

УДК 629.436

О. В. ЗАХАРЧУК, канд. техн. наук, ст. викладач, Луцький НТУ

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОВОГО ПАЛИВА

З використанням математичної моделі проведено теоретичні дослідження екологічних показників колісного трактора на основі експериментальних стендових досліджень газового двигуна. Експериментальними дослідженнями колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном перевірена адекватність математичної моделі. Зроблено висновки, що застосування газового палива дозволяє значно покращити екологічні показники колісного трактора з переобладнанням з дизеля газовим двигуном.

Ключові слова: математична модель, колісний трактор, газовий двигун, їздовий цикл, шкідливі викиди.

Вступ. Загальновідомо, що сільськогосподарська техніка обладнана дизелями, які мають хорошу паливну економічність, є невибагливими в експлуатації та обслуговуванні. Однак зростання вимог до екологічних показників транспортних машин, в тому числі сільськогосподарського призначення, потребує удосконалення їх конструкції, яке забезпечить суттєве зменшення викидів шкідливих речовин (ШР) з відпрацьованими газами (ВГ).

Аналіз основних досягнень і літератури. Як показали попередні наукові дослідження [1, 2, 3], одним із ефективних способів поліпшення екологічних показників колісних тракторів з дизелями є їх переобладнання для роботи на стиснутому природному газі (СПГ).

Переобладнанням та дослідженням дизельних двигунів під час роботи на СПГ тепер займаються провідні наукові, науково-дослідні та двигунобудівні організації і компанії. Проаналізовано показники та ефективність переобладнання з дизелів газових двигунів, таких компаній та організацій: MAN, Nissan, Scania, Mercedes-Benz, CUMMINS, Iveco, МАДИ, ВНИИГАЗ, НАМИ, ПМаш, ХНАДУ. Викиди шкідливих речовин переобладнаних газових двигунів знаходяться в межах норм Євро 2...Євро 5 [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Мета дослідження, постановка задачі. Метою роботи є покращення екологічних показників колісного трактора з переобладнанням з дизеля газовим двигуном під час виконання ним транспортної роботи.

Матеріали досліджень. Дослідження екологічних показників колісного трактора включали: експериментальні стендові дослідження газового двигуна, експериментальні дослідження колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном та теоретичні дослідження з використанням математичної моделі.

В лабораторії автомобільних двигунів Луцького національного технічного університету було переобладнано дизель Д-240 в газовий двигун, який встановлюється на тракторі МТЗ-80.

Проведено експериментальні дослідження показників газового двигуна, переобладнаного з дизеля Д-240 (рис.1). Їх метою було здійснити найпростіше переобладнання, яке можна виконувати в умовах невеликих підприємств. Конвертація дизеля здійснена з мінімальними витратами коштів за рахунок використання серійного

© О. В. Захарчук, 2014

газового обладнання, серійної системи запалювання бензинового двигуна і невеликих змін в конструкції двигуна. Зокрема ступінь стискання був зменшений з 16 до 12 встановленням додаткових прокладок головки циліндрів. Тому є можливість відновлення роботи за дизельним процесом.

Стендові випробування газового двигуна проводились на електричному гальмівному стенді КИ-4893 ГОСНИТИ. Під час досліджень визначалися: ефективний крутний момент M_k , частота обертання колінчастого вала n_d , годинна витрата газу $G_{газ}$, годинна витрата повітря $G_{пов}$, розрідження у впускному колекторі Δp_k , кут випередження запалювання θ , положення дросельних заслінок $\varphi_{др}$ газоповітряного змішувача, температура води в системі охолодження t_w , температура оливи $t_{ол}$, вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n і оксидів азоту NO_x .

Експериментальні дослідження газового двигуна підтвердили його роботоздатність у всьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів. На рис. 2 показані навантажувальні характеристики газового двигуна та дизеля для частоти обертання $n_d = 1400 \text{ хв}^{-1}$.



