

УДК 621.432.3

**Г.А.Філіпова, О.В.Орисенко, А.І.Криворот, О.М.Голуб, О.О.Капуста**  
**Національний транспортний університет**  
**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка**  
**СПОСОБИ ПОЛІПШЕННЯ ІНДИКАТОРНИХ ТА ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ**  
**ДВИГУНА ЗМЗ-4063 ПРИ РОБОТІ НА ГЕНЕРАТОРНОМУ ГАЗІ**

*У статті проаналізовано можливість використання генераторного газу як альтернативного палива для двигуна ЗМЗ-4063 та способи поліпшення індикаторних та ефективних показників двигуна при роботі на газі за допомогою наддуву.*

**Ключові слова:** газифікація, генераторний газ, газогенераторне паливо, двигун внутрішнього згорання, індикаторні та ефективні показники, наддув.

*Рис 1. Табл. 3. Літ 11.*

**Г.А.Филиппова, А.В.Орисенко, А.И.Криворот, А.Н.Голуб, А.А.Капуста**  
**СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**  
**ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-4063 ПРИ РАБОТЕ НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ**

*В статье проанализирована возможность использования генераторного газа в качестве альтернативного топлива для двигателя ЗМЗ-4063 и способы улучшения индикаторных и эффективных показателей двигателя при работе на газе с помощью наддува.*

**Ключевые слова:** газификация, генераторный газ, газогенераторные топливо, двигатель внутреннего сгорания, индикаторные и эффективные показатели, наддув.

**G.Filipova, O.Orysenko, A.Kryvorot, O.Golub, O.Kapusta,**  
**THE ADVANCED METHODS TO IMPROVE THE INDICATOR AND EFFECTIVE**  
**INDEXES OF ENGINE ZMZ- 4063 OPERATING ON GENERATOR GAS.**

*In the article are presented the results of the theoretical researching ZMZ- 4063 engine during the work on petrol, generator gas and generator gas with application of supercharger.*

*The researched object is ZMZ-4063 engine.*

*The aim of the work is presentation the results of researching the possibility of adaptation the existent model of ZMZ-4063 engine for working on generator gas without loss the engine power and velocity.*

*The research method is the calculation analysis of engine output parameters during their working on different fuels.*

*Today generator gas is considered as a progressive type of alternative fuel. However gas-producing cars which were mass-produced in 20 - 60 XX of century on many technical and operating indicators gave in the base petrol cars. The number of researchers have noted the sharp decrease in the vehicle engine power (sometimes up to 50%) at it's re-equipment from petrol on generator fuel. As a result there was worsening the vehicle operating characteristics. This is due to lower heat value of mixture the air-gas and cylinder filling coefficient.*

*This problem can be decided by increasing the degree of compression and applying a supercharger. By this way can be reached the increasing liter power of engine, which is working on generator gas to the level of work on petrol power.*

*By a thermal calculation were received the effective and indicatory indexes of ZMZ-4063 engine during it's work on traditional fuel - petrol and alternative - generator gas. The comparison of these indexes shows that when the engine operates using an alternative fuel with application the supercharge it is possible to get the same liter engine power, as well as on petrol.*

*The obtained results will be used in further experimental and theoretical researches.*

*Expected hypothesis about development the object of researching - search and operate technical measures and ways to improve fuel efficiency and minimize time of overlocking car - model "Gazelle" by optimization a number of transmission gear-ratios.*

**Keywords:** gasification, generator gas, generator gas fuel, internal combustion engine indicatory and effective indexes, supercharging.

**Постановка проблеми.** Високий попит на енергію, а також забруднення навколишнього середовища внаслідок використання традиційних нафтових палив спонукає до пошуку нових, відновлюваних і екологічно чистих джерел енергії, зокрема таких, як біопалива. У багатьох країнах світу, включаючи і найбільш розвинені, велика увага приділяється технологіям виробництва і використання місцевих і відновлюваних джерел енергії. Найдоступнішим при цьому є біомаса у вигляді деревних або сільськогосподарських відходів, а найбільш ефективним способом переробки біомаси є газифікація в газогенераторних установках [1, 2].

