим приводами ротора обмінника.

3. Схемні та конструктивні рішення, а також рекомендації з вибору раціональних конструктивних і режимних параметрів системи наддуву «Comprex» із газогідравлічним приводом ротора.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали виконаної роботи розглядалися на Всесоюзному конкурсі з перспективних систем

повітропостачання транспортних двигунів у 1990-91 р. За підсумками конкурсу ЦП ВНТОМ і НПО НАМІ роботі присуджене 1 місце з врученням диплома Лауреат Всесоюзного конкурсу «Турбо».

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на конференціях: Всесоюзній - «Перспективы развития КДВС и двигателей новых схем и на новых топливах» (Москва, 1987); Республіканській науково-технічній - «Конверсия производства деталей ДВС» (Харків, 1991), 5-й міжнародній - «Проблемы развития локомотивостроения» (Луганськ, 1995), 1-ому республіканському науково-технічному семінарі з поліпшення показників теплових двигунів і ресурсозбереженню (Мелітополь, 1995), а також науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Східноукраїнського державного університету (Луганськ, 1991-1998).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 20 наукових працях, у тому числі в 3 статтях у наукових журналах, 3 статтях у збірниках наукових праць і 14 авторських посвідченнях.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертація складається із вступу, п'ятих розділів, висновків, додатків. Повний обсяг роботи складає 250 сторінок, з них ілюстрації 87 сторінок (89 ілюстрацій), додатків 5 сторінок (1 додаток), список використаних літературних джерел 10 сторінок (84 найменування).

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення, інформацію про апробацію і публікацію основних положень роботи.

**У першому розділі** зроблено огляд робіт, спрямованих на поліпшення експлуатаційних властивостей транспортних двигунів із хвильовими обмінниками тиску, які використовуються як агрегати наддуву. Встановлено, що значний резерв підвищення ефективності роботи КДВЗ із ХОТ зв'язаний із заходами щодо узгодження моментів підключення напорообмінних каналів до вікон повітря високого і низького тиску (ПВТ і ПНТ) із фазами руху первинних хвиль. Існуючі конструктивні рішення (використання розширювальних, газових і компресійних кишень, саморегулюємих клапанних каналів і т.п.), спрямовані на ослаблення впливу неузгодженості газорозподілу в обміннику, приводять до істотного ускладнення конструкції КДВЗ і не дозволяють повною мірою нівелювати цей вплив одночасно в частині циклу високого і низького тиску.

Подальше удосконалення систем наддуву з хвильовим обмінником тиску зв'язано з використанням незалежного від колінчастого вала приводу ротора (електричного, гідравлічного або газового).

Аналіз розвитку систем хвильового наддуву показав, що найбільш повно

переваги немеханічних типів приводу ротора знаходять втілення у комбінованому (газогідравлічному) приводі. Такий привід легко компонується в робочих органах ХОТ без істотних конструктивних змін, а за рахунок високої адаптивної спроможності гідравлічна складова приводу забезпечує необхідний рівень форсування КДВЗ на усіх швидкісних і навантажувальних режимах.

Другий розділ присвячений математичному забезпеченню розрахункових досліджень складних газодинамічних процесів, що протікають у ХОТ, методам вибору основних конструктивних параметрів обмінника, що забезпечують заданий рівень форсування двигуна і методики узгодження витратних характеристик ДВЗ і ХОТ.

Основним розмірним параметром проектного обмінника є місткість проточної частини ротора  $V_R$ , яку можна визначити за формулою

$$V_R = \frac{60W_2}{S_{Rel} n_R i_{\text{ль}}},$$

де  $S_{Rel}$  - критерій подоби,  $W_2$  - об'ємна витрата наддувочного повітря в перетині вікна ПВТ;  $n_R$  - частота обертання ротора,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $i$  - число циклів обмінника за один оборот ротора.

Критерій подоби характеризує ступінь використання пропускної спроможності ротора і з деяким наближенням інтерпретується як відносне переміщення межі поділу робочих середовищ у каналі ротора за час підключення його до вікна ПВТ. Аналіз робіт зарубіжних авторів та проведені експериментальні дослідження показали, що найбільша ефективність роботи ХОТ досягається при значеннях  $S_{Rel}$  у діапазоні 0.32...0.36.

У результаті попереднього вибору параметрів визначаються довжина ротора, прохідні перетини вікон ПВТ і ГВТ і кути розкриття вікон ПВТ і ГВТ, кут зсуву початкових кромek вікон ГВТ і ПВТ, зовнішній і внутрішній діаметри проточної частини ротора.

До числа основних конструктивних параметрів ХОТ, що визначають рівень форсування КДВЗ наддувом, відносяться значення площ прохідних перетинів вікон ГВТ і ПВТ. Водночас, задані витрата і тиск наддувочного повітря можуть бути отримані з різним їхнім сполученням. Робочі цикли таких обмінників розрізняються рівнем залишкового тиску в напорообмінних каналах після відключення від вікон високого тиску, що є основним енергетичним джерелом продувочного імпульсу.

