

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДАЦЮК  
Ростислав Юхимович

УДК 621.433.052

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ГАЗОТУРБІННОГО НАДДУВУ

Спеціальність 05.04.02-теплові двигуни

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

КИЇВ - 1997



00743536 (S)

Дисертація є рукопис

Робота виконана у Львівському державному аграрному університеті на кафедрі "Трактори і автомобілі"

Науковий керівник- доктор технічних наук, професор  
Долганов Кінт Євгенович,  
Український транспортний університет,  
професор кафедри "Двигуни і теплотехніка"

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Головчук Андрій Федорович,  
Дніпропетровський державний аграрний університет, завідувач  
кафедрою "Трактори і автомобілі",

кандидат технічних наук, доцент, Матейчик Василь Петрович,  
Український транспортний університет, доцент.

Провідна установа- Національний аграрний університет,  
кафедра "Трактори і автомобілі", м. Київ

Захист відбудеться "30" січня 1998 р. о 10 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.059.03  
при Українському транспортному університеті за адресою  
252010, м. Київ-10, вул. Суворова, 1, УТУ, ауд. 333Б

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці  
Українського транспортного університету за адресою  
252103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42

Автореферат розісланий "24" зрудня 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  М. М. Дмитрієв

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В зв'язку з виснаженням природних запасів нафти на Земній кулі перед людством все гостріше постає проблема заміни рідких моторних палив альтернативними видами палива. При цьому нові види палива повинні забезпечити зниження викидів шкідливих речовин двигунами внутрішнього згорання, які застосовуються на транспортних засобах. Можна вважати загально визнаним, що найбільш ймовірною заміною для рідких моторних палив, вироблюваних з нафти, на ближню перспективу буде природний газ. Тому, в усіх країнах з кожним роком все більше уваги приділяється виробництву і застосуванню газових двигунів, газобалонних автомобілів і автобусів з такими двигунами. Особливо актуальним це питання є для України, у якій природні ресурси нафти є незначними.

Одним із найбільш розповсюджених способів використання природного газу на автомобілях є переобладнання серійно випущених бензинових двигунів з іскровим запалюванням у газові, що дає економію бензину і суттєво знижує викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ).

Але з переобладнанням бензинових двигунів у газові відбувається зниження потужності двигуна на 18-22% головним чином із-за меншої теплоти згорання газоповітряної суміші у порівнянні із бензоповітряною і гіршим наповненням циліндрів свіжим зарядом. Це призводить до погіршення тягово-динамічних якостей автомобіля, а тому підвищення техніко-економічних показників газових двигунів стає актуальним завданням.

Відновити потужність переобладнаного двигуна можна збільшенням ступеня стиску до 10...12 одиниць, що є можливим для природного газу, який має октанове число 90-110, проти 85-90 у бензинів (за моторним методом), але тоді двигун не зможе працювати на бензині, тобто не буде універсальним.

Є інший шлях покращення наповнення циліндрів газового двигуна свіжим зарядом-застосуванням турбонаддуву. Питання є новим.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Дослідження, виконані в дисертації, є частиною Державної науково-технічної програми "Економія палива і раціональне використання паливо-мастильних матеріалів на 1992-1995 роки", затвердженої наказом №42 ДКНТ України від 13.10.92 р.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є відновлення потужності бензинових двигунів при роботі на природному газі шляхом застосування газотурбінного наддуву (ГТН).

**Задачі дослідження:**

1. Вибрати принципіальну схему і розробити конструкцію системи ГТН для універсальних газобензинових двигунів.
2. Розробити методику розрахункового і експериментального дослідження газових двигунів з газотурбінним наддувом.
3. Створити установку для дослідження двопаливних двигунів, які обладнані газотурбінним наддувом.
4. Підібрати турбокомпресор (ТК) для газового двигуна.
5. Провести експериментальні дослідження з індичюванням двопаливних двигунів з ГТН і визначенням їх токсичності і шумності.
6. Оцінити вплив ГТН на напруження і запаси міцності деталей кривошипно-шатунного механізму двопаливного двигуна ЗІЛ-ІЗ8ІН шляхом розрахунків на математичних моделях.
7. Розробити рекомендації щодо впровадження результатів дослідження.

**Наукову новизну одержаних результатів** складають:

1. Вперше запропонована принципіальна схема системи ГТН для автомобільних газових двигунів з іскровим запалюванням.
2. Математична модель для розрахунку індикаторних і ефективних показників двигунів з газотурбінним наддувом.
3. Методика експериментального дослідження характеристик автомобільного двигуна з газотурбінним наддувом.
4. Методика обробки індикаторних діаграм і визначення характеристик тепловиділення на ЕОМ.

**Практичне значення одержаних результатів:**

1. Конструкція експериментальної системи ГТН для газових двигунів.
2. Алгоритми і програма для розрахунку і аналізу газового двигуна з газотурбінним наддувом.
3. Результати досліджень газових двигунів з експериментальною системою газотурбінного наддуву передані інституту "Укравтобуспрому" у трьох звітах з НДР з госпдоговірних тем.
4. Можливість покращення техніко-економічних показників газових двигунів і підвищення динаміки автомобілів.

**Автором особисто розроблено:**

1. Принципіальну схему і конструкцію системи газотурбінного

наддуву для автомобільних газових двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН.

2. Складено математичну модель для розрахунку індикаторних і ефективних показників двигунів з газотурбінним наддувом.

3. Складені алгоритм і програма для розрахунку і аналізу характеристик газового двигуна з газотурбінним наддувом.

