

А.М. Левтеров, А.М. Авраменко

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВОГО ЗМІШУВАЧА ДЛЯ КОНВЕРСІЇ ДИЗЕЛЬНОГО МОТОР-ГЕНЕРАТОРА У ГАЗОДИЗЕЛЬНИЙ

За літературними джерелами проаналізовано варіанти конверсії дизелів у двопаливні двигуни для роботи на будь-якому горючому, зокрема, природному газі (ПГ). Метод конверсії з зовнішнім сумішоутворенням і запальною дозою рідкого палива передбачає підготовку газоповітряної суміші необхідного складу у спеціальному пристрої. Наведено методику вибору конструктивних параметрів газового змішувача для організації робочого процесу V-подібного дизельного двигуна типу 12С 15/17,5, конвертованого у газодизельний, який працює у складі мотор-генераторної установки резервного енергоживлення. Проаналізовано базову конструкцію - дизельного мотор-генератора. Проведено порівняльний розрахунок робочих процесів дизельного та газодизельного варіантів виконання (з запальною дозою дизельного палива 10%). Сформовано вимоги до конструкції та місця розташування газового змішувача. В роботі, з використанням технологій 3D моделювання, сформовано геометрію газового змішувача та його проточну частину. З використанням методу кінцевих об'ємів було синтезовано розрахункову сітку та проведено її адаптацію поблизу твердих стінок. Далі у тривимірній постановці було проведено серію чисельних експериментів з оцінки пропускної здатності та якості змішування мережевого метану з повітрям (при роботі на характерних експлуатаційних режимах). Оцінено розподіл швидкостей потоку у вертикальній та горизонтальній площинах проточної частини газового змішувача, проаналізовано зміну тиску по висоті газового змішувача і розподіл масової частки метану у проточній частині впускного тракту двигуна та розроблено науково-практичні рекомендації з забезпечення ефективної роботи газодизеля у складі мотор-генераторної установки. Показано, що запропонована конструкція газового змішувача дозволяє проводити ефективне змішування метану з повітрям при роботі у всьому діапазоні потужності розглянутого двигуна. Використання технологій 3D моделювання, з використанням сучасних чисельних методів, дозволяє оцінити умови роботи змішувача по макро показникам та в локальних підобластях, що дозволяє, в подальшому, розробити рекомендації по підвищенню ефективності процесу приготування паливоповітряної суміші.

Ключові слова: робочий процес; мотор-генератор; природний газ; газовий змішувач; чисельне моделювання.

Вступ

Концепція двопаливного поршневого двигуна не нова. В 1920-х роках Рудольф Дизель вже експериментував з таким підходом, подаючи трубопровідний газ до повітрязбірника двигуна власної конструкції, з метою покращення його роботи. А вже з 1930-х років такий тип двигуна отримав різноспрямоване використання.

Двопаливні двигуни на базі дизельного мають різні модифікації й різну стратегію подачі газового палива в циліндр, в залежності від властивостей газу, що використовується: дизпаливо (ДП) – біогаз [1–4]; ДП – водень; ДП – біодизельне пальне; ДП – СПГ; ДП – ПГ. Останній варіант є найбільш розповсюдженим через те, що ПГ розглядається як альтернативне моторне паливо. ПГ відрізняється високим октановим числом, більш низьким рівнем вмісту оксидів азоту та сажі в продуктах згоряння. Суттєвою перевагою перед іншими видами моторних палив також є його вартість. Інтерес до двопаливних двигунів викликаний зростанням витрат на дизельне пальне, підвищенням екологічних вимог, бажанням збільшити інтервали між технічними обслуговуваннями двигуна.

Конверсія дизельного двигуна традиційної конструкції у двопаливний, зберігаючи оригінальність робочого процесу, надає можливість не зменшити притаманну йому економічність, скоротити

експлуатаційні витрати на пальне (через нижчу вартість ПГ) та суттєво покращити екологічні показники (зменшується рівень викиду оксидів азоту, твердих часток, вуглецевого газу, чадного газу).

