

О.П. Кухарчук, аспірант
В.П. Шумляківський, к.т.н., доц.
В.Є. Титаренко, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Фактор людини у питанні підвищення ефективності експлуатації міського громадського транспорту

Визначено основні напрями у методах підвищення ефективності експлуатації громадського транспорту. Сформульовано ергатичну транспортну систему та вказано фактори, що впливають на ефективність її функціонування. Наведено аналіз факторів впливу з їхніми характеристиками та особливостями. Проведено експериментальні дослідження параметрів ефективності експлуатації транспортного засобу категорії М2 за рівномірністю руху в умовах різної щільності транспортного потоку. Представлено графічне відображення впливу транспортного потоку на манеру керування водія маршрутного транспортного засобу на міському маршруті. За результатами експериментальних досліджень визначено частки прискорень та сповільнень автобуса на ділянці міського маршруту. Представлена схема розташування базового набору обладнання для покращення інформаційного забезпечення водія. Визначено список основних індивідуальних особливостей водія, які відіграють важливу роль під час керування транспортним засобом. Сформульовано напрями для подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

Ключові слова: ефективність експлуатації; людський фактор; громадський транспорт; транспортний потік; ергатична система; фактори впливу.

Вступ. Постановка проблеми. Транспорт відіграє важливу роль у сьогоденні суспільства. З допомогою транспорту населення задовольняє значну кількість своїх потреб, зокрема у забезпеченні мобільності по місту та приміській зоні. Рівень комфортних умов життєдіяльності населення у містах залежить, у значній мірі, від стану та якості функціонування міського громадського транспорту.

В Україні має місце проблема підвищення ефективності роботи міського громадського транспорту, яка значною мірою залежить від людського фактора при керуванні маршрутними колісними транспортними засобами (МКТЗ). Це доведено світовою статистикою дорожньо-транспортних пригод, які на 60–70 % залежать від майстерності водія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність експлуатації міського громадського транспорту залежить від багатьох факторів. Серед них варто виокремити такі, як: технічні характеристики транспортного засобу (ТЗ), поведінку водія, інтенсивність руху, організація дорожнього руху. Питанням покращення ефективності експлуатації приділяється багато уваги різними вченими. Серед інших варто виокремити роботи проф. Крайника Л.В. та Сахна В.П.

У своїй роботі проф. Крайник Л.В. досяг успіху у питанні імітаційного моделювання руху автобусів у типових їздових циклах. Зокрема, приділялася увага статистичному аналізу, розподілу швидкостей по маршруту, а також деталізованій методиці визначення експлуатаційних показників витрати палива та паливо-швидкісних характеристик автобусів у реальних умовах експлуатації [1].

У роботі Сахна В.П. використовується середня швидкість руху автомобіля, у випадку його руху на маршруті, як узагальнюючий показник при оцінці тягово-швидкісних властивостей автомобіля. Для оцінювання середньої швидкості в режимі реального часу запропоновано використання аналітичного методу, в основі якого покладено диференційне рівняння руху автомобіля, та застосування провідних навігаційних способів визначення місцезнаходження ТЗ [2].

Дослідження питання впливу поведінки водія на швидкість руху та витрату палива показано в роботі Мюнзилаха Мд Рохані. Експерименти проводилися в типових дорожніх умовах при наявності різних перешкод, таких як перехрестя доріг, світлофорне регулювання. Велика увага була приділена дослідженню прискорень протягом перших 10 секунд після початку руху від зупинки, оскільки в цьому проміжку руху можливе вдосконалення керування для поліпшення економії палива [3].

Однак людський фактор як поняття характеризується значною багатогранністю та складністю. На транспорті до цього поняття варто зарахувати комплекс індивідуальних якостей і властивостей людини, які проявляються при взаємодії з елементами транспортної системи за конкретних умов, що потребує вивчення.

Метою даної роботи є дослідження дій водія в умовах різної інтенсивності транспортного потоку за параметрами нерівномірності руху: прискорення та сповільнення, що позначаються на комфорті пасажирів та ефективності експлуатації МКТЗ.

Людський фактор при керуванні МКТЗ відображається на якості надання послуги. Через його негативну дію можуть збільшуватися показники витрати палива, зменшується ресурс ТЗ. Він може бути причиною виникнення аварійних ситуацій, що впливає на показники безпеки дорожнього руху, безпеки та комфортності пасажирів. Ефективність прийняття рішень водієм залежить від його психофізичного стану, кваліфікації, досвіду роботи на маршруті та інформованості про дорожню обстановку.