4. Проведено індицивання двигуна ЗІЛ-138ІН.

**Апробація результатів дисертації.**

Головні положення дисертації обговорені та схвалені: на засіданнях кафедри "Двигуни і теплотехніка" УТУ; міжкафедрального семінару Львівського ДАУ; наукових конференціях Львівського ДАУ (1989-1997 р.р) і УТУ (1996-1997 р.р); на республіканських семінарах з проблем теплових двигунів і ресурсозбереження, ТДАТА м. Мелітополь (1996-1997р.р).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень висвітлені в 7 друкованих працях, і авторському свідоцтві і 1 патенті на винаходи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел, який включає 108 найменувань, в тому числі 9 іноземних джерел, з повного обсягу у дисертації складають 128 сторінок машинописного тексту, 71 рисунок, 11 таблиць і 9 додатків.

### **ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтована актуальність застосування газотурбінного наддуву для відновлення потужності двопаливних газобензинових двигунів з іскровим запалюванням, яка знижується при роботі їх на природному газі.

У першому розділі проведено аналіз стану з паливними ресурсами для автомобільного транспорту в Україні і перспективи розширення використання природного газу. Відмічено, що двигун працюючий на газі, набагато старший бензинового, а також дизеля.

Особливо різко зріс інтерес до використання природного газу на транспорті в період світової енергетичної кризи, яка вразила зарубіжні країни, де були прийняті і реалізуються багаточисельні програми з альтернативних видів моторного палива.

Другим стимулом переведення автотранспорту на газове паливо є необхідність зниження вмісту токсичних складових у ВГ.

З цієї причини у багатьох країнах інтенсифіковані роботи з

переведення на газ громадського транспорту, в першу чергу автобусів, в т.ч. з дизелями.

Однак основними газовими двигунами на автомобілях є бензинові двигни з іскровим запалюванням, пристосовані для роботи на газових паливах. Ці двигуни можуть працювати як на газовому паливі, так і на бензині і тому їх називають двопаливними. Ступінь стиску в них обмежується границею бездетонаційної роботи на бензині. При роботі на природному газі потужність таких двигунів знижується на 18-22%. Її можна відновити застосуванням газотурбінного наддуву. Наддув повинен бути таким, щоб потужність двигуна при роботі на природному газі була не більшою, ніж при роботі на бензині, уникаючи таким чином механічних і термічних переважень деталей двигуна, що може призвести до передчасного їх зносу і навіть до поломок.

Автору не вдалося знайти в літературних джерелах даних про застосування наддуву на двопаливних двигунах для вказаної мети.

Але з літературних джерел відомо, що турбонаддув знайшов застосування на автомобільних бензинових двигунах у США, Японії, Німеччині та Австрії ще в 60-х роках. Основним обмежником для розповсюдження цих двигунів є високі вимоги до октанового числа бензину, вони вимагають застосування бензину з октановим числом 91-100 одиниць за моторним методом. Природний газ забезпечує ці вимоги тому, що октанове число у нього не нижче 104 одиниць.

Особливої уваги заслуговує повідомлення про те, що за допомогою турбонаддуву можна не тільки підвищити потужність двигуна без суттєвого збільшення його маси і габаритів, але й значно зменшити витрату палива і викид токсичних компонентів з відпрацьованими газами.

У другому розділі викладено розробки принципіальної схеми системи газотурбінного наддуву для автомобільних газових двигунів і математичних моделей для розрахунково-теоретичних досліджень.

Об'єктами досліджень є газові двигуни ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН, в яких утворення газоповітряної суміші здійснюється у карбюраторі-змішувачі. На таких двигунах можливі два варіанти встановлення турбокомпресора: після карбюратора-змішувача і перед ним. Найбільш суттєвим недоліком схеми встановлення турбокомпресора після карбюратора-небезпека помпажу компресора на малих відкриттях дросельної заслінки. Тому у дисертації прийнято розміщення турбокомпресора перед карбюратором, що вимагає герметизацію заслінки.

Основні елементи живлення газом (рис. 1): підігрівач газу 1, у який стиснений газ надходить із балонів з максимальним тиском 20 МПа, редуктор високого тиску 2, електромагнітний клапан-фільтр 4, двоступінчастий редуктор низького тиску 15 (РНТ), газоповітряний карбюратор-змішувач 12. Основні елементи постачання повітря: повітроочисник 13, турбокомпресор 7, повітроохолоджувач 9.

Газ надходить з редуктора 15 у карбюратор-змішувач 12 під надлишковим тиском, для чого задіафрагмові порожнини у першому і другому ступенях серійного двоступінчастого РНТ сполучені не з атмосферою, а з впускним патрубком карбюратора-змішувача 12, у який подається повітря з турбокомпресора 7.

