



INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GAS EXCHANGE CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF AUTOMOBILE PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ ЗДІЙСНЕННЯ ГАЗООБМІНУ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПОРШНЕВИХ ДВЗ

Опанасюк Ye./Опанасюк Є.Г.

Beherskyi D./Бегерський Д.Б.

Mozharovskiy M./Можаровський М.М.

Zhytomyr Polytechnic State University

Державний університет «Житомирська політехніка»

***Анотація.** Проаналізовано фактори впливу умов протікання робочих процесів на показники роботи автомобільних поршневих ДВЗ, заходи та засоби покращення показників газообміну. Аналітичним методом визначено ступінь впливу тиску у впускному і розрідженні у випускному колекторі на величину індикаторного тиску. Отримані експериментальні дані про ступінь впливу тиску у впускному колекторі на величину зміни частоти обертання колінчастого валу, температуру відпрацьованих газів та витрату пального. Запропонована методика підвищення ефективності поршневих ДВЗ шляхом зміни умов протікання процесу газообміну.*

***Ключові слова:** газообмін, тиск, наддув, впускний і випускний колектори.*

Вступ

Автомобільний транспорт в Україні - одна з багатьох галузей господарства, що інтенсивно розвивається. Незважаючи на те, що зараз більше ніж 70% вантажу й 85% пасажирів перевозяться автомобільним транспортом, потреби в ньому безперервно зростають. Ось чому завдання, що стоять перед автомобільною промисловістю і транспортом в сучасних умовах ринкової економіки відповідальні і різноманітні. Водночас ефективність використання автомобільних транспортних засобів (АТЗ) безпосередньо залежить від ефективності їх силових установок розвиток яких, насамперед, відбувається у напрямках [1, 3, 5, 7], серед яких - підвищення паливної економічності і екологічності; підвищення потужності одиночних агрегатів при зниженні їх металомісткості, зменшенні маси, габаритних розмірів; створення гібридних силових установок з ДВЗ; широке застосування для керування ДВЗ електроніки й мікропроцесорної техніки.

1. Аналіз сучасних підходів до підвищення ефективності роботи ДВЗ

Підвищення основних показників ДВЗ, включаючи потужність і економічність, полягає у покращенні основних процесів двигуна, зокрема процесу газообміну, що складається із впуску свіжого заряду та випуску відпрацьованих газів і оцінюється такими показниками як коефіцієнт наповнювання η_v і коефіцієнт залишкових газів γ_r . Для покращення показників роботи двигуна (збільшення значення коефіцієнта η_v , зниження γ_r) в сучасних двигунах використовується низка технічних рішень, таких як збільшення діаметрів і кількості клапанів, зниження гідродинамічного опору трубопроводів впускних і випускних систем, регулювання фаз газорозподілу, регулювання величини прохідного перерізу клапанних механізмів, використання наддуву та ін., які умовно можна поділити на активні і пасивні.



За рахунок опору у випускній системі двигуна втрачається до 12% потужності [2, 4, 8]. Таким чином при зміні параметрів процесу випуску можна значно покращити ефективність роботи двигуна. На даний час дана задача вирішується зміною конструкції випускної системи (встановлення прямоточних глушників) та зміною характеристик процесів газообміну [2]. В першому випадку змінюється опір випускної системи, а, отже, і тиск наприкінці процесу випуску. Проте це призводить до збільшення шумності роботи двигуна, а, отже, зміна опору випускної системи можлива лише в певному, вузькому діапазоні, що обумовлено необхідністю забезпечення нормативних значень шумності.

Характеристики процесів газообміну змінюють використанням систем наддуву. Система наддуву дозволяє підвищити ефективність роботи двигуна за рахунок зміни параметрів процесу впуску. Проте така система не зменшує опір випускної системи, а отже вона не зменшує і втрати у випускній системі.

Отже, зменшення тиску у випускній системі у поєднанні з наддувом з метою підвищення ефективності роботи двигуна, є досить актуальною темою.

2. Аналітичні дослідження впливу розрідження у випускній системі ДВЗ та наддуву на показники роботи двигуна

В даній статті викладені результати аналітичних і експериментальних досліджень впливу тиску у впускній та випускній системах на експлуатаційні характеристики ДВЗ.

Розрахунків значень коефіцієнта наповнювання η_v і коефіцієнта залишкових газів γ_r проводився за відомими [1,3,5] формулами:

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{p_o(\varepsilon-1)} \cdot \frac{p_a \cdot T_o}{T_o + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r} \quad (1)$$

де: ε – міра стиску; p_o і T_o – відповідно тиск і температура навколишнього середовища; p_a – тиск газів наприкінці впуску; ΔT – температура підігріву свіжого заряду; T_r – температура газів наприкінці випуску.

$$\gamma_r = \frac{1}{(\varepsilon-1)\eta_v} \cdot \frac{p_r \cdot T_o}{p_o \cdot T_r} \quad (2)$$

де: p_r – тиск газів наприкінці випуску.