Приймаючи допущення про відповідність щільності газу за ударною та ідеальною адіабатам, залишковий тиск ( $p_{ост}$ ) визначається з рівняння першого закону термодинаміки для відкритої системи по контуру каналу в період між моментами відкриття вікна ГВТ і закриття вікна ПВТ



$$\frac{k_{\Gamma} p_{g1}^*}{k_{\Gamma} - 1 \rho_{g1}^*} - \frac{k p_2^*}{k - 1 \rho_2^*} \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha L_0}} = \frac{k_{\Gamma} p_{\text{OCT}}^{\frac{k_{\Gamma}-1}{k_{\Gamma}}} (p_{g1}^*)^{\frac{1}{k_{\Gamma}}}}{k_{\Gamma} - 1 \rho_{g1}^*} + \frac{k p_{\text{OCT}}^{\frac{k-1}{k}} (p_0)^{\frac{1}{k}}}{k - 1 \rho_0} \times$$

$$\times \left[ \frac{\rho_0 D_1 D_2}{u_1 \rho_{g1}^* (D_1 + D_2)} \left( \frac{p_{g1}^*}{p_1} \right)^{\frac{1}{k_{\Gamma}}} - \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha L_0}} \right] - \frac{k_{\Gamma} p_0 D_1 D_2}{k_{\Gamma} - 1 u_1 \rho_{g1}^* (D_1 + D_2)} \left( \frac{p_{g1}^*}{p_1} \right)^{\frac{1}{k_{\Gamma}}},$$

де  $D_1$  і  $D_2$  - швидкості поширення первинних хвиль стиску і розрідження,  $u_1$  - швидкість газу у вікні ГВТ.

Модель газодинамічного циклу заснована на модернізованому методі розпаду довільного розриву, який враховує пошарові течії, пов'язані з формуванням потоків на початкових ділянках каналів ротора, рішення рівнянь зберігання маси, імпульсу та енергії, що описують рух середовища в одномірному уявленні з обліком тертя і тепловіддачі.

Витікання газу в процесі підключення напорообмінного каналу до вікна підведення робочого середовища носить нестационарний характер і включає етапи затоплення і формування струменя з утворенням відривних зон. Тому в загальному випадку граничні умови повинні охоплювати початкові ділянки напорообмінного каналу, що безпосередньо прилягають до вихідних перетинів.

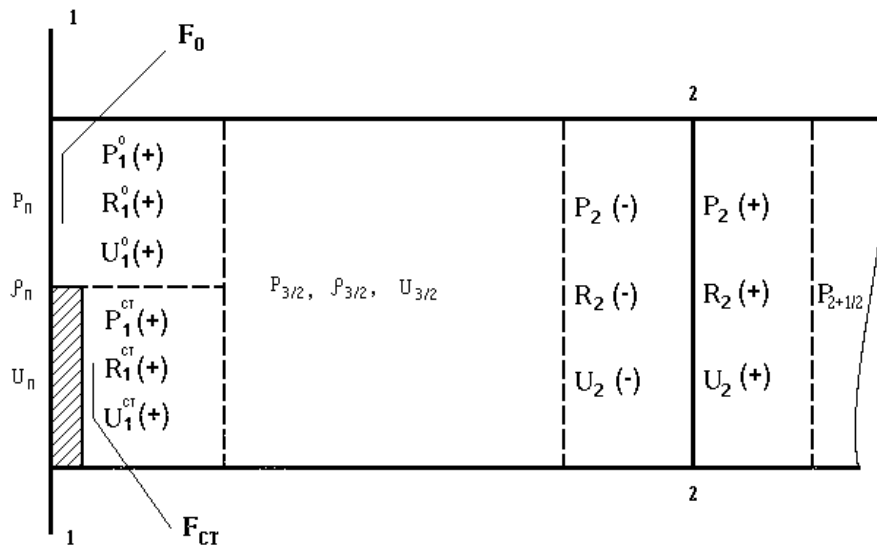


Рисунок 1 – схема граничного розрахункового вічка напорообмінного каналу

У початковий період підключення каналу до вікна, коли вихідний отвір частково перекритий, маємо практично повне затоплення струменя з перетворенням значної частини кінетичної енергії в теплову. Враховуючи малу поперечну складову швидкості струменя у порівнянні з подовжньою швидкістю приймається допущення про завершення процесу формування струменя в момент повного відкриття вихідного отвору каналу. Граничні потоки газодинамічних параметрів через зовнішній перетин крайнього

осередку можна представити у вигляді сум відповідних потоків у підшарах розпаду розриву, що примикають до відкритої та перекритої площ вихідного отвору каналу (рис.1).