Аналіз попередніх досліджень

Існує три найбільш розповсюджені категорії двопаливних 4-х тактних двигунів на базі дизельних, які відрізняються за організацією робочого процесу. Двигуни з зовнішнім утворенням газоповітряної суміші, яка запалюється у циліндрі за допомогою запальної дози (7 – 10% циклової подачі) дизельного пального. Тиск газу перед змішувачем, інтегрованим у впускний тракт двигуна, підтримується близьким до атмосферного. Двигуни з внутрішнім сумішоутворенням, в яких газове паливо додається до свіжого повітряного заряду шляхом впрскування його через спеціальні газові клапани безпосередньо у циліндр під високим тиском і запалюванням газоповітряної суміші від запальної дози рідкого пального. Двигуни з форкамеро-факельним запалюванням, в яких невелика порція збагаченої суміші загоряється від електричної іскри свічки запалювання, встановленої в додатковій камері невеликого об'єму.

Найбільш комерційно доцільним для двигунів великої потужності промислових установок, суднових та дизельних електростанцій є варіант з запалюванням від запальної дози рідкого пального. В цьому випадку конверсія на ПГ дозволяє суттєво

знизили експлуатаційні витрати на пальне та вартість виробленої кВт-год енергії, скоротили вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Зокрема, двопаливні дизелі мотор-генераторів на ПГ демонструють кращі показники ефективності за питомою витратою палива, тепловою ефективністю (ККД), вартістю одиниці виробленої електроенергії [5]. Підвищення тиску впорскування ДП–ПГ до 600 бар [6] посприяло підвищенню ККД та зменшенню рівня емісії твердих часток (PM).

Оптимальну стратегію впорскування ДП–ПГ отримали за допомогою багатокритеріальних еволюційних алгоритмів [7]. У сфері морських та річкових перевезень, перевезень великовантажними автомобілями спостерігається глобальна тенденція використання ПГ, яка дозволить зменшити кількість викидів двигунами важких вантажівок та судновими великомасштабними низько швидкісними двопаливними двигунами. Дослідження характеристик останніх здебільшого проводяться чисельними методами через практичну неможливість експериментального їх виконання. Зокрема такі дослідження проведені за допомогою 8-ї версії AVL FIRE камери згоряння двопаливного суднового двигуна [8].

Послідовне проникнення конверсії в усі сфери використання дизельних двигунів відбувається повсюди. Практичні роботи з конверсії серійних дизельних двигунів потужністю 50 – 1000 кВт в двопаливні двигуни з використанням ПГ виконувались в Інституті газу НАН України, Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харківському національному автомобільному університеті.

Дослідження питомої витрати палива конвертованого дизельного двигуна за різних методів конверсії провели для варіанту спільної роботи дизеля і термохімічного реактора, в якому метанол перетворювався в синтез-газ (CO+H₂). За результатами досліджень стверджується, що у відпрацьованих газах дизеля зменшився вміст оксидів азоту на 25 – 30%, чадного газу – на 0 - 24%. Вигода є очевидною, оскільки вартість метанолу в середньому складає усього 10 – 20% від вартості ДП [9].

Двопаливна (ДП–ПГ) концепція, що реалізується на залізничному транспорті, дозволяє підвищити перевізну здатність локомотивів, суттєво понизити витрату ДП та рівень викидів шкідливих речовин. За повідомленнями різних джерел спостерігається зниження емісії викидів вуглецевого складу та оксидів азоту у 1,5 – 2 рази; зменшення димності; збільшується на 20 – 40% термін служби моторного масла; збільшується міжремонтний пробіг локомотива [10]. Проекти застосування двопаливної локомотивної тяги анонсуються в усьому світі. Причому,

дослідження процесу згоряння в двопаливних двигунах залишається постійно в темі [11, 12]. Все частіше поряд з біодизельним паливом ПГ розглядається водень. Зокрема, в США компанія Wabtec підписала відповідну угоду про співпрацю з національними американськими лабораторіями та розробниками програмного забезпечення щодо створення системи керування для двигуна на воднево-дизельному паливі.

Однак до теперішнього часу не достатньо повно вирішеним залишається питання практичної реалізації конверсії певних модифікацій дизельних двигунів, тому пристосування їх до роботи на комплексному паливі є актуальним та потребує досліджень і вирішень.