При змінних значеннях тиску в циліндрі наприкінці випуску визначено, що при зменшенні його значення з 0,12 МПа до 0,02 МПа коефіцієнт наповнювання η_v збільшився з 0,78 до 0,89, а коефіцієнт залишкових газів γ_r зменшився з 0,045 до 0,006, що свідчить про позитивний вплив створення розрідження у системі випуску двигуна на покращення показників газообміну. Графічне зображення залежності коефіцієнтів η_v і γ_r [6] представлено на рис.1, 2

Проведені розрахунки і наведені вище графіки свідчать про суттєву залежність показників газообміну від величини тиску у системі випуску відпрацьованих газів двигуна, які в свою чергу здійснюють вплив на показники робочого процесу і ефективність самого двигуна. В той же час отримана аналітичним шляхом залежність чисельного значення коефіцієнту наповнення від тиску наприкінці впуску p_a (рис.3) свідчить про те, що ця залежність прямопропорційна.

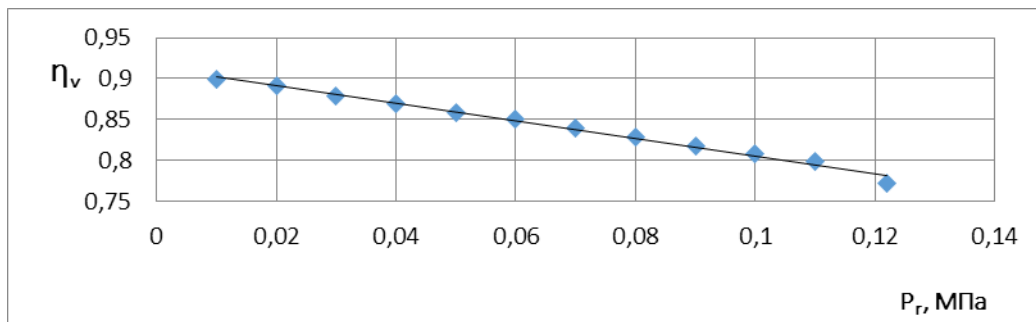


Рис.1. Залежність коефіцієнту наповнення η_v від тиску наприкінці випуску p_r

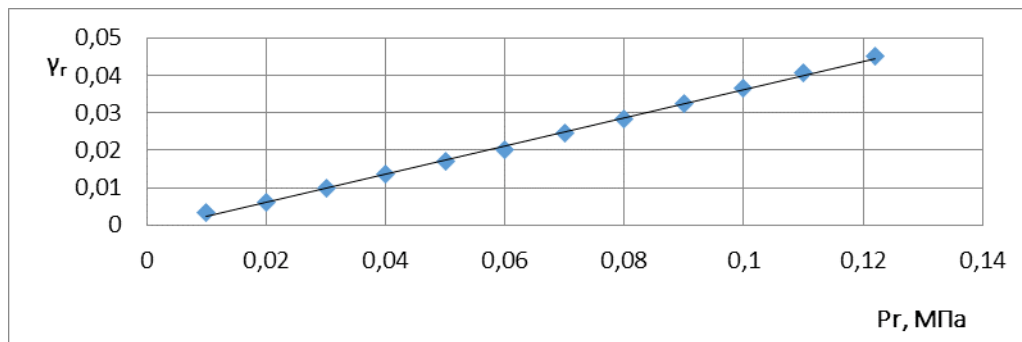


Рис.2. Залежність коефіцієнту залишкових газів γ_r від тиску наприкінці випуску p_r .

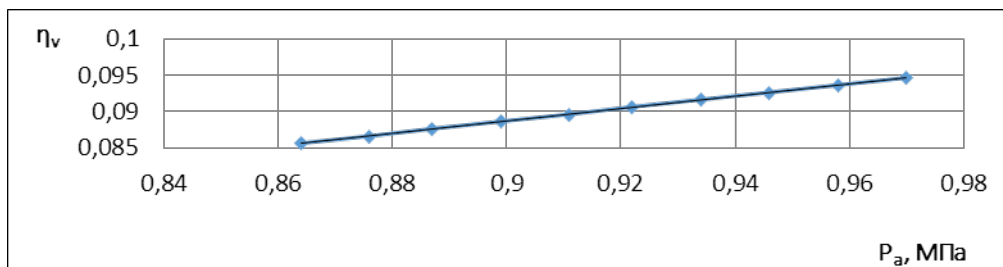


Рис.3. Залежність коефіцієнту наповнення η_v від тиску в кінці впуску p_a .

Для перевірки отриманих залежностей впливу розрідження у системі випуску відпрацьованих газів двигуна і наддуву, що покращують газообмін, на індикаторні показники роботи двигуна проведено його тепловий розрахунок при різних значеннях тиску наприкінці випуску і на початку впуску. Згорнуті індикаторні діаграми представлено на рис.4 а, б, в, г.

Аналіз діаграм підтверджує попередні розрахунки індикаторних показників. При створенні розрідження $p_r = 0,06$ МПа спостерігається підвищення індикаторної роботи на 8,6% та суттєве зменшення механічних втрат на газообмін (рис. 4а,б).

При використанні наддуву (рис. 4в) також спостерігається підвищення індикаторної роботи на 11% в порівнянні з атмосферним двигуном. Але якщо порівнювати режим з наддувом з режимом розрідження, бачимо підвищення втрат на газообмін.