Дослідження ведуться в напрямку створення нових та адаптації існуючих систем живлення двигунів для отриманого генераторного газу. Газогенераторні автомобілі, які випускались серійно у 20 – 60 рр. ХХ століття, за багатьма техніко-експлуатаційними показниками поступались

базовим бензиновим автомобілям. Ряд дослідників відмічали різке зменшення потужності двигуна автомобіля (іноді до 50%) при його переведенні з бензину на газогенераторне паливо [3, 4]. Внаслідок зменшення потужності зменшуються сила тяги автомобіля та його максимальна швидкість, погіршується прийомистість, збільшується час розгону. Отже, дослідження, спрямовані на збільшення потужнісних характеристик двигуна при його переведенні на газогенераторне паливо, є актуальними.

**Аналіз досліджень і публікацій із даної проблеми.** Генераторний газ утворюється в результаті газифікації твердого палива у спеціальних установках – газогенераторах. Газифікації може бути піддана більшість відомих видів твердих горючих копалин (вугілля, торф тощо), а також відходи виробництва (органічні відходи, відходи лісового господарства) [1, 2].

Розвитку газогенераторних автомобілів значно сприяло створення французьким інженером Георгом Імбертом у 1919 р. газогенератора зворотного процесу газифікації [3, 5]. Протягом 20-х років ХХ ст. набули поширення автомобілі з генераторами, які встановлювалися на автомобільні шасі або причепи. В якості палива використовувалась деревина. У Німеччині в 1938-1941 рр. випускали газогенератори, які працювали на брикетах з буровугільної крихти та пилу, оскільки ця сировина була наявна там у достатній кількості. У 1939 р. в Європі налічувалося близько 9 тис. газогенераторних автомобілів. Порівняно з бензиновими аналогами вони мали ряд суттєвих недоліків, серед яких слід виділити збільшену масу автомобіля, невеликі крутний момент і потужність двигуна, низьку максимальну швидкість (близько 30 км/год), ненадійність газогенераторного обладнання, що призводила до частих простоїв. Як один із способів підвищення потужності двигуна, який працює на генераторному газі, розглядалося застосування наддуву. Згідно з даними досліджень, які проводились у 40-х роках ХХ століття в СРСР, застосування об'ємного нагнітача дозволило підвищити крутний момент на колінчастому валу двигуна при частоті 1400 – 1500 об/хв на 20%, а застосування відцентрового нагнітача – на 30...40% на частотах обертання колінчастого вала 1500...2500 об/хв [6].

Сьогодні генераторний газ розглядається як прогресивний вид альтернативного палива, яке може використовуватись і для автомобільного транспорту, і для децентралізованих електростанцій. У 1980-х і на початку 1990-х років були реалізовані численні проекти електрифікації із застосуванням електростанцій з приводом від ДВЗ, які працюють на газогенераторному паливі [7, 8]. На даний час увагу науковців привертають дослідження, спрямовані на удосконалення автомобілів, двигуни яких працюють на альтернативних паливах. Так, наприклад, в країнах Європи результати досліджень вже набули практичного використання у вигляді застосування міських маршрутних транспортних засобів, які працюють на біогазі [9].

**Метою даної статті** є висвітлення результатів дослідження можливості адаптації існуючої моделі бензинового карбюраторного двигуна ЗМЗ-4063 для роботи на генераторному газі без втрати потужнісних та швидкісних характеристик. Тема є актуальною, оскільки двигун цієї моделі встановлюється на автомобілях сімейства «ГАЗель», які широко використовуються для вантажних та пасажирських перевезень на теренах України.

**Виклад основного матеріалу.** Двигуни внутрішнього згорання, для яких паливом служить горючий газ, називаються газовими. За принципом роботи вони аналогічні бензиновим двигунам [10]. Будь-який карбюраторний двигун може бути пристосований для роботи на газі шляхом заміни карбюратора змішувачем, в якому відбувається приготування газоповітряної суміші. Це говорить про можливість використання і генераторного газу як палива.