Тоді сумарні граничні потоки маси, імпульсу й енергії з боку зовнішнього перетину каналу визначаються по рівняннях:

$$TM_1 = R_1^0 U_1^0 \frac{F_0}{F_{\text{я}}};$$

$$T\Pi_1 = \frac{[(P_1^0 + R_1^0 U_1^0) F_0 + P_1^{\text{CT}} F_{\text{CT}}]}{F_{\text{я}}},$$

$$TE_1 = \frac{\left[ R_1^0 U_1^0 \left( e_1^0 + \frac{U_1^0}{2} \right) + P_1^0 U_1^0 \right] F_0}{F_{\text{я}}}.$$

Тут  $e_1^0 = P_1^0 / [(k' - 1) R_1^0]$  - питома внутрішня енергія;  $F_{\text{я}}$ ,  $F_0$  і  $F_{\text{CT}}$  - відповідно площі перетинів вихідного отвору каналу, відкритої і перекритої його частин.

Визначення режимів спільної роботи ДВЗ і ХОТ зводиться до виявлення параметрів робочих середовищ у газоповітряних трактах, при яких забезпечується рівність витрат стискуючого газу і стиснутого повітря в обміннику, з обліком витрати палива, що спалюється в циліндрах, причому витрата повітря в обміннику повинна відповідати споживанню повітря поршневою частиною двигуна. Іншою умовою можливості реалізації режиму спільної роботи ДВЗ і ХОТ є здійснення достатнього продування напорообмінних каналів ротора ХОТ у залежності від дійсного коефіцієнта надлишку повітря в циліндрах ДВЗ.

У третьому розділі подані результати розрахунково-експериментальних досліджень газогідравлічного приводу ротора дослідного зразка ХОТ із системою автоматичного регулювання швидкісного режиму обмінника (рис.2).

Доцільність використання гнучкого немеханічного приводу ротора ХОТ, поряд із можливістю спрощення кінематики, зв'язана з забезпеченням необхідної частоти обертання ротора в широкому діапазоні режимів експлуатації дизеля.

Задача розрахунку газового приводу полягає у визначенні крутячого моменту, обумовленого активною силою повороту газового потоку при вході в напорообмінні канали ротора, у залежності від його частоти обертання, параметрів загальмованого потоку в патрубку підведення газу і кута нахилу патрубка. Одночасно робиться розрахунок витрат тиску робочого тіла в напорообмінних каналах ротора обмінника в результаті здійснюваної потоком роботи обертання ротора і гідравлічних витрат, зв'язаних із створенням відривних зон.

Робота газового потоку при повороті ротора визначається відповідно до рівняння Ейлера

$$L_g = \omega \cdot G_{g1} \cdot r_r \cdot (u_{\text{окр}} - u_n \cdot \sin \gamma), \quad (1)$$

де  $\omega$  - частота обертання ротора обмінника,  $G_{g1}$  - витрата газу у вікні високого тиску (ГВТ),  $r_r$  - радіус ротора,  $u_{\text{окр}}$  - окружна швидкість середнього радіуса вічок ротора,  $u_n$  - осьова проекція швидкості газу у вікні ГВТ,  $\gamma$  - кут нахилу патрубку ГВТ до осі ротора.

З іншого боку, робота розширення потоку

$$L_g = \frac{k_r}{k_r - 1} R_r T_{g1} \left[ \left( \frac{p_{g1}}{p_1} \right)^{\frac{k_r - 1}{k_r}} - 1 \right] G_{g1}, \quad (2)$$

де  $p_{g1}$  - тиск газу у вікні ГВТ,  $p_1$  - статичний тиск повітря за фронтом хвилі ущільнення.

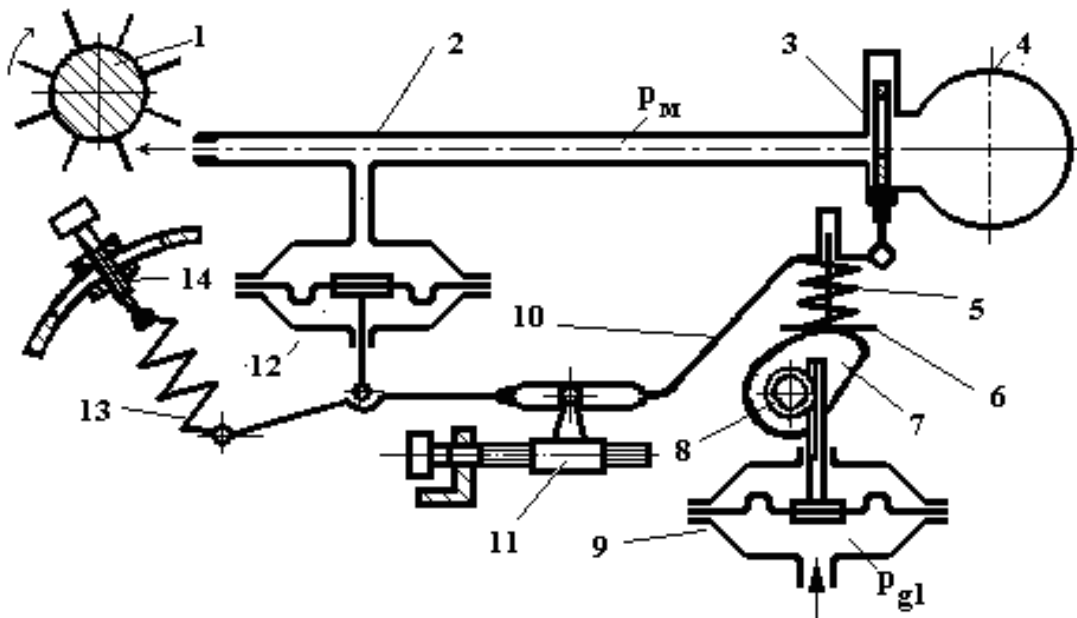


Рисунок 2 - Схема гідроприводу ротора ХОТ із системою автоматичного регулювання.

