

Захарчук¹ В.І., Агєєв² М.С., Захарчук¹ О.В., Скалига¹ М.М., Верхломчук¹ К.А.

¹Луцький національний технічний університет

²Херсонська державна морська академія

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ

Забруднення атмосфери токсичними речовинами відпрацьованих газів автотракторної техніки – надзвичайно важлива проблема сьогодення. Є чимало методів зменшення викидів шкідливих речовин автомобілів. Але вибір конкретного метода здійснюється зазвичай інтуїтивно. Пропонується метод вибору технології модернізації автомобіля на основі системного підходу та багатокритеріальної оптимізації за критеріями технологічності, екологічної безпеки та економічності. В роботі розглядається можливість покращення екологічних показників автомобіля за рахунок використання альтернативних моторних палив. За розробленим методом визначено доцільність використання бензину, скрапленого нафтового газу та природного газу у випадку їх застосування в автомобілі ГАЗ-3307. Критерій технологічності визначається оцінюванням експлуатаційних показників автомобіля методом парних порівнянь. Критерій екологічної безпеки визначається як відношення сумарної токсичності відпрацьованих газів при роботі двигуна на різних видах палив до нормативного показника сумарної токсичності. Для порівняння токсичності відпрацьованих газів автомобіля визначалися сумарні питомі викиди нормованих шкідливих речовин з серійним та модернізованим двигуном, приведені до оксиду вуглецю. Сумарна кількість шкідливих викидів більша в бензині в 2,15 рази та в скрапленого нафтового газу в 1,57 рази в порівнянні з природним газом. Критерій економічності визначається з врахуванням зменшення собівартості перевезень та величини витрат на модернізацію автомобіля. Глобальний критерій вибору оптимального методу визначається адитивним згортанням часткових критеріїв. Модельні представлення функціонування автомобіля дозволили звести завдання вибору найкращої доступної технології модернізації з метою покращення їх екологічних показників, до оптимізації параметрів експлуатаційної системи «технологія-двигун-транспортний засіб» за вибраними критеріями. Визначено, що найбільше значення глобального критерію має використання природного газу в якості моторного палива в вантажному автомобілі, переважно використовуваному в міських умовах.

Ключові слова: альтернативні палива, екологічні показники, системний підхід, багатокритеріальна оптимізація.

ВСТУП

Проблеми захисту навколишнього середовища від забруднення викидами шкідливих речовин (ШР) відпрацьованих газів (ВГ) різних видів техніки та світового дефіциту нафти є одними з найбільш актуальних загальнолюдських проблем нинішнього часу. Проте одним із перспективних напрямків її розв'язання є модернізація техніки за різними технологіями [1].

На сьогоднішній день у нашій державі є великий парк колісних транспортних засобів (ТЗ), які працюють на паливах нафтового походження. Але екологічна ситуація у великих містах країни весь час погіршується. Одним з основних шляхів виходу з цієї ситуації є модернізація техніки з метою покращення екологічних показників. Особливо це стосується автомобілів, які значну частину часу працюють в міських умовах.

В той же час, з огляду на складність і багатоаспектність вирішення цієї проблеми, необхідною умовою є використання системного підходу і можливостей новітніх інформаційних технологій [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Значний внесок у розвиток системного аналізу та теорій прийняття рішень внесли: О.І. Леричев [2], В.В. Кузнецов [3], В.В. Подиновский [4], Т. Саати [5]. Серед найбільш відомих дослідників проблем покращення екологічних показників ТЗ слід відзначити науковців з України і країн пострадянського простору Ю.Гутаревича [6], Ф. Абрамчука [7], С. Гусакова [8], С. Девяніна [9], В. Єрохова [10] та ін. Вирішенню цих проблем присвячено й чимало праць західних вчених, серед яких А. Krishnasamy [11], А. Hochhauser [12], М. Karabektas [13], А. Murugesan [14].

Найбільш поширеними питаннями, що досліджувались у даних роботах вітчизняних та зарубіжних вчених, є екологічні показники двигунів та ТЗ під час роботи на альтернативних паливах (АП). Однак, викладені у цих роботах підходи, не дають чітких тлумачень вибору технології модернізації в конкретній ситуації.

ЦІЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка методологічних основ вибору технології модернізації автомобільної техніки з метою покращення екологічних показників.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Необхідно вибрати таку технологію (технічні заходи, управлінські рішення), які є найбільш дієвими, з точки зору досягнення загального високого рівня захисту навколишнього середовища. На практиці, при реалізації цього принципу, можуть виникнути ситуації, в яких не ясно, яка саме технологія буде забезпечувати найвищий рівень охорони навколишнього середовища (НС) та найбільший економічний ефект (рис. 1). Тому виникає необхідність провести попередню оцінку технологій для ідентифікації, яка ж буде найкращою. Наведені вище матеріали характеризують вихідні дані для ідентифікації технології як найкращої доступної технології (НДТ), є виключно складними. [1].

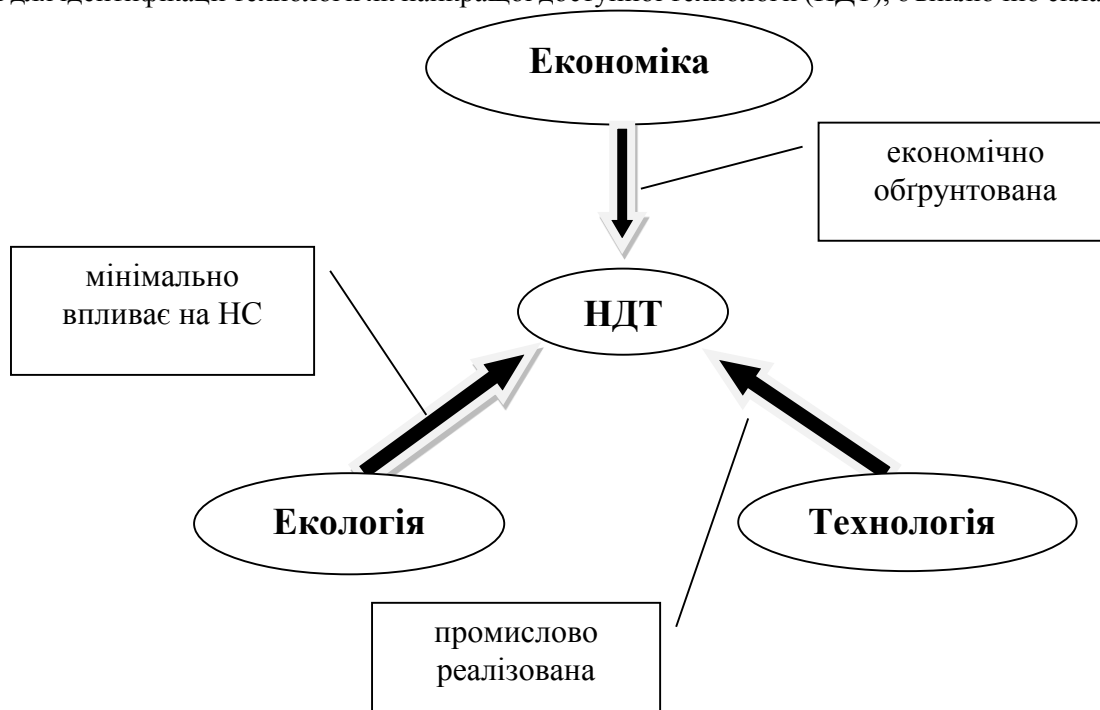


Рисунок 1 – Системні фактори ідентифікації технології як НДТ

Тобто, необхідно є розробка науково-обґрунтованого методичного забезпечення модернізації ТЗ, першим етапом якого стало б вирішення завдання вибору технології в якості НДТ, з урахуванням її технологічної можливості бути реалізованою, екологічної безпеки та економічної доцільності.

Відомо багато способів зменшення шкідливих викидів ТЗ в умовах експлуатації [8-12]. З аналізу літературних джерел встановлено, що до найбільш дієвих відносяться каталітична нейтралізація ВГ, застосування сажових фільтрів в дизелях, перехід на АП та ін.

Заходи мають різну ефективність. Можливість застосування певної технології модернізації ТЗ визначається багатьма чинниками [2]. У процесі прийняття рішень, з огляду на велику кількість критеріїв, доводиться знаходити компроміс між найчастіше конфліктуючими цілями. Для підвищення ефективності управлінських рішень розроблено велику кількість методів багатокритеріального аналізу і оптимізації [4].

Методологія вибору технології модернізації ТЗ включає в себе визначення критерію технологічності K_T системи «технологія-двигун-ТЗ», критерію екологічної безпеки K_e ТЗ та критерію економічної ефективності експлуатації $K_{ек}$.