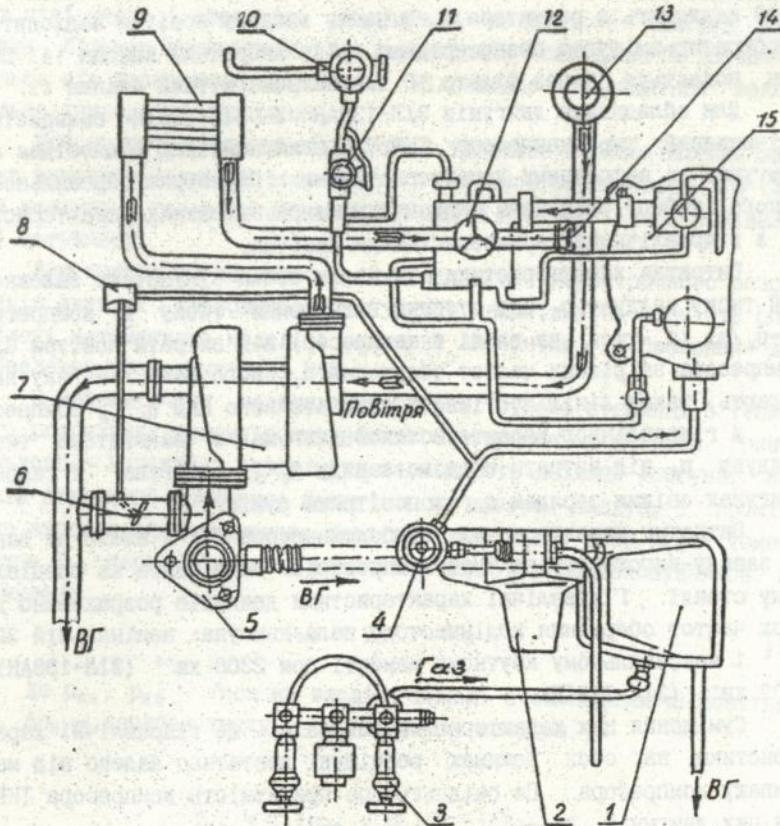


Рис. 1. Схема конструкції турбонаддуву двигуна ЗІЛ-138ІН

Під час роботи на газовому паливі стиснений газ з балонів через відчинений вентиль 3 надходить у підігрівач 1, крізь який проходять ВГ, підігрівається і надходить до редуктора 2, де тиск газу знижується до 0,8-1,2 МПа і далі через клапан 4 у двоступінчастий редуктор 15, де знижується тиск до 0,18-0,20 МПа у першому ступені, а у другому ступені тиск газу залежить від тиску наддуву.

Далі газ надходить у газоповітряний карбюратор-змішувач 12, у який одночасно від турбокомпресора 7 через повітроохолоджувач 9 подається стиснене повітря.

Під час роботи на бензині турбокомпресор вимикається шляхом перепуску ВГ з колектора 5 поза турбіною за допомогою перепускної заслінки 6, на яку діє пневмоциліндр 8, що працює під тиском газу, який надходить з редуктора 4. В цьому випадку повітря надходить у карбюратор-змішувач безпосередньо крізь зворотний клапан 14. Бензин подається через фільтр 10 і електромагнітний клапан 11.

Для обладнання двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН використано вітчизняний турбокомпресор ТКР-7, який найбільш відповідає цим двигунам за витратними характеристиками. Перевірка правильності такого вибору здійснена шляхом суміщення витратних характеристик ТК з гідравлічними характеристиками двигуна.

Витратна характеристика ТК являє собою сукупність залежностей тиску наддуву  $p_k$  або ступеня підвищення тиску в компресорі  $\pi_k = p_k / p_0$  ( $p_0$  - тиск на вході в компресор) від витрати повітря  $G_k$  з компресора за різних частот обертання  $n_{TK}$  його вала, на яку накладають також лінії постійного адіабатичного ККД  $\eta_{к,ад}$  компресора, а гідравлічною характеристикою двигуна є залежність тиску наддуву  $p_k$  від витрати свіжого заряду  $G_{с.з.}$  двигуна. У газових двигунах свіжим зарядом є газоповітряна суміш.

Витратну характеристику турбокомпресора ТКР-7 взято за даними заводу-виготовлювача турбокомпресорів. Вона знята на спеціальному стенді. Гідравлічні характеристики двигунів розраховано для двох частот обертання колінчастого вала двигуна: номінальній 3200  $\text{хв}^{-1}$  і максимальному крутному моменті при 2300  $\text{хв}^{-1}$  (ЗІЛ-138АН) і 2200  $\text{хв}^{-1}$  (ЗІЛ-138ІН).

Суміщення цих характеристик показало, що гідравлічні характеристики на обох режимах розміщені достатньо далеко від межі помпажу компресора. Це свідчить про придатність компресора ТКР-7 для цих двигунів.

Але на двигуні ТК працює в інших умовах, ніж на випробуваль-

ному стенді - нагріті ВГ подаються в турбіну ТК. Крутний момент, який створюється турбіною, залежить від витрати  $G_T$  відпрацьованих газів через турбіну і від їх температури. Від крутного моменту турбіни залежить частота обертання вала ТК, а від неї - тиск наддуву  $P_K$ , який є функцією потужності.

Виразити всі залежності аналітичним шляхом, без конкретних дослідних даних для конкретного двигуна дуже складно. Тому найбільш надійним і простим способом є перевірка роботи вибраного ТК безпосередньо на двигуні. Про це написано в наступних розділах.

Максимальний тиск наддуву повинен обмежуватись певною величиною шляхом перепуску частини ВГ поза турбіною, щоб потужність двигуна при роботі на газі була приблизно такою ж самою, як на бензині. Однак в процесі експлуатації можуть відбутись відхилення від цієї умови і ефективна номінальна потужність двигуна може стати більшою паспортної. Це перевищення може досягти до 15% і більше від паспортного значення. Відповідно підвищиться максимальна температура згоряння.

Щоб оцінити можливе механічне і термічне перевантаження двигуна виконано тепловий розрахунок: базового бензинового ЗІЛ-138І без наддуву і газового двигуна ЗІЛ-138ІН при 100 і 115% номінальної потужності.