1- крильчатка гідроприводу; 2- канал підводу мастила; дросельна заслінка; 4- масляна магістраль; 5, 13- пружини; 6- тарілка; 7- кулачок; 8- зубчата пара; 9- газова камера; 10- важільний механізм; 11- рухлива опора; 12- гідрокамера; 14- регулювальний гвинт.

Спільне рішення рівнянь (1) і (2) дозволяє визначити зміну тиску в потоці в результаті здійснення ним роботи повороту ротора без обліку гідравлічних витрат ( $\Delta p_{\text{гидр}}$ ), зв'язаних з утворенням відривних зон. Визначення  $\Delta p_{\text{гидр}}$  здійснюється з обліком швидкостей робочого тіла в каналах ротора відповідно до співвідношення Гюгонію. Розрахунок крутячого моменту газового приводу і розмір зниження повного тиску в напорообмінному каналі

за відривною зоною (за точкою прилипання струменя в напорообмінному каналі) виконується методом послідовних наближень.

Метод визначення гідравлічної складової крутячого моменту комбінованого приводу дозволяє виявити залежність крутячого моменту гідравлічного приводу, як додаткового джерела механічної енергії, від тиску газів у вікні ГВТ, що характеризує режим роботи ДВЗ і ХОТ. Використання зазначеного методу дозволило визначити кут нахилу газопідводячого патрубку вікна ГВТ  $\gamma = 55 \dots 58^\circ$ , при якому мінімізуються відносні втрати ККД обмінника і забезпечується стійка робота ХОТ на більшості швидкісних режимів ( $6000 \dots 12000 \text{ хв}^{-1}$ ).

У четвертому розділі приведені розроблені конструкції дослідних зразків ХОТ, опис експериментальної установки, оцінка похибок вимірів.

Конструкція ХОТ В110КП (зовнішній діаметр проточної частини ротора 110 мм, довжина ротора 120 мм) із комбінованим приводом, осьовим продувним вентилятором із поворотними лопатками робочого колеса і направляючого апарата наведена на рис.3. Така конструкція дозволяє варіювати необхідними напірними і видатковими параметрами вентилятора на працюючому двигуні з ХОТ.

Гідропривід здійснюється через робоче колесо, установлене на валу ротора між підшипниковими опорами, яке має 8 радіально розташованих прямолінійних закритих із двох сторін лопаток, масляними потоками з двох соплових отворів.

З метою збільшення ККД обмінника за рахунок зменшення витоків у дослідній конструкції В110КП зазори між торцевою поверхнею ротора і корпусом з боку газових вікон не перевищують 0.15 мм, з боку повітряних вікон - 0.08 мм. Радіальний зазор між ротором і корпусом обмінника - 0.15 мм.

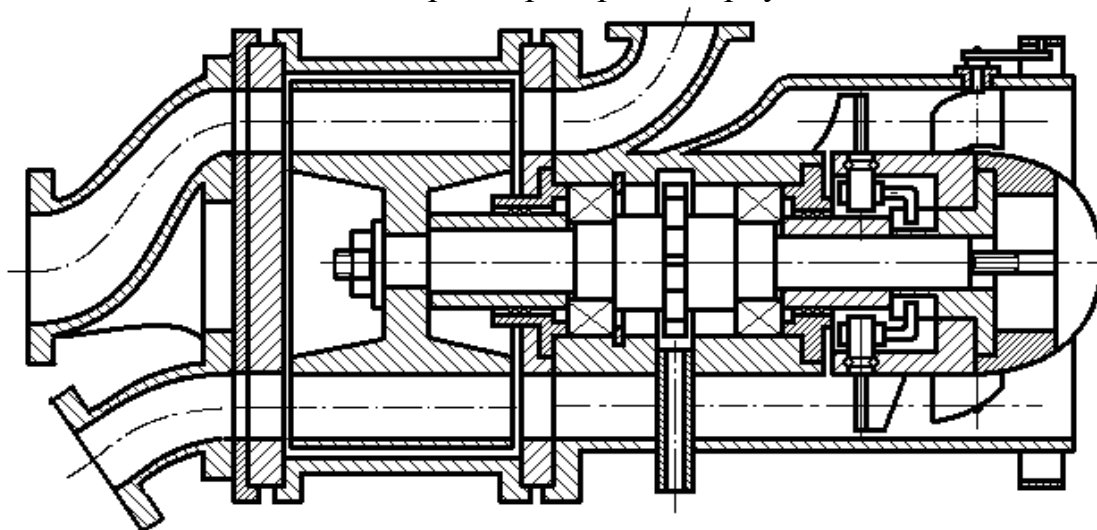


Рисунок 3 - Дослідна конструкція ХОТ В110КП із комбінованим приводом ротора

У п'ятому розділі подані результати розрахунково-експериментальних досліджень ХОТ В110КП із комбінованим газогідравлічним приводом у складі

дизеля 4Ч8.5/11. Оцінено вплив конструктивних і режимних параметрів ХОТ на ефективні показники комбінованого двигуна.