Викладення основного матеріалу. Питання підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту вивчається багатьма способами. Суттєвим підґрунтям для цього слугує розвиток інформаційних технологій, які інтегруються в процес експлуатації транспорту та організацію його роботи. У зв'язку з цим, важливим напрямком підвищення ефективності експлуатації ТЗ є використання сучасних інформаційно-технічних рішень для покращення інформаційного забезпечення водія на основі розробки транспортних ергатичних систем.

Ергатичні системи – це виробничі системи, які створюються для досягнення цілей, що виникають у зв'язку з суспільним розподілом праці. До їх складу входить суб'єкт праці, діючий на предмет праці з допомогою засобів праці [4].

Основний час руху МКТЗ здійснюється у транспортних потоках (ТП). Оскільки існує взаємний вплив між ТП та ТЗ, то його можна зобразити у вигляді ергатичної системи (рис. 1) «Водій – Транспортний засіб – Дорожнє середовище» (ВАДС). Робота ергатичної системи описується ергатичною функцією. Під ергатичною функцією розуміють зменшення невизначених зв'язків елементів всередині ергатичної системи і її зв'язок із зовнішніми обставинами, які розглядаються з огляду на ті цілі, заради досягнення яких ця система створена [5].

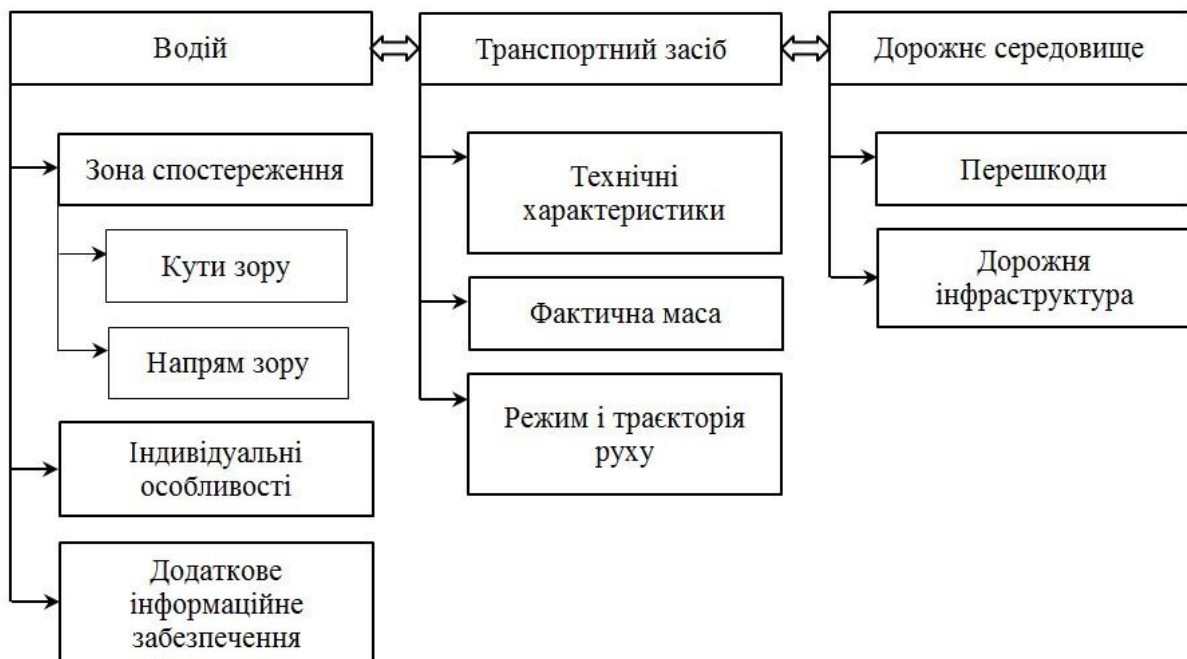


Рис. 1. Схема транспортної ергатичної системи та фактори, що впливають на її ефективність

Транспортний потік являє собою сукупність ТЗ, які рухаються на дорожньому полотні. До якісних та кількісних характеристик ТП належить:

- інтенсивність руху;
- швидкість руху;
- щільність руху.

Розв'язання поставленої задачі можливе на основі моделювання ТП, що дає можливість більш ефективно організувати управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста. В сучасних підходах до моделювання переважають моделі типу «розумного водія», де прискорення подається під значенням деякої функції від швидкості ТЗ, відстані до перешкоди, що рухається попереду (лідера) та швидкості відносно лідера. Але наявність впливу людського фактора на якість ТП створює певні ускладнення процесу моделювання транспортного потоку.

