

УДК 621.436:665.75  
UDC 621.436:665.75

## ВИЗНАЧЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Левківський О.О., Публічне акціонерне товариство "Київське автотранспортне підприємство  
"Укрпродконтракт", Київ, Україна

## DETERMINE THE TOXICITY OF EXHAUST GASES BY TRUCKS DIESEL ENGINES OPERATING ON BIODIESEL FUEL

Korpach A.O., candidate of technical sciences, National transport university, Kyiv, Ukraine  
Levkivs'kyu O.O., Public joint stock company "Kyiv autotransport enterprise "Ukrprodkontrakt",  
Kyiv, Ukraine

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА БИОДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

Корпач А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина  
Левковский А.А., Публичное акционерное общество "Киевское автотранспортное  
предприятие" Укрпродконтракт ", Киев, Украина

Вступ. Постійне підвищення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільного транспорту України [1] призводить до погіршення екології оточуючого середовища. Значні об'єми викидів шкідливих речовин припадають на дизелі вантажних автомобілів повною масою понад 3,5 т., більшість з яких не обладнано сучасними системи нейтралізації відпрацьованих газів.

Постановка проблеми. Для зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів вантажних автомобілів доцільно замінити палива нафтового походження альтернативними паливами. Найбільш перспективним паливом для автомобільних дизелів, на сьогоднішній день, вважається біодизельне паливо яке за рахунок подібності фізико-хімічних властивостей дизельному паливу може використовуватись в серійних двигунах без внесення значних конструктивних змін в паливну апаратуру. Крім того, біодизельне паливо має ряд екологічних переваг в порівнянні з дизельним паливом: виготовляється з відновлюваних ресурсів рослинного походження; високий показник біологічної розчинності; низький рівень викидів  $CO_2$  в атмосферу під час використання; низький вміст сірки та поліциклічних ароматичних вуглеводнів.

Аналіз можливостей використання біодизельного палива, в чистому вигляді, в дизелях різної конструкції вказує, що для роботи на біодизельному паливі найкраще пристосовані автотракторні дизелі [2, 3, 4].

Мета роботи – розрахунок питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автотракторного дизеля, що працює на біодизельному паливі відповідно до вимог правил ЄЕК ООН № 49-01 та визначення димності відпрацьованих газів відповідно до вимог ГОСТ 17.2.2.02 – 86.

Об'єкт дослідження – автотракторний дизель 4Ч11,0/12,5 (Д-241).

Основна частина. Експериментальні дослідження, впливу біодизельного палива (метилові ефіри ріпакової олії) на екологічні показники виконано на дизелі 4Ч11,0/12,5 (Д-241) [5]. За результатами досліджень встановлено, що при роботі на біодизельному паливі концентрації оксиду вуглецю  $CO$  і вуглеводнів  $C_mH_n$  в відпрацьованих газах при низьких навантаженнях двигуна дещо підвищуються, в порівнянні з дизельним паливом, а зі зростанням навантаження спостерігається тенденція до зниження. Концентрації оксидів азоту  $NO_x$  при роботі на біодизельному паливі підвищується, в порівнянні з дизельним паливом, на всіх швидкісних та навантажувальних режимах в середньому на 9%. Димність відпрацьованих газів при роботі на біодизельному паливі знижується, в порівнянні з дизельним паливом, на всіх швидкісних та навантажувальних режимах (до 40% при повному навантаженні дизеля).

Підвищення концентрації  $NO_x$  в відпрацьованих газах при роботі на біодизельному викликано зростання максимальної температури робочого циклу дизеля. Відомо, що температура робочого циклу дизеля безпосередньо залежить від кута випередження впорскування палива. За результатами

досліджень встановлено, що зменшення кута випередження впорскування палива на 2...3 град. п.к.в. (штатний кут випередження впорскування 26 град п.к.в.) досягається зниження концентрації  $NO_x$  в відпрацьованих газах в середньому на 14%, при цьому димність відпрацьованих газів знижується на 20% [6].

Відповідно до вимоги правилами ЄЕК ООН № 49-01 [7] токсичність відпрацьованих газів дизеля оцінюється питомими викидами  $CO$ ,  $C_mH_n$  і  $NO_x$  при роботі дизеля в 13-ти режимному випробувальному циклі (рис. 1).