Рисунок 1 – Переобладнаний з дизеля Д-240 газовий двигун на випробувальному стенді

Аналіз характеристики показує, що під час роботи на СПГ потужність двигуна підвищилась з 40 кВт до 41,4 кВт (на 3,4 %). Деяке підвищення потужності пояснюється роботою двигуна при значеннях коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 0,99 \dots 1,1$. Еквівалентна питома ефективна витрата палива (в МДж/(кВт·год)) газового двигуна в порівнянні з дизелем збільшилась на 16,8...25,6 %.

Для вимірювання концентрацій шкідливих речовин у ВГ за компонентами: оксид вуглецю CO , вуглеводні C_mH_n та оксиди азоту NO_x використовувався комплекс газоаналізуючої апаратури.

Вимірювання об'ємних часток оксиду вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n здійснювалося газоаналізатором SUN MGA 1500. Об'ємні частки оксидів азоту вимірювалися газоаналізатором 344ХЛ-011.

Концентрації CO у газового двигуна більші ніж у дизеля на холостому ходу та малих навантаженнях, і дещо менші при максимальному навантаженні. Така ж

закономірність характерна і для вуглеводнів C_mH_n , з яких переважну частину становить метан CH_4 . Викиди NO_x у дизеля менші на середніх навантаженнях, але більші на максимальних. Також у ВГ газового двигуна відсутня сажа, викиди якої мають місце в дизеля.

Сумарна токсичність ΣCO відпрацьованих газів, зведена до оксиду вуглецю CO , газового двигуна та дизеля суттєво залежить від навантаження на двигун. Якщо при малих навантаженнях різниця в сумарній токсичності практично відсутня, то у разі збільшення навантаження, до максимальних значень сумарна токсичність газового двигуна зменшується до 55 % у порівнянні з дизелем (рис. 2).

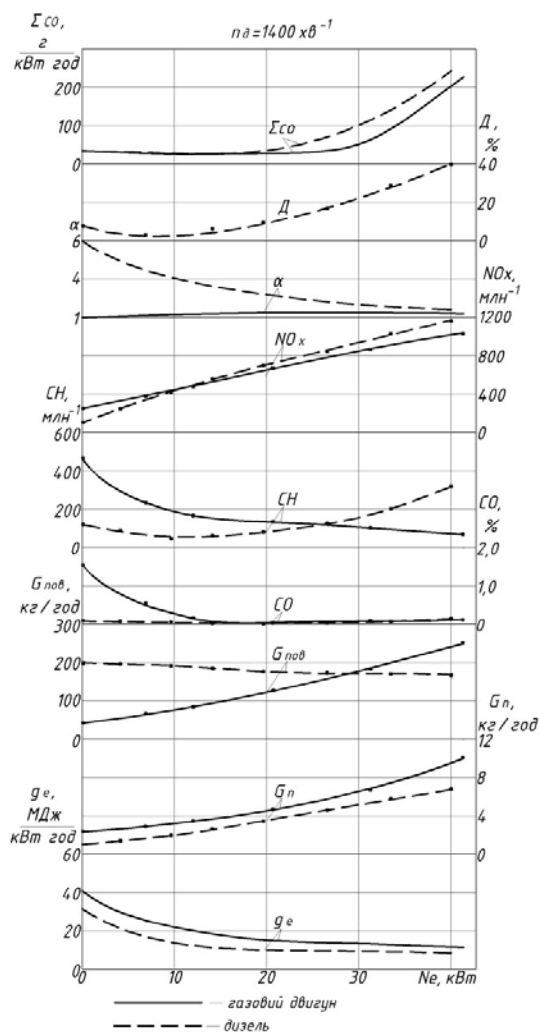


Рисунок 2 – Навантажувальні характеристики газового двигуна та базового дизеля Д-240