Критерій технологічності K_T враховує технологічні можливості впровадження. Для визначення критерію технологічності можливе застосування методу парних порівнянь [5]. Оціночними показниками є складність модернізації, вплив модернізації на паливну економічність та енергетичні показники двигуна, вплив на надійність та ресурс двигуна.

За значеннями сумарної токсичності ВГ визначається безрозмірна величина – критерій екологічної безпеки K_e :

$$K_e = \frac{ЕБ_d}{ЕБ_{норм}}, \quad (1)$$

де $ЕБ_d$ – дійсний показник екологічної безпеки ТЗ;

$ЕБ_{норм}$ – нормативний показник екологічної безпеки ТЗ.

Для порівняння токсичності ВГ газів ТЗ визначалися сумарні питомі викиди нормованих ШР з серійним та модернізованим двигуном, приведені до оксиду вуглецю CO :

$$G_{CO} = A \cdot m_{CO} + B \cdot m_{C_mH_n} + C \cdot m_{NO_x} + D \cdot m_{TЧ}, \quad (2)$$

де $m_{CO}, m_{C_mH_n}, m_{NO_x}, m_{TЧ}$ – питомі викиди відповідно оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту і твердих частинок за їздовий цикл, г/км;

A, B, C, D – коефіцієнти агресивності відповідних компонентів.

Значення коефіцієнтів агресивності в сучасних дослідженнях [6-8] приймаються наступними: $A_{CO} = 1, B_{C_mH_n} = 3,16, C_{NO_x} = 41,1, D_{TЧ} = 200$.

Токсичність ВГ ТЗ оцінюють за їздовими циклами, які характеризують режими руху в реальних умовах експлуатації. Але реалізація їздових циклів в умовах автотранспортних підприємств неможлива через відсутність необхідного обладнання та приладів. Тому такі дослідження в експлуатаційних умовах виконуються розрахунковим методом [6].

Найбільш ефективно, з економічної точки зору, рішення щодо вибору технології модернізації, буде відповідати мінімуму річних приведених витрат B_p :

$$B_{pi} = C_i - i \cdot K_i \rightarrow \min, \quad (3)$$

де C_i – собівартість перевезень, з використанням i -го виду палива, грн;

i – постійна норма дисконту;

K – капіталовкладення в переобладнання, грн.

Економічна ефективність застосування технології модернізації оцінюється критерієм економічної ефективності:

$$K_{ек} = \frac{B_{pi}}{B_{pmax}}. \quad (4)$$

Таким чином вибрано три критерії вибору раціональної технології модернізації ТЗ. Багатокритеріальна задача зводиться до однокритеріальної за методом згортання. Об'єднання окремих критеріїв в загальний критерій раціонального виду палива здійснюється наступним чином:

$$K = \varphi_1 K_T + \varphi_2 K_e + \varphi_3 K_{ек}, \quad (5)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти вагомості показників технологічності системи, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації ТЗ ($\sum \varphi_i = 1$).

Для оцінки вагомості окремих критеріїв були використані результати експертних оцінок. Найбільша значимість – у критерію екологічної безпеки (0,4). Дещо менші значення (0,3), мають критерій технологічності та критерій економічної ефективності експлуатації. Для прийняття рішення щодо вибору технології модернізації сформована цільова функція.

Оскільки в якості розвізного транспорту торгівельної мережі великих міст використовуються вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, то актуальним є питання покращення їх екологічних показників. За розробленою методологією з використанням методу парних порівнянь визначено критерій технологічності використання бензину, скрапленого нафтового газу (СНГ) та природного газу (ПГ) у випадку їх використання в автомобілі ГАЗ-3307 (табл. 1).

Оціночними показниками критерію технологічності є показники палива та енергетичних та паливо-економічних властивостей двигуна, які наведені в таблиці 1: П1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва; П2 – енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі; П3 – детонаційна стійкість; П4 – енерговитрати виробництва; П5 – екологічні якості палива (вплив на навколишнє середовище); П6 – паливна економічність двигуна; П7 – безпечність застосування.

Найбільше значення має критерій технологічності використання бензину (0,367), дещо менше значення у ПГ (0,339) і найменше значення у СНГ (0,294).