Методика проведення досліджень

Метою статті є на прикладі конверсії V-подібного дизельного двигуна 12С 15/17,5 у газодизель з зовнішнім сумішоутворенням та запальною дозою рідкого палива, розробка методики вибору конструктивних параметрів газового змішувача. Для розробки науково-практичних рекомендацій з забезпечення ефективної роботи газодизеля необхідно виконати розрахунки його робочого процесу, провести аеродинамічні розрахунки з використанням чисельних методів та за отриманими результатами сформулювати вимоги до конструкції та місця розташування інтегрованого у систему живлення двигуна газоповітряного змішувача.

Основні етапи та результати

В подальшому для порівняльного дослідження було проведено розрахунок робочих процесів базового (дизельного двигуна) та модернізованого - газодизельного, з запальною дозою палива 10%.

В якості двигуна-прототипу було обрано дизельний двигун мотор-генераторної установки фірми Mitsubishi S12H-PTA-S. Стисла технічна характеристика наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Стисла технічна характеристика двигуна-прототипу [13]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Ефективна потужність	кВт	937 (основний) 1031 (резервний)
2	D/S	мм	150/175
3	Частота обертання колінчастого валу	хв ⁻¹	1500
4	Кількість циліндрів	шт	12
5	Розташування циліндрів	-	V - подібне

В таблиці 2 наведено порівняльні результати розрахунку робочих процесів досліджуваного двигуна, при роботі на основному режимі.

Таблиця 2. Порівняльні результати розрахунку робочих процесів досліджуваного двигуна

№	Параметр	Од. вим.	Дизельний	Газодизельний (10% ДП)
1	Ефективна потужність	кВт	934,6	936
2	Ефективний ККД	%	33,8	34,4
3	Питома ефективна витрата теплоти, яка внесена з паливом	МДж/(кВт·год)	10,62	10,48
4	Годинна витрата палива	кг/год м ³ /год	234,7	23,17 (ДП) 252,3 м ³ (СН4)
5	Годинна витрата теплоти, яка внесена з паливом	МДж/год	9 927,81	980 (ДП) + 8 825,4 (СН4) = 9 805,4
6	Вартість 1 МДж енергії, яку містить паливо	грн	1,46	0,44
7	Вартість 1 МВт енергії на валу ДВЗ*	грн	15 552	5 681

* - Вартість 1 л ДП – 51 грн.; 1 м³ метану – 15,4 грн (ТОВ ГК "Нафтогаз України") [14]

Після аналізу конструкції двигуна-прототипу в роботі запропоновано схему розміщення двох газових змішувачів у проточній частині впускного тракту ДВЗ – рисунок 1.

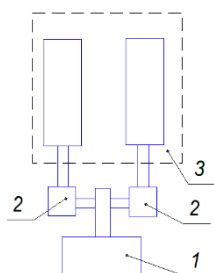


Рис. 1. Схема підключення мотор-генератора до мережевого метану:

1 – повітряний фільтр; 2- газовий змішувач;
3 - ДВЗ

Далі, з урахуванням витрат повітря для згоряння метану і запальної дози дизельного палива, в

роботі було розроблено конструкцію газового змішувача (рис. 2). Схему завдання граничних умов також наведено на рис. 2.

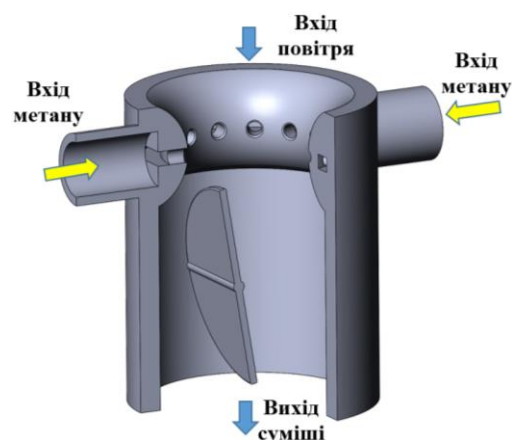


Рис. 2. Геометрія газового змішувача та схема завдання граничних умов

Для роботи двигуна в газодизельному режимі в проточну частину впускного тракту встановлюється два газових змішувача.