Використання наддуву разом з розрідженням у випускній системі показує остання індикаторна діаграма (рис. 4г). Ми бачимо підвищення індикаторної роботи в порівнянні з атмосферним двигуном (рис. 4а) на 19,8%, а також зменшення втрат на газообмін, що складають 18,2%.

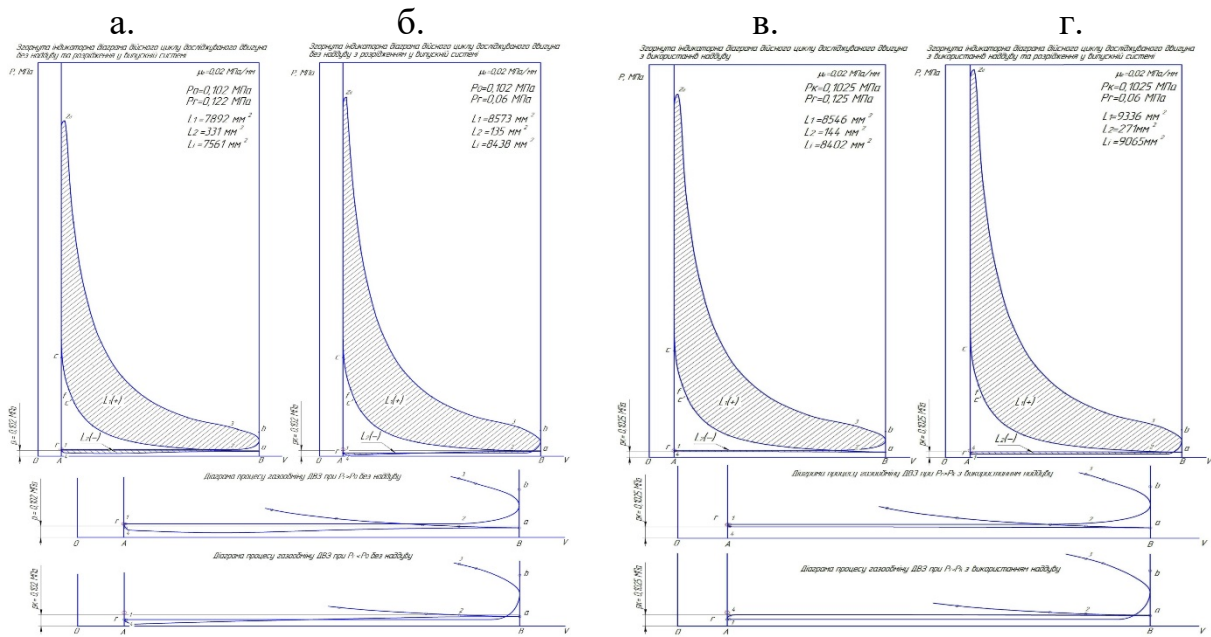


Рис. 4. Згорнуті індикаторні діаграми та діаграми газообміну дійсного циклу двигуна:

**а - $p_0=0,102 \text{ МПа}$ при $p_r=0,122 \text{ МПа}$; б- $p_0=0,102 \text{ МПа}$ при $p_r=0,06 \text{ МПа}$;
 в- $p_0=0,1025 \text{ МПа}$ при $p_r=0,125 \text{ МПа}$; г- $p_0=0,1025 \text{ МПа}$ при $p_r=0,06 \text{ МПа}$.**

3. Установка для експериментальних досліджень

Для визначення впливу розрідження у випускній системі і наддуву на показники робочого процесу автомобільного поршневого двигуна було створено експериментальну установку і проведено відповідні дослідження. Загальний вигляд стенду представлений на рис. 5.



Рис. 5. Зовнішній вигляд дослідної установки.

Експериментальна установка містить в своєму складі встановлений на стаціонарній рамі двигун М10 з навантажувальним пристроєм. Двигун дообладнано нагнітачем для створення наддуву і пристроєм для створення розрідження у



випускній системі. Додатково встановлено датчики для вимірювання тиску у впускній і випускній системі, датчик для вимірювання частоти обертання колінчастого валу, термопара для вимірювання температури газів у випускному колекторі двигуна. Загальний вигляд встановлених датчиків для вимірювання частоти обертання колінчастого валу і тиску у впускній і випускній системі представлено відповідно на рис. 6 і рис. 7, а загальний вигляд створеного для вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна програмно-апаратного комплексу на основі МК ATmega16 представлено на рис. 8:



Рис. 6. Датчик Хола для вимірювання частоти обертання колінчастого валу

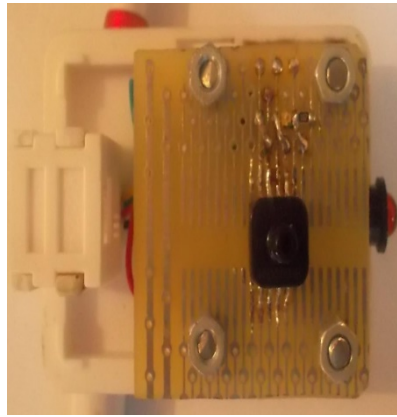


Рис. 7. Загальний вигляд датчика тиску Freescale MPXHZ6400AC6T1



Рис. 8. Модуль програмно-апаратного комплексу на основі МК ATmega16

Мікроконтролер під час роботи вимірює інтервали часу між імпульсами датчиків Хола з точністю, яка визначена кварцевим генератором і складає приблизно 9.1×10^{-8} с, та передає їх на комп'ютер. Загальний алгоритм роботи МК ATmega16 показано на рис. 9.

