

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ З КОНДИЦІОНЕРОМ

<sup>1</sup>Відокремлений структурний підрозділ «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Представлено методику зниження енергоємності автобусів міських маршрутів з кондиціонером.*

Ключові слова: автобус МЗ, енергоємність, кондиціонер, витрата палива, нормування, охолодження салону.

### *Abstract*

*The method of reducing the energy consumption of city route buses with air conditioning is presented.*

Keywords: M3 bus, energy consumption, air conditioning, fuel consumption, fuel efficiency, rationing, interior cooling.

### Вступ

Міські автобусні перевезення в найближчій перспективі залишаться для більшості міст України основним видом пасажирських перевезень і мають велике соціальне значення. Зниження енергоємності перевезень забезпечується найбільш раціональним (ефективним) використанням паливних ресурсів. При цьому зазначена мета може досягатися лише за умови, що встановлена норма витрати палива для кожної марки автобуса буде в достатній мірі обгрунтованою [1-3]. Досконалість планування і розробка науково обгрунтованих нормативів витрати палива стають важливим напрямленням ресурсозбереження на автомобільному транспорті та зниження собівартості перевезень. Зважаючи, що на теперішній час у нормативних документах України не передбачено нормування мікроклімату в міських автобусах і витрати палива залежно від мікроклімату в салоні, виникає гостра необхідність у дослідженні зниження енергоємності автобусів категорії МЗ при роботі з кондиціонером [3-5].

### Основна частина

При експлуатації автобуса з кондиціонером, який має привід через компресор від силового агрегату, показник витрати палива збільшується за рахунок використання кондиціонера. Цей показник багато в чому визначає доцільність вибору оптимальних режимів управління роботою кондиціонера при виконанні транспортного процесу в конкретних умовах експлуатації.

Експлуатаційна норма приймається відповідно до місця експлуатації автобусів для всього автотранспортного підприємства або індивідуально для окремих транспортних засобів з використанням додаткового коефіцієнта (або декількох значень, відповідно до умов експлуатації) коригування базової норми [6]. Експлуатаційну норму витрати палива автобусом з кондиціонером доцільно класифікувати як «маршрутну сезонну» і застосовувати при зовнішній температурі, коли вбачається використання кондиціонера, тобто починаючи з +19 °С [7, 8].

Так, для автобусів з кондиціонером формула для розрахунків витрати палива на міських маршрутах має вигляд:

$$Q_a = H_s + Q_k, \quad (1)$$

де  $H_s$  – норма витрати палива, л/100 км пробігу;  $Q_k$  – додаткова норма витрати палива при роботі кондиціонера, л/100 км.

Відповідно:

$$Q_k = \frac{H_{ВД}}{60} \cdot t_{ВД} + \frac{H_{СТ}}{60} \cdot t_{СТ}, \quad (2)$$

де  $H_{ВД}$  – норма витрати палива (на роботу кондиціонера) автобусом під час руху на маршруті, л/год;  $H_{СТ}$  – норма витрати палива автобусом під час стоянки на кінцевій зупинці з працюючим

кондиціонером для компенсації мікроклімату, л/год;  $t_{ВД}$  – час роботи кондиціонера під час руху автобуса на маршруті (в розрахунку на 100 км пробігу), хв.;  $t_{СТ}$  – час роботи кондиціонера під час стоянки автобуса на кінцевій зупинці перед початком виконання рейсу), хв.

Час роботи кондиціонера залежить від його продуктивності і сумарного теплопритоку, який надходить в салон автобуса при визначених факторах і який повинен бути компенсований протягом часу руху по маршруту.

В результаті проведеного факторного аналізу встановлені найбільш значущі фактори, що впливають на час роботи кондиціонера компресорного типу, які представлені виразом:

$$t_{ВД} = f(t_{СТ}, T_{сд}, K_{п}, U), \quad (3)$$

де  $T_{сд}$  – температура на маршруті, використана при власних вимірюваннях автопідприємства, °С;  $K_{п}$  – кількість перевезених пасажирів на маршруті, чол.;  $U$  – невраховані в моделі фактори (вплив яких є незначним).