На основі методики правил R 49 ЄЕК ООН проводились порівняння паливної економічності та токсичності газового двигуна та дизеля. Викиди окремих ШР на деяких режимах роботи газового двигуна є більшими, ніж у дизеля, але сумарна токсичність ΣCO відпрацьованих газів, зведених до оксиду вуглецю CO газового двигуна складає 294,5, а в дизеля становить 578,3. У ВГ газового двигуна повністю відсутній вміст твердих частинок. Таким чином екологічні показники газового двигуна

в 1,96 рази є кращі, ніж у дизеля. Отримані значення показників енергетичних затрат під час роботи двигуна на різних паливах. При роботі двигуна на СПГ середні сумарні значення еквівалентної питомої ефективної витрати палива складають – 18,2 (МДж/кВт·год), а під час роботи двигуна на дизельному паливі – 14,8. Отже, газовий двигун споживає на 18,7 % більше палива, приведеного до єдиних енергетичних одиниць, ніж дизель.

Дорожні випробування проводились на тракторі МТЗ-80 з переобладнанням з дизеля

Д-240 газовим двигуном (з використанням того ж обладнання, що і під час виконання моторних досліджень), який був оснащений програмно-апаратним комплексом для запису поточного значення частоти обертання ведучого колеса трактора (перераховувалась у швидкість трактора), кута відкриття дросельних заслінок газоповітряного змішувача, абсолютного тиску у впускному трубопроводі, частоти обертання колінчастого вала та реєструючою апаратурою, в якості якої використано ноутбук з аналого-цифровим перетворювачем. Результати дорожніх випробувань використовувались для перевірки адекватності математичної моделі руху трактора.

В математичній моделі імітувався рух колісного трактора з причепом по дорозі, визначалися в кожний момент виконання циклу режими роботи його двигуна (частота обертання $n_{\text{к}}$ колінчастого вала і розрідження $\Delta p_{\text{к}}$ за дросельними заслінками), виходячи з яких за експериментально визначеними в роботі навантажувальними характеристиками з урахуванням особливостей роботи двигуна в неусталених режимах та виду палива, розраховувалась витрата палива, шкідливі викиди, тягово-швидкісні властивості колісного трактора на елементарній ділянці шляху, в цілому в режимі та за весь цикл руху трактора.

Реальні умови експлуатації колісного трактора описувались їздовим циклом, який включає роботу двигуна на малих обертах холостого ходу, розгін колісного трактора з переключенням передач, рух з постійною швидкістю та сповільнення [11] (рис. 3).

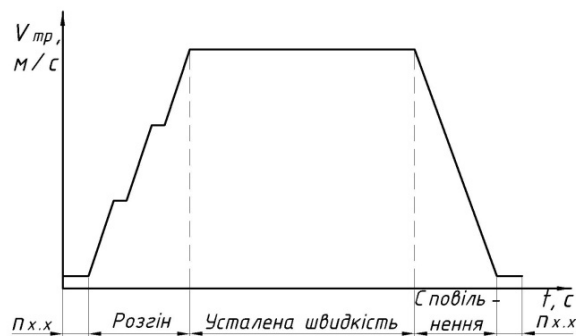


Рисунок 3 – Прийнятий їздовий цикл колісного трактора

Результати досліджень. Витрата палива та викиди ШР з відпрацьованими газами двигунів розраховувались на математичній моделі при відтворенні руху коліснотрактора МТЗ-80 під час роботи двигуна на різних видах палива.

На рис. 4 показано отримані шляхом розрахунку на математичній моделі в залежності від маси вантажу $m_{\text{в}}$: витрату палива $g_{\text{п}}$ в енергетичних одиницях на 1 км пробігу колісного трактора з дизелем і газовим двигуном; питомі викиди оксиду вуглецю g_{CO} , вуглеводнів g_{CH} , оксидів азоту g_{NOx} , твердих часток $g_{\text{с}}$ та сумарні питомі, приведені до оксиду вуглецю ΣCO викиди шкідливих речовин.