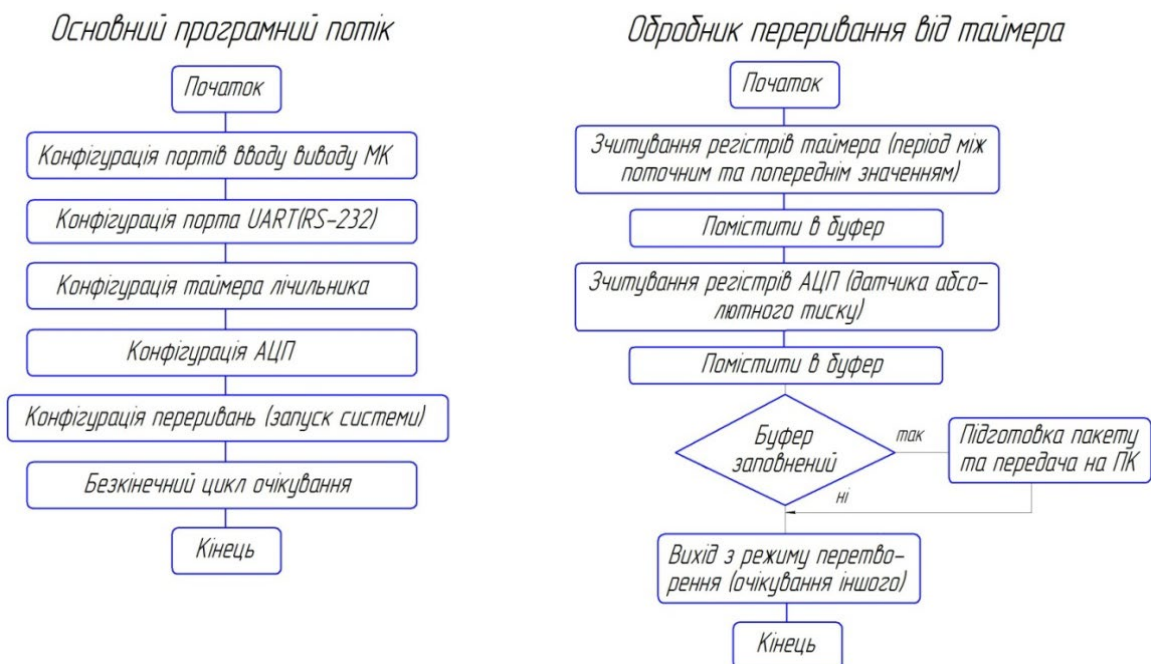


Рис. 9. Загальний алгоритм роботи МК ATmega16 .



Мікроконтролер передає дані на комп'ютер за допомогою інтерфейсу RS232, що являє собою промисловий стандарт для послідовної двонаправленої асинхронної передачі даних. Максимальна відстань, на якій можна організувати зв'язок, складає 20м.

4. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження впливу наддуву на експлуатаційні характеристики двигуна внутрішнього згорання проведені на базі розробленої та виготовленої дослідної установки з використанням додаткового вимірювального обладнання та програмно – апаратного комплексу.

Експериментально встановлено вплив тиску наддуву на наступні показники:

- частоту обертання колінчастого вала;
- витрату палива;
- температуру відпрацьованих газів;

Також при проведенні досліджень контролювався рівень шуму двигуна на різних режимах роботи.

Значення тиску у впускному колекторі вимірювались за допомогою термокомпенсованого датчика тиску MPXHZ6400AC6T1 і через модуль програмно – апаратного комплексу МК ATmega16 синхронізувались за часом з параметрами обертів колінчастого вала двигуна, отриманими від датчика Холла Honeywell SS413A (рис. 3.9). Отримані дані виводилися на ПК за допомогою програми MoRoS_SW_20130429_v2 (рис.10).



Рис.10. Загальний вигляд програмного комплексу

Експериментальні дослідження проводилися на трьох режимах роботи двигуна (режим холостого ходу, середніх обертів та номінальному режимі), при трьох режимах наддуву.

Експеримент проводився в три етапи:

I – Режим холостого ходу ($n=1200$ об/хв). Двигун працював впродовж 60 с на кожному режимі наддуву: $P_k=0$ МПа, $P_k=0,00022$ МПа, $P_k=0,00041$ МПа, $P_k=0,00052$ МПа.

Тиск наддуву вимірюно у впускному колекторі при закритій та відкритій випускній системі для трьох режимів роботи нагнітача повітря. Отримані дані занесено до табл. 1.

II – Режим середніх обертів ($n=2200$ об/хв). Експеримент проводився аналогічно попередньому режиму.



III – Номінальний режим ($n=3200$ об/хв). Експеримент проводився аналогічно попереднім режимам.

Таблиця 1.

