

Захарчук В.І., Захарчук О.В., Скалига М.М., Ярощук В.В.  
*Луцький національний технічний університет*

## СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ «ВОДІЙ–АВТОМОБІЛЬ–СЕРЕДОВИЩЕ»

Запропоновано концептуальну схему системи «водій-автомобіль-середовище», яка використовує положення теорії функціональних систем та представлення автомобіля у вигляді функціональної системи, що містить три рівні: двигун, шасі та кузов. Функціонування системи характеризується зміною параметрів і динамічних властивостей її елементів непередбачуваним чином. Інформаційні взаємодії на тактичному рівні розглядаються як взаємодії мультимодальних образів елементів системи «водій-автомобіль-середовище», представлених у вигляді векторів станів цих елементів. Розглянуто фактори, що впливають на ефективність функціонування системи. Розроблено схему функціонування системи «водій-автомобіль-середовище» з використанням системних об'єктів, що дозволяє оцінювати вплив різних чинників на показники системи з врахуванням основних процесів системи, зворотніх зв'язків як параметрів управління процесами та зв'язків з навколишнім середовищем, що мають місце в умовах експлуатації. Зокрема, керуючі дії водія характеризуються діями на педаль акселератора, педаль зчеплення, важіль коробки передач, кермове колесо, педаль гальма. Підсистема «середовище» характеризується параметрами дороги та атмосферного повітря. Ефективність функціонування системи тісно пов'язана з значними витратами енергії. Система має низьку продуктивність за енергетичними показниками, але резерви підвищення її рентабельності далеко не вичерпані. До цих пір при оцінці ефективності функціонування системи за енергетичним критерієм застосовувались методи, засновані на оцінці ефективності окремих її елементів. Системний підхід дозволяє виконати оцінку енергетичних та матеріальних витрат і відшукати резерви підвищення ефективності функціонування системи в цілому.

**Ключові слова:** система, ефективність, водій, автомобіль, середовище, енергетика, функціонування.

### ВСТУП

В даний час однією з основних тенденцій розвитку автомобільних транспортних систем у світі є поступовий перехід до використання електромобілів, як пасажирських, так і вантажних, а також перехід від автомобілів, керованих людиною, до автономних транспортних засобів (ТЗ), інтегрованих в інтелектуальне транспортне середовище [1]. Що стосується автомобілів традиційних конструкцій, то з однієї сторони, йде боротьба за підвищення економічності автомобілів. З другої сторони, споживач висуває доволі високі вимоги до динаміки автомобіля. Тому при проектуванні автомобіля однією з найважливіших задач є вибір потужності двигуна і параметрів трансмісії, які дозволяють добитися поєднання паливної економічності з хорошими динамічними показниками. Це зручно зробити з використанням системного підходу.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Система «водій-автомобіль-середовище» (ВАС) застосовувалась в дослідженнях автономних транспортних засобів. Це пов'язано з тим, що нині спостерігається безперервне зростання оснащеності ТЗ різними електронними системами, призначеними як для часткової автоматизації процесу водіння, так і для забезпечення їхньої безпеки та комфортабельності [2]. З одного боку, такий хід речей дозволяє полегшити працю водія і, зрештою, перетворити його на пасажира, з іншого – ставить нові проблеми, пов'язані з неготовністю водія-спостерігача екстрено брати на себе керування ТЗ у випадках, коли система автономного водіння не в стані знайти правильне рішення у конкретній дорожньо-транспортній ситуації (ДТС) з необхідною достовірністю [3]. Крім того, виникають проблеми, пов'язані з підвищенням когнітивного навантаження на водіїв внаслідок інтенсифікації дорожнього руху та зростаючих інформаційних потоків, у тому числі у зв'язку з розвитком інтелектуальних транспортних систем [4, 5]. Через обмеженість ресурсів мозку людини це веде до безперервного перерозподілу уваги та зниження ефективності професійно важливих функцій, що забезпечують сприйняття ДТС, обробку інформації, оперативну пам'ять та своєчасне реагування, що збільшує ризик дорожньо-транспортних пригод (ДТП) [6, 7]. При зростанні рівня автоматизації в алгоритмах діяльності водія з'являється все більше монотонних фрагментів і, отже, знижується готовність водія до екстреної дії. Таким чином, на сучасному етапі розвитку автомобільних транспортних систем проблема людського фактора у забезпеченні безпеки дорожнього руху не тільки не втрачає своєї актуальності, але представляється більш значущим та багатограним завданням.

## ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи – складання структурної схеми системи ВАС з автомобілем традиційної конструкції, яку можна використати як базову концепцію при розробці та дослідженні методів та засобів зниження ризиків негативного прояву транспортних засобів на навколишнє середовище. Задачі дослідження: розробка структурної схеми системи; розробка загального підходу до оцінки ефективності функціонування системи.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Подібна схема була розроблена в роботі [8]. Але елементи системи подані в укрупненому вигляді, що утруднює їх аналіз. Схема системи «паливо-двигун-транспортний засіб» розроблена в роботі [9]. Більш детально сукупність процесів утворення та руху потоку енергії в автомобілі (з дизелем) представлена на рис. 1 у вигляді схеми системи «водій-автомобіль-середовище». За її основу взята схема виникнення, перетворення, просування, реалізації потоку енергії та управління ним в автотранспортному засобі (АТЗ) з дизелем. Потоки речовин показані подвійними стрілками, потоки механічної енергії (у вигляді потужності  $N$  та її параметрів  $n, v, M$  і  $P$ ) – жирними стрілками, потоки теплової енергії ( $E_m$ ) – стрілками середньої товщини, потоки звуку ( $S$ ) – пунктирними стрілками, а керуючі впливи ( $L$ ) і сигнали зворотнього зв'язку – тонкими стрілками.

Водій, узгоджуючись з необхідністю реалізації швидкості  $v_a$  і прискорення  $j_a$  автомобіля, контролює подачу палива за допомогою педалі подачі (акселератора)  $L_a$ , керуючою за допомогою приводу (ПР) кутом повороту важеля  $\phi_p$  регулятора паливного насоса (РПН). РПН, з корекцією за частотою обертання кулачкового валу (пропорційною частоті обертання колінчастого валу (ЧОКВ)  $n_e$ ), забезпечує певне положення рейки  $h_p$  ПНВТ (ПН). Паливо ( $C_n H_m$ ) подається на вхід ПНВТ. Останній забезпечує в кожен циліндр циклову подачу палива  $q_{ц} = q_{ц}(n_e, h_p)$ , що залежить від ЧОКВ  $n_e$  і положення рейки  $h_p$ . Надлишок палива зливається у бак. Робота ПНВТ характеризується шумом  $S_{пнв}$ .

У камері згоряння двигуна (Д) вивільняється енергія  $E_{цз}$ , частка якої по відношенню до кількості теплоти  $h_{цз}$ , внесеної з паливом у циліндр, оцінюється індикаторним ККД  $\eta_i$ . Стосовно до повнорозмірного двигуна:

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i H_u} \quad (1)$$

де  $g_i$  – індикаторна питома витрата палива;

$H_u$  – найнижча теплота згоряння палива.

Процес характеризується індикаторною потужністю  $N_i$  (кВт) та індикаторною питомою витратою палива  $g_i = \frac{3600}{\eta_i H_u}$ , г/(кВт·год).

Енергія руху поршнів за допомогою кривошипно-шатунного механізму перетворюється на енергію обертального руху колінчастого валу (КВ) з маховиком. Це відбувається із втратою потужності  $N_m$  та з механічним ККД  $\eta_m = \frac{N_i - N_m}{N_i}$ . У розпорядженні споживачів енергії виявляється ефективна потужність  $N_e = N_i - N_m$ . Під час цього ефективний ККД  $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{3600}{g_e H_u}$ . Ефективна питома витрата палива:

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e H_u} \quad (2)$$

Ефективні показники двигуна визначаються у стаціонарних стендових умовах. В експлуатації ж присутні ще втрати потужності  $N_{ва}$  на привід допоміжних агрегатів, зміна потужності через відхилення стану двигуна ( $\Delta N_{дсд}$ ) і атмосферних умов ( $\Delta N_{дат}$ ), вплив неустановлених режимів (НУР)  $\Delta N_{днур}$ . Таким чином, потужність, яку отримує трансмісія, дорівнює:

$$N_d = M_d \cdot n_e = N_e - N_{ва} - \Delta N_{дсд} - \Delta N_{дат} - \Delta N_{днур} \quad (3)$$

де  $M_d$  – крутний момент КВ;

$n_e$  – частота обертання КВ;

$N_{ва}$  – втрати потужності на привід допоміжних агрегатів;

$\Delta N_{дсд}$  – зміна потужності через відхилення стану двигуна;

$\Delta N_{дат}$  – зміна атмосферних умов;

$\Delta N_{днур}$  – зміна неусталених режимів.

Двигун, використовуючи кисень  $O_2$ , викидає відпрацьовані гази (ВГ), виділяє теплову енергію  $H_d$ , здійснює шум  $S_d$ . Крутний момент  $M_d$  КВ сприймається веденими дисками зчеплення. Потужність розсіювання енергії дисками зчеплення:  $\Delta N_c = H_c + S_c = N_d - N_c$ , де  $N_c = M_c \cdot n_c$  – потужність на виході зчеплення.

Потужність  $N_c$  надходить на вхід коробки передач (КП). Функція КП – узгоджувати навантаження опору руху автомобіля з характеристиками двигуна. Водій здійснює ступінчасте керування за допомогою важеля  $L_{кп}$ . Робота КП супроводжується втратою енергії, пов'язаної з тертям і генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах і підшипниках, тертям в ущільненнях, перемішуванням масла:

$$\Delta N_{кп} = H_{кп} + S_{кп} = N_c - N_{кп}, \quad (4)$$

де  $N_{кп} = M_{кп} \cdot n_{кп}$  – потужність на виході КП.