Зміна режиму роботи дизеля приводить до зміни швидкостей поширення первинних хвиль тиску і розрідження в напорообмінних каналах ротора. Швидкість первинної хвилі стиску більш істотно залежить від режиму роботи дизеля, у той час, як первинна хвиля розрідження залежить лише від залишкового тиску в вічках ротора. Тому узгодження частоти обертання ротора ( $n_r$ ) по циклах високого і низького тиску можливо лише на окремих режимах роботи дизеля.

Настроювання частоти обертання ротора здійснюється за критерієм взаємодії первинної хвилі стиску з передньою кромкою вікна ПВТ. Кут відносного зсуву передніх крамок вікон низького тиску вибирається як функція середньостатистичного режиму експлуатації ХОТ.

Відхилення частоти обертання ротора від оптимального значення супроводжується помітним погіршенням показників роботи обмінника. Дослідження показали, що негативний вплив неузгодженості фази руху первинної хвилі розрідження помітно виявляється на режимах малої і повної потужності дизеля. На середніх потужносних режимах у діапазоні від  $(0.2...0.8)P_{e_{max}}$  більш істотним виявляється вплив неузгодженості первинної хвилі стиску. У цілому, вплив  $n_r$  на показники роботи дизеля підсилюється в міру підвищення потужносного режиму. Розкид оптимізованих значень  $n_r$  у полі режимів експлуатації дизеля не перевищує 25% від середнього значення.

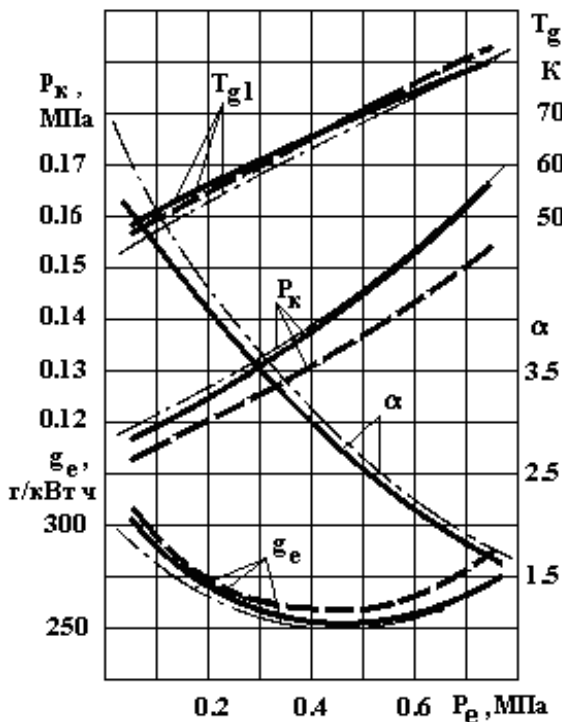


Рисунок 4 – Навантажувальні характеристики дизеля 4Ч8.5/11 з ХОТ на режимі  $n = 1000$  хв-1

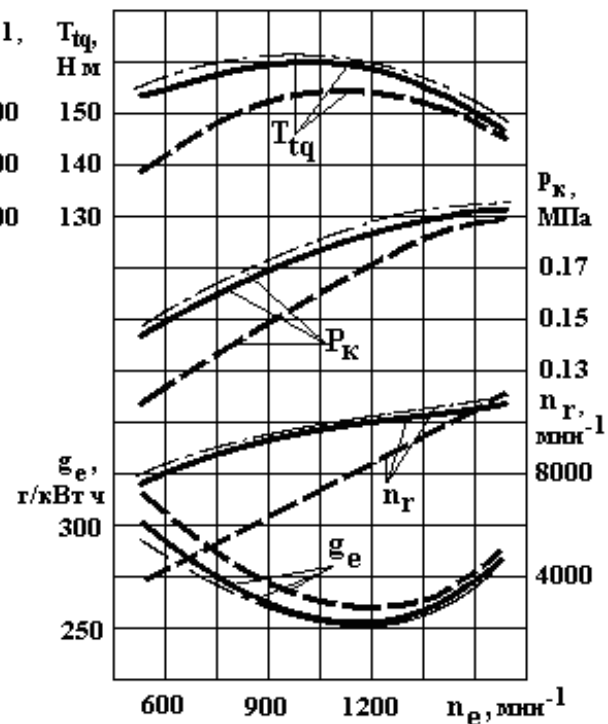


Рисунок 5 – Зовнішні швидкісні характеристики дизеля 4Ч8.5/11 із ХОТ

--- - ремінний привід;	--- - ремінний привід;
___ - комбінований привід;	___ - комбінований привід;
- . . - - комбінований привід (розрахунок).	- . . - - комбінований привід (розрахунок).