Для розрахунку питомих викидів  $CO$ ,  $C_mH_n$  і  $NO_x$  визначаються частоти обертання колінчастого вала дизеля при 70% ( $n_{hi}$ ) і 50% ( $n_{lo}$ ) максимальної потужності, з подальшим визначенням частоти обертання  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  за рівняннями:

$$n_A = n_{lo} + 0,25 \cdot (n_{hi} - n_{lo}); \quad (1)$$

$$n_B = n_{lo} + 0,50 \cdot (n_{hi} - n_{lo}); \quad (2)$$

$$n_C = n_{lo} + 0,75 \cdot (n_{hi} - n_{lo}). \quad (3)$$

За результатами розрахунку встановлено, що для дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-241)  $n_A=1330 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n_B=1600 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n_C=1870 \text{ хв}^{-1}$  (рис. 1).

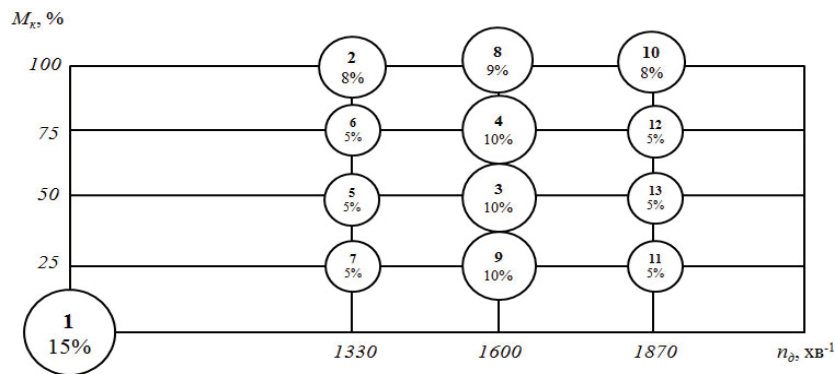


Рисунок 1 – 13-ти режимний випробувальний цикл дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-241)

Концентрації  $CO$  і  $C_mH_n$  виміряні методом інфрачервої спектроскопії за допомогою газоаналізатора Инфракар в сухих продуктах згоряння приводяться до вологого стану за допомогою коефіцієнта  $K_w$ , що розраховується по формулам:

$$K_w = \left( 1 - F_{FH} \cdot \frac{G_{нал}}{G_{нов}} \right) - K_{w2}; \quad (4)$$

$$F_{FH} = \frac{1,969}{\left( 1 + \frac{G_{нал}}{G_{нов}} \right)}; \quad (5)$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,608 \cdot H_a)}, \quad (6)$$

де  $G_{нал}$  – годинна витрата палива, кг/год;

$G_{нов}$  – годинна витрата повітря, кг/год;

$H_a$  – маса води в одному кілограмі повітря, г/кг, розраховується по формулі:

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}; \quad (7)$$

де  $R_a$  – відносна вологість повітря, %;

$p_a$  – парціальний тиск насиченої пари, кПа;

$p_B$  – атмосферний тиск, кПа.

Концентрація  $NO_x$  виміряна методом хімічної люмінесценції за допомогою газоаналізатора 344ХЛ-14 залежить від атмосферних умов, тому потребує приведення до нормальних атмосферних умов за допомогою коефіцієнту  $K_H$ , що розраховується по формулам:

$$K_H = \frac{1}{1 + A \cdot (H_a - 10,71) + B \cdot (T_a - 298)}, \quad (8)$$

$$A = 0,309 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{ное}} - 0,0266, \quad (9)$$

$$B = -0,209 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{ное}} + 0,00954; \quad (10)$$

де  $G_{нал}$  – годинна витрата палива, кг/год;

$G_{ное}$  – годинна витрата повітря, кг/год;

$H_a$  – маса води в одному кілограмі повітря, г/кг;

$T_a$  – температура повітря, К.

Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами, г/год, в кожній точці експериментального циклу розраховуються по формулам:

$$G_{NO_x} = 0,001587 \cdot NO_x \cdot K_H \cdot G_{BG}; \quad (11)$$

$$G_{CO} = 0,000966 \cdot CO_{wet} \cdot K_W \cdot G_{BG}; \quad (12)$$

$$G_{C_m H_n} = 0,000479 \cdot 3 \cdot C_m H_{n_{wet}} \cdot K_W \cdot G_{BG}, \quad (13)$$

де  $G_{BG}$  – годинна витрата відпрацьованих газів, кг/год;

Питомі викиди шкідливих компонентів з відпрацьованими газами, г/кВт·год, розраховуються по формулам:

$$\overline{NO_x} = \frac{\sum G_{NO_x} \cdot WF_i}{\sum P(n)_i \cdot WF_i}; \quad (14)$$

$$\overline{CO} = \frac{\sum G_{CO} \cdot WF_i}{\sum P(n)_i \cdot WF_i}; \quad (15)$$

$$\overline{C_m H_n} = \frac{\sum G_{C_m H_n} \cdot WF_i}{\sum P(n)_i \cdot WF_i}, \quad (16)$$

де  $WF$  – ваговий коефіцієнт визначений правилами ЄЕК ООН № 49-01.