Результати вимірювань тиску наддуву

Закрита випускна система		Відкрита випускна система	
Режим	Тиск	Режим	Тиск
I	0,00023 МПа	I	0,00022 МПа
II	0,00042 МПа	II	0,00041 МПа
III	0,00055 МПа	III	0,00052 МПа

Результати експерименту дають можливість дослідити динаміку процесу зміни обертів колінчастого вала при різних значеннях тиску наддуву. Як приклад на рис. 11 представлено зразок осцилограми процесу роботи для одного із зазначених режимів роботи.

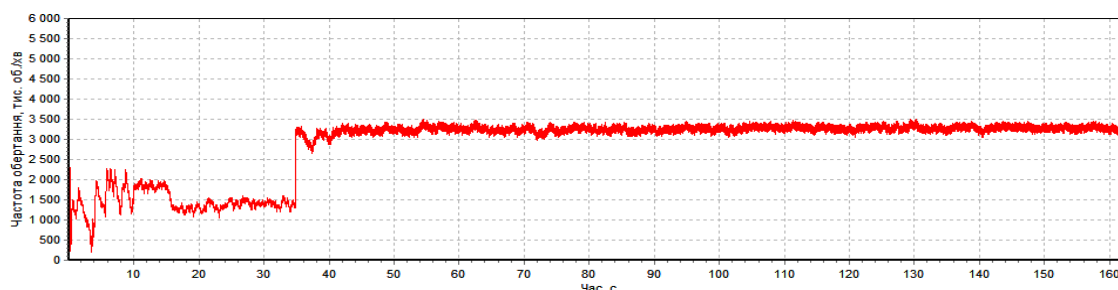


Рис. 11. Осцилограма зміни обертів колінчастого вала n на режимі номінальних обертів при змінних значеннях тиску наддуву P_k

Аналіз отриманих даних дозволив визначити середні значення експлуатаційних показників та їх залежність від тиску наддуву. Усередненні значення, що відповідають режиму роботи двигуна на холостому ході, середніх та номінальній частоті обертання колінчастого вала, та системи наддуву, наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Результати дослідження, проведеного на режимі холостого ходу

Режим роботи двигуна	n , об/хв	Gt , кг/год	T , °K	Шумність, дБ	N , Вт
$n=1200$ об/хв	1282,68	1,2	463	82,2	0
	1374,31	1,26	483	90,6	30
	1388,84	1,32	493	85,2	60
	1398,84	1,32	503	83,1	90
$n=2200$ об/хв	2164	1,98	583	90,3	0
	2136,44	1,8	643	91,2	30
	2189,8	1,74	693	89,5	60
	2214,84	1,56	703	89,9	90
$n=3200$ об/хв	3235,35	3,36	743	95,9	0
	3276,11	3,06	773	96,7	30
	3283,34	2,88	793	96,7	60
	3293,97	2,88	803	95,9	90



За результатами експериментальних досліджень, наведеними у табл. 2, побудовані графічні залежності зміни кількості обертів колінчастого валу n за хвилину в часі ($n=f(t)$), а також в залежності від величини тиску наддуву $n=f(P_k)$, залежності годинної витрати палива G_t і температури відпрацьованих газів T від величини тиску наддуву, відповідно $G_t=f(P_k)$ і $T=f(P_k)$, а також тиску наддуву P_k від потужності N , що споживає нагнітач ($P_k=f(N)$). Зразки зазначених графічних залежностей наведені на рис. 12 - 16.

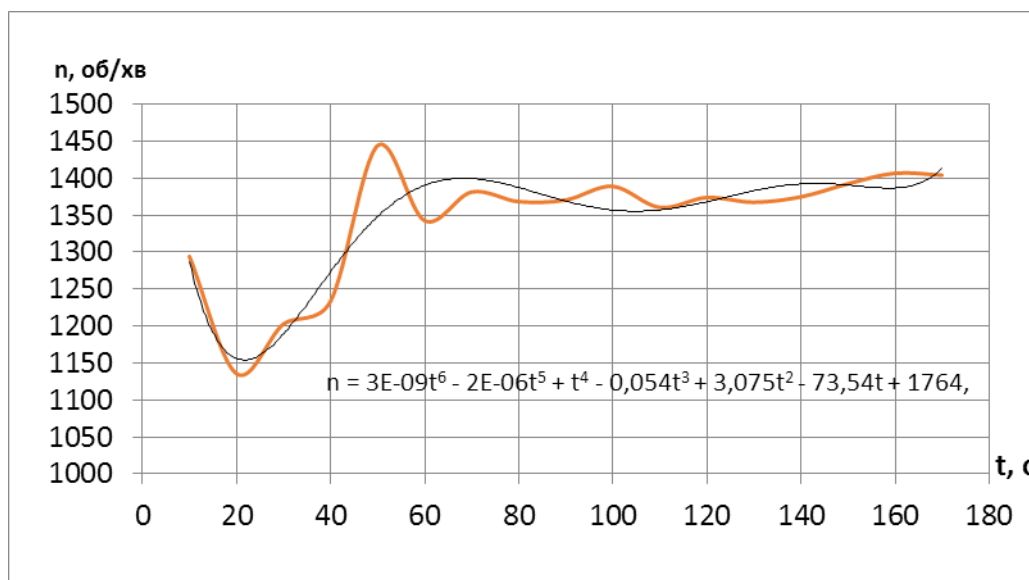


Рис. 12. Залежність швидкості обертання колінчастого валу n на режимі холостого ходу від часу t

Залежність (рис. 12.) показує, що до ввімкнення наддуву спостерігається нестійка робота двигуна. Після ввімкнення наддуву робота двигуна стає стійкою та еластичною, що підтверджують покази шумоміра, а також спостерігається підвищення частоти обертання колінчастого валу на 120 об/хв на режимі холостого ходу, що складає 8% від початкових обертів.