Рівняння (3) є стохастичною (ймовірнісною) моделлю де значення часу роботи кондиціонера автобуса залежить від впливу факторів, основні з яких є температура повітря на маршруті (середня на маршруті), число пасажирів на маршруті, час роботи кондиціонера під час стоянки автобуса перед початком руху по маршруту. Всі інші складові – детерміновані (тобто визначені).

Побудова такої моделі здійснюється аналізом статистичних даних роботи автобуса на маршруті. Отримані дані збираються за одним об'єктом (автобусом).

Норми витрати повинні враховувати час роботи кондиціонера, як основного фактора, що призводить до збільшення експлуатаційної витрати палива. Визначення показника «Час роботи кондиціонера під час руху автобуса за маршрутом» здійснюється виходячи з рівнянь (1–3):

$$t_{ВД} = \frac{60 \cdot H_K + H_{СТ} \cdot t_{СТ}}{H_{ВД}}, \quad (4)$$

де  $H_K$  – різниця між фактичною витратою палива по маршруту з роботою кондиціонера та нормативною витратою палива по маршруту без увімкненого кондиціонера, л/100 км.

Для визначення впливу факторів на витрату палива автобусом при перевезенні пасажирів у літній період було сформульовано гіпотезу, перевірку якої здійснено шляхом побудови математичної моделі по витраті палива, пов'язаної із роботою кондиціонера, яка залежать від таких чинників:

– час попереднього охолодження салону автобуса (перед початком руху по маршруту на початковому його пункті). Попереднє охолодження салону автобуса (за результатами проведених досліджень) впливає на зменшення витрати палива на роботу кондиціонера автобусу протягом всього руху по маршруту;

– середня зовнішня температура повітря. Зростання зовнішньої температури повітря призводить до збільшення навантаження на кондиціонер автобуса, що, в свою чергу призводить до більших витрат палива автобусом;

– кількість перевезених пасажирів автобуса на маршруті. Збільшення кількості пасажирів автобуса призводить до збільшення навантаження на кондиціонер автобуса, а отже витрати палива зростатимуть.

На підставі аналізу даних, які отримані під час досліджень, підтверджена залежність попереднього охолодження салону, температури зовнішнього повітря і кількість перевезених пасажирів на витрату палива (рис. 1 - 3).

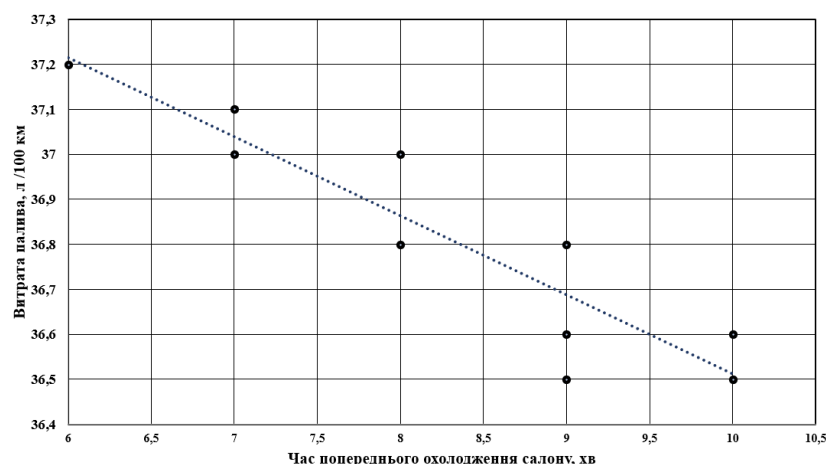


Рис. 1. Залежність кількості витрати палива від часу попереднього охолодження салону