При обертанні ротора безпосередньо від колінчастого вала  $n_r$  змінюється в декілька разів. Тому при використанні механічного приводу ротора з незмінним передавальним числом, наприклад, ремінного, область ефективної роботи ХОТ помітно звужується. Комбінований ГПП дозволяє охопити весь діапазон зміни робочих частот обертання ротора.

Експериментально визначено раціональний робочий діапазон  $n_r$  (7000...11500 хв<sup>-1</sup>) комбінованого двигуна 4Ч8.5/11 з обмінником В110КП. Наявність двох складових комбінованого приводу (газової і гідравлічної) викликало необхідність визначення частки кожної з них у загальній роботі, що затрачується на привід. Спеціальні дослідження показали, що на режимі  $0.2P_{e_{max}}$  крутячий момент на валу ротора забезпечується в основному за рахунок гідравлічної складової (до 80%), із ростом навантаження частка гідравлічної складової зменшується і на режимі  $0.85P_{e_{max}}$  складає 50%. А на режимах повних навантажень забезпечення крутячого моменту досягається в більшому ступені газовими силами (до 90...93%).

Порівняння ефективних показників дизеля 4Ч8.5/11 із різними типами приводів показало переваги комбінованого приводу. Найбільший ефект від застосування ГПП досягається в області знижених швидкісних і навантажувальних режимів експлуатації двигуна (рис.4 і 5). Завдяки застосуванню ГПП відзначено збільшення крутячого моменту в середньому на 5.7% по швидкісній характеристиці, зниження питомої ефективної витрати палива на режимах повних навантажень до 3.8%.

## ВИСНОВКИ

1. Помітний резерв розширення області ефективної роботи хвильового обмінника тиску зв'язаний із застосуванням гнучкого немеханічного приводу ротора. Водночас, розрахунково-експериментальні дослідження показують, що найбільше відомий із числа немеханічних - газовий привід, як самостійне джерело енергії, не забезпечує достатній запас крутячого моменту ротора ХОТ на режимах часткових навантажень.

2. Встановлено, що надолуження дефіциту крутячого моменту найбільш доцільно здійснювати шляхом доповнення газового приводу гідравлічним, вбудованим у підшипниковий вузол вала ротора ХОТ. Автономність такого приводу забезпечує можливість автоматичної підтримки необхідної частоти обертання ротора у всій області експлуатації КДВЗ, включаючи часткові навантаження і режими холостого ходу.

3. Розроблено, створено і досліджено експериментальний зразок ХОТ В110КП для наддуву дизеля 4Ч8.5/11 з адаптивним газогідравлічним приводом ротора і системою примусового вентилявання напорообмінних каналів.

4. Розроблена математична модель робочого процесу хвильового обмінника тиску, заснована на використанні модернізованого методу розпаду довільного розриву, дозволяє описати відривні явища нестационарного обтікання кромки на вхідних ділянках напорообмінних каналів і врахувати особливості граничних умов у каналах газового приводу.

Запропоновано комплекс методик і програм розрахунку ХОТ із гнучким приводом, що включає методику розрахунку раціональних параметрів газового приводу, а також графо-аналітичний метод визначення характеристики регулювання швидкісного режиму ХОТ.

5. Уточнено механізм протікання газодинамічних процесів у хвильовому обміннику тиску з урахуванням втрат енергії в граничних перетинах напорообмінних каналів. Розроблено рекомендації щодо вибору раціональних параметрів газогідравлічного приводу.

Встановлено, що залежність частоти обертання ротора обмінника від тиску газів у вікні ГВТ має практично лінійний характер; раціональне значення кута нахилу газопідводного каналу до осі напорообмінного каналу складає  $55...58^\circ$ ; співвідношення крутячих моментів газового і гідравлічного приводів на режимі  $0.8N_{e_{max}}$  складає 1:1.36, а на режимі  $0.5N_{e_{max}}$  - 1:6.9.

6. Експериментальні дослідження дизеля 4Ч8.5/11, обладнаного ХОТ В110КП, підтвердили спроможність обмінника з комбінованим приводом ротора забезпечувати надлишковий тиск у циліндрах вже на перших тактах роботи двигуна.

7. Отримано нові експериментальні дані щодо режимів спільної роботи ДВЗ з обмінником, обладнаним адаптивним гнучким немеханічним приводом. Порівняльна оцінка ефективності роботи дизеля 4Ч8.5/11 із ХОТ із ремінним і газогідравлічним приводом показала, що останній забезпечує:

- збільшення коефіцієнта пристосовуваності за крутячим моментом на 4.5% при одночасному зсуві максимуму крутячого моменту у бік знижених частот обертання колінчастого вала двигуна;
- зниження до 5% середньоексплуатаційної витрати палива дизелем 4Ч8.5/11, в умовах експлуатації транспортних установок.