На режимі середніх обертів (табл. 2) чітко видно сходинки перемикання режимів наддуву починаючи з 70-ї секунди. При роботі двигуна на першому режимі наддуву знижується частота обертання колінчастого валу та підвищується шумність. Це пояснюється тим, що нагнітач працює незалежно від двигуна і ми спостерігаємо неузгоджений вплив I режиму наддуву на цих обертах двигуна. З переходом на наступні режими наддуву спостерігається еластична робота та підвищення обертів колінчастого валу на 3%.

На номінальному режимі (табл. 2) також спостерігаємо підвищення стійкості роботи двигуна та обертів колінчастого валу на 2%.

Дані залежності $n=f(P_k)$ чітко показують підвищення частоти обертання колінчастого валу при перемиканні режимів наддуву.

Дослідження показали, що при використанні наддуву на режимі холостого ходу спостерігається збільшення витрати палива на 9% в порівнянні з режимом роботи двигуна без наддуву (табл.2).

З підвищенням частоти обертання колінчастого валу до середніх обертів при максимальному наддуві знижується витрата палива на 21% в порівнянні з



режимом роботи двигуна на цих же обертах без наддуву (табл. 2).

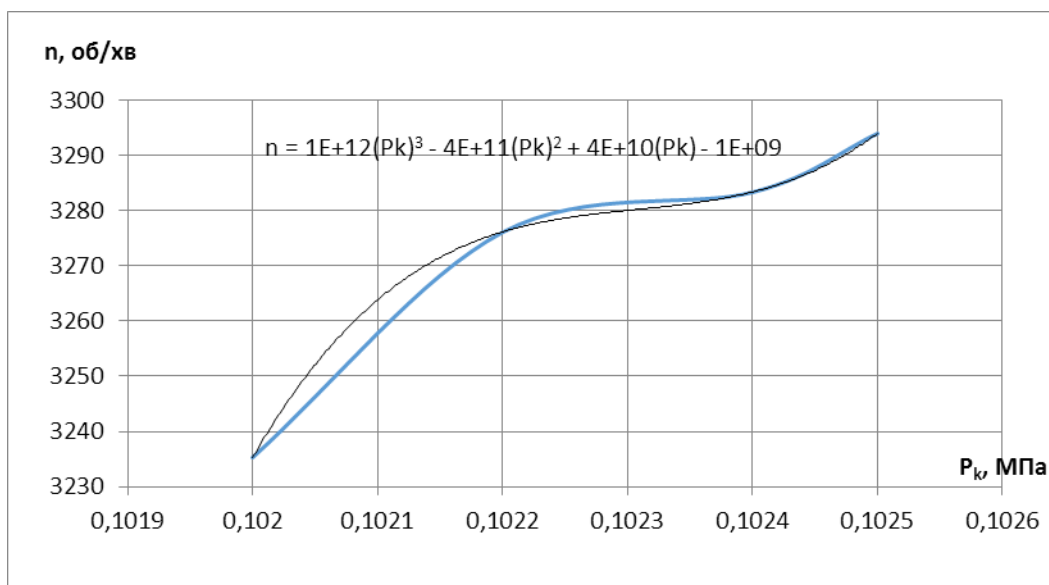


Рис.13. Залежність частоти обертання колінчастого вала n на номінальному режимі від тиску наддуву P_k