Таблиця 1 – Значення критерію технологічності використання різних видів палив в автомобілі ГАЗ-3307

Номери показників	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	Критерій технологічності
Вектори пріоритетів $\Sigma(x_i)$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
СНГ	0,488	0,199	0,292	0,157	0,418	0,199	0,385	0,294
ПГ	0,312	0,312	0,292	0,294	0,378	0,312	0,385	0,339
Бензин	0,199	0,488	0,414	0,547	0,202	0,488	0,228	0,367
							$\Sigma=$	1,00

Оціночні показники ПГ та СНГ (пропан-бутану) при їх використанні в бензинових двигунах вантажних автомобілів з двопаливними системами живлення добре вивчені, детально висвітлені у спеціальній літературі. Тому таблиці парних порівнянь оціночних показників другого та третього рівнів в даній роботі не наводяться.

При розрахунку категорії небезпеки на основі даних виконаних випробувань виникає необхідність в обчисленні кількостей викидів окремих речовин M_i при русі ТЗ за їздовим циклом. За розробленою методологією виконана оцінка екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах (табл. 2) [15].

Таблиця 2 – Викиди ШР (г/км і г/с) автомобілем ГАЗ-3307 при роботі двигуна на різних видах палив

Вид палива	Кількість викидів ШР автомобілем									
	NO _x		CO		CH		сажа		Всього	
	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с
Бензин	9,7	0,08	45	0,373	3,58	0,029	-	-	58,3	0,482
ПГ	8,4	0,07	15	0,124	3,69	0,031	-	-	27,1	0,225
СНГ	7,2	0,06	27,8	0,23	2,14	0,018	-	-	37,1	0,308

Результати досліджень автомобіля ГАЗ-3307 на токсичність ВГ під час роботи на різних паливах показані в табл. 3. ВГ автомобіля, працюючого на ПГ, містять в три рази менше оксиду вуглецю та в 1,15 рази менше оксидів азоту. Сумарна кількість шкідливих викидів більша в бензині в 2,15 рази. За кількістю шкідливих викидів найбільш значимим компонентом є оксид вуглецю CO. Результати оцінки рівня екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах зведені в таблицю 3.

Як видно з табл. 3, критерій екологічної безпеки ПГ має значно більше значення у порівнянні з неетилованим бензином та СНГ, що обумовлено його елементарним складом. На другому місці критерій екологічної безпеки СНГ.

Таблиця 3 – Оцінка екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах

Вид палива	Критерій екологічної безпеки K_e
Бензин	0,27
ПГ	0,41
СНГ	0,31

За розробленою методикою виконана оцінка економічної ефективності експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 як технологічного транспорту на різних паливах. Результати розрахунку показників економічної ефективності експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 на АП зведені в табл. 4.

З табл. 4 видно, що економічна ефективність використання СНГ в автомобілі ГАЗ-3307 є вищою у порівнянні з ПГ. Це пояснюється меншою вартістю газової апаратури для СНГ. Техніко-експлуатаційні показники (вантажопідйомність, об'єм виконаної транспортної роботи) автомобіля, працюючого на бензині та на СНГ знаходяться приблизно на однаковому рівні. При розрахунках не враховувалось зменшення вантажопідйомності автомобіля при роботі на ПГ за рахунок встановлення газових балонів. Було прийнято, що заправка автомобіля ПГ буде відбуватись на території

підприємства. У випадку заправки на мережевій заправці в значній мірі зростає середньодобовий холостий пробіг.

Таблиця 4 – Економічна ефективність експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 на АП

Показник	АП	
	ПГ	СНГ
Критерій економічної ефективності використання АМП	0,45	0,55

Результати розрахунків загального критерію вибору оптимального виду палива для використовуваного в якості технологічного транспорту автомобіля ГАЗ-3307 наведені в табл. 5.

В результаті досліджень встановлено, що найбільше значення загального критерію вибору оптимального виду палива має ПГ, найменше значення в бензині.

Таблиця 5 – Значення загального критерію вибору оптимального виду палива для автомобіля ГАЗ-3307

Паливо	Загальний критерій К вибору оптимального виду палива
Бензин	0,218
ПГ	0,399
СНГ	0,377

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

СНГ являє собою продукт переробки нафти або є супутнім компонентом видобутку ПГ. Ресурси СНГ обмежені, оскільки вони значною мірою пов'язані з видобутком нафти. У соціально-побутовому секторі країни СНГ використовує значна кількість жителів. Крім того, СНГ являє собою цінну сировину для хімічної промисловості. Тому СНГ на автотранспорті слід використовувати тільки для власників індивідуальних автомобілів для поліпшення екологічної ситуації великих міст і промислових центрів.