Більшість математичних моделей ТП не забезпечують, з психологічної точки зору, правдоподібних характеристик процесу прийняття рішень під час керування водієм у дорожній ситуації. Оскільки у нормальних чи складних дорожніх ситуаціях люди приймають рішення, які здаються адекватними, а неоптимальними.

Причиною цього може бути недостатній кваліфікаційний рівень водія або відсутність часу для оцінки всіх можливих альтернатив. Якщо поточна дорожня ситуація прийнятна для водія, з огляду критеріїв ефективності, тоді відсутні підстави шукати та оцінювати можливі альтернативи. Такий підхід суперечить традиційним моделям ТП, де оптимальність вимагає від водіїв витратити всі ресурси на спроби підвищити продуктивність.

Модель «розумний водій» (1) [6] є однією з таких математичних моделей, яка найбільш використовується. В цій моделі розглядаються рекомендована швидкість, яка являється безпечною, та рекомендована безпечна дистанція:

$$a_n(t) = a_{\max}^{(n)} \left[1 - \left(\frac{v_n(t)}{\bar{v}_n} \right)^\beta - \left(\frac{\xi_n(t)}{S_n} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де $a_{\max}^{(n)}$ – максимальне прискорення (сповільнення) досліджуваного ТЗ;

\bar{v}_n – рекомендована безпечна швидкість;

S_n – відстань між двома ТЗ, що вимірюється від переднього краю досліджуваного ТЗ до заднього краю ТЗ, який рухається попереду;

ξ_n – рекомендована безпечна дистанція;

β – параметр, що відповідає за поведінку при розгоні.

Аналізуючи залежність (1), варто зазначити, що найефективнішим випадком є той, коли значення $\beta \rightarrow \infty$. Тоді розгін відбувається, за умови постійного «комфортного» прискорення $a_{\max}^{(n)}$, до досягнення рекомендованої безпечної швидкості \bar{v}_n .

Важливим класом моделей є моделі «слідування за лідером». Найпростіший варіант такої моделі зазначений формулою 2 [7 с. 112]:

$$S_n''(t + \tau) = \alpha \frac{S_{n+1}'(t) - S_n'(t)}{S_{n+1}(t) - S_n(t)}, \quad \alpha > 0, \quad (2)$$

де τ – час, що характеризує реакцію водія;

$S_n(t)$ – координата центра досліджуваного ТЗ;

$S_n'(t)$ – швидкість досліджуваного ТЗ;

$S_{n+1}(t)$ – координата центра ТЗ, що рухається попереду;

$S_{n+1}'(t)$ – швидкість ТЗ, що рухається попереду.

У цій формулі параметр часу реакції водія τ використовується для досягнення нестійкого стану в лінійному наближенні рівномірного режиму руху для великих значень щільності потоку. Даний параметр можливо зменшити за рахунок додаткового інформаційного забезпечення.

Середовище навколо ТЗ відіграє важливу роль під час руху в умовах ТП, який має велику щільність. За таких умов пріоритетним завданням для водія має бути досягнення безпечного режиму руху. Результати досліджень [8] показують, що навколишнє середовище (сусідні ТЗ, візуальні відволікання) може суттєво впливати на впевненість водія та манеру водіння. Тому навколишнє середовище варто розглядати в моделях ТП.

Для часткового з'ясування впливу навколишнього середовища нами були проведені експериментальні дослідження при русі МКТЗ категорії М2 в ТП. Вони проводилися на ділянці міського маршруту № 4 громадського транспорту у м. Житомир. Було обрано ділянку, що проходить у центральній частині міста. Це дало можливість більш конкретно відстежити показники рівномірності за різної щільності ТП. Для реєстрування даних використовувався програмно-апаратний комплекс Corsys-Datron DAS 2 A8D із датчиком L-400, а також прилади для відеофіксації дорожнього середовища.

Отримані результати представлені залежністю прискорення від пройденого шляху (рис. 2)



Рис. 2. Експериментальні значення прискорень МКТЗ на ділянці маршруту при різній щільності ТП

Аналіз отриманих результатів зображений на рисунку 3. З нього видно, що в режимі руху в умовах ТП великої щільності переважають екстремальні прискорення (більше 2 м/с^2). Це пояснюється необхідністю вклинювання в ТП і частим маневруванням задля дотримання графіків руху по маршруту. Такий режим руху стає причиною погіршення екологічних показників та зменшення ресурсу МКТЗ і скорочення міжсервісних інтервалів через підвищення навантаження механічних частин трансмісії. У свою чергу, прискорення в режимі руху після години «пік», характеризуються більшою рівномірністю. Це є наслідком вільних умов руху МКТЗ.