Для виконання теплового, динамічного і перевірного розрахунків деталей кривошипно - шатунного механізму на міцність розроблені математичні моделі і складені алгоритми і програми для проведення розрахунків на ЕОМ.

В математичних моделях використані відомі рівняння з теплового розрахунку двигунів внутрішнього згоряння за методом Гриневецького - Мазінга і розрахунку на міцність деталей двигуна, але в ній додатково враховано наявність на двигуні наддуву і проміжного охолодження наддувного повітря. Для цього тиск  $P_{K2}$  і температура  $T_{K2}$  перед впускними клапанами двигунів вираховувались за формулами:

$$P_{K2} = P_{K1} - \Delta P_K \quad (1)$$

де  $P_{K1}$ ,  $P_{K2}$  - тиск на вході і виході з охолоджувача повітря;  
 $\Delta P_K$  - перепад тиску в охолоджувачі повітря.

$$T_{K2} = T_0 (P_{K2} / P_0)^{(m-1)/m} - \Delta T_{Ox} \quad (2)$$

де  $m$  - показник політропи стиску повітря в компресорі;

$\Delta T_{ох}$  - зміна температури повітря в охолоджувачі.

Тиск  $p_a$  і температура  $T_a$  на початку стиску вираховувались за формулами

$$p_a = p_{к2} - K_n \frac{W_{вп}^2}{2} \rho_{к2} . \quad (3)$$

де  $K_n$  - коефіцієнт, який враховує опір впускної системи і сповільнення швидкості свіжого заряду розглядуваного перерізу циліндра;

$W_{вп}$  - середня швидкість повітря у прохідних отворах впускних клапанів;

$\rho_{к2}$  - густина свіжого заряду

$$\rho_{к2} = p_{к2} / R_0 \cdot z \cdot T_{к2} . \quad (4)$$

$$T_a = (T_{к2} + \Delta T + \gamma_r t_r) / (1 + \gamma_r) . \quad (5)$$

де  $\Delta T$  - величина підігріву свіжого заряду від стінок циліндра, К;

$\gamma_r$  - коефіцієнт залишкових газів;

$T_r$  - температура залишкових газів, К

$$\gamma_r = \frac{T_{к2} + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\epsilon p_a - p_r} . \quad (6)$$

де  $p_r$  - тиск залишкових газів.

Блок-схема алгоритму теплового розрахунку складена на основі блок-схеми розрахунку бензинових двигунів. У неї внесені зміни, які враховують особливості теплового розрахунку газових двигунів з іскровим запалюванням.

Розрахунок проведено для роботи двигуна на природному газі, в склад якого входять: метан  $CH_4$  - 95%, азот  $N_2$  - 4% і вуглекислий газ  $CO_2$  - 1%.

Для розрахунку використано наступні специфічні для газового двигуна формули.

Кількість повітря  $L_0 \Gamma$ , теоретично необхідного для повного згоряння 1 кмоль газового палива, кмоль повітря /кмоль газ.палива

$$L_0 \Gamma = \frac{1}{0,21} \sum \left( n + \frac{m}{4} + \frac{r}{2} \right) M_{снпмог} . \quad (7)$$

де  $n$ ,  $m$ ,  $r$  - число атомів, які містяться в молекулі відпо-

відного газу і входять до складу природного газу.

У склад природного газу входить один горючий газ-метан  $\text{CH}_4$ . Тому для природного газу

$$L_0^r = \frac{1}{0,21} = 9,52 \text{ кмоль повітря/кмоль газ. палива.}$$

Кількість кмолей свіжого заряду (газоповітряної суміші), яка припадає на 1 кмоль газового палива

$$M_1 = 1 + \alpha_T L_0^r \text{ кмоль св. заряду /кмоль газ. палива.} \quad (8)$$

Для природного газу рівняння (8) приймає такий вигляд

$$M_1 = M_{\text{CH}_4} + M_{\text{CO}_2} + M'_{\text{N}_2} + \alpha_T L_0^r, \quad (9)$$

кмоль св. заряду/кмоль газ. палива.

де  $M_{\text{CH}_4} = 0,95$  кмоль  $\text{CH}_4$ /кмоль газ. палива;

$M_{\text{CO}_2} = 0,01$  кмоль  $\text{CO}_2$ /кмоль газ. палива;

$M'_{\text{N}_2} = 0,04$  кмоль  $\text{N}_2$ /кмоль газ. палива.

В продуктах повного згоряння газового палива при  $\alpha_T > 1,0$  міститься діоксид вуглецю  $\text{CO}_2$ , водяний пар  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ , і  $\text{N}_2$ .

Кількість продуктів згоряння при  $\alpha_T > 1$

$$M_2 = \Sigma \left( n + \frac{m}{2} \right) M_{\text{спинпог}} + M'_{\text{N}_2} + (\alpha_T - 0,21) \alpha_T L_0^r, \quad (10)$$

кмоль прод. згор./кмоль газ. палива.

Рівняння згоряння газоповітряної суміші, КДж/кмоль

$$\frac{22,4 \xi Q_{\text{н}}}{\mu M_1 (1 + \gamma_r)} + \frac{\mu C'_v t_0}{\mu} = \mu C'_v t_2. \quad (11)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт використання теплоти;

$Q_{\text{н}}$  - нижча теплота згоряння природного газу, КДж/м<sup>3</sup>.