За результатами розрахунку питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) при роботі в 13-ти режимному випробувальному циклі (табл. 1) встановлено, що при роботі на біодизельному паливі з кутом випередження впорскування 24 град п.к.в. викиди шкідливих речовин відповідають вимогам правил ЄЕК ООН № 49-01.

Таблиця 1 – Питомі викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241)

Паливо	CO, г/кВт·год	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> , г/кВт·год	NO <sub>x</sub> , г/кВт·год
Дизельне паливо	9,247	0,282	14,048
Біодизельне паливо (кут випередження впорскування 26 град п.к.в.)	9,387	0,235	15,342
Біодизельне паливо кут випередження впорскування 24 град п.к.в.)	10,833	0,248	13,630
Вимоги правил ЄЕК ООН № 49-01	11,200	2,500	14,400

Окрім питомих викидів  $CO$ ,  $C_mH_n$  і  $NO_x$  значна частка викидів шкідливих речовин припадає на сажу, що визначається дивністю відпрацьованих газів. Димність відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів вимірюється при роботі двигуна в режимі зовнішньої швидкісної характеристики відповідно до вимог ГОСТ 17.2.2.01-84 [8]. За результатами експериментальних досліджень дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) димність відпрацьованих газів виміряна за допомогою димоміра ИНА-109 в шести точках зовнішньої швидкісної характеристики при роботі двигуна на дизельному та біодизельному паливах з кутами випередження впорскування 26 і 24 град. п.к.в. За остаточний результат взято середнє арифметичне значення для кожного палива.

За результатами дослідження встановлено, що при роботі на біодизельному паливі з кутом випередження впорскування 26 град. п.к.в. димність відпрацьованих газів становить  $1,126 \text{ м}^{-1}$ , при роботі на біодизельному паливі з кутом випередження впорскування 24 град. п.к.в. –  $1,496 \text{ м}^{-1}$  і при роботі на дизельному паливі –  $1,734 \text{ м}^{-1}$ . Для дизелів автотракторного типу вимогами ГОСТ 17.2.2.01-84 встановлено гранично допустиму димність відпрацьованих газів  $1,740 \text{ м}^{-1}$ .

Висновок. За результатами експериментально-розрахункових досліджень токсичності відпрацьованих газів автотракторного дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) при роботі на біодизельному паливі встановлено, що питомі викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами не перевищують норми правил ЄЕК ООН № 49-01 а викиди  $C_mH_n$  і  $NO_x$  нижче ніж при роботі на дизельному паливі. Димність відпрацьованих газів відповідає вимогам ГОСТ 17.2.2.01-84 та знижується в порівнянні з дизельним паливом.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Статистичний щорічник України за 2011 рік: Стат. збірник / Державний комітет статистики України; за ред. Осауленка О. Г., відп. за випуск Остапчук О. Е. – К.: ТОВ «Август Трейд», 2012. – 553 с.
2. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И. П. Васильев. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.
3. Марков В. А. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях: Монография / В. А. Марков, С. Н. Девянин В. Г. Семенов и др. – М.: ООО НИЦ “Инженер” (Союз НИО), ООО “Онико-М”, 2011. – 536 с.
4. Корпач А. А. Метилвый эфир рапсового масла как топливо для автотракторных дизелей / А. А. Корпач, А. А. Левковский // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 9. – С. 32–33.
5. Корпач А. О. Результаты стендовых испытаний автотракторного дизеля за роботи на дизельному та біодизельному паливах / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Systems and means of motor transport. Selected problems. – 2010. – №1. – С. 115 – 118.
6. Корпач А. О. Вибір оптимального кута випередження впорскування для автотракторного дизеля за роботи на біодизельному паливі / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2011. – Вип. 121. – С. 118 – 120.
7. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження двигунів із запалюванням від стиску і двигунів, які живляться природним газом, а також двигунів з іскровим запалюванням, які живляться зрідженим нафтовим газом (ЗНГ), і колісних транспортних засобів, оснащених двигунами із запалюванням від стиску, двигунами, що живляться природним газом і двигунами із іскровим запалюванням, які живляться ЗНГ, стосовно викидуваних ними забруднюючих речовин. Правила ЄЕК ООН № 49-01. – [Введ. от 01.10.1990г]. – ООН – 1988. – 602 с.
8. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения дымности отработавших газов тракторных и комбайновых дизелей: ГОСТ 17.2.2.02 – 86. – [Введ. от 01.01.1990г]. – М.: Изд – во стандартов, – 1988. – 56с.