Стосовно уповільнень, спостерігається наявність великої частки вільного вибігу ТЗ в умовах руху невеликої щільності. Наряду з цим присутні сповільнення, які сягають більше 2 м/с^2 . Оскільки в досліджуваному МКТЗ відсутні способи рекуперативного гальмування, за таких сповільнень погіршується енергоефективність експлуатації. Також підвищується зношування пар тертя в гальмівній системі та трансмісії.

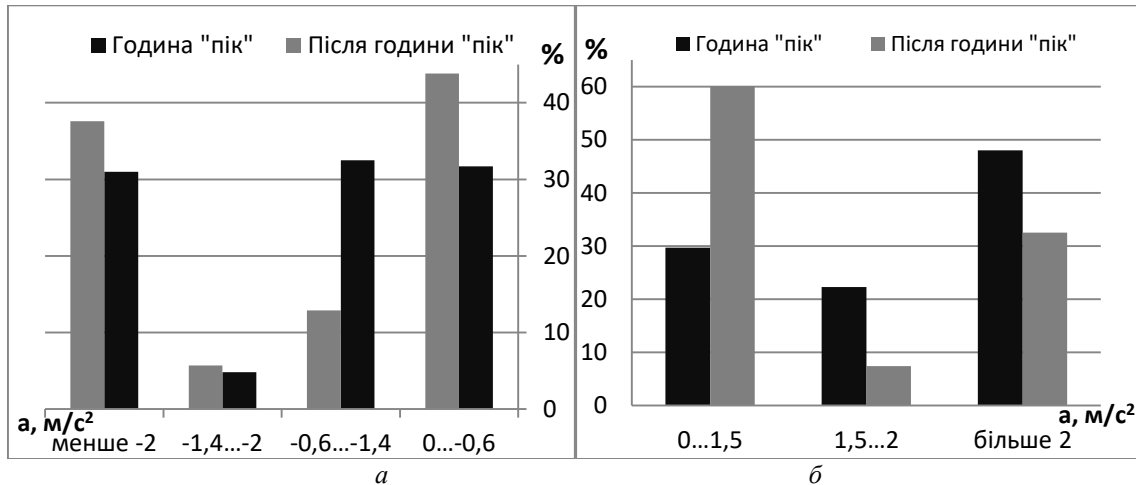


Рис. 3. Розподіл часток прискорень на ділянці маршруту за інтервалами прискорень (сповільнень)
 а) відсоткові частки сповільнень по інтервалах;
 б) відсоткові частки прискорень по інтервалах

Підвищення ефективності керування ТЗ, в тому числі міського громадського транспорту, полягає у підвищенні рівномірності руху відповідно для меншої і більшої щільності ТП. Задачі подальших досліджень полягають у з'ясуванні факторів впливу на рівномірність руху до регламентованих значень прискорень.

Попередньо серед факторів, за рахунок яких здійснюється вплив на водія з боку ТЗ, варто виокремити такі:

- технічні характеристики МКТЗ;
- фактична маса МКТЗ;
- режим і траєкторія руху.

Кожен маршрут громадського транспорту має свої особливості, які залежать від його завантаженості, протяжності та від того, в якій частині міста він проходить. Зокрема, з огляду на це, проводиться підбір рухомого складу, що працюватиме на заданому маршруті. Для ефективної експлуатації МКТЗ важливим є правильний підбір місткості салону, потужності двигуна та типу трансмісії.

Фактична маса МКТЗ залежить від спорядженої маси самого ТЗ та від кількості пасажирів у салоні. Після зупинок, коли було проведено висадку-посадку пасажирів, змінюється завантаженість салону. Це впливає на швидкісні характеристики ТЗ і змушує водія пристосовуватися до них.

Поле зору водія залежить від індивідуальних фізіологічних особливостей. Зазвичай, поле зору в горизонтальній площині складає 160° , у вертикальній – близько 115° (рис. 4). Під час руху водію через зоровий аналізатор необхідно сприймати багато інформації про стан дорожньої ситуації та самого ТЗ. У тому разі, якщо водій неодноразово рухався по певному маршруту, а для водіїв МКТЗ це досить поширено, у нього формується певний динамічний стереотип дій. Це дає йому можливість здійснювати керування більш автоматично і зосереджувати увагу на більш значних та нетипових сигналах дорожнього середовища.