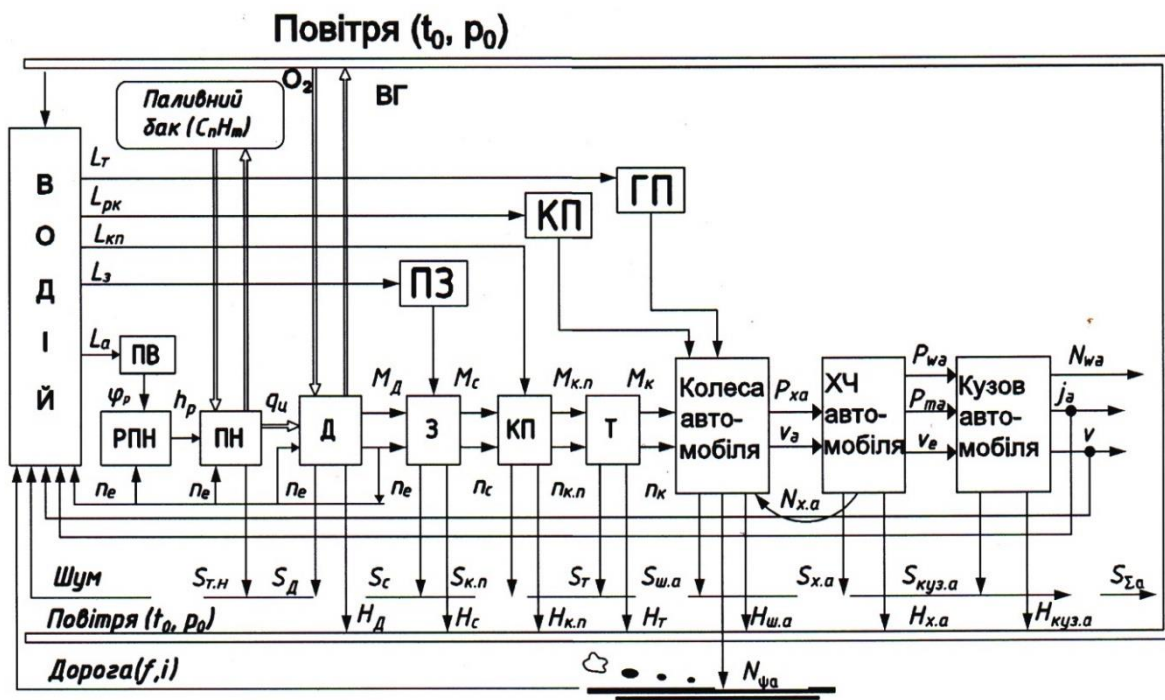


Рисунок 1 – Схема системи «водій-автомобіль-середовище»:  $C_n H_m$  – вуглеводні палива;  $O_2$  – кисень повітря; ВГ – відпрацьовані гази;  $L_a, L_z, L_{кп}, L_{рк}, L_T$  – керуючі діями відповідно педаль акселератора, педаль зчеплення, важеля КП, кермового колеса, гальмівної педаль; РПН – регулятор паливного насоса; ПВ – привід важеля РПН; ПН – паливний насос високого тиску (ПНВТ); Д – двигун (без РПН та ПН); З – зчеплення; КП – коробка зміни передач; Т – частина трансмісії, що залишилася (без З та КП); ХЧ – рухома частина без коліс (несуча частина);  $\phi_p$  – кут повороту важеля РПН;  $h_p$  – хід рейки ПН;  $q_{ц}$  – циклова подачі палива;  $M_d$  – крутний момент на КВ двигуна;  $M_c$  – момент на веденому валу зчеплення;  $M_{кп}$  – момент на вторинному валу КП;  $M_k$  – момент на ведучих колесах;  $P_{ха}$  – поздовжня сила дії двигуна автомобіля на його ходову частину (ХЧ);  $P_{ва}$  – сила подолання опору повітря автомобіля;  $N_{ва}$  – потужність, що витрачається на опір повітря руху автомобіля;  $N_{\psi а}$  – дисипація енергії на деформацію і нагрівання дороги;  $n_e, n_c, n_{кп}, n_k$  – частоти обертання колінчастого валу, веденого валу зчеплення, вторинного валу КП та ведучого колеса відповідно;  $v_a, j_a$  – швидкість та прискорення автомобіля; ПЗ – привід зчеплення; КП – кермовий привід; ГП – гальмівний привід;  $H_d, H_c, H_{кп}, H_T, H_{ш.а}, H_{х.а}, H_{куз.а}$  – теплові втрати потужності відповідно двигуна, зчеплення, коробки передач, залишкової частини трансмісії, шин коліс автомобіля, ходової частини автомобіля, кузова автомобіля;  $S_{Т.н}, S_d, S_c, S_{к.н}, S_T, S_{ш.а}, S_{х.а}, S_{куз.а}$  – шум, створюваний відповідно паливним насосом, двигуном, зчепленням, коробкою передач, частиною

трансмисії, що залишилася, шинами коліс автомобіля, ходовою частиною автомобіля; кузовом автомобіля;  $S_{\Sigma}$  – сумарна звукова енергія (переходить у тепло повітря);  $t_0, p_0$  – температура та тиск навколишнього середовища;  $f$  – коефіцієнт опору кочення колеса;  $i$  – поздовжній нахил дороги

Далі потік потужності проходить ряд ланок частини трансмісії (Т): карданну передачу, головну передачу та ін. Робота їх відбувається з тертям у зубчастих парах, шарнірах, підшипниках, ущільненнях, з перемішуванням масла, генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах, шарнірах та підшипниках, розвитком та поглинанням цих коливань у валах – все це з виділенням теплової енергії ( $H_T$ ), та з шумом ( $S_{Т,ш}$ ):  $\Delta N_c = H_T + S_T = N_{кп} - N_k$ , де  $N_k = M_k \cdot n_c$  – залишок потужності, що підводиться до ведучих коліс.