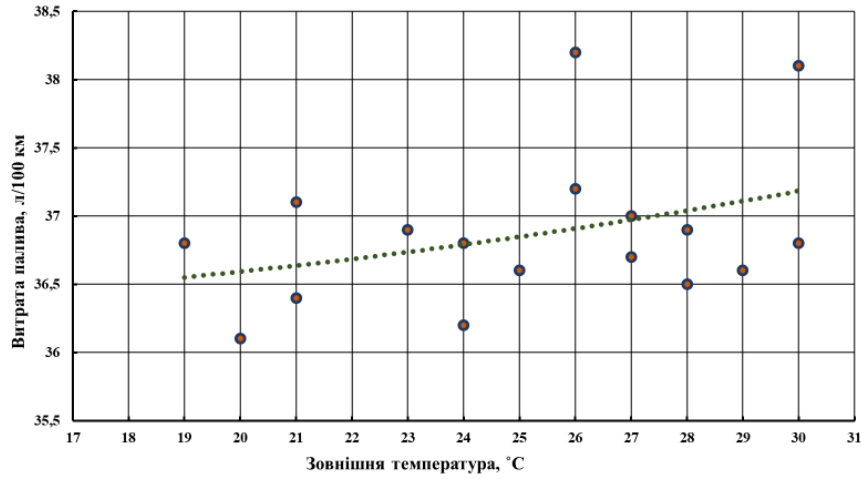


Рис. 2. Залежність витрати палива від зовнішньої температури на маршруті

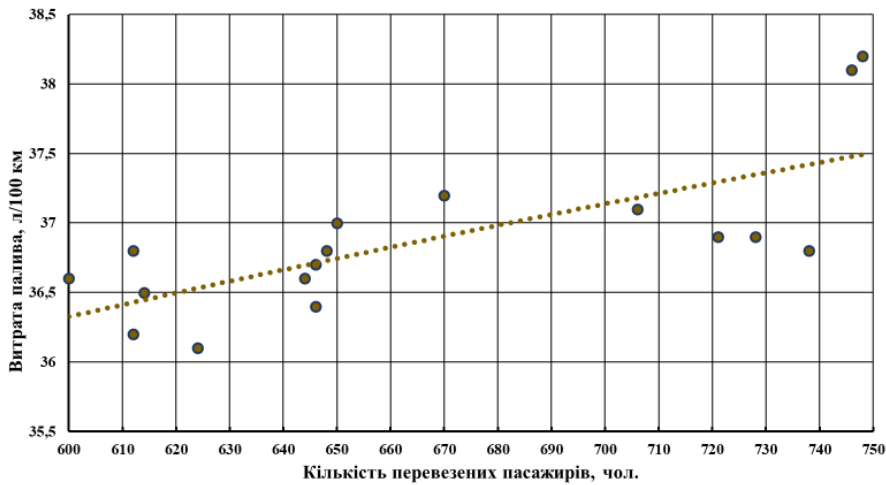


Рис. 3. Залежність витрати палива від кількості перевезених пасажирів на маршруті

На витрати палива при роботі кондиціонера під часу руху автобуса на маршруті впливає багато інших факторів, вплив яких є порівняно із обраними факторами не великим, а, отже, отримана математична модель є стохастичною. Запропоновано лінійну форму моделі, яка має наступний загальний вигляд:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{1t} + \beta_2 \cdot X_{2t} + \beta_3 \cdot X_{3t} + U_t, \quad (5)$$

де  $Y_t$  – результативний показник моделі (витрати палива під часу руху автобуса на маршруті, л/100 км);  $X_{1t}, X_{2t}, X_{3t}$  – факторні показники моделі (відповідно – час попереднього охолодження салону автобуса перед початком виконання рейсу, хв.; зовнішня температура на маршруті (середня), °C; кількість пасажирів на маршруті, чол.);  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  – коефіцієнти рівняння моделі;  $U_t$  – вектор залишків моделі, який відображає вплив неврахованих у моделі факторів.

Для побудови моделі використано метод найменших квадратів, за допомогою якого на основі зібраних статистичних даних отримано статистичні оцінки коефіцієнтів рівняння моделі (5):

$$\beta_0 = 32,017,$$

$$\beta_1 = -0,233,$$

$$\beta_2 = 0,0876,$$

$$\beta_3 = 7,119 \cdot 10^{-3};$$

на основі яких можемо записати рівняння моделі:

$$Y_t = 32,017 - 0,233 \cdot X_{1t} + 0,0876 \cdot X_{2t} + 7,119 \cdot X_{3t} + \tilde{U}_t. \quad (6)$$

Відповідно до коефіцієнтів моделі:

- при збільшенні першого фактору (часу попереднього охолодження салону автобуса перед початком рейсу) на 1 хв., витрати палива під час руху автобуса за маршрутом зменшувалися в середньому на 0,233 л/100 км за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними;

- при збільшенні другого фактору (зовнішньої температури на маршруті) на 1 °С, витрати палива під час руху автобуса за маршрутом збільшувалися в середньому на 0,0876 л/100 км за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними;

- при збільшенні третього фактору (кількість пасажирів на маршруті) на 1 чол., витрати палива під час руху автобуса за маршрутом збільшувалися в середньому на 0,007119 л/100 км (або при збільшенні фактору на 100 чол. – на 0,7119 л/100 км) за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними.

Витрата палива автобусом при попередньому охолодженні салону перед початком рейсу, за умови незмінної кількості пасажирів і при умові незмінної зовнішньої температури менша, ніж без охолодження (рис. 4 і 5).

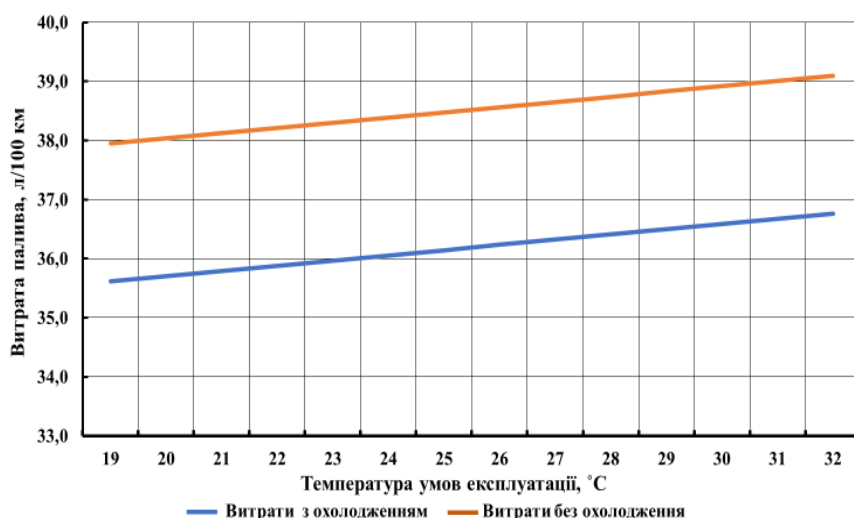


Рис. 4. Витрати палива автобусом з попереднім охолодженням та без охолодження салону (за незмінної кількості пасажирів 600 чол.)

На основі побудованої моделі можна визначити середнє значення витрати палива під час руху автобуса за маршрутом відповідно до прогнозованих значень факторів. Було встановлено, що оптимальним часом попереднього охолодження салону автобуса перед початком руху по маршруту складає 10 хв., з урахуванням інерційності повітря в салоні.

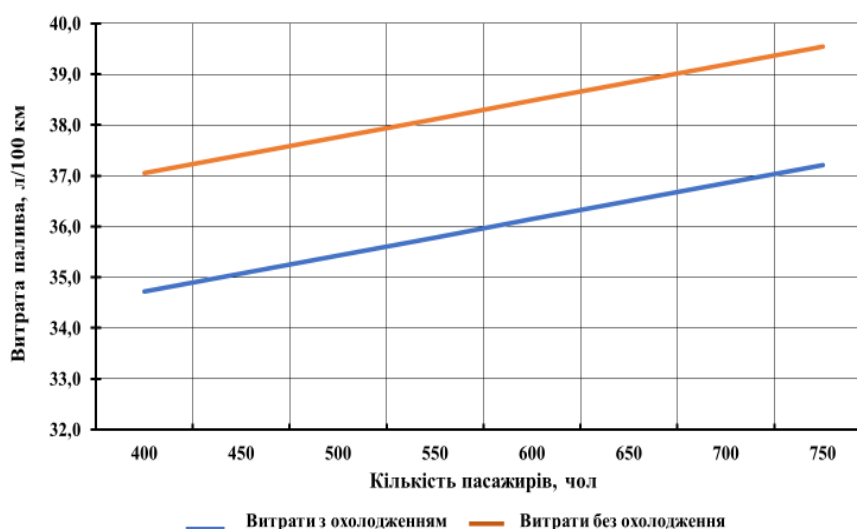


Рис. 5. Витрати палива автобусом з, та без охолодження салону при незмінній зовнішній температурі (за незмінної кількості пасажирів 600 чол.)