У роботі [11] було показано, що в результаті газифікації деревини отримуємо найбільший серед представлених зразків сировини вихід горючих газів і що вони у своєму складі мають високий вміст СО та СН<sub>4</sub> і низький вміст СО<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>. Також було відмічено, що на склад та нижчу теплоту згорання (НТЗ) отриманого газу впливає і розмір гранул: газ, що генерувався з гранул діаметром 8 мм, має дещо меншу НТЗ, ніж газ, отриманий із гранул того ж матеріалу, але меншого діаметру (6 мм). Тому оптимальним варіантом було визначено використання газу, отриманого із гранул деревини діаметром 6 мм.

Показники складу (в об'ємних частках у відсотках кожного компонента) та нижча теплота згорання цього газу наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Середні показники складу та нижча теплота згоряння газу із гранул деревини Ø 6 мм

Компонентний склад газу, (%)					Запас енергії
N <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	НТЗ (МДж/нм <sup>3</sup> сухого газу)
50,4 ± 1,7	25,7 ± 1,7	11,9 ± 1,1	2,6 ± 0,2	9,9 ± 1,0	5,4 ± 0,3

Газоповітряна суміш відрізняється від бензоповітряної високими антидетонаційними властивостями, а також тим, що в циліндрах двигуна при роботі на ній не відбуваються конденсація палива та розрідження оливи. Це в свою чергу зменшує спрацювання двигуна і тим самим збільшує ресурс його роботи. Основним недоліком генераторного газу є його низька теплотворність і відповідно нижча теплотворність газоповітряної суміші порівняно з бензоповітряною. Також газоповітряна суміш має меншу швидкість згоряння, ніж бензоповітряна, продукти згоряння газоповітряної суміші мають менший об'єм; при цьому зменшується коефіцієнт молекулярної зміни робочого тіла, тому індикаторний К.К.Д. двигуна при роботі на газоповітряній суміші зменшується. Крім того, при роботі двигунів із зовнішнім сумішоутворенням на газі зменшується коефіцієнт наповнення циліндрів у зв'язку з меншою, ніж у бензоповітряної, густиною газоповітряної суміші.

Як наслідок, літровоа потужність двигунів газогенераторних автомобілів зазвичай не перевищує 5,2...13,2 кВт, тоді як для сучасних бензинових двигунів вона дорівнює 13,2...22,1 кВт.

Для того, щоб підвищити ефективну потужність двигуна, застосовують методи, пов'язані зі збільшенням величини середнього ефективного тиску, на який у свою чергу впливають три найважливіші параметри: теплотворність горючої суміші, коефіцієнт наповнення циліндрів, індикаторний К.К.Д.

Одним із шляхів підвищення потужності газових двигунів є збільшення коефіцієнта наповнення усуненням підігріву газоповітряної суміші, а також зменшення опорів у впускній системі. Але найбільш суттєвим способом підвищення потужності двигуна без значної переробки та ускладнення конструкції є застосування наддуву, який дозволяє підвищити густину робочого тіла. Межею підвищення потужності переобладнаних двигунів при застосуванні наддуву є міцність кривошипно-шатунного механізму і теплова напруженість двигуна. У разі перевищення умов міцності і теплової напруженості необхідно створювати спеціальні газові двигуни збільшеного літражу з посиленими деталями кривошипно-шатунного механізму та спеціально пристосованим електрообладнанням (з більш потужним стартером та вищою напругою на електродах свічок), що є економічно невигідним. Якщо поєднувати наддув з підвищенням ступеня стиску, то можна при роботі на генераторному газі досягти приблизно такої ж літрової потужності, як при роботі на бензині.