#### REFERENCES

1. Statistical yearbook of Ukraine for 2011: Stat. collection / The state statistics committee of Ukraine, ed. Osaulenko O.G., respectively for release Ostapchuk O.E. Kyiv: "August Trade" Ltd. 2012. P. 553. (Ukr).
2. Vasilyev I.P. Effect of fuels vegetable origin for environmental and economic indicators diesel engines: Monograph. Lugansk: VNU im. Dalja. 2009. P. 240. (Rus).
3. Markov V.A. Using the vegetable oils and fuels based on them in diesel engines: Monograph. Moscow: NIC "Engineer" (Souz NIO) Ltd. 2011. P. 536 (Rus).
4. Korpach A.A. Rapeseed oil methyl ester as a fuel for automotive diesel engines. Automobile industry. 2012. No. 9. P. 32-33. (Rus).

5. Korpach A.A. Results of bench tests for automotive diesel engines run on diesel and biodiesel. Systems and means of motor transport. Selected problems. 2010. No. 1. P. 115 – 118. (Ukr).
6. Korpach A.A. Selection of the optimal angle of injection for diesel tractor for work on biodiesel. Visnyk SevNTU: zb. Nauk. pr. Vyp. 142/2013. Serija: Mashynopryladobuduvannja ta transport. Sevastopol. 2011. No. 121. P. 118-120. (Ukr)
7. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression- ignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive- ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. UNECE Regulation № 49-01. UN. 1988 P. 602 (Ukr).
8. The Nature Conservancy. Atmosphere. Limits and methods of measurement of opacity of exhaust gases of diesel tractor and combine. GOST 17.2.2.02 – 86. Moscow: Izdatelstvo standartov. 1988. P. 56. (Rus).

#### РЕФЕРАТ

Корпач А.О. Визначення токсичності відпрацьованих газів дизеля вантажного автомобіля, що працює на біодизельному паливі. / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28.

В статті розглянуто методику проведення експериментально-розрахункових досліджень токсичності відпрацьованих газів дизеля вантажного автомобіля при роботі на біодизельному паливі.

Об'єкт дослідження – автотракторний дизель 4СН11,0/12,5 (Д-241).

Мета роботи – розрахунок питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автотракторного дизеля, що працює на біодизельному паливі відповідно до вимог правил СЕК ООН № 49-01 та визначення димності відпрацьованих газів відповідно до вимог ГОСТ 17.2.2.02 – 86.

Метод дослідження – експериментально-розрахункових.

В результаті проведених експериментально-розрахункових досліджень було визначено питомі викиди  $CO$ ,  $C_mH_n$  і  $NO_x$  при роботі дизеля в 13-ти режимному випробувальному циклі та димність відпрацьованих газів при роботі двигуна в режимі зовнішньої швидкісної характеристики. Встановлено, що токсичності відпрацьованих газів автотракторного дизеля 4СН11,0/12,5 (Д-241) при роботі на біодизельному паливі з кутом випередження впорскування 24 град п.к.в. відповідає вимогам правил СЕК ООН № 49-01 а викиди  $C_mH_n$  і  $NO_x$  нижче ніж при роботі на дизельному паливі. Димність відпрацьованих газів відповідає вимогам ГОСТ 17.2.2.01-84 та знижується в порівнянні з дизельним паливом.

Результати висвітлені у статті можуть бути використані для оптимізації роботи дизеля на біодизельному паливі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВАНТАЖНИЙ АВТОМОБІЛЬ, ДИЗЕЛЬ, БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ

#### ABSTRACT

Korpach A.O., Levkivskyi O.O. Determine the toxicity of exhaust gases by trucks diesel engines operating on biodiesel fuel. Visnyk National Transport University. – Kyiv. National Transport University. 2013. – Vol. 28.

The article proposes methodology of experimental and computational studies the toxicity of exhaust gases by trucks diesel engines operating on biodiesel.