Результати підтверджують висунуту гіпотезу про вплив факторів моделі, зокрема важливості попереднього охолодження салону автобуса на кінцевій зупинці перед початком виконання рейсу на маршруті.

Модель дозволяє здійснювати прогнозовану оцінку витрати палива автобусом МАЗ-206086 на маршруті із увімкненим кондиціонером, яка може бути використана при визначенні норми витрати палива для даного типу автобуса в режимі використання кондиціонера.

Математична модель реалізована у формі формули-розрахунку витрати палива під час руху автобуса на маршруті, яка може мати вигляд при умові попереднього охолодження салону автобуса тривалістю 10 хв.:

$$Q_s = 29,68 + 0,088 \cdot t_{\text{зовн}} + 0,00712 \cdot N_{\text{пас}}, \quad (7)$$

де  $t_{\text{зовн}}$  – зовнішня температура на маршруті (середня), °С;  $N_{\text{пас}}$  – кількість пасажирів на маршруті, чол.

Розроблена методика контролю витрати палива автобусом МАЗ-206086 на маршруті може бути застосована до інших автобусів із подібним або ідентичним кондиціонером. Для цього необхідно визначити коефіцієнти, які відображують співвідношення «теплових» параметрів салону автобуса по відношенню до салону автобуса по якому виконано дослідження:

- коефіцієнта складності маршруту роботи автобуса;
- «охолоджувальної» потужності кондиціонера салону автобуса щодо відповідної потужності кондиціонера.

Для зручності розрахунків в умовах автопідприємства запропоновано автоматизований розрахунок за формою у програми Microsoft Excel (рис. 6).