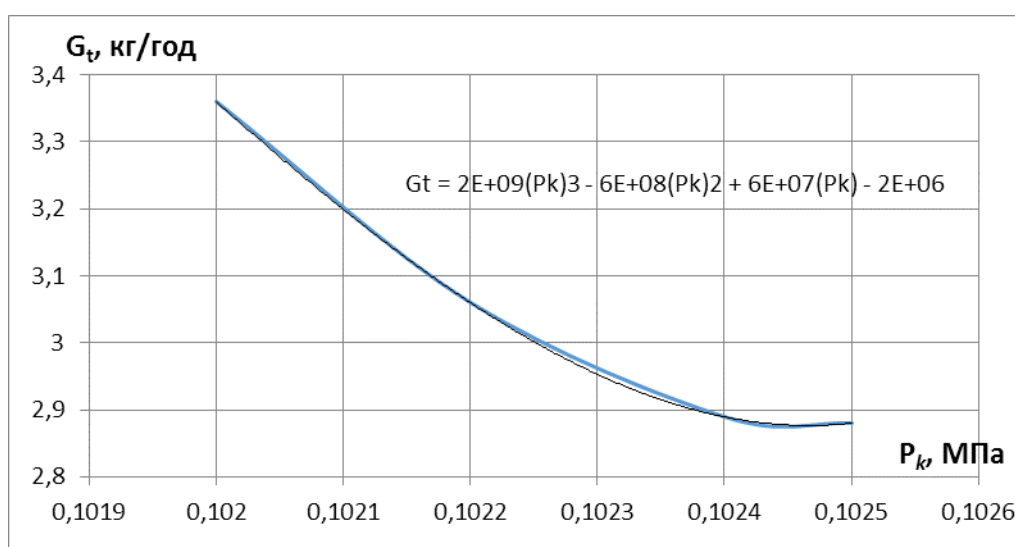


Рис.14. Залежність годинної витрати палива G_t від тиску наддуву P_k на номінальному режимі

На номінальному режимі (рис. 14) дослідження показали зниження витрати палива при максимальному наддуві на 14%. Зниження витрати палива підтверджує актуальність роботи та доцільність використання наддуву для подальших досліджень в напрямку вдосконалення ефективних показників двигуна.

Така тенденція підтверджує результат проведених аналітичних досліджень: при використанні наддуву спостерігається зниження витрати палива та відповідне зростання обертів колінчастого вала, а отже, і потужності двигуна.

Температура залишкових газів залежить від складу суміші, ступеня розширення продуктів згоряння при такті розширення, тепловіддачі при



згорянні і розширенні, розмірів циліндра, інтенсивності охолодження тощо. Чим більший вплив цих факторів тим нижча температура залишкових газів. З даних експериментальних досліджень (табл.2) видно, що створення наддуву призводить до підвищення температури залишкових газів. Це призводить до підвищення втрат тепла з випускними газами, а отже зниження ефективності використання теплоти згоряння палива і термічного ККД.

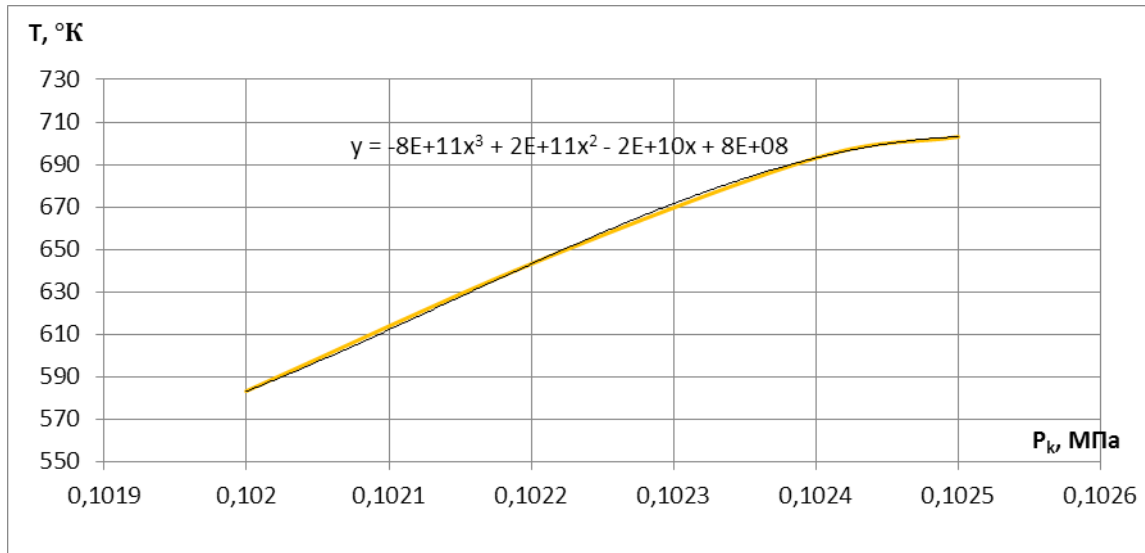


Рис.15. Залежність температури залишкових газів T від тиску наддуву P_k на режимі середніх обертів

Система наддуву споживає потужність із замкненої системи електроживлення двигуна. Для справедливості експерименту було заміряно потужність споживану системою наддуву (рис. 16, табл. 2), для можливої оцінки ефективності експериментальної установки і порівняння потужності затраченої на привод електродвигуна нагнітача повітря із отриманим приростом ефективної потужності двигуна.