8. Випробування дослідного зразка (наробка більше 500 годин) підтвердили експлуатаційну надійність як елементів комбінованого приводу, так і ХОТ В110КП у цілому.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Крайнюк А.И., Левчук В.П., Черных А.В. Методика расчета газового привода ротора волнового обменника давления // Збірник наукових праць Східноукраїнського державного університету.- Луганськ, Вид-цтво СУДУ, 1998. - С.115-120.

2. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В., Левчук В.П. Пути совершенствования систем воздухообмена дизельных двигателей // Вісник Східноукраїнського державного університету. - Луганськ: Вид-цтво СУДУ. - 1996. - №1. - С.143-147.

3. А.И.Крайнюк, В.П.Левчук, Ю.В.Сторчеус. Графо-аналитический метод определения гидравлической составляющей комбинированного привода ротора волнового обменника давления транспортного двигателя // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. - Луганськ: Вид-цтво СУДУ. - 1999. - № 2 . - С252-259.

4. Крайнюк А.И., Левчук В.П., Сторчеус Ю.В. Пусковые свойства дизеля с волновым обменником давления // Транспортное машиностроение: Респ. межведомственный научно-техн. сб. - Киев: ВУГУ. - 1995. - С.231-237.

5. Крайнюк А.И., Рыбальченко А.Г., Левчук В.П. Моделирование граничных условий газодинамического процесса в волновом обменнике давления // Двигателестроение, 1989 - №3 - С.9 - 11.

6. Крайнюк А.И., Маяцкий С.А., Левчук В.П. Согласование расходных характеристик волнового обменника давления и ДВС // Системы и узлы перспективных тепловозов / Межвуз. научно-техн. сборник; Под ред.Ю.А.Куликова.- Киев, УМК ВО, 1990 - С.89 - 97.

7. А.с. 1343123 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, И.П.Васильев; ЛМСИ - Заявл.24.02.1986; Оpubл.24.08.1987; Бюллетень №37 -С.145.

8. А.с. 1379502 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, И.П.Васильев, В.П.Левчук; ЛМСИ - Заявл.22.04.1986; Оpubл.22.01.1988; Бюллетень №9 - С.148.

9. А.с. 1386754 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, С.А.Нестеров, В.П.Писарев; ЛМСИ - Заявл.16.10.1986; Оpubл.19.02.1988; Бюллетень №13 - С.143-144.

10. А.с. 1437589 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, С.А.Нестеров; ЛМСИ - Заявл.03.02.1987; Оpubл.17.10.1988; Бюлл. №42- С.149-150.

11. А.с. 1495467 СССР, МКИ F02B33/42, 39/08, F01M11/03, F04F11/02. Двигатель внутреннего сгорания / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, И.И.Крайнюк, В.П.Левчук; ЛМСИ - Заявл.23.11.1987; Оpubл.05.07.1989; Бюллетень №27 - С.132.

12. А.с. 1495469 СССР, МКИ F02B39/08, 33/42, F04F11/02. Устройство для наддува двигателей внутреннего сгорания / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, С.А.Маяцкий; ЛМСИ - Заявл.04.08.1987; Оpubл.05.07.1989; Бюллетень №27 - С.137.

13. А.с. 1495529 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, И.П.Васильев; ЛМСИ- Заявл.15.09.1987;Оpubл.05.07.1989; Бюллетень №27-С.146-147.

14. А.с. 1528971 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, С.А.Маяцкий; ЛМСИ - Заявл.28.12.1987; Оpubл.01.11.1989; Бюллетень №46 -С.135.



15. А.с. 1566100 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, С.А.Маяцкий; ЛМСИ-Заявлено 05.08.1988;Опубл.17.04.1990; Бюллетень №19 -С.165.

16. А.с. 1590692 СССР, МКИ F04F11/02. Ротор волнового обменника давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, С.А.Маяцкий, В.П. Левчук; ЛМСИ - Заявл.19.05.1988; Опубл.07.09.1990; Бюллетень №33 - С.145.

17. А.с.1642096 СНГ, МКИ F04F11/02. Ротор волнового обменника давления/А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, В.А.Малый; ЛМСИ-Заявл.23.11.1987; Опубл.15.04.1991; Бюллетень №14 - С.132.

18. А.с. 1703842 СНГ, МКИ F02B27/00. Двигатель внутреннего сгорания / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, В.Л.Писарев; ЛМСИ - Заявл.12.02.1990; Опубл.07.01.1992; Бюллетень №1 - С.92.

19. А.с. 1717853 СНГ, МКИ F02B33/42. Комбинированный двигатель внутреннего сгорания / А.И.Крайнюк, В.П.Левчук, А.П.Курдюков, Е.А.Малков; ПО "Юждизельмаш"- Заявл.05.04.1989;Опубл.15.02. 1992; Бюллетень №9 - С.127.