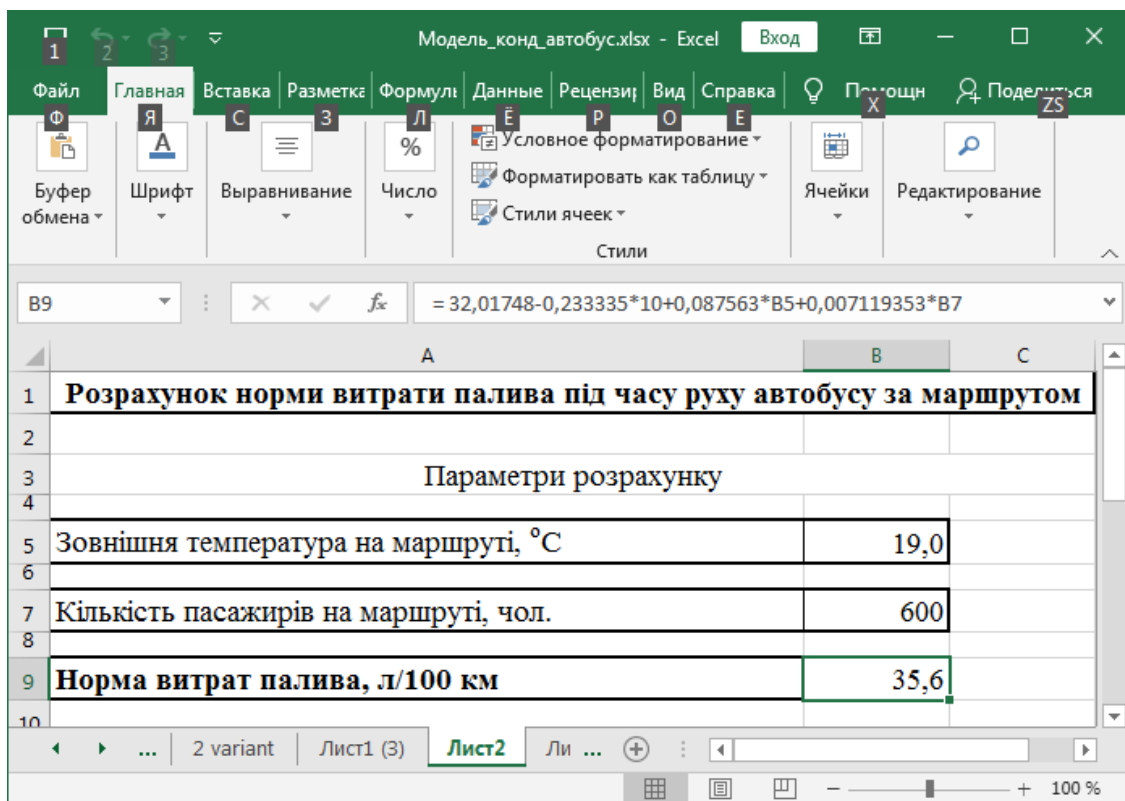


Рис. 6. Вікно форми програми для розрахунку витрати палива автобусом з кондиціонером на маршруті

### Висновки

Розглянуто можливість використання методичного підходу до транспортних засобів з кондиціонером з метою зниження енергоємності перевізного процесу. Запропоновані підходи слугують методичним базисом для перегляду існуючої практики формування лінійних норм витрат палива автобусів з кондиціонером на міських маршрутах із урахуванням визначальних умов експлуатації, що ґрунтовно покращує нормування через наближення до реальних

експлуатаційних витрат. Побудована багатофакторна математична модель витрати палива автобусом з кондиціонером при попередньому охолодженні салону. Доведено, що при збільшенні часу попереднього охолодження салону автобуса перед початком руху, витрати палива під час руху автобуса за маршрутом зменшуються. Запропоновано алгоритм управління витратою палива у системі автоматичного формування масиву бази даних роботи автобусів з кондиціонером.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Говорушенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехніка транспорту. изд. 2-е изд., перераб. и доп. Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. 468 с.
2. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів: навч. посіб. в 3-х ч. Ч. 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів / В. П. Сахно, А. В. Костенко, М. І. Загороднов та ін. Донецьк: «Ноулідж», 2014. 444 с.
3. Сахно В. П., Савостін-Косьяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки. Київ: НТУ, 2017. Вип. 3. С. 141–15.
4. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобуса у теплий період року. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. Володимира Даля, 2019. № 3 (251). С. 101–106.
5. Чуйко С. П., Кравченко О. П. Критерии тепловой нагрузки кабины водителя автобуса МАЗ-206 в летний период эксплуатации. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2020. № 10 (62). С. 62–67.
6. Борисенко А. О. Аналіз методів оцінки паливної економічності автомобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2013. № 5. С. 46–51.
7. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Особливості оцінки витрати палива міськими маршрутними автобусами оснащеними «Клімат-контролем». Новітні технології розвитку автомобільного транспорту: наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків: ХНАДУ. С. 124–126.
8. Chuiko S. P., Gerlici Ju., Kravchenko O. P. Determination of thermal inertia of air in the cabin of a city bus with an air-conditioning system / Proceedings of II International scientific and practical conference for applicants for higher education, of educational and scientists "Modern research: transport infrastructure and innovation technologies", 29-30 November 2023 Kyiv city. Volume 2. P. 100-103

**Чуйко Сергій Петрович** – док. філософії, голова циклової комісії транспортні технології (на автомобільному транспорті), Відокремлений структурний підрозділ «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету», 10004, м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 2. E-mail: expertauto@ukr.net

**Кравченко Олександр Петрович** - доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, 21021, м. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 7. E-mail: ap\_kravchenko@vntu.ua

**Chuyko Serhiy Petrovych** - PhD, head of the cycle commission transport technologies (on road transport), Separate structural division "Zhytomyr Automobile and Road College of the National Transport University", 10004, Zhytomyr, st. Velyka Berdychivska, 2. E-mail: expertauto@ukr.edu.net

**Kravchenko Oleksandr Petrovych** - doctor of technical sciences, professor, professor of the department of automobiles and and transport management of Vinnytsia National Technical University, 21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7. E-mail: ap\_kravchenko@vntu.edu.ua