Object of the study – diesel motor 4СН11,0/12,5 (D-241).

Purpose of the study – calculation of specific emissions by exhaust gases automotive diesel engines operating on biodiesel fuel in accordance with UNECE Regulation № 49-01 and determining exhaust gases opacity in accordance with GOST 17.2.2.02-86.

Method of the study – experimental and computational.

As a result of experimental and computational studies were identified specific emissions of  $CO$ ,  $C_mH_n$  and  $NO_x$  working in the 13-cycle test regime by diesel engines and exhaust gas opacity when the engine using external high-speed performance. It was established that the exhaust gases of diesel tractor 4СН11,0/12,5 (D-241) operating on biodiesel with the injection angle 24 degrees meets the requirements of UNECE Regulation № 49-01, emissions  $NO_x$  and  $C_mH_n$  lower than operating on diesel fuel. Exhaust gas opacity requirements of GOST 17.2.2.01-84 and reduced compared with diesel fuel.

The results can be used to optimize the diesel to biodiesel.

**KEYWORDS:** TRUCK, DIESEL, BIODIESEL, ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

## РЕФЕРАТ

Корпач А.А. Определение токсичности отработавших газов дизеля грузового автомобиля при работе на биодизельном топливе. / А.А. Корпач, А.А. Левковский / Вестник Национального транспортного университета. – К.: НТУ, 2013. – Вып. 28.

В статье рассмотрена методика проведения экспериментально-расчетных исследований токсичности отработавших газов дизеля грузового автомобиля при работе на биодизельном топливе.

Объект исследования – автотракторный дизель 4С11,0/12,5 (Д-241).

Цель работы – расчет удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами автотракторного дизеля, работающего на биодизельном топливе в соответствии с требованиями правил ЕЭК ООН № 49-01 и определение дымности отработавших газов в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.2.02 – 86.

Метод исследования – экспериментально-расчетные.

В результате проведенных экспериментально-расчетных исследований было определено удельные выбросы  $CO$ ,  $C_mH_n$  и  $NO_x$  при работе дизеля в 13-ти режимном испытательном цикле и дымность отработанных газов при работе двигателя в режиме внешней скоростной характеристики. Установлено, что токсичность отработавших газов автотракторного дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) при работе на биодизельном топливе с углом опережения впрыска 24 град п.к.в. соответствует требованиям правил ЕЭК ООН № 49-01 а выбросы  $C_mH_n$  и  $NO_x$  ниже чем при работе на дизельном топливе. Дымность отработанных газов соответствует требованиям ГОСТ 17.2.2.01-84 и снижается по сравнению с дизельным топливом.

Результаты статьи могут быть использованы для оптимизации работы дизеля на биодизельном топливе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГРУЗОВОЙ АВТОМОБИЛЬ, ДИЗЕЛЬ, БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

### АВТОРИ:

Корпач Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри «Двигунів і теплотехніки», e-mail: korpach@mail.ru, тел. +380663470688, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1.

Левківський Олександр Олександрович, інженер, Публічного акціонерного товариства «Київське автотранспортне підприємство «Укрпродконтракт», e-mail: a.levkovsky@uprk.com.ua, тел. +380677976448, Україна, 02140, м. Київ, вул. Ревуцького 56.

### AUTHORS:

Korpach Anatoly O., candidate of technical sciences, National transport university, professor department of "Motors and heating», e-mail: korpach@mail.ru, tel. +380663470688, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov str. 1.

Levkivskyi Oleksandr O., engineer, Public joint stock company "Kyiv autotransport enterprise "Ukrprodkontrakt", e-mail: a.levkovsky@uprk.com.ua, tel. +380677976448, Ukraine, 02140, Kyiv, Revutskogo str. 56.

### АВТОРЫ:

Корпач Анатолий Александрович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Двигателей и теплотехники», e-mail: korpach@mail.ru, тел. +380663470688, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1.

Левковский Александр Александрович, инженер, Открытое акционерное общество "Киевское автотранспортное предприятие" Укрпродконтракт", e-mail: a.levkovsky@uprk.com.ua, тел. +380677976448, Украина, 02140, г. Киев, ул. Ревуцкого 56.

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, завідувач кафедри автоніки та управління на транспорті, Луганськ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілі, Київ, Україна.

### REVIEWER:

Kravchenko O.P., Ph.D., professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, head department of autonics and transport management, Lugansk, Ukraine.

Sakhno Volodymyr P., Ph. D, professor, National Transport University, head department of automobiles.