Робочий процес окремого колеса складний: його визначають характеристики шини, властивості дороги, навантаження, крутний момент, швидкість руху, крутизна траєкторії повороту, зчеплення з дорогою. Процес, просумований по всіх колесах, супроводжується дисипацією енергії на деформацію і нагрівання дороги ( $N_{\psi a}$ ) і шин (в кінцевому підсумку – повітря  $H_{ш a}$ ), а також генерацією шуму ( $S_{ш a}$ ):

$$\Delta N_{ш a} = H_{\psi a} + H_{ш a} + S_{ш a} = N_k - N_{x a}, \quad (5)$$

де  $N_{x a} = P_{x a} \cdot v_a$  – залишок потужності, що підводиться до балок мостів автомобіля;

$P_{x a}$  – штовхаюче зусилля з боку маточин коліс.

Рушій об'єднаний ходовою частиною. Ця об'єднана конструкція наводить паразитну циркуляцію потужності в системі «трансмісія - ходова частина». Енергетично вагомим є коливальний процес підвіски. Підвіска забезпечує плавний рух рами з кузовом, вантажем, людьми в процесі руху коліс з мостами по нерівній дорозі - і це можливе тільки з реалізацією коливань непіддресореної маси відносно піддресореної. Такі коливання потрібно постійно гасити. На угамування коливань йде частина енергії  $H_{x a}$ , а робота елементів ХЧ супроводжується шумом елементів:

$$S_{x a} : \Delta N_{x a} = H_{x a} + S_{x a} = N_{x a} - N_p, \quad (6)$$

де  $N_p = P_p \cdot v_a$  – залишок потужності, що підводиться до рами автомобіля для формування штовхаючого зусилля.

Темп енергоспоживання визначає потужність машини як енергосилового об'єкта – і розраховується як добуток силового параметра на швидкісний. Потужність ДВЗ визначається роботою реалізованого крутного моменту валу двигуна  $M_e$  на частоту обертання цього валу  $n_e : N_e = M_e \cdot n_e$ .

Залежності отриманого крутного моменту  $M_e$  (та інших параметрів: положення регулюючих органів подачі палива та ін.) від частоти  $n_e$  є швидкісними характеристиками. При цьому залежність  $M_e = f \cdot (n_e)$  при граничних положеннях важеля регулятора називається зовнішньою швидкісною характеристикою (ЗШХ). ЗШХ при реалізації обмежень швидкісного режиму ДВЗ переходить у граничну регуляторну характеристику (ГРХ).

Ефективність функціонування системи можна оцінити за енергетичним показником:

$$E = Q_0 - (E_T + E_{Тр} + E_{ш} + E_E + E_{ін}), \text{ Дж/с}, \quad (7)$$

де  $Q_0$  - загальна кількість теплової енергії, введена в двигун з паливом;  $E_T$  – втрати теплої енергії в двигуні;  $E_{Тр}$  – втрати енергії в трансмісії;  $E_{ш}$  – втрати енергії в шинах;  $E_E$  – втрати енергії в системі, пов'язані з діяльністю водія;  $E_{ін}$  – втрати енергії, пов'язані з іншими процесами.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Енергетична ефективність системи ВАС складається з енергетичної ефективності перетворення теплової енергії в механічну роботу в ДВЗ, енергетичної ефективності перетворення енергії і передачі її в трансмісії, енергетичної ефективності перетворення енергії між колесом автомобіля і поверхнею дороги, а також енергетичною ефективністю, пов'язаною з діяльністю водія та інших перетворень. Запропонований підхід передбачає моніторинг параметрів функціонування транспортного засобу, стану навколишнього середовища і психо-фізіологічного стану водія, а також умов руху на передбачуваній ділянці шляху. Наступним етапом є розробка методу комплексної оцінки ефективності функціонування системи ВАС.