Для наддуву використовують поршневі, ротаційні або відцентрові нагнітачі, які мають механічний привід або приводяться в дію відпрацьованими газами двигуна. Використання для приводу нагнітача енергії відпрацьованих газів дозволяє значно зменшити витрату потужності на приведення в дію нагнітача. Зазвичай відцентровий нагнітач з'єднаний в одному агрегаті з газовою турбіною, яку встановлюють на шляху проходження відпрацьованих газів від двигуна до глушника. Останнім часом з'явилися відцентрові нагнітачі, які приводяться в дію електричним двигуном. Такий привід не впливає на опір у системі випуску двигуна. На відміну від нагнітачів з приводом від відпрацьованих газів, які починають працювати лише тоді, коли колінчастий вал досягає певної кутової швидкості, нагнітачі з електроприводом можуть працювати у всьому швидкісному діапазоні двигуна, навіть при його запуску. Кількість повітря, що нагнітається, регулюється системою управління двигуном. Для бензинових двигунів основним параметром регулювання є кут повороту дросельної заслінки.

Для теоретичного дослідження можливості поліпшення показників роботи двигуна на генераторному газі за допомогою наддуву були проведені тепловий розрахунок двигуна при роботі на різних видах палива (бензині та генераторному газі, у тому числі на генераторному газі – без наддуву та з наддувом за різних характеристик наддуву), а також динамічний розрахунок кривошипно-шатунного механізму при роботі на генераторному газі з наддувом за характеристик

наддуву, які дають оптимальні результати роботи двигуна на генераторному газі (потужність та крутний момент двигуна знаходяться на рівні цих показників при роботі на бензині).

При розрахунках були прийняті такі допущення: наддув здійснюється за допомогою відцентрового нагнітача з електричним приводом, що дає можливість виключити із математичної моделі втрати потужності на привод нагнітача, спричинювані додатковим опором у системі випуску; тиск наддуву при мінімальній частоті обертання колінчастого вала (800 об/хв) становить 0,12 МПа, а при максимальній (4500 об/хв) варіюється у межах від 0,14 до 0,30 МПа.

За результатами багатоваріантних розрахунків для різних величин тиску нагнітання при частоті обертання колінчастого вала двигуна 4500 об/хв (у діапазоні від 0,14 до 0,30 МПа з кроком 0,02 МПа) встановлено, що при тиску 0,18 МПа досягаються показники роботи двигуна ЗМЗ-4063 на генераторному газі на рівні показників при роботі на бензині. Розрахунком підтверджено, що умова міцності кривошипно-шатунного механізму за тиску наддуву 0,18 МПа при 4500 об/хв виконується. У таблиці 2 наведено результати розрахунків основних показників тиску в циліндрах двигуна ЗМЗ-4063 при його роботі на бензині, генераторному газі та генераторному газі з наддувом за тиску наддуву 0,18 МПа при 4500 об/хв.

Таблиця 2

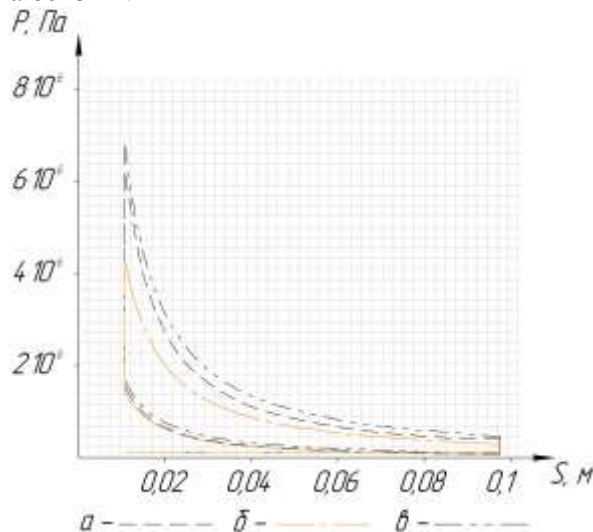
Показники тисків при  $n = 4500$  об/хв при роботі двигуна на різних видах палива

Параметр	Бензин	Генераторний газ (без наддуву)	Генераторний газ (з наддувом при тиску 0,18 МПа)
$P_0$ , МПа	0,1010	0,1010	0,1800
$P_a$ , МПа	0,0820	0,0759	0,0902
$P_b$ , МПа	0,3836	0,3046	0,4414
$P_c$ , МПа	1,5570	1,4110	1,7140
$P_z$ , МПа	6,2290	4,2320	6,8560
$P_r$ , МПа	0,1260	0,1162	0,1760

Індикаторні діаграми роботи ДВЗ на різних видах палива мають вигляд, представлений на рис. 1.