З використанням чисельних методів у тривимірній стаціонарній постановці було проведено чисельне моделювання процесу течії та змішування свіжого повітря з метаном у проточній частині газового змішувача. Для опису турбулентної течії в роботі використовувалась к-ε модель турбулентності, задача вирішувалась у декартових координатах з урахуванням процесу теплообміну між робочим тілом та стінками проточної частини газового змішувача.

Розрахунки проведено для двох режимів (основного та резервного).

Для чисельного моделювання використовувалась метод кінцевих об'ємів. Розрахункова сітка, з адаптацією поблизу твердих стінок (п'ять шарів) - наведена на рис. 3.

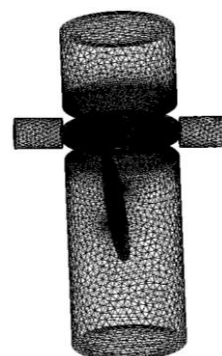


Рис. 3. Розрахункова сітка (1315669 розрахункових комірок)

Значення граничних умов для досліджуваних режимів наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Значення граничних умов для чисельного моделювання

№	Основний режим	Од. вим.	Значення
1	Витрата повітря	м ³ /год	2523
2	Витрата метану	м ³ /год	252,3
3	Температура повітря	°C	25
4	Температура метану	°C	25
Резервний режим			
5	Витрата повітря	м ³ /год	2900
6	Витрата метану	м ³ /год	290
7	Температура повітря	°C	25
8	Температура метану	°C	25

Далі наведено результати порівняльного чисельного моделювання (рис. 4 -7).

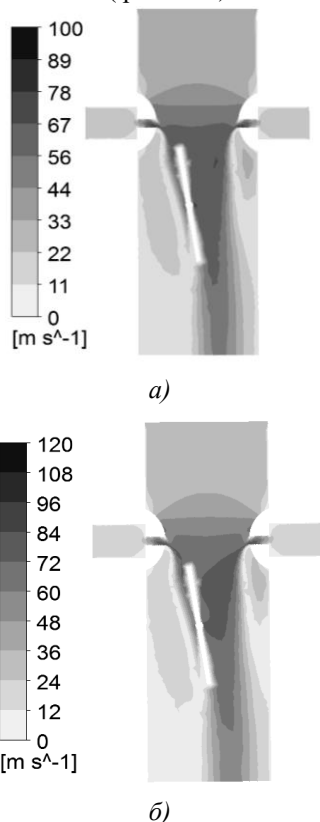


Рис. 4. Розподіл швидкості потоку у проточній частині газового змішувача в меридіональному перетині вертикальною площиною вздовж його осі: а - основний режим; б – резервний

Розподіл швидкості потоку у проточній частині газового змішувача в меридіональному перетині вертикальною площиною вздовж його осі наведено на рис. 4. а (основний режим), а для резервного – на рис. 4.б.

Як видно з наведених результатів, швидкість потоку по висоті проточної частини газового змішувача змінюється в межах від 20 до 80 м/с, а максимальне значення становить 100 м/с (для основного режиму – рис. 4.а), та від 36 до 96 м/с, з максимальним значенням до 120 м/с (для резервного режиму – рис. 4.б), що лежить у допустимих межах для швидкості потоку у проточній частині газового змішувача.

Розподіл тиску у проточній частині газового змішувача в меридіональному перетині вертикальною площиною вздовж його осі наведено на рис. 5. а (основний режим), а для резервного – на рис. 5.б.

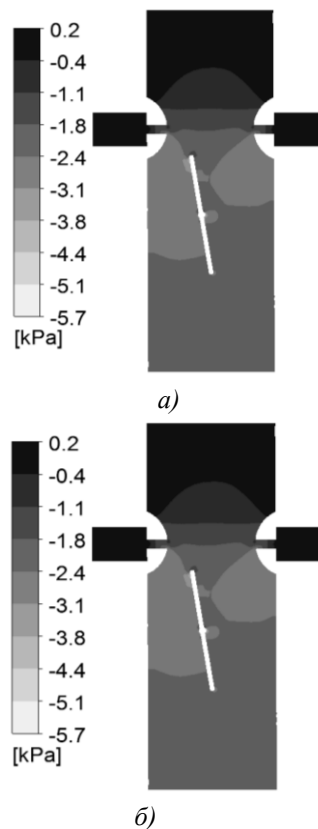


Рис. 5. Розподіл тиску у проточній частині газового змішувача в меридіональному перетині вертикальною площиною вздовж його осі: а - основний режим; б – резервний

Згідно отриманих результатів тиск по висоті проточної частини газового змішувача змінюється в межах від -4,4 до -0,4 кПа для основного режиму (рис. 5.а) та від -5,1 до -0,4 кПа – для резервного режиму (рис. 5.б), що лежить у допустимих межах для зміни тиску у проточній частині газового змішувача.