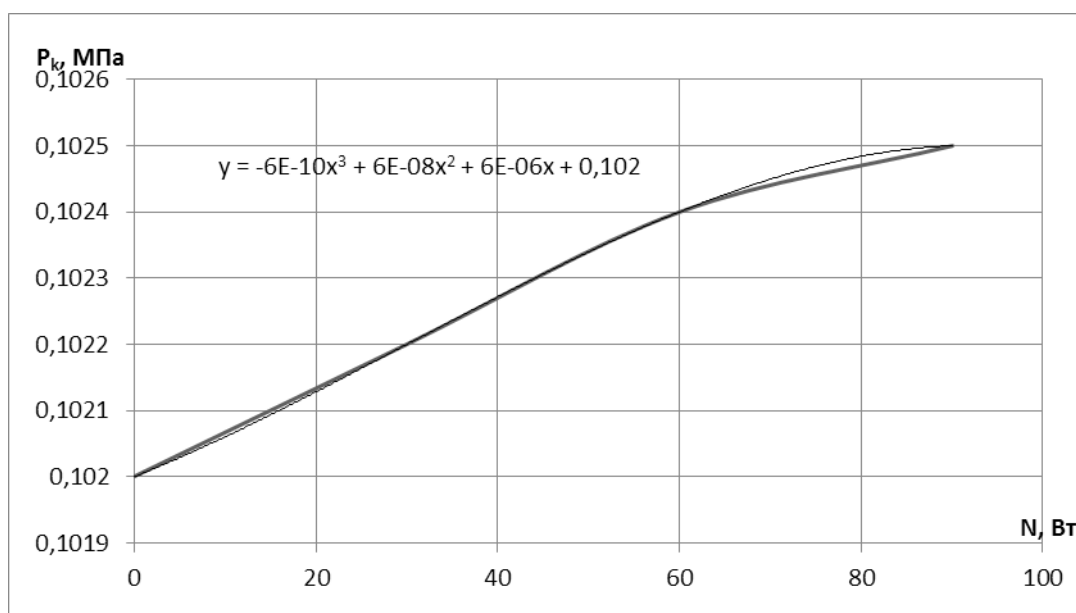


Рис.16. Залежність тиску наддуву P_k від потужності системи наддуву N



З аналізу рівняння балансу потужності видно, що при використанні наддуву втрати на газообмін зменшуються, втрати на допоміжне обладнання збільшуються. Навіть такий низький тиск наддуву дав позитивний результат, що підтверджує підвищення індикаторної потужності і ефективної потужності двигуна.

Зниження годинної витрати палива в середньому на 9%, а зростання частоти обертання колінчастого вала на 8% на режимі холостого ходу та 2% на режимі середніх та номінальних обертів при максимальному значенні наддуву, а також підвищення стійкості роботи двигуна та зниження шумності вказує на ефективність даної системи і можливість її подальшого розвитку.

Висновки

1. Проведено аналіз існуючих методів покращення газообміну. В результаті аналізу підтверджено, що використання наддуву позитивно впливає на ефективні показники роботи двигуна.

2. Проведено аналітичні дослідження впливу параметрів газообміну на експлуатаційні характеристики бензинового ДВЗ. В результаті аналітичних досліджень визначено підвищення потужності досліджуваного двигуна на 9% при використанні наддуву ($P_k=0,1025$ МПа) в порівнянні з атмосферним двигуном (без використання наддуву).

3. Досліджено вплив наддуву на температуру відпрацьованих газів. В результаті досліджень визначено, що з підвищенням тиску наддуву та обертів колінчастого вала спостерігається підвищення температури випускних газів в середньому на 18%;

4. В результаті аналізу отриманих даних в ході експериментальних досліджень визначено, що примусове підвищення тиску у впускній системі за допомогою системи наддуву на 0,5%, призводить до збільшення обертів на 8% на режимі холостого ходу та 2% на режимі середніх та номінальних частотах обертання колінчастого вала;

5. Наведені результати підтверджують доцільність подальшого вивчення впливу тиску у впускній та випускній системі двигуна на його експлуатаційні характеристики.

Література:

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І., Автомобільні двигуни: Підруч. для студентів спец. "Автомобілі та автомобільне господарство" вищ. навч. закладів. - К.: Арістей, 2004. - 438 с.

2. Газообмен в двигателях внутреннего сгорания: Учеб. Пособие / В.Г.Дьяченко.-К.: УМК ВО, 1989.-204с.

3. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / За редакцією проф. А.П.Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф.Шеховцова - Харків: Видавн. центр НТУ "ХПІ", 2004.

4. Корки Белл. Турбонаддув: проектирование, установка и испытания систем турбонаддува.- Кембридж.: Robert Bentley Publishers, 1997.- 223 с.

5. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и



комбинированных двигателей / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. – М.: Машиностроение, 1983. – 235 с.

6. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. – Житомир: ЖДТУ, 2014. – Т. 1. – 266 с.

7. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т.У.Асмус, К.Боргнакке, С.К.Кларк и др.; Под ред. Д.Хиллиарда, Дж.С.Спрингера; Пер. с англ. А.М., Васильева; Под. ред., А.В.Кострова. - М.: Машиностроение, 1988.-504 с.

8. Хайнц Гроэ. Бензиновые и дизельные двигатели. / Хайнц Гроэ, Геральд Русс.- М.: Издательство « За рулем», 2013.- 272 с.

***Abstract.** The factors influencing the conditions of work processes on the performance of automotive piston internal combustion engines, measures and means to improve gas exchange performance are analyzed. The degree of influence of the inlet pressure and the vacuum in the outlet manifold on the value of the indicator pressure was determined by the analytical method. Experimental data on the degree of influence of the pressure in the intake manifold on the magnitude of the change in crankshaft speed, exhaust gas temperature and fuel consumption were obtained. A method of increasing the efficiency of reciprocating internal combustion engines by changing the conditions of the gas exchange process is proposed.*

***Key words:** gas exchange, pressure, supercharging, intake and exhaust manifolds.*