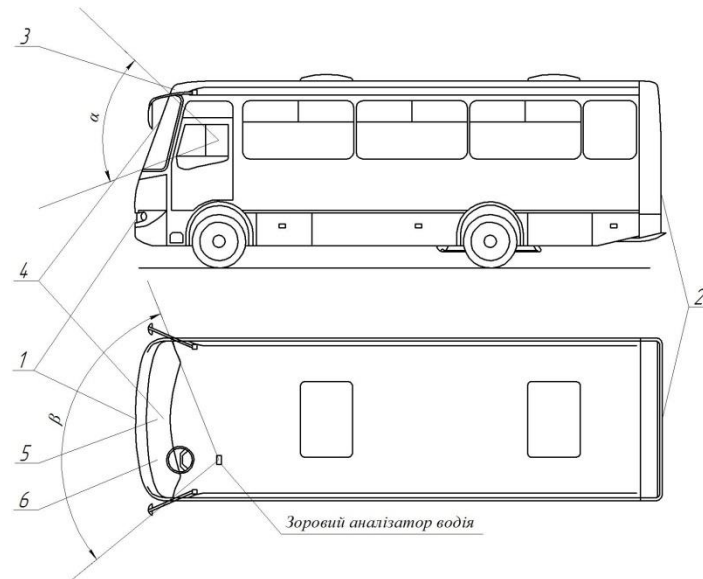


Рис. 4. Представлення вертикального і горизонтального поля зору водія і розташування обладнання для додаткового інформаційного забезпечення:

α – вертикальний кут зору, β – горизонтальний кут зору;

1, 2 – автомобільний радар; 3 – модуль системи GPS; 4 – відеокамера; 5 – блок обробки інформації; 6 – засоби інформування водія.

Вивчення літературних джерел [9, 10], дало можливість представити такий список індивідуальних особливостей водія, що впливають на його поведінку під час керування ТЗ:

- соціально-економічні характеристики (вік, стать, дохід, освіта та ін.);
- час реакції;
- психофізіологічні характеристики;
- досвід водіння;
- відволікання;
- безпечна швидкість;
- безпечний інтервал;
- помилки в оцінці (відстань та швидкість можна оцінити лише з обмеженою точністю);
- поріг сприйняття (людина не може сприймати невеликі зміни у подразниках);
- тимчасовий прогноз (водії можуть прогнозувати ситуацію з транспортними засобами на наступні декілька секунд);
- контекстна чутливість (ситуація на дорозі впливає на манеру водіння).

Додаткове інформаційне забезпечення водія постає сьогодні вагомим засобом для покращення умов його роботи (рис. 5). Використання таких технічних засобів дозволяє інформувати водія про дотримання графіка руху на маршруті, завантаженість салону та багато іншого. Показ даних, які допомагають з вибором оптимального режиму прискорення та гальмування, позитивно впливає на збереження ресурсу ТЗ, зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище, покращення комфортності перевезень для пасажирів.



Рис. 5. Робоче місце водія автобуса з обладнанням для додаткового інформаційного забезпечення

Однак варто зазначити, що вік водія та дорожнє середовище впливають на сприйняття та ефективність систем інформування та допомоги водію. Результати досліджень показують, що важливо оцінити його вікові відмінності в ефективності при прийнятті нових технологій [11].

Висновок. Аналіз стану проблеми показує, що ефективність експлуатації ТЗ залежить від багатьох факторів, які тісно пов'язані між собою.

Експериментально підтверджено вплив поведінки водія на ефективність керування за параметрами рівномірності руху МКТЗ.

Визначено задачі подальших досліджень факторів впливу на рівномірність руху.

Зміна поведінки водія є важливим способом покращення ефективності експлуатації шляхом його інформативного забезпечення в різних дорожніх ситуаціях.

У найбільш складних умовах дорожнього руху МКТЗ переважають прискорення від 2 до 3 м/с², що збільшує витрату палива та негативно впливає на екологію. Сповільнення автобуса в години «пік» характеризується меншим відсотком вибігу, порівняно з умовами вільного руху. Спостерігається значна різниця між відсотковою частиною уповільнень при гальмуванні в умовах руху центральною частиною міста. Значний відсоток уповільнень, значення яких становлять понад 2 м/с² (близько 38 % і 31 % відповідно для години «пік» та після неї), пояснюється неоптимальним вибором режиму руху водієм і можуть бути зменшені додатковим інформуванням водія. Таке інформування дозволить водієві обирати більш раціональний режим руху за конкретних умов.