Як видно із рисунка 1, площа індикаторної діаграми при роботі двигуна на генераторному газі без наддуву менша за аналогічний показник при роботі на бензині, але при застосуванні наддуву досягає практично такої ж величини, що і при роботі на бензині.

У таблиці 3 представлені індикаторні та ефективні показники роботи двигуна ЗМЗ-4063 на різних видах палива. На генераторному газі при застосуванні наддуву значення цих показників сягають такого ж рівня, що і на бензині. Потужність та крутний момент при застосуванні наддуву збільшуються на 35% порівняно з роботою на генераторному газі без наддуву і не поступаються цим показникам при роботі на бензині.



а – бензин; б – генераторний газ (без наддуву); в – генераторний газ (з наддувом за тиску 0,18 МПа при 4500 об/хв)

Рис. 1. Індикаторні діаграми двигуна при роботі на різних видах палива

©Г.А.Філіпова, О.В.Орисенко, А.І.Криворот, О.М.Голуб, О.О.Капушта

Індикаторні та ефективні показники двигуна ЗМЗ-4063

Показник	Бензин	Генераторний газ (без наддуву)	Генераторний газ (з наддувом)
$P_i$ , МПа	1,0625	0,6407	1,1054
$N_i$ , кВт	90,9003	54,9730	90,4150
$M_i$ , Н·м	192,8960	116,5010	191,8350
$P_e$ , МПа	0,8810	0,4914	0,8840
$N_e$ , кВт	75,5023	42,9342	75,8345
$M_e$ , Н·м	160,0220	91,5755	161,6273

**Висновки.** Застосування наддуву в газових двигунах позитивно впливає на протікання термодинамічного процесу, дає можливість компенсувати втрату потужності при роботі на генераторному газі та досягнути при роботі на цьому виді палива такого ж рівня індикаторних та ефективних показників, що й при роботі на бензині. Підвищення потужності двигунів при застосуванні наддуву обмежується умовами міцності кривошипно-шатунного механізму та теплової напруженості двигуна.

1. Терентьев В.М. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / В.М. Терентьев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль. – М. : Химия, 1989. – 272 с.
2. [www.biogasportalen.se](http://www.biogasportalen.se)
3. Токарев Г.Т. Газогенераторные автомобили / Г.Т. Токарев. – М. : Машгиз, 1955. – 207 с.
4. Ленин И.М. Автомобильные и тракторные двигатели. Ч 1. Теория двигателей и системы их топливоподачи / И.М. Ленин, А.В. Костров, О.М. Малашкин, И.Я Райков, Г.И. Самоль. – М. : Высшая школа, 1976. – 368 с.
5. Alte Technik mit Zukunft – die Entwicklung des Imbert-Generators Eckermann, Erik. – München : Oldenbourg, 1986.
6. Гуреев А.А. Автомобильные бензины. Свойства и применение / А.А. Гуреев, В.С. Азев. – М. : Нефть и газ, 1996. – 444 с.
7. Stassen HE. Small-scale biomass gasifiers for heat and power: a global Review. World bank technical paper no 296; 1995.
8. FAO (food and agricultural organisation of the United nations). Wood gas as engine fuel. FAO forestry papers no 72; 1986.
9. [www.balticbiogasbus.eu](http://www.balticbiogasbus.eu)
10. Гайнуллин Ф.Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г. Гайнуллин, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский. – М. : Недра, 1986. – 255 с.
11. Філіпова Г.А., Криворот А.І. Експериментальне дослідження генераторного газу із різних видів біомаси / Галина Андріївна Філіпова, Анатолій Ігорович Криворот // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 27. – С. 137-143.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2014