З цих залежностей видно, що колісний трактор з дизелем витрачає менше палива на 18,1...22,6 %, викиди CO у трактора з дизелем менші відповідно на 31,5...48,7 %, C_mH_n відповідно менше на 56,5...88,6 % ніж у колісного трактора з газовим двигуном. Це пояснюється тим, що газовий двигун на всіх режимах працює на більш багатих паливо-повітряних сумішах. Оксидів азоту NO_x трактор з дизелем викидає на 8,1 % більше. На відміну від трактора з газовим двигуном, трактор з дизелем викидає ще і тверді частки. Порівнюючи сумарні питомі приведені до оксиду вуглецю ΣCO , викиди шкідливих речовин, з урахуванням відносної агресивності, видно, що більш токсичним (на 31,5...39,5 %) є колісний трактор з дизелем.

На основі проведених розрахунково-теоретичних досліджень видно, що в прийнятному їздовому циклі у колісного трактора з дизелем, беззаперечно, краща паливна економічність в порівнянні з трактором, на якому встановлено газовий двигун. Щодо токсичності відпрацьованих газів, то колісний трактор з дизелем має гірші показники.

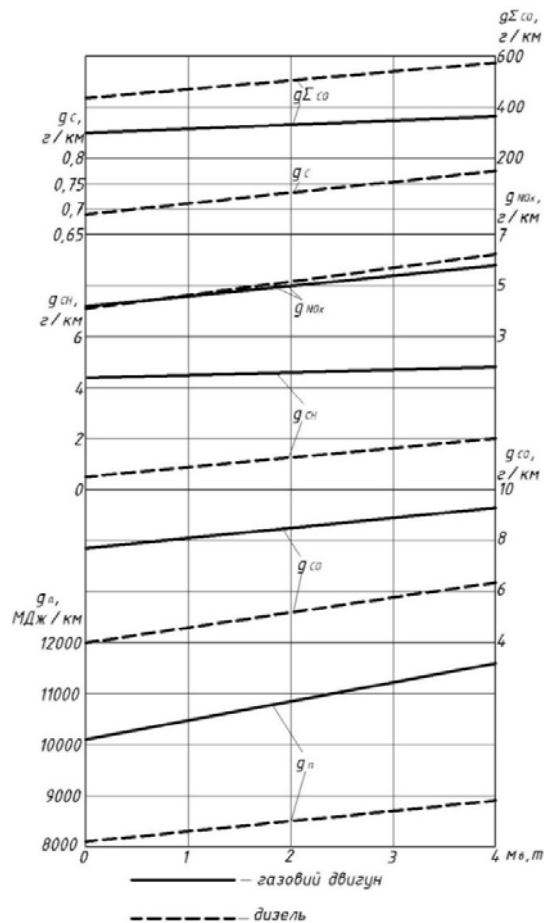


Рисунок 4 – Залежності витрати палива та викидів ШР від маси вантажу колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном та дизелем

Визначено екологічний ефект від експлуатації колісного трактора з газовим двигуном. Податок за забруднення атмосфери відповідно до податкового кодексу України зменшиться на 17,1 %.

Висновки. Застосування газового палива дозволяє значно покращити екологічні показники колісного трактора з газовим двигуном переобладнаним з дизеля. Такий трактор можна успішно використовувати як технологічний транспорт для обслуговування закритих приміщень з обмеженим повітрообміном (теплиці, ферми, склади).