Список використаної літератури:

1. Крайник Л.В. Алгоритм моделювання руху автобусів у типових їздових циклах та особливості розрахунку лінійної витрати палива / Л.В. Крайник, М.Ф. Боднар // Вісник НУЛП. Динаміка, міцність та проєктування машин і приладів. – 2011. – № 701. – С. 38–42.
2. Сахно В.П. Определение средней скорости автомобиля на маршруте / В.П. Сахно, А.А. Корпач // Наука – образованию, производству, экономике. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 22–23.
3. Md Rohani M. Bus Driving Behaviour and Fuel Consumption: thesis for the degree of Doctor of Philosophy / M. Md Rohani. – Southampton. – 2012. – P. 116–136.
4. Климов Е.А. Введение в психологию труда : учебник / Е.А. Климов. – М. : Культура, 1998. – 356 с.
5. Баклицький І.О. Психологія праці : підручник / І.О. Баклицький. – К. – 2008. – 655 с.
6. Treiber M. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations / M.Treiber, A.Hennecke. – D. : Phys. Rev., 2000. – 1805 p.
7. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учебное пособие / А.В. Гасников. – М. : МЦНМО, 2013. – 428 с.
8. Muhrer E. The effect of visual and cognitive distraction on driver's anticipation in a simulated car following scenario / E.Muhrer, M.Vollrath // Transp. Res. Traffic Psychol. – 2011. – No. 14 (6). – P 555–566.
9. Hamdar S. Driver behavior modeling. Handbook of Intelligent Vehicles / S.Hamdar ; A.Eskandarian (ed.). – Berlin : Springer, 2012. – P. 537–558.
10. Treiber M. Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation / M.Treiber, A.Kesting. – Berlin : Springer-Verlag, 2012.
11. Son J. The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems / J. Son // Transp. Res. Traffic Psychol. – 2015. – No. 31. – P. 12–24.

Reference:

1. Krajnik, L.V. Bodnar, M.F. (2011), «Algorithm modeljuvannja ruhu avtobusiv u tipovih izdovih ciklah ta osoblivosti rozrahunku linijnoi vitrati paliva», *Visnik NULP. Dinamika, micnist' ta proektuvannja mashin i priladiv*, Vol. 701, pp. 38–42.
2. Sahno, V.P. and Korpach, A. (2013), «Opredelenie srednej skorosti avtomobilja na marshrute», *Nauka – obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike*, BNTU, Minsk, pp. 22–23.
3. Md Rohani, M. (2012), *Bus Driving Behaviour and Fuel Consumption: thesis for the degree of Doctor of Philosophy*, Southampton, pp. 116–136.
4. Klimov, E.A. (1998), *Vvedenie v psihologiju truda*, учебник, Kul'tura, M., 356 p.
5. Baklyc'kyj, I.O. (2008), *Psychologija praci* : pidruchnyk, K., 655 p.
6. Treiber, M. and Hennecke, A. (2000), *Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations*, Phys. Rev., D., 1805 p.
7. Gasnykov, A.V. (2013), *Vedenye v matematycheskoe modelyrovanye transportnyh potokov*, учебное posobyе, MCNMO, M., 428 p.
8. Muhrer, E. and Vollrath, M. (2011), «The effect of visual and cognitive distraction on driver's anticipation in a simulated car following scenario» *Transp. Res. Traffic Psychol*, No. 14 (6), pp. 555–566.
9. Hamdar, S. (2012), *Driver behavior modeling. Handbook of Intelligent Vehicles*, in Eskandarian, A. (ed.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 537–558.
10. Treiber, M. and Kesting, A. (2012), *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, M.Treiber, Springer-Verlag, Berlin.

11. Son, J. (2015), «The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems», *Transp. Res. Traffic Psychol*, No. 31, pp. 12–24.

Кухарчук Олександр Петрович – аспірант кафедри автомобілів та транспортних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- сучасні технології в автомобільному транспорті.

E-mail: kukhar4uk.o@gmail.com

Шумляківський Володимир Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та транспортних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- експлуатаційні властивості засобів транспорту;

- інтелектуальні транспортні системи;

- організація автосервісу.

E-mail: shumliakivskyiv@gmail.com

Титаренко Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та транспортних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- надійність і міцність машин, проблеми вібронавантажуваності несучих систем і екологічні проблеми автомобільного транспорту;

- сучасні енергозберігаючі технології.

E-mail: Voldtit@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019.