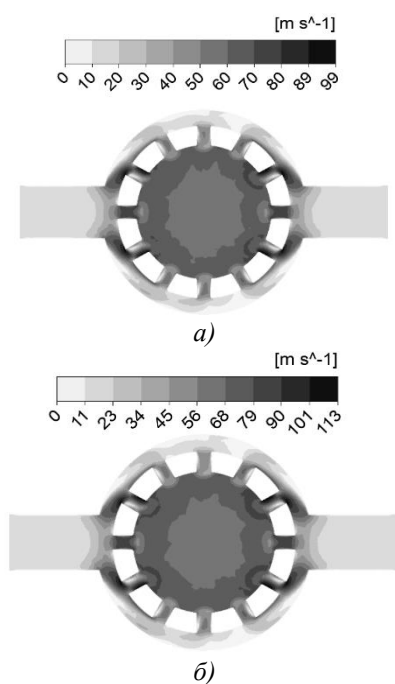


Рис. 6. Розподіл швидкості потоку у проточній частині газового змішувача в перетині горизонтальною площиною перпендикулярно його осі вздовж осі отворів для підведення газу у дифузор:
а - основний режим; б – резервний

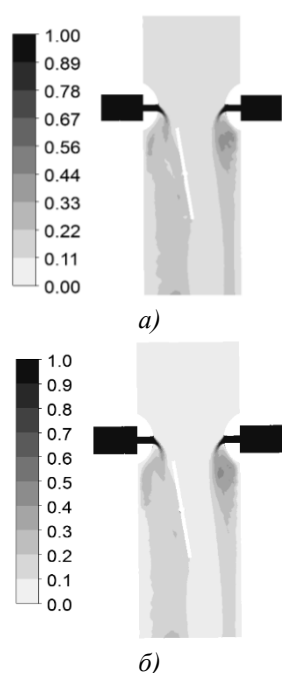


Рис. 7. Розподіл об'ємної частки метану, в процесі течії у проточній частині газового змішувача:
а - основний режим; б – резервний

Розподіл швидкості потоку у проточній частині газового змішувача в перетині горизонтальною пло-

щиною перпендикулярно його осі вздовж осі отворів для підведення газу у дифузор наведено на рис. 6 а (основний режим), а для резервного – на рис. 6.б.

Максимальна швидкість потоку не перевищує 99 м/с (для основного режиму – рис. 6.а), і 113 м/с (для резервного режиму – рис. 6.б).

Розподіл об'ємної частки метану в процесі течії у проточній частині газового змішувача наведено на рис. 7 а (основний режим), а для резервного – на рис. 7.б.

Розподіл об'ємної частки метану по висоті проточної частини газового змішувача змінюється від 0,22 до 0,78 (для основного режиму – рис. 7.а), і з 0,3 до 0,8 (для резервного режиму – рис. 7.б).

Узагальнені результати порівняльного чисельного моделювання наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Узагальнені результати порівняльного чисельного моделювання

Режим	Швидкість потоку на виході, м/с	Об'ємна частка метану на виході
Основний	26,7	0,101
Резервний	30,7	0,0986

Висновки

За результатами проведеного дослідження можна відзначити наступне:

- конвертування дизельного двигуна в газодизельний дозволяє значно скоротити його експлуатаційні витрати, що пояснюється різницею вартості палива;

- запропонована конструкція індивідуального газового змішувача (для кожного ряду циліндрів) дозволяє організувати процес приготування паливоповітряної суміші при роботі двигуна на основному та резервному режимах;

- використання технологій 3D моделювання з застосуванням сучасних чисельних методів дає змогу оцінити умови роботи змішувача за макрокказниками та в локальних підобластях, що дозволяє в подальшому, розробити рекомендації з підвищення ефективності процесу приготування паливоповітряної суміші.