Середня молярна теплоємність газоповітряної суміші природного газу з повітрям, КДж/(кмоль·К)

$$\mu C'_v = \frac{1}{M_1} (M_{\text{CH}_4} \mu C_v \text{CH}_4 + M_{\text{CO}_2} \mu C_v \text{CO}_2 + M_{\text{N}_2} \mu C_v \text{N}_2 + \gamma_r L_0^r \mu C_{\text{сп}}). \quad (12)$$

де  $\mu C_{\text{сп}}$  - середня молярна теплоємність повітря, КДж/(кмоль·К).

Перевірка на міцність проводилась для деталей: гільза циліндра, шпильки кріплення головки блока, поршень, поршневі пальці, шатун, кришка шатуна, шатунні болти.

Розраховувався також максимальний і середній тиск на шатунну шийку колінчастого вала.

У третьому розділі описані установки для експериментальних досліджень, вимірвальні прилади та методика досліджень.

Об'єктами досліджень були восьмициліндрові, чотириохтактні двигуни ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН.

Дослідження виконувались на електричних гальмових стендах СТЕУ-40-1000 і КІ-5540М, які були обладнані приладами, необхідними для виконання запланованих досліджень.

Усі співставлені дослідження проводились в однакових умовах навколишнього середовища. Кут випередження запалювання встановлювався оптимальний як для двигуна без наддуву, так і з наддувом. Точність основних вимірювань не виходила за межі допустимих значень, які передбачені держстандартами на методи стендових і промислових досліджень.

Індиціювання двигуна проводилось за допомогою п'єзокварцевого датчика з записом осцилограм на осцилографі С8-17. Записувалась величина швидкості зміни тиску у часі. Процедура переходу від кривої зміни швидкості тиску до індикаторної діаграми виконувалась на ЕОМ. Цей процес здійснювався програмою на мові Паскаль. Для цього розроблено методику і складено пакет програм.

Під час індиціювання двигуна проводились виміри різних параметрів, які характеризують його роботу: крутний момент, витрата палива, тиск і температура повітря, яке наддувається та інші.

У четвертому розділі викладені результати розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень.

Для визначення оптимальної витрати газу через дозуючі шайби знімалися регульовальні характеристики з ввімкнутим наддувом при номінальній частоті обертання колінчастого вала  $3200 \text{ хв}^{-1}$ . А для порівняння така ж характеристика на тому ж двигуні без ТК.

Двигун був без радіатора для охолодження наддувного повітря. Температура  $T_{охл}$  охолоджуючої рідини, температура масла  $T_{м}$  і температура  $T_{к}$  наддувного повітря знаходились відповідно в межах  $T_{охл}=353...363^{\circ}\text{К}$ ,  $T_{м}=345...355^{\circ}\text{К}$ ,  $T_{к}=313...333^{\circ}\text{К}$ .

Подача газу регулювалася за допомогою конічного гвинта, який входить в отвір дозуючої шайби економічного регулювання діаметром  $d_{шг}=12 \text{ мм}$  і товщиною 3 мм. Отвір шайби регулювання потужності було заглушено. Для кожного складу суміші шляхом підбору встановлювався найвигідніший кут випередження запалювання.

Без турбокомпресора максимальна потужність двигуна становить 78 кВт, годинна витрата газу при цьому  $V_{г}=45,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , питома

витрата енергії газу - 20,3 МДж/(кВт·год), температура ВГ рівна 1030°К, коефіцієнт надлишку повітря 0,94. Потужність двигуна на 29,3% менша, ніж у базового бензинового двигуна ЗІЛ-130 (110,3 кВт). Це властиве падіння потужності, яке відбувається з переведенням бензинових двигунів на природний газ.

Регульовальні характеристики двигуна з ввімкнутим наддувом залежать від величини тиску наддуву  $p_k$ , на який налаштований турбокомпресор. Тому вони знімались при різних зафіксованих положеннях заслінки, за допомогою якої можна регулювати перепуск ВГ поза турбіною.

Встановлено, що максимальний тиск, який може створити ТК, складає 0,07 МПа. Потужність двигуна при цьому тиску становить 126 кВт, що на 14,2% вище ніж по технічній характеристиці базового бензинового двигуна ЗІЛ-130 і на 61,5% вище, ніж у газового двигуна ЗІЛ-138АН з вимкнутим наддувом.

Але підвищувати потужність більшою, ніж у базового бензинового двигуна не слід, так як навантаження в кривошипно-шатунному механізмі і теплові навантаження деталей камери згоряння можуть перевищити допустимі значення.

На рис. 2 для порівняння суміщені зовнішні швидкісні характеристики двигуна ЗІЛ-138ІН з ввімкнутим і вимкнутим наддувом.

Завдяки наддуву потужність газового двигуна підвищилась з 93 до 132 кВт, тобто на 41%, зменшилась питома витрата енергії газу в межах частот обертання колінчастого вала 1700...3200  $\text{хв}^{-1}$  на 3,5...5,2 МДж/(кВт·год).

Без наддуву в інтервалі частот обертання 2000-3200  $\text{хв}^{-1}$  питома витрата теплоти практично є постійною і дорівнює 19 МДж/(кВт·год), а з наддувом і охолодженням повітря  $q_c$  плавно зростає від 14 МДж/(кВт·год) при  $n=2000 \text{ хв}^{-1}$  до 16,5 МДж/(кВт·год). При номінальній потужності витрата палива на 16,6% є нижчою ніж без наддуву. Ці дослідження підтвердили правильність вибору ТК типу ТКР-7.