## ВИСНОВКИ

Запропонована концептуальна модель системи ВАС використовує положення теорії функціональних систем та заснована на представленні представляється доцільним створення ефективних людино-машинних інтерфейсів, що дозволяють більш глибоко, адекватно та різнобічно інтегрувати функціональні підсистеми водія та транспортного засобу в єдину систему із загальною цільовою функцією.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Tanelli, M., Toledo-Moreo, R., Stanley, M. (2018). Guest Editorial: Multifaceted Driver–Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>.
2. Burnett, G.E. (2009). On-the-Move and in your Car: An overview of HCI Issues for In-Car Computing. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 1 (1), 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>.
3. Savchenko, V., Poddubko, S. (2018). Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems. *IoP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 315 (1), 12–24. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>.
4. Strayer, D.L., et al. (2015). Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. *Human Factors*, 57 (8), 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>.
5. Block, R.A., Hancock, P.A., Zakay D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134 (3), 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>.
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml>. – Date of access: 12.01.2021.
7. Östlund J., et al. (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A [Electronic resource] Mode of access: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275).
8. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю.Ф. Гутаревич. – Київ: Вища школа, 1991. – 179 с.
9. Zakharchuk, V., Gritsuk, I., Zakharchuk, O. et al. (2018) The Choice of Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. *SAE Technical Paper 2018–01–1759*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1759>.

## REFERENCES

1. Tanelli, M., Toledo-Moreo, R., Stanley, M. (2018). Guest Editorial: Multifaceted Driver–Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>.
2. Burnett, G.E. (2009). On-the-Move and in your Car: An overview of HCI Issues for In-Car Computing. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 1 (1), 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>.
3. Savchenko, V., Poddubko, S. (2018). Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems. *IoP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 315 (1), 12–24. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>.
4. Strayer, D.L., et al. (2015). Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. *Human Factors*, 57 (8), 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>.
5. Block, R.A., Hancock, P.A., Zakay D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134 (3), 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>.
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml>. – Date of access: 12.01.2021.
7. Östlund J., et al. (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A [Electronic resource] Mode of access: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275).
8. Hutarevych Y.F. *Snyzhenye vrednukh vubrosov avtomobyliya v ekspluatatsyonnykh uslovyakh*. Kyiv: Vyshcha shkola, 1991. – 179 s.

9. Zakharchuk, V., Gritsuk, I., Zakharchuk, O. et al. (2018) The Choice of Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. SAE Technical Paper 2018-01-1759. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1759>.

**V. Zakharchuk, O. Zakharchuk, M. Skalyga, V. Yaroshuk. Structural diagram of the "driver-car-environment" system**

A conceptual scheme of the "driver-car-environment" system is proposed, which uses the provisions of the theory of functional systems and the presentation of the car as a functional system containing three levels: engine, chassis and body. The functioning of the system is characterized by a change in the parameters and dynamic properties of its elements in an unpredictable manner. Information interactions at the tactical level are considered as interactions of multimodal images of the elements of the "driver-car-environment" system, presented in the form of state vectors of these elements. Factors affecting the efficiency of system functioning are considered. A diagram of the functioning of the "driver-car-environment" system has been developed using system objects, which allows evaluating the influence of various factors on system indicators, taking into account the main processes of the system, feedback as process control parameters, and connections with the environment that take place in operating conditions. In particular, the driver's control actions are characterized by actions on the accelerator pedal, clutch pedal, gearbox lever, steering wheel, brake pedal. The "environment" subsystem is characterized by the parameters of the road and atmospheric air. The efficiency of the system is closely related to significant energy consumption. The system has low productivity in terms of energy indicators, but the reserves for increasing its profitability are far from exhausted. Until now, when evaluating the effectiveness of the VANS system according to the energy criterion, methods based on the evaluation of the effectiveness of its individual elements were used. The system approach allows you to evaluate energy and material costs and find reserves for improving the efficiency of the system as a whole.

**Key words:** system, efficiency, driver, car, environment, energy, functioning.

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

*ЗАХАРЧУК Олег Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [Zaharchukov205@gmail.com](mailto: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](mailto:cnn110162@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>

*ЯРОЩУК Віктор Віталійович*, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [victoryaroshuk@ukr.net](mailto:victoryaroshuk@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0007-1377-7635>.

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

*Oleg ZAKHARCHUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [Zaharchukov205@gmail.com](mailto: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](mailto:cnn110162@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>.

*Viktor YAROSCHUK*, graduate student of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [victoryaroshuk@ukr.net](mailto:victoryaroshuk@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0007-1377-7635>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1355