Список літератури:

1. Ambarita H. Performance and emission characteristics of a small diesel engine run in dual-fuel (diesel-biogas) mode [Electronic resource] / Himsar Ambarita // Case Studies in Thermal Engineering. – 2017. – Vol. 10. – P. 179–191. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.06.003> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen.
2. Ghazal O. H. Combustion analysis of hydrogen-diesel dual

fuel engine with water injection technique [Electronic resource] / Osama H. Ghazal // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2019. – Vol. 13. – P. 100380. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100380> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 3. Effect of Injection Strategies in Diesel/NG Direct-Injection Engines on the Combustion Process and Emissions under Low-Load Operating Conditions [Electronic resource] / Jinze Li [et al.] // *Energies*. – 2020. – Vol. 13, no. 4. – P. 990. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/en13040990> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 4. Effects of direct-injection fuel types and proportion on late-injection reactivity controlled compression ignition [Electronic resource] / Qinglong Tang [et al.] // *Combustion and Flame*. – 2020. – Vol. 211. – P. 445–455. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.10.018> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 5. Barasa Kabeyi, M., and Olanrewaju, O., 2022, June. CONVERSION FROM DIESEL TO DUAL FUEL POWER GENERATION AND IMPLICATIONS ON THE TRANSITION. In 7th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, <https://doi.org/10.46254/NA07.20220356>. 6. Direct Injection of Natural Gas at up to 600 Bar in a Pilot-Ignited Heavy-Duty Engine [Electronic resource] / Gordon McTaggart-Cowan [et al.] // *SAE International Journal of Engines*. – 2015. – Vol. 8, no. 3. – P. 981–996. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2015-01-0865> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 7. Optimization of the injection parameters of a diesel/natural gas dual fuel engine with multi-objective evolutionary algorithms [Electronic resource] / Jie Liu [et al.] // *Applied Thermal Engineering*. – 2019. – Vol. 150. – P. 70–79. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.171> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 8. Impact of pilot diesel injection timing on performance and emission characteristics of marine natural gas/diesel dual-fuel engine [Electronic resource] / Xiao Zhang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, no. 1. – Mode of access: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61672-5> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 9. Fuel economy raising of alternative fuel converted diesel engines [Electronic resource] / Sviatoslav Kryshchtopa [et al.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 4, no. 8 (94). – P. 6–13. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139358> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 10. Conversion of diesel locomotive engines to operation on natural gas motor fuel [Electronic resource] / Vitaliy Asabin [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 157. – P. 01003. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015701003> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 11. Samue J. Kazmouz, Sicong Wu, Adam Klingbeil, et al. // *Large-Bore Locomotive Engines – Numerical Simulations of Natural Gas/Diesel Dual-Fuel Operation / Conference: ASME 2023 ICE Forward Conference DOI:10.1115/ICEF2023-110164*, January 2024. 12. G. B. Varlamov, V.G. Petrenko, A. Glazyrin, // *Methodological basis for the conversion of transport diesel engines of transport diesel engines to gas-diesel operation/BULLETIN of L.N. Gumilyov ENU. Technical Sciences and Technology Series № 1(134)/2021 P. 68 – 78. DOI: 10.32523/2616-7263-2021-134-1-68-78*. 13. Mitsubishi Diesel Engine - S12H-PTA. – Режим доступу: [https://engine-genset.mhi.com/hubfs/00.%20Website/02.%20Industrial/02.%20Products/Contant%20Speed/000.%20Documents/Mitsubishi%20Diesel%20Engine%20-%20S12H-](https://engine-genset.mhi.com/hubfs/00.%20Website/02.%20Industrial/02.%20Products/Contant%20Speed/000.%20Documents/Mitsubishi%20Diesel%20Engine%20-%20S12H-PTA%20Switchable.pdf?hsLang=en)

[PTA%20Switchable.pdf?hsLang=en](https://gas.ua/uk/business/tariffs). 14. Нафтогаз України, офіційний сайт. – Режим доступу: <https://gas.ua/uk/business/tariffs>

Bibliography (transliterated):