Список літератури: 1. *Льотко В.* Применение альтернативных топлив в ДВС / *В. Льотко, В.Н. Луканин, А.С.Хачиян.* – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 331 с. 2. *Гайворонский А.И.* Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / *А.И. Гайворонский, В.А. Марков, Ю.В. Илатовский.* – ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с. 3. *Матейчик В.П.* Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / *В.П. Матейчик.* – К.: НТУ, 2006. – 216 с. 4. *Бганцев В.Н.* Газовый двигатель на базе четырёхтактного дизеля общего назначения / *В.Н. Бганцев, А.М. Левтеров, В.П. Мараховский* // Мир техники и технологий. – 2003. – №10. – С. 74–75. 5. *Богомолов В.А.* Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6С13/14 с искровым зажиганием / *В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.И. Воронков, С.В. Салдаев, А.Н. Кабанов* // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков: ХНАДУ, 2007. – № 37. – С. 43–47. 6. *Кутенёв В.Ф.* Разработка газового двигателя на базе дизеля ЯМЗ–236НЕ / *В.Ф. Кутенёв, В.А. Лукино* // Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт – 2007. 7. Газовые двигатели // Журнал «Автомастерня». – 2006. – № 12. – С. 30–32. 8. *Kamel M.* Cummins B5.9GNaturalGasEngine / *M.Kamel, V.Duggal* // NGV'94 International Conference. Toronto, Ontario, Canada. 9. *Yutaka T.* Development of an Urban Bus with a Turbocharger and Aftercooled Lean / *T. Yutaka, H. Matsuda, K.Iioka* // Burn CNG Engine for low Emissions. NGV'94 International Conference. Toronto, Ontario, Canada. 10. *Nylund N.* Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / *N.Nylund, J.Laurikko, M. Ikonen.* – Brussel. 11. *Гутаревич Ю.Ф.* Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / *Ю.Ф. Гутаревич.* – К: Выща школа, 1991. – 179 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Notch V.* Prymenenye alternatyvnyh fuels in internal combustion engines / *V. Notch, VN Lukanyan, A.S.Hachyyan.* - Moscow: MADY (TU), 2000. - 331 p. 2. *Hayvoronskiy A.Y.* Yspolzovanye natural gas and other fuels in alternatyvnyh dyzelnyh the engine / *A.I. Hayvoronskiy, V.A. Markov, Yu.V. Ylatovskyy.* - ООО " Gazprom YRTS ", 2007. - 480 p. 3. *Mateichyk V.P.* Evaluation methods and ways to improve the environmental safety of road vehicles : monograph / *V. Mateichyk.* - K. : NTU, 2006. - 216 p. 4. *Bhantsev V.N.* Plates on the engine baze chetyreh'taktnoho diesel obshchego appointment / *V.N. Bhantsev, A.M. Levterov, V.P. Marahovskyy* // World Technics and Technology. - 2003. - № 10. - P. 74-75. 5. *Bogomolov V.A.* Osobennosty konstruksyy eksperymentalnoy settings for the Conduct of research of the gas with the engine 6СН13/14 uskrovyim ignition / *V.A. Bogomolov, F.I. Abramchuk, V.M. Manojlo, A.I. Voronkov, S. Saldaev, A.N. Kabanov* // Journal of Kharkiv National Automobile -road university. - Kharkov : HNADU, 2007. - № 37. - P. 43-47. 6. *Kutenëv V.F.* Razrabotka gas the engine on diesel baze JAMZ- 236NE / *V.F. Kutenëv, V.A. Luksha* // central scientific yssledovatelskiy For car and avtomotornyy Institute - 2007. 7. Nazovyedvyhately // Journal " Automobile ". - 2006. - № 12. - С. 30-32. 8. *Kamel M.* Cummins B5.9GNaturalGasEngine / *M. Kamel, V. Duggal* // NGV'94 International Conference. Toronto, Ontario, Canada. 9. *Yutaka T.* Development of an Urban Bus with a Turbocharger and Aftercooled Lean / *T. Yutaka, H. Matsuda, K. Iioka* // Burn CNG Engine for low Emissions. NGV'94 International Conference. Toronto, Ontario, Canada. 10. *Nylund N.* Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / *N. Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen.* - Brussel. 11. *Gutarevych Yu.F.* Snyzhenye vrednyh vybrosov cars in terms ekspluatatsyonnyh / *Y.F. Gutarevych.* - By: Vyshcha School, 1991. - 179 p.

Надійшла (received) 04.02.2014