Таким чином з використанням системного підходу методом багатокритеріальної оптимізації здійснено вибір раціонального виду палива для вантажного автомобіля ГАЗ-3307, використовуваного в якості розвізного транспорту торгівельної мережі великих міст.

ВИСНОВКИ

Моделльні представлення функціонування ТЗ дозволили звести завдання вибору найкращої доступної технології модернізації з метою покращення їх екологічних показників, до оптимізації параметрів експлуатаційної системи «технологія-двигун-ТЗ» за критеріями технологічності, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації. За розробленим методом встановлено, що найбільше значення загального критерію має технологія використання ПГ, дещо менше значення в СНГ. Покращення екологічних показників особливо важливо для автомобілів, які значний час працюють в міських умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Тишаева И.Р. Алгоритмическое обеспечение систем поддержки принятия решения по выбору наилучшей доступной технологии в химическом производстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. М., 2014. 20 с.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002. 382 с.
3. Системный анализ и принятие решений в деятельности учреждений реального сектора экономики, связи и транспорта / М.А. Асланов и др.; под ред. В.В. Кузнецова. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2010. 406 с.
4. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Физматлит, 2007. 64 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
6. Екологія та автомобільний транспорт / Ю.Ф. Гутаревич та ін. К.: Арістей, 2006. 292 с.
7. Абрамчук Ф.І., Кабанов А.М. Методика розрахунку випробувального їздового циклу автомобіля повною масою до 3,5 // Вісник НТУ. 2012. № 25. С. 201–206.
8. Гусаков С.В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников. М.: РУДН, 2008. 318 с.

9. Девянин С.Н., Марков С.Н., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Харьков: Новое слово, 2007. 452 с.
10. Ерохов В.И., Бондаренко Е.В. Теоретические и методологические аспекты построения целевой комплексной программы применения альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте // Вестник ОГУ. 2010. № 35. С. 22–30.
11. Krishnasamy, A., Gupta, S.K., Reitz, R.D. (2021). Prospective fuels for diesel low temperature combustion engine applications: A critical review. *International Journal of Engine Research*, 22 (7), 2071–2106, DOI: 10.1177/1468087420960857.
12. Hochhauser, A.M. (2009). Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions. *SAE Technical Paper*, 2, 541–567, DOI: 10.4271/2009-01-1181.
13. Karabektas, M., Ergen, G., Hosoz, M. (2008). The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 28(17–18), 2136–2143, DOI: 10.1080/01430750.2010.9675813.
14. Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N. (2009). Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. A review. *Renew sustainable energy reviews*, 13(3), 653–662, DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.007.
15. Zaharchuk, V., Gritsuk, I., Zaharchuk, O., Golovan, A. et al. (2018). The Choice of a Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. *SAE Technical Paper*, 2018-01-1759, DOI: 10.4271/2018-01-1759.