20. А.с. 1740801 СНГ, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И.Крайнюк, А.Г.Рыбальченко, В.П.Левчук, И.И.Крайнюк; ЛМСИ - Заявл.01.09.1989; Опубл.15.06.1992; Бюллетень №22 - С.118.

#### АНОТАЦІЯ

Левчук В.П. Поліпшення експлуатаційних показників двигуна з хвильовим обмінником тиску шляхом удосконалення приводу ротора. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - Теплові двигуни. - Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2000.

Дисертацію присвячено удосконаленню системи повітряпостачання "Сотрех" комбінованого двигуна транспортної установки. Розроблено газогідравлічний привід з САР швидкісного режиму обмінника. Розроблено комплекс математичних моделей, методик та програм розрахунку робочих процесів ДВЗ з ХОТ з немеханічним приводом ротора обмінника. Проведено розрахунково-експериментальні дослідження впливу режимних та конструктивних параметрів ХОТ з газогідравлічним приводом ротору на показники роботи комбінованого двигуна. Результати роботи знайшли впровадження при проектуванні систем повітряпостачання транспортних двигунів.

Ключові слова: двигун, хвильовий обмінник тиску, ротор, комбінований привід.

#### SUMMARY

Levchuck V.P. Improvement of engine with wave pressure supercharger exploitation characteristics by rotor's drive improvement. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by speciality 05.05.03 - Heat engines. Kharkov

State Academy of Railways Transport, Kharkov, 2000.

The dissertation is devoted to improvement of “Comprex” air-supply system of transport unit combine engine. The gas-hydraulic rotor’s drive WPS with ARS of the exchanger velocity conditions has been work out. The complex of mathematics models, methodic and calculation programs of internal combustion engine with WPS with non-mechanical exchanger rotor’s drive working processes has been developed. The calculation-experimental research of the influence condition and construction parametres of WPS with gas-hydraulic rotor’s drive upon the combine engine’s working characteristics have been carried out. The results of the work have found utility in the design of the transport engines air-supply systems.

Key words: engine, wave pressure supercharger, rotor, combine drive.

#### АННОТАЦИЯ

Левчук В.П. Улучшение эксплуатационных показателей двигателя с волновым обменником давления путем совершенствования привода ротора. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - Тепловые двигатели. - Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2000.

Диссертация посвящена совершенствованию системы воздухообеспечения “Comprex” комбинированного двигателя транспортной установки.

Проведен обзор работ, направленных на улучшение эффективности работы ВОД в составе КДВС. Дальнейшее совершенствование систем наддува с ВОД связано с использованием независимого от коленчатого вала двигателя привода ротора.

Разработан комбинированный газогидравлический привод ротора обменника с системой автоматического регулирования, не имеющий механической связи с коленчатым валом двигателя.

Разработан комплекс математических моделей, методик и программ расчета рабочих процессов ДВС с ВОД: математическая модель рабочего процесса ВОД, учитывающая потери в каналах газового привода; методика расчета рациональных параметров газового привода; графо-аналитический метод определения регуляторной характеристики скоростного режима ВОД; математическая модель согласования расходных характеристик КДВС и ВОД; упрощенный метод определения основных конструктивных параметров системы автоматического регулирования.

Проведены расчетные и экспериментальные исследования влияния режимных и конструктивных параметров ВОД с газогидравлическим приводом ротора на показатели работы комбинированного двигателя. Экспериментально определен рабочий диапазон частоты вращения ротора (7000...11500 мин<sup>-1</sup>) комбинированного двигателя 4Ч8.5/11 с обменником В110КП.

Установлена доля мощности каждой из составляющих комбинированного привода, затрачиваемая на привод для всех режимов

эксплуатации двигателя с ВОД. На режиме  $0.2P_{e_{max}}$  крутящий момент на валу ротора обеспечивается в основном за счет гидравлической составляющей (до 80%). С ростом нагрузки доля гидравлической составляющей уменьшается и на режиме  $0.85P_{e_{max}}$  составляет 50%. На режимах полных нагрузок обеспечение крутящего момента достигается газовыми силами.

Приведены сравнительные характеристики дизеля 4Ч8.5/11 с различными типами приводов ротора ВОД. Наибольший эффект от применения газогидравлического привода достигается в области пониженных скоростных и нагрузочных режимов эксплуатации двигателя.

Результаты работы нашли применение при проектировании систем воздухообеспечения транспортных двигателей.

Ключевые слова: двигатель, волновой обменник давления, ротор, комбинированный привод.

**ЛЕВЧУК Вячеслав Петрович**

**ПОЛПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА  
З ХВИЛЬОВИМ ОБМІННИКОМ ТИСКУ ШЛЯХОМ  
УДОСКОНАЛЮВАННЯ ПРИВОДУ РОТОРА**

**05.05.03 - Теплові двигуни**

Відповідальний за випуск: Карауш О.П.

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60x84. 1/16 д.а. 1.0  
Замовлення \_\_\_\_\_. Тираж 100 екз.

---

Ротапринт СУДУ; 91034, м.Луганськ, кв. Молодіжний, 20а