На рис. 3, як приклад, показані індикаторні діаграми двигуна ЗІЛ-138ІН, які одержані при частоті обертання колінчастого вала 2000  $\text{хв}^{-1}$  з навантаженням 25; 50; 100% з наддувом і 100% без наддуву.

Максимальний тиск згоряння  $p_z$  без наддуву 3,95 МПа, а з наддувом 5,1 МПа, тобто з наддувом на 29% є більший. Максимальна

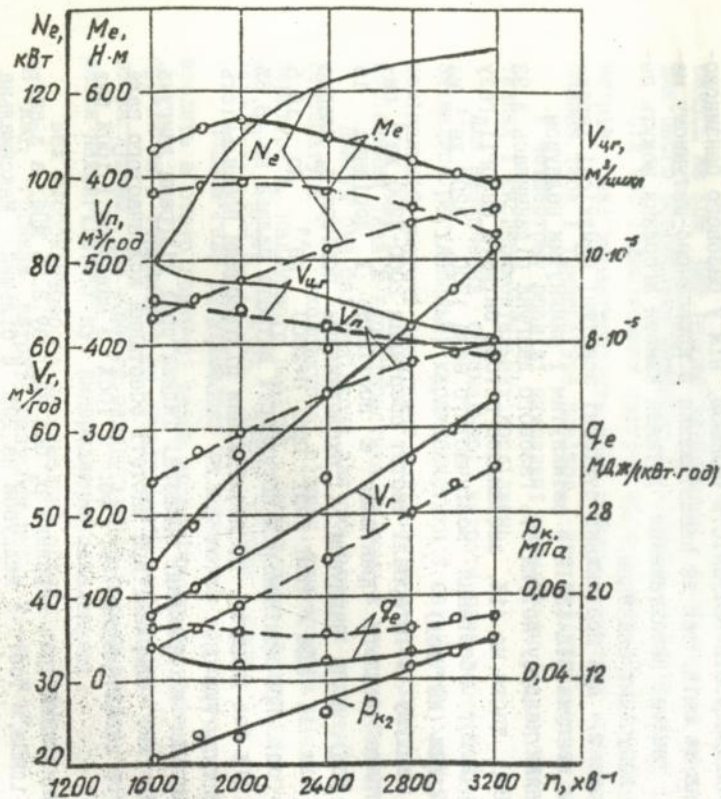


Рис. 2. Зовнішні швидкісні характеристики двигуна ЗІЛ-ІЗВІЕ

— з турбонадувом; - - без турбонадуву

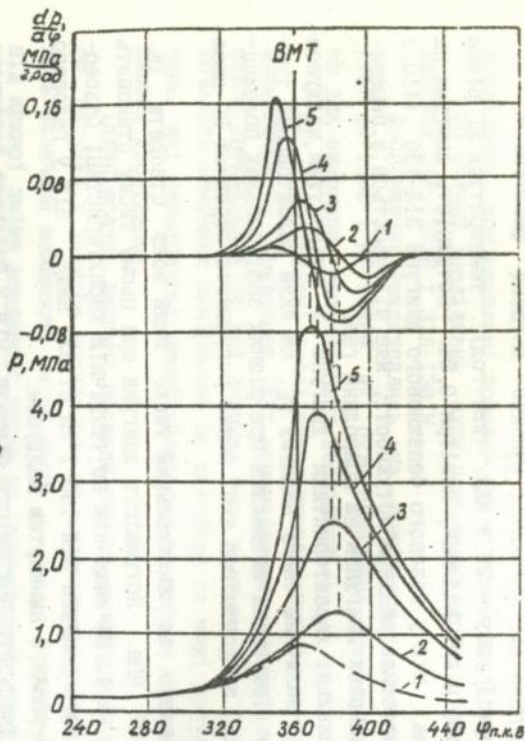


Рис. 3. Індикаторні діаграми двигуна ЗІЛ-ІЗВІЕ  
/ $n=2000 \text{ об/мин}$ ,  $p_{к1}=0,06 \text{ МПа}$ /:

1 - діаграма стиску-розширення; 2 - з надувом 25%  $N_e$ ,  $\alpha=1,48$ ; 3 - з надувом, 50%  $N_e$ ,  $\alpha=1,4$ ; 4 - без надуву 100%  $N_e$ ,  $\alpha=1,0$ ; 5 - з надувом, 100%  $N_e$ ,  $\alpha=1,0$ .

швидкість зростання тиску  $(dp_z/d\varphi)_{\max}$  без наддуву 0,125 МПа/град, з наддувом - 0,17 МПа/град, яка є більшою на 36% ніж без наддуву.

Індиціюванням двигуна встановлено, що під час роботи на бензині на номінальному режимі при  $3200 \text{ хв}^{-1}$  максимальний тиск згоряння дорівнює 4,98 МПа, максимальна швидкість зростання тиску під час згоряння 0,148 МПа/град, середній ефективний тиск 0,7 МПа, а під час роботи на природному газі з наддувом ці показники дорівнюють відповідно: 5,5 МПа, 0,153 МПа/град і 0,71 МПа, що більше відповідно на 2,9; 3,4 і 2,8%. На режимі максимального крутного моменту при  $2000 \text{ хв}^{-1}$  під час роботи на бензині максимальний тиск згоряння 4,95 МПа, максимальна швидкість зростання тиску 0,16 МПа/град, середній ефективний тиск 0,836 МПа. Під час роботи на газі з турбонадувом ці показники вищі відповідно на 3,0; 6,2 і 12,9%. Таке незначне збільшення перелічених показників суттєво не впливає на напруження і запаси міцності деталей кривошипно-шатунного механізму, що підтверджено розрахунками. Двигун з газотурбінним наддувом витрачає на 10...13% менше природного газу, ніж двигун без наддуву. Вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю CO на 20% менший, а оксидів азоту  $\text{NO}_x$  незначно більший.