1. Ambarita, H. (2017), “Performance and emission characteristics of a small diesel engine run in dual-fuel (diesel-biogas) mode”, [Electronic resource] // *Case Studies in Thermal Engineering* – Vol. 10, P. 179–191, Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.06.003> (date of access: 11.07.2024). – Title from screen. 2. Ghazal, O. H. (2019), “Combustion analysis of hydrogen-diesel dual fuel engine with water injection technique” [Electronic resource] *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 13, P. 100380, Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100380> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 3. Jinze, L. [et al.]. (2020), “Effect of Injection Strategies in Diesel/NG Direct-Injection Engines on the Combustion Process and Emissions under Low-Load Operating Conditions” [Electronic resource], *Energies*, Vol. 13, no. 4, P. 990. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/en13040990> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 4. Tang, Q. [et al.]. (2020). “Effects of direct-injection fuel types and proportion on late-injection reactivity controlled compression ignition” [Electronic resource], *Combustion and Flame*, Vol. 211, P. 445–455, Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.10.018> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 5. Barasa Kabeyi, M., Olanrewaju, O. (2022), June. “CONVERSION FROM DIESEL TO DUAL FUEL POWER GENERATION AND IMPLICATIONS ON THE TRANSITION”. In 7th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, <https://doi.org/10.46254/NA07.20220356>. 6. Gordon, Mc Taggart-Cowan [et al.]. (2015), “Direct Injection of Natural Gas at up to 600 Bar in a Pilot-Ignited Heavy-Duty Engine” [Electronic resource] / *SAE International Journal of Engines*, Vol. 8, no. 3, P. 981–996, Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2015-01-0865> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 7. Jie, L. [et al.]. (2019), “Optimization of the injection parameters of a diesel/natural gas dual fuel engine with multi-objective evolutionary algorithms” [Electronic resource] *Applied Thermal Engineering*, Vol. 150, P. 70–79, Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.171> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 8. Xiao, Z. [et al.]. (2024), “Impact of pilot diesel injection timing on performance and emission characteristics of marine natural gas/diesel dual-fuel engine” [Electronic resource], *Scientific Reports*, Vol. 14, no. 1, Mode of access: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61672-5> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 9. Kryshchtopa, S. [et al.]. (2018), “Fuel economy raising of alternative fuel converted diesel engines” [Electronic resource], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, no. 8 (94), P. 6–13. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139358> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 10. Asabin, V. [et al.]. (2020), “Conversion of diesel locomotive engines to operation on natural gas motor fuel” [Electronic resource], *E3S Web of Conferences*, Vol. 157, P. 01003, Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015701003> (date of access: 11.07.2024), Title from screen. 11. Kazmouz, S. J. [et al.]. (2024), “Large-Bore Locomotive Engines – Numerical Simulations of Natural Gas/Diesel Dual-Fuel Operation” / *Conference: ASME 2023 ICE Forward Conference DOI:10.1115/ICEF2023-110164*, January. 12. Varlamov, G. B., Petrenko, V. G., Glazyrin, A. (2021), “Methodological basis for the conversion of transport diesel engines of transport diesel engines to gas-diesel operation” / *BULLETIN of L.N. Gumilyov ENU. Technical Sciences and Technology Series № 1(134)*, P. 68 – 78. DOI: 10.32523/2616-7263-2021-134-1-68-78. 13. Mitsubishi Diesel Engine - S12H-PTA, Available at: [https://engine-genset.mhi.com/hubfs/00.%20Website/02.%20Industrial/02.%20Products/Contant%20Speed/000.%20Documents/Mitsubishi%20Diesel%20Engine%20-%20S12H-](https://engine-genset.mhi.com/hubfs/00.%20Website/02.%20Industrial/02.%20Products/Contant%20Speed/000.%20Documents/Mitsubishi%20Diesel%20Engine%20-%20S12H-PTA%20Switchable.pdf?hsLang=en)

Лєвтеров Антон Михайлович – канд. техн. наук, с.н.с., доц., старший науковий співробітник відділу термогазодинаміки енергетичних машин Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: Antmix1947@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5308-1375>.

Авраменко Андрій Миколайович – доктор техн. наук, с.н.с., провідний науковий співробітник відділу термогазодинаміки енергетичних машин Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: An0100@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8130-1881>.