REFERENCES

1. Tishaeva I.R. Algoritmicheskoe obespechenie sistem podderzhki prinyatiya resheniya po vyboru nailuchshey dostupnoy tekhnologii v khimicheskom proizvodstve: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.01. M., 2014. 20 s.
2. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy. M.: Logos, 2002. 382 s.
3. Sistemnyy analiz i prinyatie resheniy v deyatel'nosti uchrezhdeniy real'nogo sektora ekonomiki, svyazi i transporta / M.A. Aslanov i dr.; pod red. V.V. Kuznetsova. M.: ZAO «Izdatel'stvo «Ekonomika», 2010. 406 s.
4. Podinovskiy V.V. Vvedenie v teoriyu vazhnosti kriteriev v mnogokriterialnykh zadachakh prinyatiya resheniy. M.: Fizmatlit, 2007. 64 s.
5. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy. M.: Radio i svyaz, 1993. 278 s.
6. Ekologiya i avtomobilnyi transport / Yu.F. Hutarevych ta in. K.: Aristei, 2006. 292 s.
7. Abramchuk F.I., Kabanov A.M. Metodyka rozrakhunku vyprobuval'nogo yizdovoho tsykladu avtomobilia povnoi masoiu do 3,5 // Visnyk NTU. 2012. № 25. S. 201–206.
8. Gusakov S.V. Perspektivy primeneniya v dizelyakh alternativnykh topliv iz vozobnovlyaemykh istochnikov. M.: RUDN, 2008. 318 s.
9. Devyanin S.N., Markov S.N., Semenov V.G. Rastitelnye masla i topliva na ikh osnove dlya dizelnykh dvigateley. Kharkov: Novoe slovo, 2007. 452 s.
10. Yerokhov V.I., Bondarenko Ye.V. Teoreticheskie i metodologicheskie aspekty postroeniya tselevoy kompleksnoy programmy primeneniya alternativnykh vidov topliva na avtomobilnom transporte // Vestnik OGU. 2010. № 35. S. 22–30.
11. Krishnasamy, A., Gupta, S.K., Reitz, R.D. (2021). Prospective fuels for diesel low temperature combustion engine applications: A critical review. *International Journal of Engine Research*, 22 (7), 2071–2106, DOI: 10.1177/1468087420960857.
12. Hochhauser, A.M. (2009). Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions. *SAE Technical Paper*, 2, 541–567, DOI: 10.4271/2009-01-1181.
13. Karabektas, M., Ergen, G., Hosoz, M. (2008). The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 28(17–18), 2136–2143, DOI: 10.1080/01430750.2010.9675813.
14. Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N. (2009). Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. A review. *Renew sustainable energy reviews*, 13(3), 653–662, DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.007.
15. Zaharchuk, V., Gritsuk, I., Zaharchuk, O., Golovan, A. et al. (2018). The Choice of a Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. *SAE Technical Paper*, 2018-01-1759, DOI: 10.4271/2018-01-1759.

V. Zakharchuk, O. Zakharchuk, M. Skaliga, M. Ageev, K. Verkhloshchuk. The choice of technology of the improvement of car ecofriendliness.

Contamination of atmosphere by the toxic substances of exhaust gases of motor-vehicle and tractor technique is an extraordinarily important problem of present time. There are quite a bit methods of reduction of extrass of harmful substances of cars. But the choice of certain method comes true usually intuitively. The method of choice of technology of modernisation of car is offered on the basis of approach of the systems and multicriterion optimization on the criteria of manufacturability, ecological safety and economy. Possibility of improvement of ecological indexes of car is in-process examined due to the use of alternative agile fuels. According to the worked out method the using of petrol, condensated petroleum gas and natural gas is certain in case of their application in a car GAZ – 3307. The criterion of manufacturability is determined by the evaluation of operating indexes of car by the method of pair comparisons. The criterion of ecological safety is determined as a relation of total toxicness of exhaust gases during a thruster-on on the different types of fuels to the normative index of total toxicness. For comparison of toxicness of exhaust gases of car the total specific extrass of the rationed harmful substances with a serial and modernized engine, resulted to the oxide of carbon, were determined. The total amount of harmful extrass is for petrol 2.15 times higher and for condensated petroleum gas 1.57 times higher as for natural gas. The criterion of economy is determined taking into account reduction to the prime price of transportations and size of charges on modernisation of car. The global criterion of choice of optimal method is determined by the additive rolling up of partial criterions. World-modeling of the car functioning allowed to choose the best accessible technologies of modernisation with the aim to improve their ecological indexes, to optimize the parameters of the operating system "technology - engine - transport vehicle" according to the chosen criteria. Certainly, that the most value of global criterion has using of natural gas as an agile fuel in the truck mainly used in municipal terms.

Key words: alternative fuels, ecological indexes, approach of the systems, multicriterion optimization.

ЗАХАРЧУК Віктор Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: victavto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

АГЄЄВ Максим Сергійович, доктор технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, e-mail: maxageev73-73@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5691-8986>

ЗАХАРЧУК Олег Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: Zaharchukov205@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>

СКАЛИГА Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: cnn110162@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>

ВЕРХЛОМЧУК Катерина Анатоліївна, магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет

Victor ZAKHARCHUK, Doctor of Science in Engineering, Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: victavto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

Maksim AGEEV, Doctor of Science in Engineering, Assoc. Professor of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, e-mail: maxageev73-73@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5691-8986>

Oleg ZAKHARCHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: Zaharchukov205@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>

Mykola SKALIGA, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: cnn110162@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>

Kateryna VERCHLOMCHUK, Master of the department of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University

DOI 10.36910/automash.v1i18.762