Шумність газового двигуна з газотурбінним наддувом у порівнянні з бензиновим двигуном на 4-6 дБ нижча, що можна пояснити в значній мірі впливом турбокомпресора, який діє як глушник.

Проведено експлуатаційні випробування автобуса ЛАЗ-699РГ і вантажного автомобіля ЗІЛ-138А з двигунами, обладнаними газотурбінним наддувом, які підтвердили працездатність системи наддуву і придатність її для застосування на автомобільних газових двигунах з іскровим запалюванням.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи одержані такі результати:

1. Компенсувати зниження потужності бензинових двигунів з іскровим запалюванням з переведенням їх на газ можна збільшенням маси свіжого заряду, який надходить в циліндри двигуна при роботі на газі, застосуванням наддуву, що цілком є можливим.

2. Розрахунки і експерименти показали, що для наддуву універсальних автомобільних газових двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН можна використовувати серійно виготовлені вітчизняною промисловістю турбокомпресори типу ТКР-7 з застосуванням проміжного охолодження

наддувного повітря. Турбокомпресор доцільно встановлювати перед газоповітряним змішувачем, щоб не було значного дроселювання потоку свіжого заряду на вході в компресор при регулюванні потужності двигуна за допомогою дросельної заслінки карбюратора.

3. Застосування газотурбінного наддуву з використанням турбокомпресора ТКР-7 і проміжного охолодження наддувного повітря забезпечує одержання на двигуні ЗІЛ-138ІН номінальної потужності 132 кВт при  $3200 \text{ хв}^{-1}$  за надлишковим тиском наддуву  $p_k = 0.05 \text{ МПа}$ . Питома ефективна витрата енергії газу при цій потужності становить  $17,5 \text{ МДж/(кВт}\cdot\text{год)}$ , що на 16,6% менше, ніж без наддуву.

Потужність двигуна можна ще збільшити, але робити цього не слід з метою запобігання механічних і термічних перевантажень двигуна. Таким чином, турбокомпресор ТКР-7 з запасом забезпечує підвищення номінальної потужності універсальних газових двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН, необхідної для компенсації її зниження з переведенням цих двигунів для роботи на природному газі.

4. Форма кривої крутного моменту на зовнішній швидкісній характеристиці двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН з турбонаддувом визначається формою кривих зміни коефіцієнту наповнення циліндрів і зміни тиску наддуву. В результаті сумісної дії цих двох факторів запас крутного моменту у двигунах ЗІЛ-138ІН досягає 30%.

5. Основні параметри індикаторних діаграм універсального газового двигуна з газотурбінним наддувом - максимальний тиск в циліндрі, швидкість зростання тиску (жорсткість роботи двигуна), середній ефективний тиск, відрегульованого при роботі на газі на таку ж потужність, як при роботі на бензині, в обох випадках практично однакові, різниця між цими параметрами знаходиться в межах точності індиціювання.

Тому навантаження, які діють на деталі кривошипно-шатунного механізму, в обох випадках практично однакові і знаходяться в допустимих межах.

6. За допомогою турбокомпресора ТКР-7 можна забезпечити на номінальному режимі надлишковий тиск наддуву до  $0.07 \text{ МПа}$  і потужність газових двигунів ЗІЛ-138АН і ЗІЛ-138ІН на 15-20% більшу ніж при роботі на бензині без наддуву. Однак робити це не варто, тобто двигуни не розраховані на таке перевищення паспортної потужності. Тому тиск наддуву слід обмежувати границею  $0,05 \text{ МПа}$  шляхом перепуску частини ВГ поза турбіною, що передбачено в розробленій системі наддуву цих двигунів.

7. Система газотурбінного наддуву забезпечує не тільки відновлення потужності бензинових двигунів з переведенням їх на природний газ, але й покращує їх паливну економічність на 12%, знижує вміст у ВГ оксидів вуглецю на 20% ніж у двигунів без наддуву. Однак вміст оксидів азоту  $NO_x$  у ВГ дещо збільшується.

На 4-6 дБ знижується шумність двигуна завдяки тому, що турбокомпресор діє подібно глушнику.

8. Експлуатаційні випробування двигуна на автобусі ЛАЗ-699РГ і автомобілі ЗІЛ-138А підтвердили придатність розробленої системи наддуву для цієї мети.

9. На основі результатів досліджень можна рекомендувати застосування газотурбінного наддуву за допомогою турбокомпресора ТКР-7 на універсальних газових двигунах ЗІЛ-ІЗВАН і ЗІЛ-138ІН.

10. Результати досліджень можна використати при розробці нових газових двигунів з іскровим запалюванням як модифікації автомобільних дизелів, які передбачено випускати на моторних заводах України.

Основні положення дисертації опубліковані в таких працях:

1. Скречко Г.В., Кравець В.И., Барашков С.В., Дацюк Р.Ю., Зварич Б.М. Вибір газових двигунів для газових автобусів //Автошляховик України. -1993. -N 3 - с. 17-21.

2. Р.Ю. Дацюк., К.Є. Долганов, Ю.Р. Дацюк. Індиціювання газового двигуна ЗІЛ-138 ІН з газотурбінним наддувом. /Праці ЛДСГІ. Механізовані процеси с.г. виробництва. -Львів.: 1996. -с.141-144.