SELECTION OF GAS MIXER PARAMETERS FOR DIESEL CONVERSION GENERATOR MOTOR IN GAS DIESEL

A.M. Levterov, A.M. Avramenko

According to literary sources, options for converting diesel engines into dual-fuel engines for operation on any fuel, in particular, natural gas (NG), were analyzed. The conversion method with external mixture formation and an ignition dose of liquid fuel involves the preparation of a gas-air mixture of the required composition in a special device. The methodology for choosing the design parameters of the gas mixer for the organization of the work process of a V-shaped diesel engine type 12Ch 15/17.5, converted into a gas diesel, which works as part of a motor-generator unit of backup power supply, is given. The basic design of the diesel motor-generator was analyzed. A comparative calculation of the working processes of diesel and gas-diesel variants of execution (with an ignition dose of diesel fuel of 10%) was carried out. The requirements for the design and location of the gas mixer have been formed. In the work, using 3D modeling technologies, the geometry of the gas mixer and its flow part were formed. Using the method of finite volumes, the calculation grid was synthesized and its adaptation near solid walls was carried out. Next, a series of numerical experiments was conducted in a three-dimensional setting to evaluate the throughput and quality of mixing network methane with air (when the robot is operating at typical operating modes). The distribution of flow velocities in the vertical and horizontal planes of the flow part of the gas mixer was evaluated, the change in pressure along the height of the gas mixer and the distribution of the mass fraction of methane in the flow part of the engine intake tract were analyzed, and scientific and practical recommendations were developed to ensure the efficient operation of gas diesel as part of a motor-generator installation. It is shown that the proposed design of the gas mixer allows effective mixing of methane with air when operating in the entire power range of the considered engine. The use of 3D modeling technologies, with the use of modern numerical methods, allows you to assess the operating conditions of the mixture by macro indicators and in local sub-regions, which allows, in the future, to develop recommendations for increasing the efficiency of the process of preparing the fuel-air mixture.

Key words: work process; motor-generator; natural gas; gas mixer; numerical simulation.

УДК 621.436.2

DOI: 10.20998/0419-8719.2024.2.03

А.В. Савченко, М.С. Шелестов

КОМБІНОВАНА СИСТЕМА НАДДУВУ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИСОКОФОРСОВАНОГО ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Сучасні тенденції в двигунобудуванні нерозривно пов'язані з удосконаленням силових агрегатів шляхом модернізації існуючих зразків. Впровадження форсованого до 1100 кВт дизеля типу ДН дозволяє підвищити ефективність та привести техніку у відповідність сучасним вимогам за короткий час і з меншими витратами. Ключовим методом удосконалення є модернізація системи наддуву, яка підвищує потужність без збільшення габаритів та маси двигуна, а також покращує техніко-економічні характеристики. Запропоновано комбіновану систему наддуву з турбокомпресором низького тиску (КНТ) та привідним компресором високого тиску (КВТ), які працюють спільно або окремо в залежності від режиму роботи. Використання математичної моделі робочого процесу дозволило провести розрахунково-експериментальне дослідження запропонованої системи на режимах максимальної потужності та максимального крутного моменту, підтверджуючи її високу ефективність. Застосування сучасних технологій та матеріалів, а також впровадження інноваційних методів проектування і моделювання дозволяє створювати більш надійні та довговічні силові агрегати. Модернізація системи наддуву є одним з найважливіших напрямків у розвитку сучасного двигунобудування, який дає змогу досягти підвищення рівня питомої потужності, покращення паливної економічності та екологічних характеристик двигунів шляхом забезпечення оптимальних умов їх функціонування в різних умовах експлуатації та в широкому діапазоні режимів роботи. В роботі наведено результати дослідження запропонованої схеми двоступеневого наддуву дизеля типу ДН, що дає змогу досягти потужності 1100 кВт. Показано, що дана схема має переваги над традиційною, оскільки дає змогу забезпечити більш високий тиск наддуву в більш широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу, а також зменшити витрати потужності від колінчастого валу на привід компресору на режимах, що близькі до номінальних. Вказані вище фактори в сукупності обумовлюють суттєве покращення характеристик дизеля в цілому завдяки впровадженню системи двоступеневого наддуву.

Ключові слова: двотактний дизель; робочий процес; моделювання; багатоступеневий наддув; привідний компресор, турбокомпресор.