3. Р.Ю. Дацюк, К.Є. Долганов, О.Р. Дацюк. Розрахунок тепловиділення у газовому двигуні ЗІЛ-138ІН з газотурбінним наддувом. / Праці ЛДСГІ. Механізовані процеси с.г. виробництва. -Львів.: 1996. -с.145-149.

4. Р.Дацюк. Вплив газотурбінного наддуву на запас крутного моменту газового двигуна. /Вісник Львів, держ. агр. ун-у. Агроінженерні дослідження (N1). Збірн. пр.-Львів: Львів, держ. агр. ун-т, 1997. - с. 191-197.

5. Р. Дацюк, М. Фурманов, Б. Зварич. Токсичність газового двигуна з газотурбінним наддувом. /Вісник Львів, держ. агр. ун-у. Агроінженерні дослідження (N1). Збірн. пр.-Львів: Львів, держ. агр. ун-т, 1997. - с. 197-203.

6. Дацюк Р.Ю. Повышение технико - экономических показателей газовых двигателей атомобилей семейства ЗИЛ путем применения га-

зотурбинного наддува. /Матеріали другого республіканського науково-технічного семінара по удосконаленню показателів теплових двигателів і ресурсозбереженню. ТГАТА - Мелітополь.: 1996. - с. 58-59.

7. Дацюк Р.Ю. Підбір турбокомпресора для універсальних газових двигунів. / Матеріали третього республіканського семінара по удосконаленню показателів теплових двигателів і ресурсозбереженню. Труды Таврической ГАТА. Том 2. -Мелітополь, 1997 -с. 21-24.

8. А.с. N 1590578 СССР, МКИ В 25 J 15/00. Глушитель-нейтрализатор. / Скречко Г.В., Бабяк И.М., Шехмистер В.М., Дацюк Р.Е., Чиснок М.И. // N 4618974 ; Заявлено 19.09.88; Опубл. 08.04.90, Бюл. N33. - 4 с.

9. Пат. N 2044898 Российская Федерация, C1 F 02 B 37/00. Двухтопливный газобензиновый двигатель внутреннего сгорания с газотурбинным наддувом. / Жабин В.М., Фурманов Н.Н., Дацюк Р.Е. / N 4931764; Заявл. 29.10.91; Опубл. 27.09.95, Бюл. 27. - 5 с.

Крім того, вони містяться ще у трьох наукових звітах, трьох інформаційних листках ЦНТІ м. Львів та тезах доповіді з НДР ЛДАУ.

## АНОТАЦІЇ

Дацюк Р.Ю. Підвищення техніко-економічних показників газових автомобілів застосуванням газотурбинного наддуву. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.04.02-теплові двигуни. - Український транспортний університет, Київ, 1997.

Дисертація спрямована на відновлення потужності, покращення паливної економічності і зниження токсичності ВГ автомобільних газових двигунів, переобладнаних із серійних бензинових двигунів з іскровим запалюванням, шляхом застосування газотурбинного наддуву для роботи на природному газі.

Ефективність застосування турбонаддуву на газових двигунах полягає у підвищенні потужності на 30% у порівнянні з двигунами без наддуву, зменшенні викидів CO, поліпшенні економічності на 10...13%. Шумність двигуна зменшується на 4...6 дБ.

Ключові слова: газовий двигун, газотурбинний наддув, турбокомпресор, математична модель.

Дацюк Р.Е. Повышение технико-экономических показателей газовых двигателей автомобилей применением газотурбинного наддува. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02-тепловые двигатели. - Украинский транспортный университет, Киев, 1997.

Диссертация направлена на восстановление мощности, улучшение топливной экономичности и снижение токсичности ОГ автомобильных газовых двигателей, переоборудованных из серийных бензиновых двигателей с искровым зажиганием, путем применения газотурбинного наддува для работы на природном газе.

Эффективность применения турбонаддува на газовых двигателях состоит в повышении мощности до 30% в сравнении с двигателями без наддува, уменьшении выбросов CO, улучшении экономичности на 10...13%. Шумность двигателя уменьшается на 4...6 дБ.

Ключевые слова: газовый двигатель, газотурбинный наддув, турбокомпрессор, математическая модель.

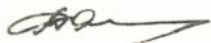
Datsyuk R.Y. The increasing of technique-economical indexes of automobile gas engines by using the gas-turbine supercharging. -Manuscript.

Thesis for academic degree of candidate of science on specialty 05.04.02-engines. - Ukrainian transport university, Kyiv, 1997.

The dissertation is directed on recovering the power, improving the fuel economy and decreasing the exhaust gases toxicity of automobile gas engines re-equipped of serial gasoline engines with spark ignition by using the gas-turbine supercharging for working on natural gas.

Efficiency of using the gas-turbine supercharging on gas engines reveals in increasing the power over 30% comparatively to the engines without supercharging, decreasing the exhaust gases toxicity, improvement fuel economy over 10-13%. The noisity of engine deareas on 4...6 dB.

Key words: gas engine, gas-turbine supercharging, turbocharger, mathematical model.



431719

Ав 39.200

АВ 39.200

Підп. до друку 15.12.97 Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>6</sub> Папір *друх* Друк офсетний  
Умовн. друк. арк. Обл. вид. арк. Зам. № 584 Тираж 100

Віддруковано у виробничо-поліграфічному відділі Льв. ЦНТЕІ